



BULLETIN OFFICIEL

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR,
RECHERCHE ET INNOVATION

Bulletin officiel n°30 du 29 juillet 2021

SOMMAIRE

Organisation générale

Commission d'enrichissement de la langue française

Approbation des termes, expressions et définitions du Dictionnaire de l'Académie française et du Trésor de la langue française
décision du 2-7-2021 - JO du 4-7-2021 (NOR : CTNR2120709S)

Enseignement supérieur et recherche

Grade de master

Prorogation de l'attribution du grade de master aux titulaires des diplômes gestion de patrimoines audiovisuels et production audiovisuelle délivrés par l'Institut national de l'audiovisuel
arrêté du 7-7-2021 (NOR : ESRS2111426A)

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme de la classe de première année et de la classe de seconde année de Technologie et sciences industrielles (TSI) : modification
arrêté du 9-7-2021 - JO du 23-7-2021 (NOR : ESRS2111438A)

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme de la classe préparatoire de première année et de la classe préparatoire de seconde année de Technologie, physique et chimie (TPC) : modification
arrêté du 9-7-2021 - JO du 23-7-2021 (NOR : ESRS2111518A)

Classes préparatoires scientifiques

Programmes de première et seconde années des classes préparatoires scientifiques de la voie Technologie et biologie (TB) : modification
arrêté du 9-7-2021 - JO du 23-7-2021 (NOR : ESRS2111618A)

Mouvement du personnel

Nomination

Directrice générale du centre régional des œuvres universitaires et scolaires de Versailles (groupe I)
arrêté du 6-7-2021 (NOR : ESRD2121367A)

Nomination

Directeur général de l'Institut polytechnique de Bordeaux (Bordeaux INP)
arrêté du 8-7-2021 (NOR : ESRS2121706A)

Informations générales

Conseils, comités, commissions

Vacance de sièges au sein de conseils scientifiques d'instituts du Centre national de la recherche scientifique
avis (NOR : ESRR2122191V)

Recrutement

Inspecteur ou inspectrice santé et sécurité au travail pour les établissements d'enseignement supérieur et de recherche, l'administration centrale du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et pour les établissements et les services centraux placés sous la tutelle du ministre chargé de la jeunesse et des sports
avis (NOR : MENI2121658V)

Organisation générale

Commission d'enrichissement de la langue française

Approbation des termes, expressions et définitions du Dictionnaire de l'Académie française et du Trésor de la langue française

NOR : CTNR2120709S
décision du 2-7-2021 - JO du 4-7-2021
MENJS - MC

Vu loi n° 94-665 du 4-8-1994, notamment article 14 ; décret n° 96-602 du 3-7-1996 modifié, notamment article 11 ; décision du Conseil d'État n° 435372 du 22-7-2020 ; Dictionnaire de l'Académie française, notamment ses huitième et neuvième éditions ; Trésor de la langue française ; avis de l'Académie française du 1-7-2021

Article 1 - Les mots, termes, expressions et tournures de la langue française attestés dans les huitième et neuvième éditions du *Dictionnaire de l'Académie française* et dans le *Trésor de la langue française* sont approuvés dans les conditions prévues par le décret du 3 juillet 1996 susvisé.

Ils sont obligatoirement utilisés à la place des termes et expressions équivalents en langues étrangères dans les cas mentionnés à l'article 11 du décret du 3 juillet 1996 susvisé, en l'absence de termes et expressions publiés au Journal officiel.

Article 2 - Les termes et expressions des huitième et neuvième éditions du *Dictionnaire de l'Académie française* peuvent être consultés sur le site du *Dictionnaire de l'Académie française* (<http://www.dictionnaire-academie.fr>).

Les termes et expressions du *Trésor de la langue française* peuvent être consultés sur le site du *Trésor de la langue française* informatisé (<http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>).

Article 3 - La présente décision sera publiée au Journal officiel de la République française.

Fait le 2 juillet 2021

Le président de la Commission d'enrichissement de la langue française,
Frédéric Vitoux,
de l'Académie française

Enseignement supérieur et recherche

Grade de master

Prorogation de l'attribution du grade de master aux titulaires des diplômes gestion de patrimoines audiovisuels et production audiovisuelle délivrés par l'Institut national de l'audiovisuel

NOR : ESRS2111426A
arrêté du 7-7-2021
MESRI - DGESIP A1-3

Par arrêté de la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en date du 7 juillet 2021, l'attribution du grade de master est prorogée pour l'année universitaire 2020-2021 aux titulaires des diplômes gestion de patrimoines audiovisuels et production audiovisuelle délivrés par l'Institut national de l'audiovisuel.

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme de la classe de première année et de la classe de seconde année de Technologie et sciences industrielles (TSI) : modification

NOR : ESRS2111438A

arrêté du 9-7-2021 - JO du 23-7-2021

MENJS - DGESCO - MESRI - DGESIP A1-2 - MOM

Vu Code de l'éducation, notamment articles D. 612-19 à D. 612-29 ; arrêtés du 10-2-1995 modifiés ; arrêté du 3-7-1995 modifié ; arrêté du 20-6-1996 modifié ; avis du Cneser du 8-6-2021 ; avis du CSE du 17-6-2021

Article 1 - Les programmes de mathématiques, de physique, de chimie, de génie électrique, de génie mécanique, d'informatique de première et seconde années de la classe préparatoire scientifique Technologie et sciences industrielles (TSI), annexés respectivement aux arrêtés du 3 juillet 1995 et du 20 juin 1996 susvisés, sont remplacés par les programmes de mathématiques, physique-chimie, sciences industrielles de l'ingénieur et informatique figurant respectivement aux annexes 1, 2, 3 et 4 du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie.

Article 3 - Les dispositions du présent arrêté prennent effet à compter de la rentrée de l'année scolaire 2021-2022 pour les classes de première année, et à compter de la rentrée de l'année scolaire 2022-2023 pour les classes de seconde année.

Article 4 - Le directeur général de l'enseignement scolaire, la directrice générale des outre-mer et la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 9 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre des Outre-mer, et par délégation,
La directrice générale des outre-mer,
Sophie Brocas

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexe

↪ Programmes de la classe préparatoire scientifique Technologie et sciences industrielles (TSI)



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et sciences industrielles (TSI)

Annexe 1

Programmes de mathématiques



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de mathématiques de la classe TSI 1^{ère} année

Classe préparatoire TSI1

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	4
Programme	5
Vocabulaire ensembliste et méthodes de raisonnement	5
Premier semestre	7
Pratique calculatoire	7
Nombres complexes	9
Étude globale d'une fonction d'une variable réelle à valeurs réelles	10
Géométrie élémentaire du plan	11
Géométrie élémentaire de l'espace	13
Équations différentielles linéaires à coefficients constants	14
Systèmes linéaires	15
Dénombrement	17
Deuxième semestre	18
Nombres réels et suites numériques	18
Limites, continuité et dérivabilité	19
A - Limites et continuité	19
B - Dérivabilité	20
Intégration sur un segment	22
Développements limités	23
Polynômes	24
Calcul matriciel	25
Espaces vectoriels et applications linéaires	25
A - Espaces vectoriels	26
B - Espaces vectoriels de dimension finie	27
C - Applications linéaires et représentations matricielles	27
Probabilités sur un univers fini	29
Variables aléatoires sur un univers fini	30

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires technologiques TSI et TPC sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Objectifs de formation

Les étudiants des classes préparatoires doivent acquérir les compétences nécessaires aux scientifiques et technologues, qu'ils soient ingénieurs, chercheurs, enseignants, pour identifier les situations auxquelles ils sont confrontés, dégager les meilleures stratégies pour y faire face, prendre avec un recul suffisant des décisions dans un contexte complexe.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires technologiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher**, mettre en œuvre des stratégies : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies ;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer ;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique ...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre ;
- **raisonner**, argumenter : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture ;
- **calculer**, utiliser le langage symbolique : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main ou à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats ;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques, permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie, les sciences industrielles de l'ingénieur. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et sciences industrielles de l'ingénieur, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonner, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent ; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension-même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent. Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la géométrie apparaît à la fois comme un terrain propice à l'introduction de l'algèbre linéaire, mais aussi comme un champ d'utilisation des concepts développés dans ce domaine du programme ; les équations différentielles sont au cœur des activités de modélisation pour les sciences physiques et les sciences industrielles de l'ingénieur ; les probabilités permettent d'illustrer certains résultats d'analyse et justifient l'introduction du vocabulaire ensembliste.

C'est ainsi que le programme valorise les interprétations des concepts de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie et des probabilités en termes de paramètres modélisant l'état et l'évolution de systèmes mécaniques, physiques, chimiques ou industriels (mouvement, vitesse et accélération, signaux continus ou discrets, mesure des grandeurs mécaniques ou physiques...).

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions.

Les professeurs de mathématiques doivent régulièrement accéder aux laboratoires afin de favoriser l'établissement de liens forts entre la formation mathématique et les formations dispensées dans les enseignements scientifiques et technologiques. Cet accès permet de :

- prendre appui sur les situations expérimentales rencontrées dans ces enseignements ;
- connaître les logiciels utilisés et l'exploitation qui peut en être faite pour illustrer les concepts mathématiques ;
- prendre en compte les besoins mathématiques des autres disciplines.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il pourra s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un problème spécifique et la construction, pour le résoudre, d'outils conceptuels qui, pris ensuite par les mathématiciens comme objets d'étude, ont pu ultérieurement servir au traitement d'autres classes de problèmes.

Architecture et contenu du programme

Le programme s'en tient à un cadre et à un vocabulaire théorique bien délimités, mais suffisamment efficaces pour l'étude de situations usuelles, et assez riches pour servir de support à une formation solide.

Les programmes proposent des contenus équilibrés d'algèbre, d'analyse et de géométrie, auxquels s'ajoute un enseignement de probabilités visant à consolider les notions étudiées au lycée. Les probabilités permettent de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, d'établir des ponts avec les autres disciplines.

En cohérence avec l'introduction d'un enseignement d'algorithmique au lycée, le programme encourage la démarche algorithmique et le recours à l'outil informatique (calculatrices, logiciels). Il identifie un certain nombre d'algorithmes qui doivent être connus et pratiqués par les étudiants. Ceux-ci doivent également savoir utiliser les fonctionnalités graphiques des calculatrices et des logiciels.

La géométrie, en tant qu'outil de modélisation et de représentation, est intégrée à l'ensemble du programme, qui préconise le recours à des figures pour aborder l'algèbre linéaire et les fonctions de variable réelle.

Le choix a été fait d'introduire assez tôt dans l'année un module substantiel visant à consolider ou à introduire des pratiques de calcul (limites des fonctions, dérivation, calcul de primitives, résolution de certains types d'équations différentielles) avant d'introduire les théories sous-jacentes, afin d'en faciliter l'assimilation.

Le volume global du programme a été conçu pour libérer des temps dédiés à une mise en activité effective des étudiants. Cela doit être notamment la règle lors des séances de travaux dirigés et de travaux pratiques d'informatique.

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement que des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours. À l'intérieur de chaque semestre, le professeur conduit en toute liberté, dans le respect de la cohérence de la formation globale, l'organisation de son enseignement et le choix de ses méthodes. En particulier, la chronologie retenue dans la présentation des différentes sections du programme ne doit pas être interprétée comme un modèle de progression : afin de faciliter l'organisation du travail des étudiants et de montrer l'intérêt des notions étudiées, il convient d'en aborder l'enseignement en coordination avec les disciplines scientifiques et technologiques.

Programme

Vocabulaire ensembliste et méthodes de raisonnement

Cette section regroupe les différents points de vocabulaire, notations et raisonnements nécessaires aux étudiants pour la conception et la rédaction efficace d'une démonstration mathématique. Ces notions sont introduites de manière progressive et trouvent naturellement leur place dans les autres sections, en vue d'être acquises en fin de première année. Toute étude systématique de la logique ou de la théorie des ensembles est hors programme. Plusieurs groupes classiques étant rencontrés dans le cadre du programme, la terminologie associée peut être utilisée mais aucune connaissance théorique n'est exigible.

CONTENUS	CAPACITÉS & COMMENTAIRES
a) Rudiments de logique	
Quantificateurs.	L'emploi des quantificateurs en guise d'abréviation est exclu.
Connecteurs logiques : disjonction (ou), conjonction (et), implication, équivalence.	Les étudiants doivent savoir employer les quantificateurs et les connecteurs logiques pour formuler avec précision certains énoncés et leur négation.
b) Ensembles	
Appartenance, inclusion. Sous-ensemble (ou partie) de E . Ensemble vide. Opérations sur les parties d'un ensemble : réunion, intersection, complémentaire.	Démontrer une égalité, une inclusion de deux ensembles. Maîtriser le lien entre connecteurs logiques et opérations ensemblistes. Notations $E \setminus A$, \bar{A} , A^c .
Produit cartésien de deux ensembles, d'un nombre fini d'ensembles. Ensemble des parties d'un ensemble.	Un élément de E^p est appelé p -liste ou p -uplet d'éléments de E . Notation $\mathcal{P}(E)$.
c) Propriétés de \mathbb{N} et raisonnement par récurrence	
Propriétés de l'ensemble \mathbb{N} .	Les propriétés de l'addition, de la multiplication et de la relation d'ordre dans \mathbb{N} sont supposées connues. Toute construction et toute axiomatique de \mathbb{N} sont hors programme.
Toute partie non vide de \mathbb{N} a un plus petit élément. Toute partie majorée non vide de \mathbb{N} a un plus grand élément. Raisonnement par récurrence.	Dans la pratique, on se limite aux récurrences simple ou double. Les connaissances du cycle terminal sur les suites arithmétiques ou géométriques ou les calculs de sommes pourront servir de premier support d'étude, la mise en œuvre d'un raisonnement par récurrence trouvant progressivement sa place dans des situations variées du programme.
d) Autres méthodes de raisonnement	
Raisonnement par contraposition. Raisonnement par l'absurde. Principe d'analyse-synthèse.	Les étudiants doivent savoir distinguer condition nécessaire et condition suffisante. L'objectif est de donner une méthode de résolution détaillée pour les exemples du programme nécessitant ce type de raisonnement. On se limite à des exemples simples en évitant tout excès de technicité.

e) Applications

Application (ou fonction) d'un ensemble E dans un ensemble F . Graphe.

Notation $\mathcal{F}(E, F)$.

Le point de vue est intuitif : une application de E dans F associe à tout élément de E un unique élément de F .

Toute formalisation est hors programme.

Restriction.

Notation $f|_A$.

Image directe, image réciproque.

On évite tout développement technique sur la notion d'image réciproque. Notation $f^{-1}(B)$.

Composition.

Reconnaître une fonction composée.

Injection, surjection, bijection, réciproque d'une bijection.

Interpréter l'injectivité, la surjectivité et la bijectivité à l'aide du nombre de solutions de l'équation $f(x) = m$.

Application identité.

Premier semestre

Pratique calculatoire

Prenant appui sur les acquis de la classe de terminale, cette section a pour but de mettre en œuvre des techniques de calcul indispensables en mathématiques et dans les autres disciplines scientifiques. Les définitions précises et les constructions rigoureuses des notions de calcul intégral et différentiel sont étudiées ultérieurement. Le point de vue adopté ici est principalement pratique. Le professeur organise cette section de la façon qui lui semble la plus appropriée, en tenant compte des acquis des étudiants et des besoins des autres disciplines. Il est nécessaire d'insister sur ces notions tôt dans l'année afin de faciliter le reste de l'apprentissage.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Inégalités dans \mathbb{R}

Inégalités larges, inégalités strictes, intervalles de \mathbb{R} .
Compatibilité avec les opérations.
Résoudre des inéquations. Application à l'étude de la position relative de deux courbes.
Interpréter graphiquement une inéquation du type $f(x) \leq \lambda$.
L'objectif est une maîtrise élémentaire des inégalités.
Valeur absolue, inégalité triangulaire.

Dresser un tableau de signe.

Majoration, minoration et encadrement de sommes, de produits et de quotients.

Interpréter sur la droite réelle des inégalités du type $|x - a| \leq b$.

b) Équations, inéquations polynomiales

Ces notions sont nouvelles pour les étudiants.

Mise sous forme canonique d'un trinôme du second degré. Discriminant.
Équation du second degré à coefficients réels.
Factorisation d'un polynôme de degré 2.
Relation entre coefficients et racines des polynômes du second degré.

Recherche des racines complexes d'un polynôme à coefficients réels.

Déterminer le signe d'un trinôme.

Connaissant une racine, en déduire rapidement l'autre en utilisant les relations entre coefficients et racines.

Factorisation d'un polynôme dont une racine est connue.

Savoir factoriser un polynôme de degré inférieur ou égal à 3 dont une racine est connue.

c) Équations, inéquations trigonométriques

Cercle trigonométrique, valeurs usuelles.
Formules exigibles : $\cos(a \pm b)$, $\sin(a \pm b)$, $\cos(2a)$, $\sin(2a)$.
Formules de factorisation de $\cos(p) \pm \cos(q)$ et de $\sin(p) \pm \sin(q)$.
Lignes trigonométriques associées aux transformations $\frac{\pi}{2} \pm a$ et $\pi \pm a$.
Tangente d'un angle.
Arctangente d'un réel.

Trigonométrie dans un triangle rectangle.

Utiliser le cercle trigonométrique pour résoudre des équations et inéquations trigonométriques.

Linéarisation de $\cos^2(a)$ et $\sin^2(a)$.

Transformation de $a \cos(\omega t) + b \sin(\omega t)$ en $A \cos(\omega t + \varphi)$.

Introduction à la fonction arctan, comme permettant de trouver la solution de $\tan(x) = b$ dans $]-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}[$. Interprétation sur le cercle trigonométrique.

d) Calcul de limites en un point ou à l'infini

Les étudiants ont peu manipulé les limites au lycée et il convient d'avoir une approche progressive.

Limite d'une somme, d'un produit, d'un quotient, d'un inverse.

Exemples de formes indéterminées :

$$\infty - \infty; \quad 0 \times \infty; \quad 1^\infty; \quad \frac{0}{0}; \quad \frac{\infty}{\infty}.$$

Limites de référence :

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(x)}{x} \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\ln(1+x)}{x} \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\exp(x) - 1}{x}.$$

Croissances comparées.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^n}{\exp(x)} \text{ et } \lim_{x \rightarrow -\infty} x^n \exp(x) \text{ pour } n \in \mathbb{N}.$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln x}{x^n} \text{ et } \lim_{x \rightarrow 0} x^n \ln x \text{ pour } n \in \mathbb{N}.$$

Limite d'une fonction composée.

e) Calcul de dérivées, de primitives et d'intégrales

Ce paragraphe donne des résultats de calcul différentiel utiles aux autres disciplines scientifiques dès le premier semestre.

Dérivées des fonctions usuelles : $x \mapsto x^n$ avec $n \in \mathbb{Z}$, exp, ln, cos, sin.

Calculer une limite par encadrement ou par comparaison.

Ces limites sont l'occasion de varier les situations lors des recherches de limite. La démonstration n'est pas un attendu du premier trimestre.

Opérations : somme, produit, quotient, composée.
Dérivation de $t \mapsto \exp(\varphi(t))$ avec φ à valeurs dans \mathbb{C} .

Maîtriser le calcul des fonctions dérivées dans des cas simples.

Aucune étude théorique de la dérivation n'est abordée à ce stade.

Primitive sur un intervalle.

Reconnaître des expressions du type $\frac{u'}{u}$, $u' u^n$ avec $n \in \mathbb{N}^*$, $\frac{u'}{u^n}$, $u' \times (v' \circ u)$ où u et v sont des fonctions dérivables afin d'en calculer des primitives.

Intégrale d'une fonction sur un segment. Interprétation en terme d'aire sous la courbe. Linéarité de l'intégrale.

On s'appuie sur la formule $\int_a^b f(t) dt = F(b) - F(a)$, où F est une primitive de f sur $[a, b]$.

On illustre les exercices avec des situations issues des autres disciplines.

Aucune étude théorique n'est abordée à ce stade.

f) Sommes et produits

Le symbole de sommation a été introduit au lycée.

Notations et règles de calcul.

Effectuer un changement d'indice.

Sommes et produits télescopiques.

L'objectif est de faire acquérir aux étudiants une aisance dans la manipulation des symboles \sum et \prod sur des exemples de difficulté raisonnable.

Factorielle, coefficients binomiaux.

Notations $n!$, $\binom{n}{k}$ lue « k parmi n ».

Triangle de Pascal. Formule du binôme de Newton.

Les expressions de $\binom{n}{0}$, $\binom{n}{1}$, $\binom{n}{2}$ et $\binom{n}{n}$ sont à connaître.

Factorisation de $a^n - b^n$.

Exemple de calcul de sommes :

$$\sum_{k=0}^n k, \quad \sum_{k=0}^n q^k.$$

C'est l'occasion de remobiliser les résultats de la classe de terminale portant sur la somme des premiers termes d'une suite arithmétique ou géométrique.

Nombres complexes

L'objectif est de consolider et d'approfondir les acquis du cycle terminal. Le programme combine plusieurs aspects :

- équations algébriques (équations du second degré, racines n -ièmes d'un nombre complexe);
- interprétation géométrique des nombres complexes;
- exponentielle complexe et applications à la trigonométrie.

Il est recommandé d'illustrer le cours de nombreuses figures et de relier cette section aux besoins des disciplines scientifiques et technologiques. Les étudiants issus des filières STL n'ont pas abordé la notion de nombre complexe. Il convient d'adopter une approche adaptée à l'aide de l'accompagnement personnalisé.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Nombres complexes

Ensemble \mathbb{C} des nombres complexes. Parties réelle et imaginaire, forme algébrique. Opérations sur les nombres complexes. Conjugaison : définition, compatibilité avec les opérations.	La construction de \mathbb{C} est hors programme. Notations $\operatorname{Re}(z)$, $\operatorname{Im}(z)$.
Le plan étant muni d'un repère orthonormé, affixe d'un point, d'un vecteur et image d'un nombre complexe. Module d'un nombre complexe. Relation $ z ^2 = z\bar{z}$. Module d'un produit et d'un quotient. Inégalité triangulaire.	Interpréter géométriquement le conjugué d'un nombre complexe. Notation \bar{z} . On identifie \mathbb{C} au plan usuel muni d'un repère orthonormé direct. Interpréter géométriquement le module d'un nombre complexe. Interpréter géométriquement $ z - a $ pour $a, z \in \mathbb{C}$.

b) Nombres complexes de module 1

Identification du cercle trigonométrique et de l'ensemble des nombres complexes de module 1. Définition de $e^{i\theta}$ où $\theta \in \mathbb{R}$, formules d'Euler. Description des éléments de \mathbb{U} . Relation $e^{ia}e^{ib} = e^{i(a+b)}$. Formule de Moivre.	Notation \mathbb{U} . Factoriser $e^{ip} \pm e^{iq}$. Lien avec la factorisation de $\cos(p) + \cos(q)$. Linéariser et factoriser des expressions trigonométriques. Retrouver les expressions de $\cos(nt)$ et $\sin(nt)$ en fonction de $\cos(t)$ et $\sin(t)$ pour de petites valeurs de n . Il s'agit de consolider une pratique du calcul, en évitant tout excès de technicité.
---	---

c) Arguments d'un nombre complexe non nul

Arguments d'un nombre complexe non nul.	Écrire un nombre complexe non nul sous la forme $z = \rho e^{i\theta}$ où $\rho > 0$ et $\theta \in \mathbb{R}$ (forme exponentielle). Interpréter géométriquement un argument d'un nombre complexe.
Arguments d'un produit, d'un quotient.	Calcul d'un argument à l'aide de la fonction arctan. On interprétera géométriquement la multiplication d'un complexe par $e^{i\theta}$.

d) Exponentielle complexe

Définition de l'exponentielle d'un nombre complexe : $e^z = e^x e^{iy}$ où $z = x + iy$ et $x, y \in \mathbb{R}$. Relation $e^{z+z'} = e^z e^{z'}$.	Notations $\exp(z)$, e^z . Résoudre une équation du type $e^z = e^{z'}$.
---	---

e) Équation du second degré dans \mathbb{C}

Racines carrées d'un nombre complexe.	Déterminer les racines carrées d'un nombre complexe sous forme algébrique ou exponentielle.
Équation du second degré dans \mathbb{C} .	Résoudre une équation du second degré dans \mathbb{C} .

f) Racines n -ièmes

Racines de l'unité : définition, description, propriétés.	Représenter géométriquement les racines de l'unité. Notation \cup_n .
Description des racines n -ièmes d'un nombre complexe.	Résoudre l'équation $z^n = \lambda$ où $\lambda \in \mathbb{C}$.

Étude globale d'une fonction d'une variable réelle à valeurs réelles

Dans le prolongement du cycle terminal du lycée, on consolide dans cette section les méthodes d'étude et de représentation des fonctions réelles d'une variable réelle. Le champ des fonctions mobilisables est étendu : aux fonctions exponentielle et logarithme népérien et aux fonctions trigonométriques, étudiées en classe de terminale, on ajoute les fonctions puissances et les fonctions trigonométriques réciproques. Cette section est naturellement à relier aux disciplines scientifiques et technologiques.

a) Généralités sur les fonctions d'une variable réelle à valeurs dans \mathbb{R}

Ensemble de définition d'une fonction.	C'est l'occasion de faire travailler la notion de composition de fonction et la résolution d'inéquations.
Représentation graphique d'une fonction.	Représenter graphiquement une fonction donnée par son expression. Représenter graphiquement $x \mapsto f(x) + a$, $x \mapsto f(x \pm a)$, $x \mapsto f(ax)$ et $x \mapsto af(x)$ à partir du graphe de f .
Fonctions paires, impaires, périodiques. Somme, produit, quotient, composée. Monotonie.	Interpréter géométriquement ces propriétés.
Fonctions majorées, minorées, bornées.	Interpréter géométriquement ces propriétés. Une fonction f est bornée si et seulement si $ f $ est majorée.
Extremum global, extremum local.	C'est l'occasion d'établir des encadrements à partir d'études de signe.

b) Comportement asymptotique d'une fonction

Asymptotes horizontales, verticales.	Interprétation graphique.
--------------------------------------	---------------------------

c) Dérivation

Nombre dérivé en un point. Fonction dérivable en un point. Équation de la tangente en un point. Application à l'étude des variations ou du signe d'une fonction.	Interprétation géométrique du nombre dérivé. Dresser le tableau de variation d'une fonction. Faire le lien entre injectivité et stricte monotonie. Un tableau de variation clairement présenté, accompagné de la détermination du signe de la dérivée et des valeurs ou limites aux bornes, vaut justification de bijectivité.
Fonction réciproque.	Tracer le graphe d'une fonction réciproque. Calculer la dérivée d'une fonction réciproque. Les formules sont admises et pourront être démontrées au second semestre. La formule peut être illustrée graphiquement.

d) Étude d'une fonction

Plan d'étude d'une fonction.

Déterminer les symétries et les périodicités afin de réduire l'ensemble d'étude d'une fonction.
 Déterminer les variations et les limites d'une fonction.
 Déterminer les extremums éventuels d'une fonction.
 Tracer le graphe d'une fonction.
 Obtenir des inégalités grâce à une étude de fonction.
 Les asymptotes ainsi que la position des tangentes par rapport à la courbe seront traitées ultérieurement comme des applications des développements limités.

e) Fonctions usuelles

Racine carrée. Dérivée.

Valeur absolue.

Partie entière. Notation $\lfloor x \rfloor$.

Étude des fonctions exponentielle, logarithme népérien, puissances.

Les étudiants doivent savoir représenter graphiquement ces fonctions.

Déterminer la dérivée, les variations et le graphe de ces fonctions.

Les fonctions puissances sont définies sur \mathbb{R}_+^* et prolongées en 0 le cas échéant. Seules les fonctions puissances entières sont en outre définies sur \mathbb{R}_-^* .

On introduit la notation $\sqrt[n]{x}$ pour $x > 0$, sans développement.

Relations $(xy)^\alpha = x^\alpha y^\alpha$, $x^{\alpha+\beta} = x^\alpha x^\beta$, $(x^\alpha)^\beta = x^{\alpha\beta}$

Déterminer la dérivée, les variations et le graphe de ces fonctions.

Fonctions circulaires directes et réciproques : rappels sur les fonctions cos et sin, définition et étude des fonctions tan, arcsin, arccos, arctan.

Les formules du type $\sin(\arccos x)$ ne sont pas à connaître.

Croissances comparées des fonctions logarithme népérien, puissances et exponentielle.

Comparer les fonctions au voisinage de l'infini.

Les fonctions hyperboliques sont hors programme.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^\alpha}{\exp(\beta x)} \text{ et } \lim_{x \rightarrow -\infty} x \cdot \exp(\beta x) \text{ pour } \alpha > 0 \text{ et } \beta > 0.$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln x}{x^\alpha} \text{ et } \lim_{x \rightarrow 0} x^\alpha \ln x \text{ pour } \alpha > 0.$$

Géométrie élémentaire du plan

À l'issue de la terminale, les étudiants connaissent le plan géométrique euclidien en tant qu'ensemble de points, la façon d'associer à deux points A et B le vecteur \overrightarrow{AB} , ainsi que les propriétés opératoires usuelles. Il convient d'observer que tout vecteur s'exprime comme combinaison linéaire de deux vecteurs indépendants, c'est-à-dire non colinéaires. Dans le plan, les notions suivantes sont supposées connues : calcul vectoriel, distance euclidienne, orthogonalité, repère orthonormé, angles. La donnée d'un repère orthonormé identifie le plan à \mathbb{R}^2 ou à \mathbb{C} . La géométrie joue un rôle essentiel en mathématiques et dans les disciplines scientifiques et technologiques ; elle est au cœur des compétences de modélisation et de représentation. Cette section doit être traitée en liaison avec les autres disciplines.

a) Repérage dans le plan

Repère orthonormé (ou orthonormal).

Coordonnées cartésiennes.

On peut introduire à cette occasion le vocabulaire relatif à l'algèbre linéaire : famille libre, famille liée, vecteurs linéairement indépendants, vecteurs colinéaires.

Changement de repère par translation.

b) Barycentre

La notion de barycentre est introduite en vue des autres disciplines et est l'occasion de manipuler les vecteurs.

Systèmes de points pondérés et barycentre d'un système de points pondérés.

Construire le barycentre d'un système d'au plus 4 points du plan.

Coordonnées du barycentre dans un repère du plan.

L'associativité du barycentre est hors programme.
Illustration pour le cas de l'isobarycentre de deux ou trois points.

c) Produit scalaire

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non nuls alors

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \cos(\vec{u}, \vec{v})$$

Interpréter le produit scalaire en termes de projections orthogonales.

et $\vec{u} \cdot \vec{v} = 0$ sinon.

Bilinéarité, symétrie.

Exprimer le produit scalaire dans une base orthonormée.

Caractériser l'orthogonalité de deux vecteurs.

Déterminer une mesure d'un angle non orienté.

Démonstrations non exigibles.

Dans une base orthonormée (\vec{i}, \vec{j}) , décomposition

$$\vec{u} = (\vec{u} \cdot \vec{i}) \vec{i} + (\vec{u} \cdot \vec{j}) \vec{j}.$$

d) Déterminant dans une base orthonormée directe

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non nuls alors

$$\det(\vec{u}, \vec{v}) = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \sin(\vec{u}, \vec{v})$$

Interpréter la valeur absolue du déterminant en termes d'aire d'un parallélogramme.

Caractériser la colinéarité de deux vecteurs.

et $\det(\vec{u}, \vec{v}) = 0$ sinon.

La notion d'orientation du plan est admise, ainsi que celle de base orthonormée directe.

Bilinéarité, antisymétrie.

Calculer le déterminant dans une base orthonormée directe.

Démonstrations non exigibles.

Notation : $\begin{vmatrix} x & x' \\ y & y' \end{vmatrix}$

e) Droites

Définition, vecteur directeur, vecteur normal.

Équation cartésienne et système d'équations paramétriques.

Projeté orthogonal d'un point sur une droite.

Distance d'un point à une droite.

Passer d'une représentation paramétrique à une représentation cartésienne et inversement.

Déterminer l'intersection de deux droites.

Déterminer le projeté orthogonal d'un point sur une droite.

Application au calcul de la distance d'un point à une droite.

Aucune formule de distance d'un point à une droite n'est au programme.

f) Cercles

Définition, équation cartésienne.

Représentation paramétrique

Reconnaître une équation cartésienne de cercle.

Déterminer une équation d'un cercle à partir de son centre et de son rayon.

Déterminer le centre et le rayon d'un cercle à partir d'une équation.

Géométrie élémentaire de l'espace

Dans cette section, on adapte à l'espace les notions étudiées dans la section de géométrie plane. L'étude de ce contenu mathématique nouveau s'appuie de façon essentielle sur la section de géométrie plane et sur l'intuition géométrique développée dans les autres disciplines. Des notions telles que le repérage dans l'espace et le produit vectoriel doivent être abordées en concertation avec les professeurs des disciplines scientifiques et technologiques.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Repérage dans l'espace

Repère orthonormé (ou orthonormal) de l'espace; coordonnées cartésiennes.

Maîtriser le lien entre la géométrie pure et la géométrie repérée.

On peut à nouveau utiliser le vocabulaire relatif à l'algèbre linéaire : famille libre, famille liée, vecteurs linéairement indépendants, vecteurs colinéaires, vecteurs coplanaires.

b) Produit scalaire

Définition géométrique.
Bilinéarité, symétrie.

Exprimer le produit scalaire dans une base orthonormée directe.

Démonstrations hors programme.

Si $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ est une base orthonormée de l'espace, pour tout vecteur \vec{u} :

$$\vec{u} = (\vec{u} \cdot \vec{i}) \vec{i} + (\vec{u} \cdot \vec{j}) \vec{j} + (\vec{u} \cdot \vec{k}) \vec{k}.$$

c) Produit vectoriel dans l'espace orienté

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non colinéaires, le produit vectoriel de \vec{u} et \vec{v} est

$$\vec{u} \wedge \vec{v} = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \sin(\vec{u}, \vec{v}) \vec{k}$$

avec \vec{k} unitaire et directement orthogonal à (\vec{u}, \vec{v}) ; si non le produit vectoriel est le vecteur nul.

Bilinéarité, antisymétrie.

La notion d'orientation de l'espace, reposant sur les conventions physiques usuelles, est admise.

Déterminer si deux vecteurs sont colinéaires.

Exprimer les coordonnées du produit vectoriel dans une base orthonormée directe.

Démonstrations hors programme.

d) Déterminant dans l'espace orienté muni d'une base orthonormée directe

Définition du déterminant de trois vecteurs :

$$\det(\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}) = (\vec{u} \wedge \vec{v}) \cdot \vec{w}.$$

Déterminer si trois vecteurs sont coplanaires.

Interpréter $|\det(\vec{u}, \vec{v}, \vec{w})|$ comme volume du parallélépipède construit sur $\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$.

Exprimer le déterminant dans une base orthonormée directe.

Notation :
$$\begin{vmatrix} x & x' & x'' \\ y & y' & y'' \\ z & z' & z'' \end{vmatrix}.$$

Développement du déterminant selon la troisième colonne, en lien avec la définition.

Démonstrations hors programme.

Trilinéarité, antisymétrie.

e) Plans et droites

Différents modes de définition d'un plan : par un point et deux vecteurs non colinéaires, un point et un vecteur normal, trois points non alignés.

Déterminer une équation cartésienne ou un système d'équations paramétriques d'un plan. Passer d'une représentation à l'autre.

Différents modes de définition d'une droite : par un point et un vecteur directeur, par deux points distincts, comme intersection de deux plans.

Projeté orthogonal d'un point sur une droite ou un plan.
Distance d'un point à un plan, distance d'un point à une droite.

Déterminer un vecteur directeur d'une droite définie comme intersection de deux plans.

Déterminer un système d'équations cartésiennes ou un système d'équations paramétriques d'une droite.

Passer d'une représentation à l'autre.

Étudier les intersections.

Déterminer le projeté orthogonal d'un point sur une droite, sur un plan.

Application au calcul de distances.

Aucune formule de distance d'un point à une droite ou à un plan n'est au programme.

f) Sphères

Définition, équation cartésienne dans un repère ortho-normé.

Reconnaître une équation cartésienne de sphère.

Déterminer une équation d'une sphère à partir de son centre et de son rayon.

Déterminer le centre et le rayon d'une sphère à partir d'une équation.

Déterminer l'intersection d'une sphère et d'un plan.

Équations différentielles linéaires à coefficients constants

En classe de terminale, les étudiants ont étudié des exemples simples d'équations différentielles linéaires à coefficients constants du premier ordre. Il s'agit dans cette section de consolider et d'étendre cette étude. Les équations différentielles sont un domaine à la fois très riche pour les mathématiques, pour la physique-chimie et les sciences industrielles de l'ingénieur. Cette section doit être traitée en concertation avec les professeurs des autres disciplines afin de l'illustrer par des exemples issus des domaines scientifiques et technologiques.

a) Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficient constant

Équation $y' + ay = b(x)$ où $a \in \mathbb{R}$ ou \mathbb{C} et où b est une fonction continue sur un intervalle de \mathbb{R} , à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

Principe de superposition.

Description de la solution générale de l'équation avec second membre comme la somme de la solution générale de l'équation homogène et d'une solution particulière.

Existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Équation $y' + ay = b$ où a et b sont deux éléments de \mathbb{R} et problème de Cauchy associé.

Écrire et résoudre l'équation homogène associée.

Détermination d'une solution particulière dans le cas d'un second membre de la forme $Ae^{\lambda x}$ avec $(A, \lambda) \in \mathbb{R}^2$ ou de la forme $A \cos(\omega x) + B \sin(\omega x)$ avec $(A, B, \omega) \in \mathbb{R}^3$.

Aucune technique n'est exigible pour toute autre forme de second membre.

Les étudiants doivent savoir étudier des équations dans lesquelles la variable et la fonction inconnue sont représentées par d'autres lettres que x et y .

Démonstration hors programme.

Détermination de la solution vérifiant une condition initiale donnée.

Les solutions relèvent des automatismes de calcul.

b) Équations différentielles linéaires du second ordre à coefficients constants

Équation différentielle linéaire du second ordre à coefficients constants $y'' + ay' + by = f(x)$ où a et b sont des nombres réels et f est une application continue à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

Donner l'équation caractéristique.

Résoudre l'équation homogène.

Principe de superposition. Description de la solution générale de l'équation avec second membre comme la somme de la solution générale de l'équation homogène et d'une solution particulière.

Existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Équation $y'' \pm \omega^2 y = 0$ où $\omega \in \mathbb{R}$ et problème de Cauchy associé.

Détermination d'une solution particulière dans le cas d'un second membre de la forme $Ae^{\lambda x}$ avec $(A, \lambda) \in \mathbb{R}^2$ ou de la forme $A \cos(\omega x) + B \sin(\omega x)$ avec $(A, B, \omega) \in \mathbb{R}^3$. Aucune technique n'est exigible pour toute autre forme de second membre.

Démonstration hors programme.

Détermination de la solution vérifiant une condition initiale donnée.

Les solutions relèvent des automatismes de calcul.

Systemes linéaires

Il s'agit d'introduire des notions nouvelles pour les étudiants, qui ne les ont pas rencontrées dans le cycle terminal du lycée. L'objectif est double :

- maîtriser la théorie des systèmes linéaires du point de vue de la méthode du pivot, pour son intérêt mathématique et algorithmique, ainsi que pour ses applications aux disciplines scientifiques et technologiques;
- préparer l'introduction de l'algèbre linéaire abstraite, abordée au 2^e semestre.

Les résultats, présentés dans le cadre des systèmes à coefficients réels, sont étendus sans difficulté au cas des systèmes à coefficients complexes.

a) Systemes linéaires

Définition d'un système linéaire de n équations à p inconnues.

Système homogène.

Matrice A d'un système linéaire; matrice augmentée $(A|B)$ où B est la colonne des seconds membres.

Opérations élémentaires sur les lignes d'un système ou d'une matrice : échange des lignes L_i et L_j , multiplication de L_i par $\lambda \neq 0$, ajout de λL_j à L_i pour $i \neq j$.

Deux systèmes sont dits équivalents si on passe de l'un à l'autre par une suite finie d'opérations élémentaires sur les lignes.

Deux systèmes équivalents ont le même ensemble de solutions.

Deux matrices sont dites équivalentes en lignes si elles se déduisent l'une de l'autre par une suite finie d'opérations élémentaires sur les lignes.

Si on passe d'un système \mathcal{S} à un autre système \mathcal{S}' par une suite finie d'opérations élémentaires sur les lignes, la matrice augmentée de \mathcal{S}' s'obtient en effectuant la même suite d'opérations élémentaires sur la matrice augmentée de \mathcal{S} .

Reconnaître qu'un système donné est un système linéaire.

Les solutions sont définies comme éléments de \mathbb{R}^p .

Système homogène associé à un système quelconque.

Calculer le produit d'une matrice par une colonne. Écrire un système sous la forme matricielle $AX = B$.

Interpréter les opérations sur les lignes en termes de système linéaire.

Notations $L_i \leftrightarrow L_j$, $L_i \leftarrow \lambda L_i$ et $L_i \leftarrow L_i + \lambda L_j$.

Relier cette notion à la théorie des systèmes linéaires.

Notation $A \underset{L}{\sim} A'$.

Cela justifie la présentation matricielle d'un système linéaire.

b) Échelonnement et algorithme du pivot de Gauss-Jordan

Une matrice est dite échelonnée en lignes si elle vérifie les deux propriétés suivantes :

1. si une ligne est entièrement nulle, toutes les lignes suivantes le sont aussi;
2. à partir de la deuxième ligne, dans chaque ligne non entièrement nulle, le premier coefficient non nul à partir de la gauche est situé à droite du premier coefficient non nul de la ligne précédente.

Une matrice échelonnée en lignes est dite échelonnée réduite en lignes lorsque tous les pivots sont égaux à 1 et sont les seuls éléments non nuls de leur colonne.

Toute matrice non nulle est équivalente en lignes à une matrice échelonnée réduite en lignes.

Reconnaître et exploiter des matrices échelonnées dans le cadre de l'étude de systèmes linéaires.

Un schéma en « escalier » illustre la notion de matrice échelonnée.

On appelle pivot le premier coefficient non nul de chaque ligne non entièrement nulle.

Déterminer la matrice échelonnée réduite en lignes associée à un système donné.

L'unicité est admise.

c) Résolution d'un système linéaire

Inconnues principales et inconnues secondaires (paramètres).

Rang d'un système linéaire.

Rang d'une matrice.

Système incompatible. Système compatible.

Structure de l'ensemble des solutions d'un système compatible.

Caractérisation du nombre de solutions par le rang.

Cas particulier des systèmes carrés.

Faire le lien entre nombre d'équations, nombre d'inconnues et nombre de pivots.

L'invariance du nombre de pivots est admise.

Le rang est ici défini comme égal au nombre de pivots.

Déterminer des conditions de compatibilité pour un système donné.

Résoudre un système compatible.

Il s'agit ici de préparer l'étude et la caractérisation des familles libres et des isomorphismes.

d) Famille de vecteurs de \mathbb{R}^n

Combinaison linéaire d'une famille finie \mathcal{F} de vecteurs. Famille libre, famille liée.

Si A est la matrice dont les colonnes sont les coordonnées de p vecteurs u_1, u_2, \dots, u_p de \mathbb{R}^n , les propriétés suivantes sont équivalentes :

- la famille (u_1, \dots, u_p) est libre;
- le système $AX = 0$ a pour seule solution la solution triviale;
- le rang est à égal à p .

Famille génératrice de \mathbb{R}^n .

Si A est la matrice dont les colonnes sont les coordonnées de p vecteurs u_1, u_2, \dots, u_p de \mathbb{R}^n , les propriétés suivantes sont équivalentes :

- les vecteurs u_1, \dots, u_p forment une famille génératrice de \mathbb{R}^n ;
- pour toute matrice colonne B à n lignes, le système $AX = B$ est compatible;
- le rang est à égal à n .

Notation $\text{Vect}(\mathcal{F})$.

Déterminer si une famille de vecteurs est libre ou liée.

L'équivalence de ces trois propriétés dans un cadre général et formel n'est pas un attendu du programme. En revanche, sa mise en œuvre sur des exemples permet d'illustrer le changement entre les registres suivants : familles de vecteurs, matrices, systèmes.

Déterminer un système d'équations linéaires de $\text{Vect}(u_1, \dots, u_p)$.

Donner une interprétation géométrique dans les cas $n = 2$ et $n = 3$.

L'équivalence de ces trois propriétés dans un cadre général et formel n'est pas un attendu du programme. En revanche, sa mise en œuvre sur des exemples permet d'illustrer le changement entre les registres suivants : familles de vecteurs, matrices, systèmes.

Dénombrement

Cette section a pour but de présenter les bases du dénombrement, notamment en vue de l'étude des probabilités. Toute formalisation excessive est exclue. En particulier :

- on adopte un point de vue intuitif pour la définition d'un ensemble fini et la notion de cardinal;
- parmi les propriétés du paragraphe a), les plus intuitives sont admises sans démonstration;
- l'utilisation systématique de bijections dans les problèmes de dénombrement n'est pas un attendu du programme.

Cette section est également l'occasion d'aborder les coefficients binomiaux sous un autre angle que celui de la section « Pratique calculatoire ».

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Cardinal d'un ensemble fini

Cardinal d'un ensemble fini non vide. L'ensemble vide est de cardinal nul.

Notations $|A|$, $\text{Card}(A)$.

Cardinal d'une partie d'un ensemble fini, cas d'égalité. Une application entre deux ensembles finis de même cardinal est bijective si et seulement si elle est injective, si et seulement si elle est surjective.

Maîtriser le langage des applications et des bijections dans le cadre des ensembles finis, et le relier aux notions élémentaires sur le dénombrement.

Cardinal d'une union disjointe, de l'union de deux ensembles, d'un complémentaire, d'un produit cartésien. Cardinal de l'ensemble des parties d'un ensemble fini.

La formule du crible est hors programme.

b) Dénombrement

Nombre de p -uplets (ou p -listes) d'éléments distincts d'un ensemble à n éléments.

Reconnaître des situations relevant de ce cadre.

La notation A_n^p est hors programme.

Nombre de permutations d'un ensemble à n éléments.

Nombre de parties à p éléments d'un ensemble à n éléments.

Reconnaître des situations de dénombrement relevant de ce cadre.

Donner une interprétation combinatoire des propriétés suivantes :

$$\binom{n}{p} = \binom{n}{n-p}; \quad \sum_{p=0}^n \binom{n}{p} = 2^n; \quad \binom{n-1}{p-1} + \binom{n-1}{p} = \binom{n}{p}.$$

Deuxième semestre

Nombres réels et suites numériques

L'objectif est d'énoncer les propriétés fondamentales de la droite réelle, et de les appliquer à l'étude des suites, qui interviennent en mathématiques tant pour leur intérêt pratique (modélisation de phénomènes discrets) que théorique (approximations de nombres réels). Les notions de borne supérieure et inférieure sont introduites uniquement pour aboutir au théorème de la limite monotone.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Nombres réels

Ensembles usuels de nombres : entiers relatifs, nombres décimaux, nombres rationnels.
Droite réelle.

La construction de ces ensembles de nombres est hors programme.
Faire le lien avec la géométrie.
La construction de \mathbb{R} est hors programme.

Distance entre deux réels.
La relation d'ordre \leq dans \mathbb{R} . Majorant, maximum, minorant, minimum. Borne supérieure, borne inférieure.
Toute partie majorée (resp. minorée) non vide de \mathbb{R} admet une borne supérieure (resp. inférieure).
Caractérisation des intervalles de \mathbb{R} ; une partie I de \mathbb{R} est un intervalle si et seulement si, pour tout $(a, b) \in I^2$ avec $a < b$, $[a, b] \subset I$.

Cas d'une partie de \mathbb{R} , puis d'une fonction réelle.
Résultat admis.
Aucun développement n'est attendu.

b) Généralités sur les suites réelles

Modes de définition d'une suite.

Reconnaître une suite définie de façon explicite, implicite ou par récurrence. Reconnaître une suite extraite.
Représenter les termes d'une suite du type $u_{n+1} = f(u_n)$.
Toute étude d'une telle suite doit être guidée.

Opérations.
Monotonie, stricte monotonie.
Suite minorée, majorée, bornée.

Manipuler sur des exemples des majorations et minoration.
Une suite (u_n) est bornée si et seulement si $(|u_n|)$ est majorée.
En terminale technologique, les suites géométriques n'ont été vues qu'avec des raisons positives.

Suite arithmétique, suite géométrique.

c) Limite d'une suite réelle

Limite finie ou infinie d'une suite.
Unicité de la limite.

Les définitions sont énoncées avec des inégalités larges.
Notations $u_n \rightarrow \ell$, $\lim u_n$.

Suite convergente, divergente.
Toute suite réelle convergente est bornée.
Si une suite possède une limite (finie ou infinie) alors toutes ses suites extraites possèdent la même limite.
Si les suites (u_{2n}) et (u_{2n+1}) convergent vers la même limite alors la suite (u_n) converge vers cette limite commune.
Opérations sur les limites de suites : somme, multiplication par un scalaire, produit, inverse.
Cas des suites géométriques, arithmétiques.
Passage à la limite dans une inégalité.

Montrer la divergence d'une suite à l'aide de suites extraites.
Lever une indétermination.

d) Théorèmes d'existence d'une limite

Théorèmes de convergence par encadrement.

On pourra montrer l'existence d'une limite ℓ en majorant $|u_n - \ell|$, notamment lorsque la suite vérifie une inégalité du type : $|u_{n+1} - \ell| \leq M|u_n - \ell|$.

Divergence par comparaison : si (u_n) tend vers $+\infty$ et si, pour tout n , on a $u_n \leq v_n$, alors (v_n) vers $+\infty$.
Théorème de la limite monotone.
Théorème des suites adjacentes.

Adapter cet énoncé aux suites tendant vers $-\infty$.

Exploiter ce théorème sur des exemples.
Il convient d'insister sur l'intérêt algorithmique de cette notion : résolution approchée par dichotomie d'une équation du type $f(x) = 0$.

e) Comparaisons de suites

Relations de comparaison : domination, négligeabilité, équivalence.

Notation $u_n = O(v_n)$, $u_n = o(v_n)$ et $u_n \sim v_n$.
On définit ces relations à partir du quotient $\frac{u_n}{v_n}$ en supposant que la suite (v_n) ne s'annule pas à partir d'un certain rang.

Croissances comparées des suites usuelles : $\ln^\beta(n)$, n^α et $e^{\gamma n}$.

Traduire les croissances comparées à l'aide de o .

Lien entre les différentes relations de comparaison.

Équivalence entre les relations $u_n \sim v_n$ et $u_n - v_n = o(v_n)$.

Compatibilité de l'équivalence avec le produit, le quotient, les puissances.

Exploiter ces résultats pour déterminer le comportement asymptotique de suites.

Toute autre opération sur les équivalents est hors programme.

Propriétés conservées par équivalence : signe, limite.

Limites, continuité et dérivabilité

Cette section est divisée en deux parties, consacrées aux limites et à la continuité pour la première, au calcul différentiel pour la seconde. On y formalise les résultats qui ont été utilisés d'un point de vue calculatoire au premier semestre.

Dans de nombreuses questions de nature qualitative, on visualise une fonction par son graphe. Il convient de souligner cet aspect géométrique en ayant recours à de nombreuses figures.

Les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} non vide et non réduit à un point et sont à valeurs réelles.

Dans un souci d'unification, on dit qu'une propriété portant sur une fonction f définie sur I est vraie au voisinage de a si elle est vraie sur l'intersection de I avec un intervalle ouvert centré sur a si a est réel, avec un intervalle $[A, +\infty[$ si $a = +\infty$, avec un intervalle $] -\infty, A]$ si $a = -\infty$.

A - Limites et continuité

L'essentiel du paragraphe qui suit consiste à adapter au cadre continu les notions déjà abordées pour les suites. Le professeur a la liberté d'admettre certains résultats.

a) Limite finie ou infinie en un point ou en $\pm\infty$

Étant donné un point a appartenant à I ou extrémité de I , limite finie ou infinie d'une fonction en a .

Maîtriser le formalisme mathématique de la définition de la limite et le mettre en relation avec l'intuition géométrique.

Les définitions sont énoncées avec des inégalités larges.

Notations $f(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} \ell$, $f(x) \xrightarrow{x \rightarrow \pm\infty} \ell$.

Notation $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = \ell$.

Unicité de la limite.

Si f admet une limite finie en a , alors f est bornée au voisinage de a .

Aucun formalisme n'est attendu sur la notion de voisinage.

Limite à droite, limite à gauche.

Notations $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x)$ ou $\lim_{x \rightarrow a^-} f(x)$.

Extension de la notion de limite en a lorsque f est définie sur $I \setminus \{a\}$.

Image d'une suite de limite ℓ par une fonction admettant une limite en ℓ .

Montrer qu'une fonction n'admet pas de limite à l'aide de deux suites.

b) Comparaison de fonctions

Passage à la limite dans une inégalité. Théorème d'encadrement pour les fonctions.

Théorème de la limite monotone.

Relations de domination, de négligeabilité et d'équivalence.

Démonstration non exigible.

Adapter au cas des fonctions les définitions et les résultats étudiés sur les suites.

c) Continuité en un point

Continuité de f en un point a de I .

Maîtriser le formalisme mathématique de la définition de la continuité.

La continuité de f au point a de I est définie par la relation $f(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} f(a)$.

Continuité à droite et à gauche.

Prolongement par continuité en un point.

Pour a n'appartenant pas à I , la fonction f se prolonge par continuité en a si et seulement si elle admet une limite finie en a .

Opérations sur les fonctions continues : somme, produit, quotient, composition.

Exploiter ces résultats sur des exemples.

On pourra en profiter pour introduire la notion de stabilité d'un ensemble par combinaison linéaire sans évocation particulière de structure vectorielle.

d) Continuité sur un intervalle

Définition. Opérations. Ensemble $\mathcal{C}(I, \mathbb{R})$.

Théorème des valeurs intermédiaires. Image d'un intervalle par une fonction continue.

Appliquer le procédé de dichotomie à l'approximation d'un zéro d'une fonction continue.

Démonstration hors programme.

Une fonction continue sur un segment est bornée et atteint ses bornes.

Démonstration hors programme.

e) Continuité et bijectivité

Toute fonction f continue et strictement monotone sur un intervalle I réalise une bijection de I sur l'intervalle $f(I)$; sa réciproque est continue et strictement monotone sur $f(I)$ (de même monotonie que la fonction f).

Appliquer ce résultat sur des exemples.

Comparer la représentation graphique d'une fonction continue strictement monotone et celle de sa réciproque. Démonstration hors programme.

B - Dérivabilité**a) Nombre dérivé, fonction dérivée**

Dérivabilité de f en a , nombre dérivé.

Étudier la dérivabilité d'une fonction en un point particulier, à partir de la définition.

Notation $f'(a)$.

Équivalence avec l'existence d'un développement limité en a à l'ordre 1.

La droite d'équation

$$y = f(a) + f'(a)(x - a)$$

est appelée tangente au graphe de f au point d'abscisse a . Cette définition peut être justifiée (limite de sécantes). Interprétation cinématique.

Dérivabilité à droite et à gauche en a .

Dérivabilité d'une fonction sur un intervalle.

b) Opérations sur les fonctions dérivables

Si f et g sont dérivables en a , dérivabilité et dérivée en a de $f + g$, fg et, si $g(a) \neq 0$, de $\frac{f}{g}$.

Dérivabilité et dérivée en a de $g \circ f$ lorsque f est dérivable en a et g est dérivable en $f(a)$.

Si f est une fonction continue et strictement monotone (donc bijective) de l'intervalle I sur l'intervalle $J = f(I)$ et si f est dérivable en a , condition nécessaire et suffisante de dérivabilité de f^{-1} en $f(a)$ et calcul de la dérivée en ce point.

Extension des résultats précédents aux fonctions dérivables sur un intervalle. En particulier, propriétés de la réciproque d'une bijection de classe \mathcal{C}^1 .

Interprétation géométrique de la formule de la dérivée de la fonction réciproque.

c) Propriétés des fonctions dérivables

Notion d'extremum local. Condition nécessaire d'extremum local en un point intérieur.

Théorème de Rolle.

Égalité des accroissements finis.

Inégalité des accroissements finis : si f est dérivable sur un intervalle I et si, pour tout $t \in I$, $|f'(t)| \leq M$, alors

$$\text{pour tous } x, y \text{ de } I, |f(y) - f(x)| \leq M|y - x|.$$

Caractérisation des fonctions constantes, croissantes, strictement croissantes, parmi les fonctions dérivables sur un intervalle.

Utiliser le théorème de Rolle pour établir l'existence de zéros d'une fonction. Démonstration non exigible.

Interpréter ce résultat de manière géométrique et cinématique.

Le théorème de la limite de la dérivée est hors programme.

Appliquer ces résultats sur des exemples.

d) Fonctions de classe \mathcal{C}^k

Fonction de classe \mathcal{C}^k sur un intervalle I , où k appartient à $\mathbb{N} \cup \{\infty\}$.

Opérations : combinaison linéaire, produit (formule de Leibniz), quotient, composée, réciproque.

Ensemble $\mathcal{C}^k(I, \mathbb{R})$.

Maîtriser le calcul des fonctions dérivées. Les démonstrations relatives à la composition et à la réciproque ne sont pas exigibles.

Intégration sur un segment

L'objectif de cette section est de consolider, d'approfondir et d'étendre la notion d'intégrale étudiée au lycée. La présentation de l'intégrale d'une fonction positive sur un segment s'appuie sur la notion d'aire, mais tout développement théorique sur ce sujet est hors programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Intégrale d'une fonction continue sur un segment

Intégrale $\int_a^b f$ d'une fonction f continue sur un segment $[a, b]$.

Valeur moyenne.

Inégalité $\left| \int_a^b f \right| \leq \int_a^b |f|$.

Relation de Chasles.

Une fonction continue et positive sur $[a, b]$ (où $a < b$) est nulle si et seulement si son intégrale est nulle.

Interpréter géométriquement l'intégrale d'une fonction positive (aire sous la courbe).

Modéliser une situation physique par une intégration.

La construction est hors programme.

Notations $\int_a^b f(t) dt$ ou $\int_a^b f$.

Interprétation graphique.

Majorer et minorer une intégrale.

Extension de la notation $\int_a^b f(t) dt$ au cas où $b \leq a$.

b) Sommes de Riemann et méthode des rectangles

Si f est une fonction continue de $[a, b]$ (où $a < b$) dans \mathbb{C} , alors

$$\frac{b-a}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f\left(a + k \frac{b-a}{n}\right) \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} \int_a^b f(t) dt.$$

Interpréter géométriquement cette propriété.

Démonstration dans le cas d'une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

Approximer une intégrale par la méthode des rectangles ou la méthode des trapèzes.

On pourra à cette occasion donner une justification numérique de la valeur moyenne.

c) Calcul intégral

Si f est une fonction continue sur I et si x_0 est un point de cet intervalle, alors

$$x \mapsto \int_{x_0}^x f(t) dt.$$

est l'unique primitive de f sur I s'annulant en x_0 .

En particulier, toute fonction continue sur I admet des primitives sur I .

Calcul d'une intégrale au moyen d'une primitive. Pour f de classe \mathcal{C}^1 :

$$\int_a^b f'(t) dt = f(b) - f(a).$$

Intégration par parties.

Changement de variable : si φ est de classe \mathcal{C}^1 sur I et si f est continue sur $\varphi(I)$, alors, pour tous a et b dans I ,

$$\int_{\varphi(a)}^{\varphi(b)} f(x) dx = \int_a^b f(\varphi(t)) \varphi'(t) dt.$$

Primitives des fonctions usuelles.

Appliquer ce théorème sur des exemples.

Deux primitives d'une fonction continue sur l'intervalle I diffèrent d'une constante.

Appliquer ces techniques au calcul de primitives.

Tout excès de technicité est exclu.

Savoir reconnaître des primitives usuelles.

Pour les fonctions rationnelles, on se limite à des cas simples : aucune théorie de la décomposition en éléments simples n'est au programme.

d) Formule de Taylor avec reste intégral

Pour une fonction f de classe \mathcal{C}^{n+1} , formule de Taylor avec reste intégral au point a à l'ordre n .

Exploiter la formule de Taylor avec reste intégral pour établir des égalités, des inégalités.

Développements limités

L'objectif est la maîtrise du calcul de développements limités simples. Le calcul de développements limités à un ordre élevé n'est pas un objectif du programme; il relève des outils logiciels.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Généralités

Si f est définie sur l'intervalle I et si a est un point de I ou une extrémité de I , développement limité d'ordre n de f au voisinage de a .

Unicité, troncature.

Forme normalisée d'un développement limité :

$$f(a+h) \underset{h \rightarrow 0}{=} h^p (a_0 + a_1 h + \dots + a_n h^n + o(h^n))$$

avec $a_0 \neq 0$.

Équivalence $f(a+h) \underset{h \rightarrow 0}{\sim} a_0 h^p$.

Opérations sur les développements limités : combinaison linéaire, produit.

Composition, application au quotient.

Intégration terme à terme d'un développement limité.

Formule de Taylor-Young : développement limité à l'ordre n en un point a de I d'une application de classe \mathcal{C}^n sur I .

Développements limités usuels.

Interpréter un développement limité comme approximation d'une fonction.

Ramener un développement limité en 0 par translation.

Adaptation au cas où f est définie sur $I \setminus \{a\}$.

Développement limité en 0 d'une fonction paire ou impaire.

Étudier le signe d'une fonction au voisinage d'un point à l'aide d'un développement limité.

Exploiter la forme normalisée pour prévoir l'ordre d'un développement limité.

Déterminer sur des exemples simples le développement limité d'une fonction composée.

Aucun résultat général sur ce point n'est exigible.

La division suivant les puissances croissantes est hors programme.

Calculer le développement limité d'une application de classe \mathcal{C}^n à partir de ses dérivées successives.

Exploiter les développements limités usuels dans le cadre de développements limités simples.

Exploiter les outils logiciels pour des développements limités plus complexes.

Les étudiants doivent connaître les développements limités à tout ordre en 0 de $x \mapsto \frac{1}{1-x}$, \exp , \sin , \cos , $x \mapsto (1+x)^\alpha$, $x \mapsto \ln(1+x)$, \arctan ainsi que celui de \tan à l'ordre 3.

b) Applications des développements limités

Aucune théorie n'est attendue dans ce paragraphe. On illustrera seulement les différents cas de figure.

Calcul de limites.

Étude locale d'une fonction.

Utiliser les développements limités pour lever une forme indéterminée.

Déterminer un prolongement par continuité, la dérivabilité en un point, la nature d'un extremum, une tangente et sa position relative locale par rapport à la courbe, grâce à un développement limité.

Déterminer les éventuelles asymptotes et leurs positions relatives locales.

Aucun résultat général n'est exigible.

Polynômes

L'objectif est d'étudier par des méthodes élémentaires les propriétés de base des polynômes, et de les exploiter pour la résolution de problèmes portant sur les équations algébriques et les fonctions numériques. Le programme se limite au cas où les coefficients sont réels ou complexes (\mathbb{K} désignant \mathbb{R} ou \mathbb{C}). On pourra confondre polynômes et fonctions polynomiales.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Polynômes à une indéterminée

Ensemble $\mathbb{K}[X]$ des polynômes à coefficients dans \mathbb{K} .

La construction de $\mathbb{K}[X]$ est hors programme.

Notation $a_0 + a_1X + \dots + a_nX^n$ ou $\sum_{p=0}^n a_pX^p$.

Opérations : somme, produit et composée.

Degré d'un polynôme. Coefficient dominant, polynôme unitaire (ou normalisé). Degré d'une somme et d'un produit.

Le degré du polynôme nul vaut par convention $-\infty$.

Ensemble $\mathbb{K}_n[X]$ des polynômes de degré au plus n .

La notion de valuation d'un polynôme est hors programme.

Fonction polynomiale associée à un polynôme.

b) Bases de l'arithmétique dans $\mathbb{K}[X]$

Divisibilité dans $\mathbb{K}[X]$. Diviseurs et multiples.

Division euclidienne dans $\mathbb{K}[X]$.

Effectuer une division euclidienne de polynômes.

c) Dérivation

Polynôme dérivé.

Pour $\mathbb{K} = \mathbb{R}$, lien avec la dérivée de la fonction polynôme associée.

Linéarité de la dérivation, dérivée d'un produit.

Dérivées d'ordre supérieur. Formule de Leibniz. Formule de Taylor.

d) Racines

Racine (ou zéro) d'un polynôme.

Déterminer les racines d'un polynôme.

Caractériser les racines par la divisibilité.

Multiplicité d'une racine.

Caractérisation par les valeurs des dérivées successives en a de l'ordre de multiplicité de la racine a .

Le nombre de racines d'un polynôme non nul est majoré par son degré.

Polynôme scindé sur \mathbb{K} .

e) Décomposition en facteurs de degré 1

Théorème de d'Alembert-Gauss.

Démonstration hors programme.

Décomposition d'un polynôme en facteurs de degré 1 sur \mathbb{C} .

On illustre l'idée de la décomposition dans $\mathbb{R}[X]$ à partir de la décomposition dans $\mathbb{C}[X]$, mais l'étude générale des polynômes irréductibles est hors programme.

f) Somme et produit des racines d'un polynôme

Expressions de la somme et du produit des racines d'un polynôme en fonction de ses coefficients.

Les autres fonctions symétriques élémentaires sont hors programme.

Recherche de deux nombres complexes connaissant leur somme et leur produit.

Calcul matriciel

\mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Matrices : opérations et propriétés

Ensemble des matrices à n lignes et p colonnes à coefficients dans \mathbb{K} .

Matrices carrées, matrices triangulaires, matrices diagonales.

Somme de deux matrices. Multiplication par un scalaire.

Produit de deux matrices.

Puissance et inverse d'une matrice diagonale.

Formule du binôme pour deux matrices qui commutent.

Notation $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Interpréter le produit AX d'une matrice par une colonne comme une combinaison linéaire des colonnes de A .

Interpréter la j -ème colonne du produit AB comme le produit de A par la j -ème colonne de B .

Interpréter la i -ème ligne du produit AB comme le produit de la i -ème ligne de A par B .

Cas particulier de la multiplication à droite par une matrice élémentaire de $\mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{K})$ ou la multiplication à gauche par une matrice élémentaire de $\mathcal{M}_{1,n}(\mathbb{K})$ pour en extraire une ligne ou une colonne.

Calculer les puissances de certaines matrices carrées.

b) Matrice inversible

Matrice carrée inversible.

On appelle groupe linéaire, noté $GL_n(\mathbb{K})$, l'ensemble des matrices inversibles de taille n .

Caractériser l'inversibilité d'une matrice carrée A par l'existence et l'unicité de la solution de tout système de la forme $AX = B$ où X et B sont deux matrices colonnes.

Caractériser l'inversibilité par le rang.

Reconnaître une matrice inversible et calculer son inverse.

Calcul de l'inverse d'une matrice A carrée de taille n par différents moyens (par inversion d'un système, à l'aide de la matrice augmentée $(A|I_n)$, à l'aide d'un polynôme annulateur...).

On admet que l'inversibilité à droite implique l'inversibilité à gauche et réciproquement.

Toute théorie générale des groupes est exclue.

La notion de comatrice est hors programme.

Inverse du produit de matrices inversibles.

Espaces vectoriels et applications linéaires

Le programme se limite à l'algèbre linéaire sur \mathbb{R} et sur \mathbb{C} . Après l'approche numérique des sections « Systèmes linéaires » et « Calcul matriciel », on passe à une vision plus géométrique. Les trois grands thèmes traités sont les espaces vectoriels, la théorie de la dimension finie et les applications linéaires.

Dans la sous-section « A - Espaces vectoriels » on généralise les objets de la géométrie du plan et de l'espace : vecteurs, bases, droites, plans...

La deuxième sous-section « B - Espaces vectoriels de dimension finie » vise à définir la dimension d'un espace vectoriel admettant une famille génératrice finie et en présente plusieurs méthodes de calcul. La notion de dimension interprète le nombre de degrés de liberté pour un problème linéaire.

L'étude des applications linéaires suit naturellement celle des espaces vectoriels à la sous-section « C - Applications linéaires et représentations matricielles ». Son objectif est de fournir un cadre aux problèmes linéaires. Il convient de souligner, à l'aide de nombreuses figures, comment l'intuition géométrique permet d'interpréter en petite dimension les notions de l'algèbre linéaire, ce qui facilite leur extension à une dimension supérieure.

Au moins deux approches pédagogiques sont possibles :

- traiter cette section selon l'ordre présenté ci-dessous, en l'illustrant notamment sur les espaces \mathbb{K}^n à l'aide des techniques développées dans les sections « Systèmes linéaires » et « Calcul matriciel »;
- mettre en place les différentes notions (sous-espaces vectoriels, familles de vecteurs, dimension, applications linéaires) dans le cas particulier des espaces \mathbb{K}^n avant de les étendre aux espaces vectoriels généraux.

Il est attendu des étudiants qu'ils sachent reconnaître une situation se prêtant à une modélisation linéaire conduisant à une représentation adaptée dans un espace bien choisi.

A - Espaces vectoriels

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Espaces vectoriels et sous-espaces vectoriels

Définition d'un \mathbb{K} -espace vectoriel.

Espaces vectoriels de référence : \mathbb{K}^n pour $n \in \mathbb{N}^*$, $\mathbb{K}[X]$, \mathbb{K}^Ω pour Ω non vide (cas particulier des suites) et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Produit d'une famille finie de \mathbb{K} -espaces vectoriels.

Combinaisons linéaires d'un nombre fini de vecteurs.

Passer du registre géométrique au registre algébrique et inversement.

Sous-espaces d'un \mathbb{K} -espace vectoriel : définition et caractérisation. Droites et plans vectoriels.

Identifier un sous-espace vectoriel d'un espace vectoriel connu.

L'ensemble des solutions d'un système linéaire homogène à p inconnues et à coefficients dans \mathbb{K} est un sous-espace vectoriel de \mathbb{K}^p .

L'ensemble des solutions sur un intervalle I d'une équation différentielle linéaire homogène à coefficients constants est un sous-espace vectoriel de $\mathbb{K}^I = \mathcal{F}(I, \mathbb{K})$.

Appréhender le concept d'espace vectoriel de fonctions.

Sous-espace engendré par une famille finie de vecteurs. Intersection de sous-espaces vectoriels.

Notation $\text{Vect}(u_1, \dots, u_p)$.

Passer du registre géométrique au registre algébrique et inversement.

Somme de deux sous-espaces F et G d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E .

La somme $F + G$ est directe si l'écriture de tout vecteur de $F + G$ comme somme d'un élément de F et d'un élément de G est unique.

Exploiter une relation $F \cap G = \{0\}$ pour démontrer que F et G sont en somme directe.

Sous-espaces supplémentaires.

Déterminer l'unique décomposition d'un vecteur donné sur deux sous-espaces supplémentaires.

b) Familles finies de vecteurs

Vecteurs colinéaires.

Famille libre, famille liée.

Déterminer si une famille donnée est libre ou liée.

Obtenir une relation de dépendance dans une famille liée.

Toute famille de polynômes non nuls à coefficients dans \mathbb{K} et de degrés échelonnés est libre.

Famille génératrice d'un sous-espace vectoriel.

Déterminer si une famille est génératrice.

Bases.

Exemples usuels : bases canoniques des espaces \mathbb{K}^n , $\mathbb{K}_n[X]$ et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Coordonnées dans une base. Matrice colonne des coordonnées d'un vecteur x dans une base \mathcal{B} .

Déterminer les coordonnées d'un vecteur donné dans une base donnée.

Notation $\text{Mat}_{\mathcal{B}}(x)$.

Base adaptée à une somme directe.

Si $(e_1, \dots, e_k, e_{k+1}, \dots, e_n)$ est une famille libre d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E , alors $\text{Vect}(e_1, \dots, e_k)$ et $\text{Vect}(e_{k+1}, \dots, e_n)$ sont en somme directe.

B - Espaces vectoriels de dimension finie

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Dimension finie

Un espace est dit de dimension finie s'il admet une famille génératrice finie.

Théorème de la base extraite : de toute famille génératrice d'un \mathbb{K} -espace vectoriel non nul E , on peut extraire une base de E .

Théorème de la base incomplète : toute famille libre de E peut être complétée en une base.

Dans un espace engendré par n vecteurs, toute famille de $n + 1$ vecteurs est liée.

Dimension.

Dimension de \mathbb{K}^n , $\mathbb{K}_n[X]$ et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Si E est de dimension n et \mathcal{F} est une famille de n vecteurs de E , alors \mathcal{F} est une base de E si et seulement si \mathcal{F} est libre, si et seulement si \mathcal{F} est génératrice.

Exhiber une base d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E non nul de dimension finie.

Application à l'existence d'une base pour tout \mathbb{K} -espace vectoriel non nul de dimension finie.

On convient que l'espace $\{0_E\}$ est de dimension nulle.

b) Sous-espaces d'un espace vectoriel de dimension finie

Si F est un sous-espace d'un espace vectoriel E de dimension finie alors F est de dimension finie et $\dim(F) \leq \dim(E)$. De plus, $F = E$ si et seulement si les deux dimensions sont égales.

Supplémentaires d'un sous-espace. Existence, dimension commune.

Dimension de la somme de deux sous-espaces : formule de Grassmann.

Démontrer l'égalité de deux sous-espaces vectoriels à l'aide d'une inclusion et de l'égalité de leurs dimensions.

Démontrer que deux sous-espaces vectoriels sont supplémentaires à l'aide de la caractérisation par leur intersection réduite au vecteur nul et la somme de leurs dimensions.

Base obtenue par concaténation de bases de sous-espaces supplémentaires.

Cas d'une somme directe.

c) Famille finie d'une famille de vecteurs

Rang d'une famille finie (u_1, \dots, u_p) de vecteurs d'un \mathbb{K} -espace vectoriel.

Majorer le rang d'une famille de vecteurs en exhibant une relation linéaire. Le minorer en exhibant une sous-famille libre.

Utiliser le rang d'une famille de vecteurs pour démontrer qu'elle est libre ou génératrice.

Notation $\text{rg}(u_1, \dots, u_p)$.

C- Applications linéaires et représentations matricielles

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Généralités

Applications linéaires, endomorphismes, isomorphismes et automorphismes.

Identité, application $X \mapsto AX$.

Opérations sur les applications linéaires : combinaisons linéaires et composées.

Règles de calcul.

Notations $\mathcal{L}(E, F)$ et $\mathcal{L}(E)$.

Savoir utiliser l'image par une application linéaire de quelques vecteurs pour en déduire l'image d'une combinaison linéaire de ces derniers.

Notation Id_E .

On peut identifier \mathbb{K}^n à $\mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{K})$.

Réciproque d'un isomorphisme, composée d'isomorphismes.
Image directe, image réciproque d'un sous-espace vectoriel.
Image et noyau.
L'image par une application linéaire u d'une famille génératrice de E est génératrice de $\text{Im}(u)$.

Notation $\text{GL}(E)$ pour le groupe linéaire.

Notations $\text{Ker}(u)$ et $\text{Im}(u)$.
Déterminer une base de l'image, du noyau d'une application linéaire.
Caractériser l'injectivité d'une application linéaire à l'aide du noyau, la surjectivité à l'aide de l'image.

b) Isomorphismes

Une application linéaire de E dans F est un isomorphisme si et seulement si elle transforme une (toute) base de E en une base de F .
Espaces isomorphes, caractérisation par la dimension.
Si E et F ont même dimension finie, alors une application linéaire de E dans F est bijective si elle est injective ou surjective.

Cas particulier des endomorphismes.
Contre-exemples en dimension infinie.

c) Modes de définition d'une application linéaire

Une application linéaire est entièrement déterminée par l'image d'une base.
Une application linéaire définie sur $E = E_1 \oplus E_2$ est déterminée par ses restrictions à E_1 et E_2 .

d) Rang d'une application linéaire

Rang d'une application linéaire.
Rang d'une composée :

$$\text{rg}(v \circ u) \leq \min(\text{rg}(u), \text{rg}(v)).$$

Invariance du rang par composition à droite ou à gauche par un isomorphisme.
Théorème du rang : si E est de dimension finie et $u \in \mathcal{L}(E, F)$ alors u est de rang fini et $\dim(E) = \dim(\text{Ker}(u)) + \text{rg}(u)$.

Notation $\text{rg}(u)$.

Démonstration hors programme.
Utilisation pour la recherche d'une base de l'image et du noyau d'un endomorphisme.

e) Équations linéaires

Une équation, d'inconnue $x \in E$, est dite linéaire si elle est de la forme $u(x) = b$ où $u \in \mathcal{L}(E, F)$ et $b \in F$.
Structure des solutions, condition de compatibilité, lien avec $\text{Ker}(u)$ et $\text{Im}(u)$.

Exemples des systèmes linéaires et des équations différentielles linéaires d'ordre 1 et d'ordre 2.
La notion de sous-espace affine est hors programme.

f) Représentation matricielle en dimension finie

Matrice d'une application linéaire u dans un couple de bases.

Expression des coordonnées de $u(x)$ en fonction de celles de x .
Notation $\text{Mat}_{\mathcal{B}, \mathcal{C}}(u)$ où \mathcal{B} est une base de l'espace de départ et \mathcal{C} une base de l'espace d'arrivée.
Notation $\text{Mat}_{\mathcal{B}}(u)$ dans le cas où $\mathcal{B} = \mathcal{C}$.

Un couple de bases $(\mathcal{B}, \mathcal{C})$ étant fixé, isomorphisme $u \mapsto \text{Mat}_{\mathcal{B}, \mathcal{C}}(u)$. Application au calcul de la dimension de $\mathcal{L}(E, F)$.

Matrice d'une composée.

Lien entre matrices inversibles et isomorphismes.

Matrice de passage d'une base à une autre.

Effet d'un changement de bases sur la matrice d'un vecteur, d'une application linéaire, d'un endomorphisme.

Matrices semblables.

Déterminer la matrice d'un vecteur, d'une application linéaire après un changement de base(s).

Choisir une base adaptée à un problème donné.

L'objectif est de donner une première approche de notions qui seront approfondies en seconde année.

La diagonalisation est hors programme.

g) Différentes notions de rang

Image et noyau d'une matrice.

Notations $\text{Ker}(A)$ et $\text{Im}(A)$.

Déterminer des équations de l'image et du noyau de A .

On utilise l'échelonnement d'un système pour déterminer des équations de l'image.

Théorème du rang appliqué aux matrices.

Lien entre les divers aspects de la notion de rang.

Le rang de A , défini comme le nombre de pivots d'une matrice échelonnée équivalente, est également le rang de ses vecteurs colonnes dans \mathbb{K}^n ou, de manière équivalente, le rang de l'application linéaire de \mathbb{K}^p dans \mathbb{K}^n qui lui est canoniquement associée.

On admet que le rang d'une matrice est égal au rang de ses vecteurs lignes.

Le rang d'une famille de vecteurs est égal au rang de sa matrice dans une base.

Calculer le rang d'une famille de vecteurs, d'une application linéaire par la méthode du pivot.

Le rang d'une application linéaire est égal au rang de sa matrice dans un couple de bases.

Pour le calcul à la main, on se limite à des cas simples.

Caractérisation des matrices inversibles à l'aide du rang.

Conservation du rang par multiplication à droite ou à gauche par une matrice inversible.

Probabilités sur un univers fini

Cette section a pour objectifs de mettre en place un cadre théorique permettant de fonder l'étude des probabilités dans le cas d'un univers fini et de développer la formation des étudiants au raisonnement probabiliste. On enrichit le point de vue fréquentiste étudié au lycée par une formalisation ensembliste. On mettra l'accent sur des exemples issus de la vie courante ou provenant des autres disciplines.

a) Espaces probabilisés finis

Expérience aléatoire. L'ensemble des issues (ou des résultats possibles, ou réalisations) d'une expérience aléatoire est appelé univers.

Événement, événement élémentaire (singleton). Événement certain, événement impossible, événement contraire, événements incompatibles. Opérations sur les événements. Système complet d'événements.

On appelle probabilité sur un univers fini Ω toute application P de $\mathcal{P}(\Omega)$ dans $[0, 1]$ vérifiant $P(\Omega) = 1$ et, pour tout couple (A, B) de parties disjointes de Ω , $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$.

Un espace probabilisé fini est un couple (Ω, P) où Ω est un univers fini et P une probabilité sur Ω .

Probabilité de l'union de deux événements, probabilité de l'événement contraire, croissance d'une probabilité.

Modéliser des situations aléatoires.

On se limite au cas où l'univers Ω est fini.

Maîtriser le lien entre point de vue ensembliste et point de vue probabiliste.

On se limite au cas où l'ensemble des événements est l'ensemble des parties de Ω .

Notation \overline{A} pour l'événement contraire.

Expliciter l'espace probabilisé modélisant une situation aléatoire décrite en langage naturel.

Si $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_n\}$ et p_1, \dots, p_n sont des réels positifs de somme 1, il existe une et une seule probabilité P sur Ω telle que :

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}, P(\{\omega_i\}) = p_i.$$

Équiprobabilité (ou probabilité uniforme).

Calculer la probabilité d'un événement à partir d'un tableau de probabilités.
Choisir les valeurs des p_i revient à choisir un modèle probabiliste.

b) Indépendance et conditionnement

Si A et B sont deux événements tels que $P(B) > 0$, on appelle probabilité conditionnelle de A sachant B le réel $P_B(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$.

Formules des probabilités composées, des probabilités totales.

Formules de Bayes : si A et B sont deux événements tels que $P(A) > 0$ et $P(B) > 0$, alors

$$P_B(A) = \frac{P_A(B)P(A)}{P(B)}.$$

Indépendance de deux événements.

Indépendance d'une famille finie d'événements.

Illustrer une expérience aléatoire à l'aide d'arbres de probabilités.

La définition de $P_B(A)$ est justifiée par une approche heuristique fréquentiste.

L'application P_B est une probabilité.

On donnera plusieurs applications de la vie courante.

Si $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B équivaut à $P_B(A) = P(A)$.

L'indépendance des événements A_i deux à deux n'entraîne pas leur indépendance si $n \geq 3$.

Variables aléatoires sur un univers fini

La notion de variable aléatoire modélise le résultat d'une expérience aléatoire. L'utilisation des variables aléatoires pour modéliser des situations simples dépendant du hasard fait partie des capacités attendues des étudiants. On se limite aux variables aléatoires réelles définies sur un univers fini.

a) Variable aléatoire

Une variable aléatoire est une application définie sur l'univers Ω à valeurs dans un ensemble E . Lorsque $E \subset \mathbb{R}$, la variable aléatoire est dite réelle.

Loi de probabilité P_X d'une variable aléatoire X .

Image d'une variable aléatoire par une application.

Modéliser des situations données en langage naturel à l'aide de variables aléatoires.

Si X est une variable aléatoire et si A est une partie de E , notation $\{X \in A\}$ ou $(X \in A)$ pour l'événement $X^{-1}(A)$.

Notation $P(X \in A)$, $P(X = x)$, $P(X \leq x)$.

Lien entre les événements $(X = k)$, $(X \leq k - 1)$ et $(X \leq k)$.

L'application P_X est définie par la donnée des $P(X = x)$ pour x dans $X(\Omega)$.

b) Espérance

Définition de l'espérance d'une variable aléatoire. Variable centrée.

$$\text{Relation : } E(X) = \sum_{\omega \in \Omega} P(\{\omega\}) X(\omega).$$

Théorème de transfert : si X est une variable aléatoire réelle à valeurs finies et $\varphi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, alors l'espérance de la variable aléatoire $\varphi(X)$ est donnée par la formule

$$E(\varphi(X)) = \sum_{x \in X(\Omega)} \varphi(x) P(X = x).$$

Interpréter l'espérance en terme de moyenne pondérée.

Calculer une espérance à l'aide de la formule du transfert.

$E(aX + b) = aE(X) + b$ pour a et b réels.

On admet de manière plus générale la linéarité de l'espérance.

c) Variance et écart type d'une variable aléatoire

Variance et écart type d'une variable aléatoire. Variable réduite.

Interpréter la variance comme indicateur de dispersion.

Relation $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$ (Koenig-Huygens).

$V(aX + b) = a^2 V(X)$ pour a et b réels.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

L'inégalité de Markov n'est pas au programme.

d) Loïs usuelles

Loi certaine.

Loi uniforme.

Reconnaître des situations modélisables par une loi uniforme.

Loi de Bernoulli de paramètre $p \in [0, 1]$.

Reconnaître des situations modélisables par une loi de Bernoulli.

Loi binomiale de paramètres $n \in \mathbb{N}^*$ et $p \in [0, 1]$.

Notation $\mathcal{B}(p)$.

Reconnaître des situations modélisables par une loi binomiale.

Espérance et variance associées à ces différentes lois.

Notation $\mathcal{B}(n, p)$.

Pour la loi uniforme, on limitera les résultats à la loi uniforme sur $\{1, \dots, n\}$.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de mathématiques de la classe TSI 2nde année

Classe préparatoire TSI2

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	4
Programme	5
Compléments d’algèbre linéaire	5
Déterminants	6
Réduction des endomorphismes	7
Fonctions vectorielles et courbes paramétrées	8
Intégration sur un intervalle quelconque	9
Séries numériques	10
Séries entières	11
Espaces préhilbertiens réels, espaces euclidiens	12
A - Structure préhilbertienne	12
B - Isométries d’un espace euclidien	13
Séries de Fourier	14
Probabilités	15
A - Compléments sur les variables aléatoires réelles finies	15
B - Probabilités sur un univers dénombrable	16
C - Variables aléatoires discrètes	17
Équations différentielles linéaires	19
Fonctions de plusieurs variables	20

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires technologiques TSI et TPC sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Objectifs de formation

Les étudiants des classes préparatoires doivent acquérir les compétences nécessaires aux scientifiques et technologues, qu'ils soient ingénieurs, chercheurs, enseignants, pour identifier les situations auxquelles ils sont confrontés, dégager les meilleures stratégies pour y faire face, prendre avec un recul suffisant des décisions dans un contexte complexe.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires technologiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher**, mettre en œuvre des stratégies : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies ;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer ;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique ...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre ;
- **raisonner**, argumenter : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture ;
- **calculer**, utiliser le langage symbolique : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main ou à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats ;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques, permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie, les sciences industrielles de l'ingénieur. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et sciences industrielles de l'ingénieur, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonnement, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent ; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension-même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent. Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la géométrie apparaît à la fois comme un terrain propice à l'introduction de l'algèbre linéaire, mais aussi comme un champ d'utilisation des concepts développés dans ce domaine du programme ; les équations différentielles sont au cœur des activités de modélisation pour les sciences physiques et les sciences industrielles de l'ingénieur ; les probabilités permettent d'illustrer certains résultats d'analyse et justifient l'introduction du vocabulaire ensembliste.

C'est ainsi que le programme valorise les interprétations des concepts de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie et des probabilités en termes de paramètres modélisant l'état et l'évolution de systèmes mécaniques, physiques, chimiques ou industriels (mouvement, vitesse et accélération, signaux continus ou discrets, mesure des grandeurs mécaniques ou physiques...).

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions.

Les professeurs de mathématiques doivent régulièrement accéder aux laboratoires afin de favoriser l'établissement de liens forts entre la formation mathématique et les formations dispensées dans les enseignements scientifiques et technologiques. Cet accès permet de :

- prendre appui sur les situations expérimentales rencontrées dans ces enseignements ;
- connaître les logiciels utilisés et l'exploitation qui peut en être faite pour illustrer les concepts mathématiques ;
- prendre en compte les besoins mathématiques des autres disciplines.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il pourra s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un problème spécifique et la construction, pour le résoudre, d'outils conceptuels qui, pris ensuite par les mathématiciens comme objets d'étude, ont pu ultérieurement servir au traitement d'autres classes de problèmes.

Architecture et contenu du programme

Le programme s'en tient à un cadre et à un vocabulaire théorique bien délimités, mais suffisamment efficaces pour l'étude de situations usuelles, et assez riches pour servir de support à une formation solide.

Les programmes proposent des contenus équilibrés d'algèbre, d'analyse et de géométrie, auxquels s'ajoute un enseignement de probabilités visant à consolider les notions étudiées au lycée. Les probabilités permettent de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, d'établir des ponts avec les autres disciplines.

En cohérence avec l'introduction d'un enseignement d'algorithmique au lycée, le programme encourage la démarche algorithmique et le recours à l'outil informatique (calculatrices, logiciels). Il identifie un certain nombre d'algorithmes qui doivent être connus et pratiqués par les étudiants. Ceux-ci doivent également savoir utiliser les fonctionnalités graphiques des calculatrices et des logiciels.

Le volume global du programme a été conçu pour libérer des temps dédiés à une mise en activité effective des étudiants. Cela doit être notamment la règle lors des séances de travaux dirigés et de travaux pratiques d'informatique.

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement que des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours. Le professeur conduit en toute liberté, dans le respect de la cohérence de la formation globale, l'organisation de son enseignement et le choix de ses méthodes. En particulier, la chronologie retenue dans la présentation des différentes sections du programme ne doit pas être interprétée comme un modèle de progression : afin de faciliter l'organisation du travail des étudiants et de montrer l'intérêt des notions étudiées, il convient d'en aborder l'enseignement en coordination avec les disciplines scientifiques et technologiques.

Programme

Compléments d'algèbre linéaire

Cette section est organisée autour de trois objectifs :

- consolider les acquis de la classe de première année;
- étudier de nouveaux concepts : somme de plusieurs sous-espaces vectoriels, projecteurs et symétries, sous-espaces stables, trace, transposée, polynômes de matrice;
- passer du point de vue géométrique au point de vue matriciel et inversement.

Le programme valorise les interprétations géométriques en dimensions 2 et 3 et l'illustration des notions et des résultats par de nombreuses figures.

Dans toute cette partie, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Familles dénombrables de vecteurs

Famille libre, famille génératrice, base.

Extension des résultats vus en première année sur les familles finies.

Base canonique de $\mathbb{K}[X]$. Toute famille de polynômes non nuls échelonnée en degrés est libre.

Toute famille $(P_k)_{k \in \mathbb{N}}$ avec $\deg(P_k) = k$ est une base de $\mathbb{K}[X]$.

b) Sous-espaces vectoriels

Somme d'un nombre fini de sous-espaces vectoriels.

Somme directe.

En dimension finie, base adaptée à une décomposition en somme directe.

Par définition, la somme F de p sous-espaces F_i est directe si tout vecteur de F se décompose de manière unique selon les F_i . Caractérisation par l'unicité de la décomposition du vecteur nul.

Pour $p \geq 3$, toute autre caractérisation est hors programme.

c) Projecteurs et symétries

Projecteurs et symétries associés à deux sous-espaces vectoriels supplémentaires. Matrice dans une base adaptée. Caractérisation par les relations $p \circ p = p$ et $s \circ s = \text{id}_E$.

Détermination des éléments caractéristiques d'un projecteur, d'une symétrie.

d) Sous-espaces stables

Sous-espace stable par un endomorphisme. Matrice dans une base adaptée.

Les étudiants doivent savoir interpréter une forme matricielle par blocs en termes de sous-espace stable, et inversement.

Exemples des projecteurs et des symétries.

e) Matrices

Trace d'une matrice carrée. Linéarité.

Notation $\text{Tr}(A)$.

Relation $\text{Tr}(AB) = \text{Tr}(BA)$.

Deux matrices semblables ont même trace.

Trace d'un endomorphisme en dimension finie.

Transposée d'une matrice.

Notation A^T .

Opérations sur les transposées : combinaison linéaire, produit, inverse.

Matrice symétrique, antisymétrique.

Sous-espaces vectoriels $\mathcal{S}_n(\mathbb{K})$ et $\mathcal{A}_n(\mathbb{K})$.

Décomposition d'une matrice carrée comme somme d'une matrice symétrique et d'une matrice antisymétrique.

$\mathcal{S}_n(\mathbb{K})$ et $\mathcal{A}_n(\mathbb{K})$ sont supplémentaires dans $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.

Polynôme de matrice.

C'est l'occasion de reprendre le travail fait en première année sur l'exploitation d'un polynôme annulateur pour étudier l'inversibilité d'une matrice.

Déterminants

Cette section développe une théorie du déterminant des matrices carrées, puis des endomorphismes d'un espace de dimension finie. Il met en évidence l'aspect algébrique (caractérisation des matrices inversibles) et l'aspect géométrique (volume orienté).

Les capacités attendues sont la connaissance et l'utilisation des propriétés du déterminant permettant un calcul simple via des opérations élémentaires. Tout excès de technicité est exclu et l'outil informatique est utilisé dès que le calcul s'avère trop lourd.

Dans toute cette partie, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Déterminant d'une matrice carrée

Il existe une unique application de $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$ dans \mathbb{K} , appelée déterminant, telle que :

- (i) le déterminant est linéaire par rapport à chacune des colonnes ;
- (ii) l'échange de deux colonnes a pour effet de multiplier le déterminant par -1 ;
- (iii) le déterminant de la matrice identité I_n vaut 1.

Notation \det .

La démonstration de ce théorème pour $n \geq 4$ et la notion générale de forme multilinéaire sont hors programme.

Interprétation géométrique de cette définition pour $n \in \{2, 3\}$ par les notions d'aire et de volume algébriques.

b) Propriétés du déterminant

Le déterminant d'une matrice ayant deux colonnes égales est nul.

Expression de $\det(\lambda A)$ pour $\lambda \in \mathbb{K}$ et $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.

Effet sur un déterminant des opérations élémentaires sur les colonnes.

Déterminant d'une matrice triangulaire.

Une matrice carrée est inversible si et seulement si son déterminant est non nul.

Déterminant d'un produit de matrices carrées.

Déterminant de l'inverse d'une matrice carrée.

Déterminant de la transposée d'une matrice carrée.

Démonstration hors programme.

Démonstration hors programme.

Le déterminant vérifie les mêmes propriétés vis-à-vis des lignes que des colonnes.

Développement par rapport à une colonne ou une ligne du déterminant d'une matrice.

Démonstration non exigible.

La notion de comatrice est hors programme.

c) Déterminant d'une famille de vecteurs, d'un endomorphisme

Déterminant d'une famille de vecteurs dans une base.

Caractérisation des bases.

Déterminant d'un endomorphisme. Caractérisation des automorphismes.

La formule de changement de base pour un déterminant est hors programme.

Traduction sur le déterminant d'un endomorphisme des propriétés relatives au déterminant d'une matrice.

Réduction des endomorphismes

Cette section étudie la réduction des matrices et des endomorphismes d'un espace vectoriel de dimension finie sur \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

Après avoir introduit le vocabulaire des éléments propres et la notion de polynôme caractéristique, on s'intéresse à la question de la diagonalisabilité, puis de la trigonalisabilité d'un endomorphisme ou d'une matrice carrée.

L'application des résultats de la réduction à la recherche des solutions d'une récurrence linéaire d'ordre 2 à coefficients constants crée un nouveau pont entre l'algèbre et l'analyse et anticipe l'étude des équations différentielles linéaires dont la résolution repose sur des outils similaires.

Tout développement sur les polynômes d'endomorphisme ou de matrice est hors programme.

Les espaces vectoriels considérés sont de dimension finie sur \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Éléments propres et polynôme caractéristique

Valeur propre, vecteur propre, sous-espace propre d'un endomorphisme.

Interprétation en termes de droite stable.

Spectre.

Notation Sp .

Une somme finie de sous-espaces propres associés à des valeurs propres distinctes est directe.

Polynôme caractéristique d'un endomorphisme.

Le polynôme caractéristique, défini par la fonction polynomiale

$$x \mapsto \chi_f(x) = \det(x\text{id}_E - f),$$

est de coefficient dominant égal à 1.

Les valeurs propres d'un endomorphisme sont les racines de son polynôme caractéristique.

Ordre de multiplicité d'une valeur propre. Comparaison entre l'ordre de multiplicité d'une valeur propre et la dimension du sous-espace propre associé.

Éléments propres, spectre d'une matrice carrée.

Extension des définitions et de ces résultats aux matrices. Lien entre éléments propres d'un endomorphisme et ceux de sa matrice dans une base donnée.

Lien entre racines d'un polynôme annulateur d'une matrice et son spectre.

Cas d'un projecteur ou d'une symétrie. Le théorème de Cayley-Hamilton est hors programme.

b) Endomorphismes et matrices diagonalisables

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est dit diagonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est diagonale.

Interprétation : existence d'une base de vecteurs propres.

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si la somme de ses sous-espaces propres est égale à E .

Les projecteurs et les symétries sont des endomorphismes diagonalisables

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé et si l'ordre de multiplicité de chaque valeur propre est égal à la dimension du sous-espace propre associé.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension n ayant n valeurs propres distinctes est diagonalisable.

Une matrice carrée est dite diagonalisable si elle est semblable à une matrice diagonale.

Extension des résultats précédents au cas des matrices carrées.

c) Endomorphismes et matrices trigonalisables

Un endomorphisme est dit trigonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est triangulaire supérieure.

Démonstration hors programme.

Un endomorphisme est trigonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé.

Aucune technique de trigonalisation effective n'est au programme.

En particulier, tout endomorphisme d'un \mathbb{C} -espace vectoriel est trigonalisable.

Expression du déterminant et de la trace d'un endomorphisme trigonalisable en fonction des valeurs propres.

Extension des résultats au cas des matrices carrées.

d) Applications de la réduction

Si A et B sont semblables, alors il en est de même de leurs puissances.

Formule $A^n = PB^nP^{-1}$ pour $n \in \mathbb{N}$ et $A = PBP^{-1}$. Calcul des puissances d'une matrice diagonalisable.

Structure de l'ensemble des suites numériques vérifiant une relation de récurrence linéaire d'ordre 2 à coefficients constants. Équation caractéristique. Base de solutions.

Les étudiants peuvent utiliser librement l'expression de D^n pour D diagonale.

Application aux récurrences vectorielles d'ordre 1 de la forme $X_{n+1} = AX_n$. Les étudiants peuvent utiliser librement la relation $X_n = A^n X_0$.

On se limite au cas homogène.

Les étudiants doivent connaître la forme des solutions, à l'aide de la résolution de l'équation caractéristique.

Fonctions vectorielles et courbes paramétrées

Cette section fournit l'occasion de revoir une partie des notions abordées dans le cours d'analyse de première année. L'étude des fonctions vectorielles en dimension inférieure ou égale à trois permet de présenter des résultats utiles dans les autres disciplines scientifiques et introduit le paragraphe sur les courbes paramétrées. Dans ce cadre, le but est de tracer des courbes sans support logiciel quand les calculs se prêtent à un tracé rapide. Pour les calculs plus longs, on utilise un outil informatique qui permet en plus de mettre en évidence des problèmes d'échelle et de restriction d'intervalle. L'étude des courbes définies par une équation polaire est hors programme.

a) Fonctions d'une variable réelle à valeurs dans \mathbb{R}^2 ou \mathbb{R}^3

Continuité et dérivabilité (éventuellement à gauche ou à droite) en un point ou sur un intervalle.

Dérivée d'une somme de deux fonctions vectorielles, du produit d'une fonction à valeurs réelles et d'une fonction à valeurs vectorielles.

Applications de classe \mathcal{C}^k sur un intervalle I . Espace vectoriel $\mathcal{C}^k(I, \mathbb{R}^n)$.

Formule de Taylor-Young pour une fonction de classe \mathcal{C}^k .

Développement limité d'une fonction de classe \mathcal{C}^k .

Dans l'espace euclidien \mathbb{R}^2 ou \mathbb{R}^3 (éventuellement orienté), dérivation d'un produit scalaire, d'une norme, d'un déterminant et d'un produit vectoriel.

Ces notions sont définies à l'aide des fonctions coordonnées.

Les étudiants doivent savoir interpréter géométriquement et cinématiquement la notion de dérivée en un point.

b) Courbes paramétrées

Rappels sur les graphes de fonctions réelles d'une variable réelle, tangente à un tel graphe.

Courbe paramétrée. Tangente en un point.

Exemples de constructions d'arcs plans.

Caractérisation de la tangente à partir du premier vecteur dérivé non nul.

Cas particulier d'un point régulier.

Point stationnaire.

La tangente en un point est définie comme la limite des sécantes.

Les étudiants doivent savoir exploiter les propriétés des fonctions (parité, périodicité) afin de restreindre l'ensemble d'étude.

Hormis les cas d'asymptotes verticales et horizontales, l'étude du comportement asymptotique d'une courbe paramétrée est hors programme.

L'étude locale en un point où tous les vecteurs dérivés successifs sont nuls est hors programme.

Interprétation cinématique.

Position relative locale de la courbe par rapport à sa tangente.
Point régulier, d'inflexion et de rebroussement.
Longueur d'un arc paramétré régulier de classe \mathcal{C}^1 .

Les étudiants doivent savoir utiliser les développements limités de chacune des composantes.
L'abscisse curviligne est hors programme.

Intégration sur un intervalle quelconque

L'objectif de cette section est double :

- étendre la notion d'intégrale étudiée en première année à des fonctions continues sur un intervalle quelconque par le biais des intégrales généralisées
- définir, dans le cadre des fonctions continues, la notion de fonction intégrable.

L'étude de la semi-convergence des intégrales n'est pas un objectif du programme.

Les fonctions considérées sont continues sur un intervalle de \mathbb{R} et à valeurs dans $\mathbb{K} = \mathbb{R}$ ou \mathbb{C} .

a) Intégrale généralisée sur un intervalle de la forme $[a, +\infty[$

Pour f continue de $[a, +\infty[$ dans \mathbb{K} , l'intégrale $\int_a^{+\infty} f$ est dite convergente si $\int_a^x f$ a une limite finie lorsque x tend vers $+\infty$.

Si f est positive sur $[a, +\infty[$, alors $\int_a^{+\infty} f(t) dt$ converge si et seulement si $x \mapsto \int_a^x f(t) dt$ est majorée.

Si f et g sont deux fonctions continues sur $[a, +\infty[$ telles que $0 \leq f \leq g$, la convergence de $\int_a^{+\infty} g$ implique celle de $\int_a^{+\infty} f$.

Notations $\int_a^{+\infty} f, \int_a^{+\infty} f(t) dt$.

Intégrale convergente (resp. divergente) en $+\infty$.

b) Intégrales généralisées sur un intervalle quelconque

Adaptation du paragraphe précédent aux fonctions continues définies sur un intervalle semi-ouvert ou ouvert de \mathbb{R} .

Propriétés des intégrales généralisées : linéarité, positivité, croissance, relation de Chasles.

Intégrales de référence : $\int_1^{+\infty} t^{-\alpha} dt$ et $\int_0^1 t^{-\alpha} dt$.

Nature et valeur de $\int_0^1 \ln(t) dt$ et $\int_0^{+\infty} e^{-\alpha t} dt$ selon le signe de α .

Théorème de changement de variable : étant données une fonction f continue sur $]a, b[$ et une fonction φ strictement croissante de classe \mathcal{C}^1 sur $]a, \beta[$, les intégrales $\int_a^b f(t) dt$ et $\int_a^\beta f(\varphi(u)) \varphi'(u) du$ avec $a = \lim_{u \rightarrow \alpha} \varphi(u)$ et $b = \lim_{u \rightarrow \beta} \varphi(u)$ sont de même nature et égales en cas de convergence.

Notations $\int_a^b f, \int_a^b f(t) dt$.

Intégrale convergente (resp. divergente) en b , en a .

Les intégrales de la forme $\int_0^a \frac{1}{(t-a)^\alpha} dt$ ne font pas partie des intégrales de référence.

Adaptation au cas où φ est strictement décroissante.

c) Intégrabilité d'une fonction continue sur un intervalle

Intégrale absolument convergente.

La convergence absolue implique la convergence.

Démonstration non exigible.

Une fonction f est dite intégrable sur I si elle est continue sur I et son intégrale sur I est absolument convergente.

Linéarité, positivité et croissance de l'application $f \mapsto \int_I f(t) dt$.

Si f est continue et intégrable sur I à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} ,

$$\left| \int_I f(t) dt \right| \leq \int_I |f(t)| dt.$$

Espace vectoriel des fonctions intégrables sur I .

Si f est une fonction continue et positive sur I et telle que

$$\int_I f(t) dt = 0, \text{ alors } f \text{ est identiquement nulle sur } I.$$

Pour f et g fonctions continues sur $[a, +\infty[$:

- si $|f| \leq |g|$, alors l'intégrabilité de g sur $[a, +\infty[$ implique celle de f .
- si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{=} O(g(t))$, alors l'intégrabilité de g sur $[a, +\infty[$ implique celle de f .
- si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{\sim} g(t)$, alors l'intégrabilité de f sur $[a, +\infty[$ est équivalente à celle de g .

Notations $\int_I f, \int_I f(t) dt$.

On utilise indifféremment les expressions « f est intégrable sur I » et « l'intégrale $\int_I f$ converge absolument ».

Démonstration non exigible pour une fonction à valeurs dans \mathbb{C} .

Adaptation au cas d'un intervalle quelconque.

Le résultat s'applique en particulier si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{=} o(g(t))$.

Séries numériques

L'étude des séries prolonge celle des suites et prépare celle des séries entières et des séries de Fourier. Elle permet de mettre en œuvre l'analyse asymptotique. L'objectif majeur est la maîtrise de la convergence absolue.

L'étude de séries semi-convergentes est limitée aux exemples fournis par le théorème des séries alternées.

a) Généralités

Série à termes réels ou complexes; sommes partielles. Convergence ou divergence et, en cas de convergence, somme et restes.

Linéarité de la somme.

Le terme général d'une série convergente tend vers 0.

Séries géométriques : sommes partielles, condition nécessaire et suffisante de convergence, valeur de la somme en cas de convergence.

Lien suite-série.

La série est notée $\sum u_n$.

En cas de convergence, sa somme est notée $\sum_{n=0}^{+\infty} u_n$.

Divergence grossière.

La suite (u_n) et la série télescopique $\sum (u_{n+1} - u_n)$ sont de même nature.

b) Séries à termes positifs

Une série à termes positifs converge si et seulement si la suite de ses sommes partielles est majorée.

Si $0 \leq u_n \leq v_n$ pour tout $n \in \mathbb{N}$, alors la convergence de $\sum v_n$ implique celle de $\sum u_n$.

Théorèmes de comparaison pour les séries à termes positifs sous l'hypothèse $u_n \leq v_n$ à partir d'un certain rang ou $u_n = o(v_n)$.

Si (u_n) et (v_n) sont positives et si $u_n \sim v_n$, alors les séries $\sum u_n$ et $\sum v_n$ sont de même nature.

De plus, $\sum_{n=0}^{+\infty} u_n \leq \sum_{n=0}^{+\infty} v_n$.

Comparaison à une série géométrique, règle de d'Alembert.

Théorème de comparaison série-intégrale : si $f : [n_0, +\infty[\rightarrow \mathbb{R}$ est une fonction continue, positive et décroissante, alors la série $\sum f(n)$ et l'intégrale $\int_{n_0}^{+\infty} f(t)dt$ sont de même nature.

Séries de Riemann.

Toute autre règle de comparaison est hors programme.

Exemples simples d'encadrements et d'application à l'étude asymptotique de sommes partielles ou de restes.

Les étudiants doivent savoir comparer une série à termes positifs à une série de Riemann.

c) Séries absolument convergentes

Convergence absolue d'une série à termes réels ou complexes.

La convergence absolue implique la convergence.

Pour une série absolument convergente $\sum u_n$,

$$\left| \sum_{n=0}^{+\infty} u_n \right| \leq \sum_{n=0}^{+\infty} |u_n|.$$

Démonstration non exigible.

Séries alternées

Théorème des séries alternées : si la suite réelle (u_n) converge en décroissant vers 0, alors $\sum (-1)^n u_n$ converge.

Encadrement de la somme.

Séries entières

Les séries entières considérées sont à coefficients réels ou complexes. La variable est réelle ou complexe. Les objectifs de cette section sont les suivants :

- étudier la convergence d'une série entière de variable complexe et mettre en évidence la notion de rayon de convergence;
- étudier les propriétés de sa somme en se limitant au cas d'une variable réelle;
- établir les développements en série entière des fonctions usuelles.

La théorie des séries entières sera appliquée à la recherche de solutions d'équations différentielles linéaires.

a) Convergence d'une série entière

Série entière d'une variable réelle ou complexe.

Lemme d'Abel : étant donné un nombre réel $r > 0$, tel que la suite $(a_n r^n)_{n \in \mathbb{N}}$ soit bornée, alors, pour tout nombre complexe z tel que $|z| < r$, la série $\sum a_n z^n$ est absolument convergente.

Rayon de convergence défini comme borne supérieure dans $\mathbb{R} \cup \{+\infty\}$ de l'ensemble des réels $r \geq 0$ tels que la suite $(a_n r^n)_{n \in \mathbb{N}}$ est bornée.

Disque ouvert de convergence, intervalle ouvert de convergence.

Si $|a_n| \leq |b_n|$ pour tout $n \in \mathbb{N}$, le rayon de convergence de la série entière $\sum a_n z^n$ est supérieur ou égal à celui de $\sum b_n z^n$.

Si $|a_n| \sim |b_n|$, le rayon de convergence de la série entière $\sum a_n z^n$ est égal à celui de $\sum b_n z^n$.

Application de la règle de d'Alembert pour les séries numériques au calcul du rayon.

Si le rayon de convergence R est un réel strictement positif, alors pour $|z| < R$, la série $\sum a_n z^n$ converge absolument, et pour $|z| > R$, la série $\sum a_n z^n$ diverge grossièrement.

Toute étude systématique de la convergence sur le cercle de convergence est exclue.

Les séries $\sum a_n z^n$ et $\sum n a_n z^n$ ont même rayon de convergence.

Démonstration hors programme.

b) Somme d'une série entière d'une variable réelle

Fonction somme d'une série entière, domaine de définition.

La fonction somme est de classe \mathcal{C}^∞ sur son intervalle ouvert de convergence. Dérivation terme à terme.

Démonstration hors programme.

Relation entre les coefficients et les dérivées successives en 0.

Intégration terme à terme sur un segment inclus dans l'intervalle ouvert de convergence.

Démonstration hors programme.

c) Fonctions développables en série entière

Fonction développable en série entière au voisinage de 0.

Lien avec la série de Taylor.

Unicité du développement en série entière.

Développements en série entière usuels :

Les étudiants doivent savoir utiliser l'unicité de la solution d'un problème de Cauchy pour déterminer un développement en série entière.

$$\frac{1}{1-x}, \ln(1+x), e^x, \cos(x), \sin(x), (1+x)^\alpha.$$

d) Exponentielle complexe

Développement en série entière admis :

En première année, l'exponentielle complexe est définie par la relation

$$\exp(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{z^n}{n!}.$$

$$e^{x+iy} = e^x(\cos(y) + i \sin(y))$$

où x et y sont deux réels quelconques.

Espaces préhilbertiens réels, espaces euclidiens

Cette section est organisée autour de trois objectifs :

- introduire les notions fondamentales liées à la structure préhilbertienne;
- étudier les isométries vectorielles et les matrices orthogonales, notamment dans le cas des dimensions 2 et 3 en insistant sur les représentations géométriques;
- traiter la réduction des matrices symétriques réelles.

A - Structure préhilbertienne

a) Produit scalaire et norme

Produit scalaire.

Notations $\langle x, y \rangle$, $(x|y)$, $x \cdot y$.

Espace préhilbertien réel, espace euclidien.

Produit scalaire euclidien canonique sur \mathbb{R}^n .

Exemples de produits scalaires sur des espaces de fonctions ou de polynômes.

Norme associée à un produit scalaire, distance associée.

Inégalité de Cauchy-Schwarz, cas d'égalité.

Identité du parallélogramme, identité de polarisation.

b) Orthogonalité

Vecteurs orthogonaux, sous-espaces orthogonaux, orthogonal d'un sous-espace vectoriel F .

Théorème de Pythagore.

Famille orthogonale, famille orthonormée (ou orthonormale).

Toute famille orthogonale de vecteurs non nuls est libre.

Algorithme d'orthonormalisation de Gram-Schmidt.

Existence de bases orthonormées en dimension finie. Coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée; expression du produit scalaire et de la norme.

Notation F^\perp .

Les étudiants doivent savoir mettre en œuvre l'algorithme dans le cas d'un nombre restreint de vecteurs.

c) Projection orthogonale sur un sous-espace de dimension finie

Pour étudier la notion de projection orthogonale et la distance à un sous-espace, on s'appuie sur des figures.

Si F est un sous-espace vectoriel de dimension finie d'un espace préhilbertien, alors F et F^\perp sont supplémentaires.

Projection orthogonale sur un sous-espace vectoriel de dimension finie. Expression du projeté orthogonal dans une base orthonormée.

Le projeté orthogonal de x sur F est l'unique élément de F qui minimise $\|x - y\|$ avec $y \in F$. Distance d'un vecteur x à un sous-espace vectoriel F de dimension finie.

En dimension finie, dimension de l'orthogonal.

Les étudiants doivent savoir déterminer le projeté orthogonal $p_F(x)$ d'un vecteur x sur un sous-espace F en calculant son expression dans une base orthonormée de F ou en résolvant un système linéaire traduisant l'orthogonalité de $x - p_F(x)$ aux vecteurs d'une famille génératrice de F .

Notation $d(x, F)$.

B - Isométries d'un espace euclidien**a) Isométries vectorielles d'un espace euclidien**

Un endomorphisme d'un espace euclidien est une isométrie vectorielle s'il conserve la norme.

Caractérisations par la conservation du produit scalaire, par l'image d'une base orthonormée.

Symétrie orthogonale par rapport à un sous-espace. Réflexion.

Groupe orthogonal.

On s'appuie sur des figures.

Notation $O(E)$.

On vérifie ici les propriétés conférant à $O(E)$ une structure de groupe, mais la définition axiomatique des groupes est hors programme.

Si un sous-espace est stable par une isométrie vectorielle, son orthogonal est stable par cette isométrie.

b) Matrices orthogonales

Matrice orthogonale : définition par l'égalité $A^T A = I_n$.

Traduction sur les colonnes ou les lignes de A .

Groupe orthogonal d'ordre n .

Si \mathcal{B}_0 est une base orthonormée de E , une base \mathcal{B} de E est orthonormée si et seulement si la matrice de passage de \mathcal{B}_0 à \mathcal{B} est orthogonale.

Notations $O_n(\mathbb{R}), O(n)$.

Si \mathcal{B}_0 est une base orthonormée de E et u un endomorphisme de E , alors u est une isométrie vectorielle de E si et seulement si $\text{Mat}_{\mathcal{B}_0}(u)$ est orthogonale.

Déterminant d'une matrice orthogonale, d'une isométrie vectorielle.

Isométrie vectorielle directe, indirecte. Groupe spécial orthogonal.

Application à l'orientation d'un espace euclidien et à la notion de base orthonormée directe.

Notations $\text{SO}_n(\mathbb{R})$, $\text{SO}(n)$ et $\text{SO}(E)$.

c) Classification en dimensions 2 et 3

Description du groupe orthogonal en dimensions 2 et 3. Caractérisation des symétries orthogonales par leurs représentations matricielles.

Utilisation des éléments propres pour la classification des isométries.

Les étudiants doivent savoir déterminer les caractéristiques géométriques d'une isométrie.

d) Matrices symétriques réelles

Les valeurs propres d'une matrice symétrique réelle sont toutes réelles.

Les sous-espaces propres d'une matrice symétrique réelle sont deux à deux orthogonaux.

Théorème spectral : pour toute matrice symétrique réelle A , il existe une matrice diagonale D et une matrice orthogonale P telles que $A = PDP^{-1} = PDP^T$.

Démonstration non exigible.

Démonstration hors programme. La notion d'endomorphisme symétrique est hors programme.

Séries de Fourier

L'étude des séries de Fourier est présentée dans le cadre des fonctions T -périodiques, continues par morceaux et à valeurs dans \mathbb{R} . Cette section développe des compétences de calcul à travers celui des coefficients de Fourier et l'application du théorème de Parseval. L'interprétation géométrique de la n -ième somme de Fourier comme projection orthogonale relie les points de vue analytique et géométrique de la théorie. Cette section est aussi particulièrement favorable aux interactions entre les disciplines.

a) Fonctions définies par morceaux

Une fonction à valeurs réelles définie sur un segment $[a, b]$ à est dite continue par morceaux (respectivement de classe \mathcal{C}^1 par morceaux) sur $[a, b]$ s'il existe une subdivision $a = a_0 < a_1 < \dots < a_n = b$ telle que la restriction de f à chaque intervalle $]a_i, a_{i+1}[$ soit prolongeable en une fonction continue (respectivement de classe \mathcal{C}^1) sur $[a_i, a_{i+1}]$.

Une fonction à valeurs réelles T -périodique est dite continue par morceaux sur \mathbb{R} (respectivement de classe \mathcal{C}^1 par morceaux sur \mathbb{R}) si elle est continue par morceaux (respectivement de classe \mathcal{C}^1 par morceaux) sur une période. Espace vectoriel des fonctions à valeurs réelles, T -périodiques et continues par morceaux sur \mathbb{R} (respectivement de classe \mathcal{C}^1 par morceaux sur \mathbb{R}).

Intégrale sur une période d'une fonction T -périodique et continue par morceaux.

Interprétation graphique.

Extension rapide de la définition et des propriétés de l'intégrale au cas des fonctions continues par morceaux.

b) Coefficients et séries de Fourier

Coefficients de Fourier trigonométriques d'une fonction continue par morceaux T -périodique.

Notation $a_k(f)$ et $b_k(f)$ ou, plus simplement, a_k et b_k . Le coefficient a_0 est défini comme la valeur moyenne sur une période.

Cas des fonctions paires, impaires.

Série de Fourier d'une fonction f continue par morceaux T -périodique. Sommes partielles : pour $n \in \mathbb{N}^*$ et $t \in \mathbb{R}$,

$$S_n(f)(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)) \text{ où } \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Dans le cas des fonctions continues, interprétation géométrique de $S_n(f)$ comme la projection orthogonale de f sur le sous-espace vectoriel engendré par les fonctions $t \mapsto \cos(k\omega t)$ et $t \mapsto \sin(k\omega t)$ ($k \in \llbracket 0, n \rrbracket$) pour le produit scalaire défini par $\langle f, g \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T f(t)g(t) dt$.

c) Théorèmes de convergence

Théorème de Parseval : si f est une fonction T -périodique et continue par morceaux sur \mathbb{R} , alors les séries $\sum a_n^2$ et $\sum b_n^2$ convergent et :

$$\frac{1}{T} \int_0^T |f(t)|^2 dt = a_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{+\infty} (a_n^2 + b_n^2).$$

Théorème de Dirichlet : si f est une fonction T -périodique et de classe \mathcal{C}^1 par morceaux sur \mathbb{R} , alors la série de Fourier de f converge en tout point et

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} S_n(f)(t) = \frac{1}{2} \lim_{h \rightarrow 0} (f(t+h) + f(t-h))$$

Cas où f est continue et de classe \mathcal{C}^1 par morceaux.

Démonstration hors programme.

Interprétation géométrique du théorème de Parseval dans le cas des fonctions continues.

Les étudiants doivent savoir appliquer ce résultat pour calculer la somme de certaines séries numériques.

Démonstration hors programme.

On appelle régularisée de f la fonction définie sur \mathbb{R} par $t \mapsto \frac{1}{2} \lim_{h \rightarrow 0} (f(t+h) + f(t-h))$.

Les étudiants doivent savoir appliquer ce résultat pour calculer la somme de certaines séries numériques.

Probabilités

A - Compléments sur les variables aléatoires réelles finies

Cette sous-section a pour objectifs de consolider les acquis de première année sur les variables aléatoires réelles finies et d'étendre les résultats au cas de n variables aléatoires. Dans ce cadre, l'accent est mis sur les couples. Les vecteurs aléatoires ne sont introduits que dans le but d'interpréter une loi binomiale comme une somme de lois de Bernoulli indépendantes. La notion d'espace probabilisé produit n'est pas au programme. L'univers est supposé fini.

a) Couple de variables aléatoires

Couple de variables aléatoires.

Loi du couple ou loi conjointe, lois marginales d'un couple de variables aléatoires.

Loi conditionnelle de Y sachant ($X = x$).

Extension aux n -uplets de variables aléatoires.

La loi conjointe de X et Y est la loi de (X, Y) , les lois marginales de (X, Y) sont les lois de X et Y .

Les lois marginales ne déterminent pas la loi conjointe.

b) Variables aléatoires indépendantes

Couple de variables aléatoires indépendantes : pour tout $(x, y) \in X(\Omega) \times Y(\Omega)$,

$$P(X = x \cap Y = y) = P(X = x)P(Y = y).$$

Si X et Y sont indépendantes, pour tout $(A, B) \subset X(\Omega) \times Y(\Omega)$,

$$P((X, Y) \in A \times B) = P(X \in A)P(X \in B).$$

Démonstration hors programme.

Si X et Y sont indépendantes, les variables aléatoires $f(X)$ et $g(Y)$ le sont aussi.

Variables aléatoires indépendantes :

si $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1(\Omega) \times X_2(\Omega) \times \dots \times X_n(\Omega)$, alors

$$P\left(\bigcap_{i=1}^n (X_i = x_i)\right) = \prod_{i=1}^n P(X_i = x_i).$$

Démonstration hors programme.

Si X_1, \dots, X_n sont indépendantes, les variables aléatoires $f(X_1, \dots, X_p)$ et $g(X_{p+1}, \dots, X_n)$ le sont aussi.

Si X_1, \dots, X_n sont indépendantes de loi $\mathcal{B}(p)$, alors $X_1 + \dots + X_n$ suit la loi $\mathcal{B}(n, p)$.

Démonstration hors programme.

Les étudiants doivent savoir interpréter une loi binomiale comme une somme de lois de Bernoulli indépendantes.

c) Covariance

Covariance d'un couple de variables aléatoires.

Variance de $aX + bY$.

Si X et Y sont indépendantes,

Notation $\text{Cov}(X, Y)$.

Les réciproques sont fausses en général.

$$E(XY) = E(X)E(Y); \quad \text{Cov}(X, Y) = 0;$$

$$V(X + Y) = V(X) + V(Y).$$

B - Probabilités sur un univers dénombrable

On aborde dans cette sous-section l'étude des probabilités sur un univers dénombrable afin de modéliser les processus stochastiques à temps discret. Les résultats démontrés en première année dans le cadre d'un univers fini sont étendus sans démonstration. La construction d'espaces probabilisés modélisant notamment une suite d'expériences aléatoires indépendantes est hors de portée à ce niveau. On se limite au cas où l'ensemble des événements est l'ensemble des parties de Ω . La notion de tribu est hors programme.

a) Espaces probabilisés dénombrables

Un ensemble est dit dénombrable s'il est en bijection avec \mathbb{N} .

Expérience aléatoire, événements.

Suite infinie d'événements; union et intersection.

Système complet d'événements.

Un ensemble fini ou dénombrable peut être décrit en extension sous la forme $\{x_n \mid n \in \mathbb{N}\}$.

Dénombrabilité de \mathbb{N} , de \mathbb{Z} .

On signale que les intervalles ne sont pas dénombrables. Toute autre connaissance sur la dénombrabilité est hors programme.

Extension des définitions vues en première année.

Les étudiants doivent faire le lien entre point de vue probabiliste et point de vue ensembliste.

On appelle probabilité sur Ω toute application P de $\mathcal{P}(\Omega)$ dans $[0, 1]$ vérifiant $P(\Omega) = 1$ et, pour toute suite $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ d'événements deux à deux incompatibles :

$$P\left(\bigcup_{n \in \mathbb{N}} A_n\right) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n).$$

b) Indépendance et conditionnement

Si A et B sont deux événements tels que $P(B) > 0$, on appelle probabilité conditionnelle de A sachant B le réel

$$P_B(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}.$$

Formule des probabilités composées.

Formule des probabilités totales : si $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ est un système complet d'événements de probabilités non nulles, alors la série $\sum P(B \cap A_n)$ converge et,

$$P(B) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B \cap A_n) = \sum_{n=0}^{+\infty} P_{A_n}(B) P(A_n).$$

Formule de Bayes : si A et B sont deux événements tels que $P(A) > 0$, $P(B) > 0$, alors,

$$P_B(A) = \frac{P_A(B) P(A)}{P(B)}.$$

Indépendance de deux événements.

Indépendance d'une famille finie d'événements.

L'application P_B est une probabilité.

Brève extension des résultats vus dans le cadre d'un univers fini.

La formule reste valable dans le cas d'une suite $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ d'événements deux à deux incompatibles tels que

$$\sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n) = 1.$$

Si $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B équivaut à $P_B(A) = P(A)$.

L'indépendance des événements A_i deux à deux n'entraîne pas leur indépendance si $n \geq 3$.

C - Variables aléatoires discrètes

L'utilisation de variables aléatoires pour modéliser des situations simples dépendant du hasard fait partie des capacités attendues des étudiants. On se limite en pratique aux variables aléatoires définies sur un univers dénombrable.

a) Variable aléatoire réelle

Une variable aléatoire réelle X est une application définie sur Ω et à valeurs dans \mathbb{R} .

Loi de probabilité.

L'application P_X est définie par la donnée des $P(X = x)$ pour x dans $X(\Omega)$.

Lien entre $P(X \leq x)$, $P(X \leq x - 1)$ et $P(X = x)$ pour une variable aléatoire réelle discrète à valeurs entières.

Image d'une variable aléatoire par une application.

Notation P_X .

Si f est une application à valeurs réelles, on admet que $f(X)$ est une variable aléatoire et on se limite aux cas simples du type X^2 et X^3 .

b) Espérance

La variable aléatoire réelle X est dite d'espérance finie si la série $\sum x_n P(X = x_n)$ est absolument convergente. Dans ce cas, on appelle espérance de X le réel $\sum_{n=0}^{+\infty} x_n P(X = x_n)$.

Linéarité de l'espérance.

Théorème du transfert : si X est une variable aléatoire et f une application à valeurs réelles définie sur l'image $\{x_n, n \in \mathbb{N}\}$ de X , alors $f(X)$ est d'espérance finie si et seulement si la série $\sum P(X = x_n) f(x_n)$ converge absolument. Dans ce cas, on a :

$$E(f(X)) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(X = x_n) f(x_n).$$

On admet que la somme $\sum_{n=0}^{+\infty} x_n P(X = x_n)$ ne dépend pas de l'ordre d'énumération.

Notation $E(X)$.

Démonstration hors programme.

Démonstration hors programme.

Les étudiants doivent savoir calculer une espérance en appliquant le théorème du transfert.

c) Variance et écart type d'une variable aléatoire

Si la variable aléatoire X^2 est d'espérance finie, alors X est elle-même d'espérance finie.

Lorsque X^2 est d'espérance finie, alors $(X - E(X))^2$ est d'espérance finie et on appelle variance de X le réel $E((X - E(X))^2)$.

Relation $V(X) = E(X^2) - (E(X))^2$ (Koenig-Huygens).

Interpréter la variance comme indicateur de dispersion.

Écart type d'une variable aléatoire.

$V(aX + b) = a^2 V(X)$ pour a et b réels.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

Notation $V(X)$.

L'inégalité de Markov n'est pas au programme.

d) Lois usuelles

Pour $p \in]0, 1[$, loi géométrique de paramètre p : la variable aléatoire X suit la loi $\mathcal{G}(p)$ si et seulement si

$$\forall k \in \mathbb{N}^*, \quad P(X = k) = p(1 - p)^{k-1}.$$

Pour $\lambda \in \mathbb{R}$, loi de Poisson de paramètre λ : la variable aléatoire X suit la loi $\mathcal{P}(\lambda)$ si et seulement si

$$\forall k \in \mathbb{N}, \quad P(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}.$$

Espérance et variance d'une loi géométrique, d'une loi de Poisson.

Notation $X \hookrightarrow \mathcal{G}(p)$.

Les étudiants doivent savoir reconnaître des situations modélisables par une loi géométrique.

La loi géométrique peut être interprétée comme rang du premier succès dans une suite infinie d'épreuves de Bernoulli indépendantes et de même paramètre p . On remarquera que cette interprétation requiert l'existence d'une suite $(X_n)_{n \geq 1}$ de variables de Bernoulli indépendantes, donc un univers non dénombrable. Elle est donnée à titre heuristique.

Notation $X \hookrightarrow \mathcal{P}(\lambda)$.

Illustration numérique de l'approximation d'une loi binomiale par une loi de Poisson pour certains paramètres (loi des événements rares).

Équations différentielles linéaires

L'étude des équations différentielles est limitée au cas linéaire en raison de son importance dans d'autres champs disciplinaires.

Cette section donne l'occasion de faire le lien avec les résultats de première année dans le cas des coefficients constants.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Équations différentielles linéaires d'ordre 1

Équation différentielle linéaire du premier ordre

$$y' + a(t)y = b(t),$$

où a et b sont des fonctions réelles ou complexes, définies et continues sur un intervalle I .

Espace vectoriel des solutions de l'équation homogène.

Principe de superposition.

Structure de l'ensemble des solutions.

Méthode de variation de la constante.

Théorème de Cauchy linéaire : existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy pour une équation de la forme $y' + a(t)y = b(t)$.

Équation homogène associée.

Détermination des solutions.

Plan de résolution.

Le raccordement de solutions est hors programme.

Détermination de la solution vérifiant une condition initiale donnée.

b) Équations différentielles d'ordre 2

Équation différentielle linéaire du second ordre

$$y'' + a(t)y' + b(t)y = c(t),$$

où a , b , c sont des fonctions réelles ou complexes, définies et continues sur un intervalle I .

Espace vectoriel des solutions de l'équation homogène.

Principe de superposition.

Structure de l'ensemble des solutions.

Théorème de Cauchy linéaire : existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy pour une équation de la forme $y'' + a(t)y' + b(t)y = c(t)$.

Résolution complète par abaissement de l'ordre dans le cas où une solution de l'équation homogène ne s'annulant pas est connue.

Exemples de résolution d'équations différentielles par changement de variable.

Équation homogène associée.

Le raccordement de solutions est hors programme.

Recherche de solutions particulières polynomiales ou développables en série entière.

Démonstration hors programme.

On donne toute indication utile.

On donne toute indication utile.

c) Systèmes différentiels linéaires homogènes à coefficients constants

Écriture sous la forme $X' = AX$ où A est une matrice carrée réelle ou complexe à coefficients constants.

Existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Structure de l'ensemble des solutions.

Équivalence entre une équation scalaire d'ordre n et un système de n équations d'ordre 1.

Cas particulier des équations différentielles linéaires d'ordre 2 homogènes à coefficients constants.

Démonstration hors programme.

Pratique guidée de la résolution dans le cas où la matrice A est diagonalisable ou trigonalisable.

Lien avec la forme des solutions d'une équation scalaire d'ordre 2 étudiée en première année.

Fonctions de plusieurs variables

Les fonctions considérées dans cette section sont définies sur une partie de \mathbb{R}^2 ou \mathbb{R}^3 et à valeurs dans \mathbb{R} . L'étude des fonctions de plusieurs variables se veut résolument pratique : présentation de recherche d'extremums, résolution d'équations aux dérivées partielles simples, application à l'étude de certaines courbes et surfaces.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Introduction à la topologie de \mathbb{R}^n ($n \leq 3$)

Norme et distance euclidienne dans \mathbb{R}^n .	Tout développement sur les normes non euclidiennes est hors programme.
Boule ouverte, boule fermée. Partie bornée de \mathbb{R}^n . Partie ouverte, partie fermée. Point intérieur, point extérieur, point adhérent. Intérieur, frontière (ou bord) d'une partie de \mathbb{R}^n .	Chaque définition est assortie d'une figure. Les caractérisations séquentielles sont hors programme.

b) Limite et continuité

Limite en un point adhérent, continuité en un point, continuité sur une partie. Opérations. Toute fonction réelle continue sur une partie fermée bornée de \mathbb{R}^n est bornée et atteint ses bornes.	L'étude de la continuité d'une fonction de plusieurs variables n'est pas attendu du programme.
---	--

c) Dérivées partielles

Dérivées partielles d'ordre 1 en un point intérieur. Gradient. Point critique. Fonction de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert. Opérations. Développement limité à l'ordre 1 d'une fonction de classe \mathcal{C}^1 . Dérivée de $t \mapsto f(x(t), y(t))$. Dérivées partielles de $(u, v) \mapsto h(f(u, v), g(u, v))$.	Notations $\partial_i f(a)$, $\frac{\partial f}{\partial x_i}(a)$. La notion de différentielle en un point est hors programme. Notation ∇f . Existence admise. Les étudiants doivent connaître le cas particulier des coordonnées polaires et savoir étendre les deux résultats précédents au cas de trois variables.
Dérivées partielles d'ordre 2 en un point intérieur. Fonction de classe \mathcal{C}^2 . Opérations. Théorème de Schwarz.	Notations $\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}$, $\partial_1 \partial_2 f$. Démonstration hors programme.

d) Équations aux dérivées partielles

Exemples de résolution d'équations aux dérivées partielles du premier et du second ordre.	Les étudiants doivent être capables d'utiliser un changement de variables suggéré dans les deux cas suivants : transformation affine, passage en coordonnées polaires.
---	--

e) Extremums d'une fonction de deux variables

Si une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert de \mathbb{R}^2 admet un extremum local en un point, alors celui-ci est un point critique.
Exemples de recherche d'extremums globaux sur une partie fermée bornée de \mathbb{R}^2 .

f) Applications géométriques

Courbe du plan définie par une équation $f(x, y) = 0$ avec f de classe \mathcal{C}^1 .

Point régulier.

Tangente en un point régulier définie comme la droite orthogonale au gradient et passant par le point.

En un point où il est non nul, le gradient de f est orthogonal aux lignes de niveau $f(x, y) = \lambda$ et orienté dans le sens des valeurs croissantes de f .

Surface définie par une équation $f(x, y, z) = 0$ avec f de classe \mathcal{C}^1 .

Point régulier.

Plan tangent à une surface en un point régulier défini comme le plan orthogonal au gradient et passant par le point.

Position relative locale entre une surface d'équation $z = g(x, y)$ et son plan tangent.

Cas particulier des courbes d'équation $y = g(x)$.

En admettant l'existence d'un paramétrage local de classe \mathcal{C}^1 , lien avec la tangente à un arc paramétré.
Démonstration hors programme.

Cas particulier des surfaces d'équation $z = g(x, y)$.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et sciences industrielles (TSI)

Annexe 2

Programmes de physique-chimie



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de physique-chimie de la classe TSI 1^{ère} année

Programme de physique-chimie de la voie TSI

Classe de première année

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de TSI première année est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques préparant les étudiants à la deuxième année de classe préparatoire et, au-delà, à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences déjà travaillées au lycée inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. Elles offrent aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories. L'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative. La construction d'un modèle passe aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser de façon complémentaire connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de quatre thèmes : « ondes et signaux », « mouvements et interactions », « l'énergie : conversions et transferts » et

« constitution et transformations de la matière ». La présentation en deux colonnes (« Notions et contenus » et « Capacités exigibles ») met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont le plus souvent des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace.

Certains items de cette seconde partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie à la fin de l'année de la classe de TSI première année.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression pour chacun des deux semestres ; celle-ci relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, etc.). - Énoncer ou dégager une problématique scientifique. - Représenter la situation par un schéma modèle. - Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. - Relier le problème à une situation modèle connue. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser/ Raisonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. - Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. - Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques. - Évaluer des ordres de grandeur. - Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations.

	<ul style="list-style-type: none"> - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. - Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données. - Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. - Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, etc.). - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. o rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. o utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, etc.). - Écouter, confronter son point de vue.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de l'**autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'**environnement** et le **développement durable** ou encore le **réchauffement climatique**.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences est d'autant plus efficace que les étudiants sont acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour

diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;

- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques : mathématiques, informatique, sciences industrielles de l'ingénieur.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, l'enseignant veille soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'annexe 1 du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles ; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année. L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans le cas des incertitudes-types composées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes – repérés en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » du programme – peuvent servir à définir. Le travail de ces capacités et leur consolidation se poursuit en seconde année.

Dans le tableau ci-dessous, les différentes capacités à acquérir sont groupées par domaines thématiques ou transversaux. Cela ne signifie pas qu'une activité expérimentale se limite à un seul domaine. La capacité à former une image de bonne qualité, par exemple, peut être mobilisée au cours d'une expérience de mécanique ou de thermodynamique, cette transversalité de la formation devant être un moyen, entre d'autres, de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de longueurs et d'angles Longueurs : sur un banc d'optique.	Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions.
Longueurs : à partir d'une photo ou d'une vidéo.	Évaluer par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique et en estimer la précision.
Angles : avec un goniomètre.	Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice. Utiliser des vis micrométriques et un réticule. Mesurer l'indice de réfraction d'un prisme.
Longueurs d'onde.	Relever des longueurs d'onde sur un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique. Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.
2. Mesures de temps et de fréquences Fréquence ou période : mesure au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou <i>via</i> une carte d'acquisition.	Mettre en œuvre une méthode de mesure de fréquence ou de période.
Analyse spectrale.	Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée totale d'acquisition. Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.
Décalage temporel, déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.	Reconnaître une avance ou un retard de phase. Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement. Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.

<p>3. Électricité</p> <p>Mesurer une tension :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. <p>Mesurer l'intensité d'un courant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ampèremètre numérique ; - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. <p>Mesurer une résistance ou une impédance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre ; - mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension. 	<p>Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choisir les calibres adaptés à la mesure faite ; - préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ; - définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête, etc.).
<p>Produire un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.</p>	<p>Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.</p>
<p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - filtrage ; - intégration. 	<p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses. Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.</p> <p>Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p>
<p>4. Optique</p> <p>Former une image.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, choisir leur focale de façon raisonnée et aligner l'ensemble du système optique.</p> <p>Estimer une valeur approchée d'une distance focale.</p>
<p>Créer ou repérer une direction de référence.</p>	<p>Régler et mettre en œuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.</p>
<p>Analyser une image numérique</p>	<p>Acquérir (avec une webcam, un appareil photo numérique, etc.) l'image, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel pour conduire l'étude d'un phénomène.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Mesurer une masse, un moment d'inertie.</p>	<p>Utiliser une balance de précision. Mesurer un moment d'inertie à partir d'une période.</p>
<p>Visualiser et décomposer un mouvement.</p>	<p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à</p>

	l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.
Mesurer une vitesse, une accélération.	Mettre en œuvre un capteur de vitesse, un accéléromètre, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur.
Quantifier une action.	Utiliser un dynamomètre, un capteur de force.
6. Thermodynamique Mesurer une pression.	Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.
Mesurer une température.	Mettre en œuvre un capteur de température, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur.
Effectuer des bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.
7. Mesures de grandeurs en chimie Mesurer un volume, une masse, un pH, une conductance et une conductivité, une absorbance.	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de composition connue avec le matériel approprié. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance) en s'aidant d'une notice. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.
8. Analyses qualitatives et quantitatives Effectuer des tests qualitatifs.	Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.
Réaliser des dosages par étalonnage.	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.
Réaliser des dosages par titrage direct. Équivalence. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, indicateurs colorés de fin de titrage.	Exploiter la réaction support d'un titrage unique (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage.

Exploiter des courbes expérimentales de titrage.	Exploiter une courbe de titrage pour déterminer la concentration en espèce titrée. Utiliser un logiciel de simulation pour confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale. Distinguer l'équivalence et le repérage du virage d'un indicateur coloré de fin de titrage.
Mettre en œuvre des suivis cinétiques de transformations chimiques. Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique.	Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse. Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.

3. Prévention du risque au laboratoire de physique-chimie

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique, optique et celles liées à la pression et à la température leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques au laboratoire	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H) et conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
- Risque électrique	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- Risque optique	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
- Risques liés à la pression et à la température	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
4. Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

Premier semestre

Thème 1 : ondes et signaux (1)

- 1.1. Propagation d'un signal
- 1.2. Formation des images
- 1.3. Signaux électriques dans l'ARQS
- 1.4. Circuit linéaire du premier ordre et oscillateurs libres

Thème 4 : constitution et transformations de la matière (1)

- 4.1. Molécules, ions et cristaux
- 4.2. Relations structure des entités - propriétés physiques macroscopiques
- 4.3. Transformations de la matière
- 4.4. Évolution temporelle d'un système chimique

Thème 2 : mouvements et interactions

- 2.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point
- 2.2. Lois de Newton
- 2.3. Approche énergétique du mouvement d'un point matériel
- 2.4. Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe

Deuxième semestre

Thème 1 : ondes et signaux (2)

- 1.5. Oscillateurs forcés
- 1.6. Filtrage linéaire
- 1.7. Champ magnétique
- 1.8. Actions d'un champ magnétique
- 1.9. Lois de l'induction
- 1.10. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps
- 1.11. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire
- 1.12. Convertisseurs électromécaniques

Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts

- 3.1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre
- 3.2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation
- 3.3. Premier principe. Bilans d'énergie
- 3.4. Deuxième principe. Bilans d'entropie
- 3.5. Machines thermiques

Thème 4 : constitution et transformations de la matière (2)

- 4.5. Réactions acide-base et de précipitation
- 4.6. Réactions d'oxydo-réduction

A. Premier semestre

Thème 1 : ondes et signaux (1)

Dans la partie 1.1. « Propagation d'un signal », il est recommandé de s'appuyer sur l'approche expérimentale et sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation physique des signaux qui se propagent et leurs représentations spatiales et temporelles. L'introduction de la somme de deux sinusoïdes à travers le phénomène d'interférences permet de faire ressortir le rôle essentiel que joue le déphasage entre deux signaux dans le signal résultant obtenu. L'approche de la diffraction est purement descriptive et expérimentale, et envisagée comme une propriété universelle des ondes ; l'objectif est notamment d'introduire l'approximation de l'optique géométrique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Propagation d'un signal	
Signaux.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$. Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée, et l'évolution spatiale à un instant donné.
Onde progressive sinusoïdale : phase, double périodicité spatiale et temporelle.	Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. Mesurer la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence. Déphasage.	Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives. Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.
Diffraction à l'infini.	Utiliser la relation $\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture. Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.

La partie 1.2. « Formation des images » portant sur l'optique géométrique ne doit pas être enseignée ou évaluée pour elle-même mais avec comme objectifs principaux de servir de point d'appui pour des approches expérimentales en première année et pour l'étude de l'optique physique en deuxième année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Formation des images	

Lumière : aspects particulaire et ondulatoire. Énergie d'un photon.	Utiliser l'expression reliant l'énergie d'un photon à la fréquence.
Sources lumineuses Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Caractériser une source lumineuse par son spectre. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Indice d'un milieu transparent.	Établir la relation entre la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans un milieu.
Modèle de l'optique géométrique Approximation de l'optique géométrique et modèle du rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Snell-Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
Conditions de l'approximation de Gauss et applications Stigmatisme. Miroir plan.	Construire l'image d'un objet par un miroir plan, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de l'approximation de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces. Formules de conjugaison et de grandissement transversal.	Utiliser les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers, de la distance focale, de la vergence. Construire l'image d'un objet réel ou virtuel situé à distance finie ou infinie à l'aide des rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle. Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal (de Descartes uniquement). Mettre en œuvre un dispositif optique d'utilisation courante modélisable à l'aide de deux lentilles.
Modèles de quelques dispositifs optiques L'œil. Punctum proximum, punctum remotum.	Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe. Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.
L'appareil photographique.	Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille mince et d'un capteur. Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné. Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.
La fibre optique à saut d'indice.	Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.

La partie 1.3. « **Signaux électriques dans l'ARQS** » pose les bases nécessaires à l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). Si le programme se concentre sur l'étude des dipôles R, L et C, il est possible, lors des travaux pratiques, de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (filtres à capacité commutée, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.3. Signaux électriques dans l'ARQS	
Charge électrique, intensité du courant électrique. Potentiel, référence de potentiel, tension. Puissance.	Utiliser les ordres de grandeur des charges des électrons et des ions en vue de légitimer l'utilisation de grandeurs électriques continues. Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des nœuds et celle des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer des ordres de grandeur des intensités, des tensions et des puissances dans différents domaines d'application.
Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	Utiliser les relations entre l'intensité et la tension. Citer des ordres de grandeurs de valeurs de résistances, de capacités et d'inductances. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou dans une bobine. Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin.
Association de deux résistances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant.
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	Extraire des grandeurs électriques de la notice d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de son utilisation sur le fonctionnement d'un circuit. Étudier l'influence des résistances d'entrée ou de sortie sur le signal délivré par un GBF sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre.

La partie 1.4. « **Circuit linéaire du premier ordre et oscillateurs libres** » aborde l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime libre. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des méthodes mises en œuvre et leur exploitation pour étudier l'effet d'un système linéaire sur un signal. Le choix est fait de présenter simultanément les oscillateurs électriques et mécaniques de manière à mettre l'accent sur les analogies formelles et comportementales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.4. Circuit linéaire du premier ordre et oscillateurs libres	
Régime libre, réponse à un échelon de tension.	<p>Distinguer sur un relevé expérimental, le régime transitoire et le régime permanent d'un signal à la sortie d'un système du premier ordre soumis à un échelon de tension.</p> <p>Utiliser un modèle équivalent aux dipôles pour déterminer les grandeurs électriques en régime permanent.</p> <p>Interpréter et utiliser les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité du courant traversant une bobine.</p> <p>Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Déterminer la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon de tension.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée d'un régime transitoire.</p> <p>Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un circuit linéaire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux résultats d'un modèle.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : mettre en œuvre la méthode d'Euler à l'aide d'un langage de programmation pour simuler la réponse d'un système linéaire du premier ordre à une excitation de forme quelconque.</p>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser un bilan énergétique.
Oscillateur harmonique. Exemples du mouvement sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse, et du circuit LC.	<p>Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique ; la résoudre compte tenu des conditions initiales.</p> <p>Caractériser l'évolution en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.</p> <p>Déterminer, en s'appuyant sur des arguments physiques et une analyse dimensionnelle, la position d'équilibre et le mouvement d'une masse fixée à un ressort vertical.</p> <p>Réaliser le bilan énergétique du circuit LC.</p>
Oscillateur amorti. Exemples du mouvement amorti par frottement visqueux d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse, et du circuit RLC.	<p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques.</p> <p>Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p>

	<p>Décrire la nature de la réponse en fonction du facteur de qualité. Établir l'expression de la réponse dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité.</p> <p>Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électronique.</p> <p>Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un système linéaire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</p>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser le bilan énergétique du circuit RLC série.

Thème 4 : Constitution et transformations de la matière (1)

Un des objectifs de la partie **4.1. « Molécules, ions et cristaux »** est de proposer une représentation simple d'entités chimiques moléculaires à l'aide du modèle de Lewis. On peut montrer, sur quelques exemples, les limites du modèle de Lewis. Un deuxième objectif est de prévoir les éventuelles polarisations des liaisons dans une entité chimique et d'en déduire les moments dipolaires associés. Les notions sur les cristaux parfaits présents dans cette partie ne doivent conduire à aucun calcul de cristallographie, si ce n'est celui de la valeur de la masse volumique d'un cristal parfait.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Molécules, ions et cristaux	
<p>Modèle de la liaison covalente Liaison covalente localisée. Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion monoatomique ou d'un ion polyatomique. Règle de l'octet.</p>	<p>Établir un ou des schémas de Lewis pertinent(s) pour une molécule ou un ion constitué des éléments C, H, O et N.</p>
<p>Géométrie et polarité des entités chimiques Électronégativité : liaison polarisée, moment dipolaire, molécule polaire.</p>	<p>Associer qualitativement la géométrie d'une entité à une minimisation de son énergie. Comparer les électronégativités de deux atomes à partir de données ou de leurs positions dans le tableau périodique. Prévoir la polarisation d'une liaison à partir des électronégativités comparées des deux atomes mis en jeu. Relier l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent à la structure géométrique donnée d'une molécule. Déterminer direction et sens du vecteur moment dipolaire d'une liaison ou d'une molécule de géométrie donnée.</p>

Modèle du cristal parfait. Exemples de cristaux métalliques, ioniques et covalents.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la formule chimique qui représente un cristal parfait, sa structure étant donnée. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un cristal parfait. Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et pour déterminer des paramètres géométriques.
--	--

La partie **4.2. « Relations structure des entités - propriétés physiques macroscopiques »** a pour objectif de permettre l'identification des interactions entre entités moléculaires ou ioniques afin d'interpréter, de prévoir ou de comparer certaines propriétés physiques : température de changement d'état, miscibilité, solubilité dans l'eau.

De nombreuses illustrations et applications dans la vie courante, au niveau du laboratoire ou dans le domaine du vivant peuvent être proposées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Relations structure des entités - propriétés physiques macroscopiques	
Interaction entre entités Interactions de van der Waals. Liaison hydrogène ou interaction par pont hydrogène.	Comparer les énergies de l'interaction de van der Waals, de la liaison hydrogène et de la liaison covalente. Interpréter l'évolution de températures de changement d'état de corps purs moléculaires à l'aide de l'existence d'interactions de van der Waals ou par pont hydrogène.
Solubilité ; miscibilité Grandeurs caractéristiques et propriétés de solvants moléculaires : moment dipolaire, caractère protogène. Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.	Interpréter la solubilité d'une espèce chimique moléculaire ou ionique dans l'eau.

L'objectif de la partie **4.3. « Transformations de la matière »** est d'amener les étudiants à mobiliser de manière autonome les notions et modèles pour décrire, au niveau macroscopique, un système physique ou physico-chimique et son évolution. Il convient que les problématiques abordées, les illustrations et les applications prennent largement appui sur des transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, en milieu industriel ou dans le monde du vivant.

Les concepts développés dans cette partie permettent d'envisager l'optimisation des transformations ou des analyses. L'étude quantitative de l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique, est réalisée à partir d'une modélisation par une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Il s'agit de prévoir le sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et de déterminer leur composition dans l'état final. Les compétences relatives à cette partie du programme sont ensuite réinvesties au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de la thermodynamique chimique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Transformations de la matière	
Transformations physique, chimique, nucléaire.	Identifier la nature d'une transformation.

Transformations physiques. États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin. Notion de phase.	Identifier la nature d'une transformation physique.
Système physico-chimique Espèces physico-chimiques.	Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système.
Corps purs et mélanges : concentrations en quantité de matière et en masse, fractions molaire et massique, pression partielle. Composition d'un système physico-chimique.	Décrire la composition d'un système à l'aide de grandeurs physiques pertinentes.
Transformation chimique d'un système Modélisation d'une transformation par une réaction chimique.	Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique donnée.
Équation de réaction, constante thermodynamique d'équilibre.	Déterminer une constante thermodynamique d'équilibre.
Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une réaction chimique unique : avancement, activité, quotient de réaction, critère d'évolution.	Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélange de gaz parfaits avec référence à l'état standard. Exprimer le quotient de réaction. Prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique.
Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.	Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique. <u>Capacité numérique</u> : déterminer, à l'aide d'un langage de programmation, l'état final d'un système, siège d'une transformation, modélisée par une réaction chimique unique à partir des conditions initiales et de la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre.

La partie 4.4. « **Évolution temporelle d'un système chimique** » permet de dégager expérimentalement les facteurs cinétiques concentration et température. Cette mise en évidence est prolongée par les premières modélisations macroscopiques d'évolution des concentrations avec des lois de vitesse d'ordre simple et d'influence de la température avec la loi d'Arrhenius. Les déterminations d'ordre global ou apparent mettent en œuvre la méthode intégrale, et peuvent s'effectuer à l'aide de logiciels dédiés ou de programmes élaborés en langage de programmation, pour l'exploitation des mesures expérimentales dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Évolution temporelle d'un système chimique	

<p>Vitesses volumiques de consommation d'un réactif et de formation d'un produit. Vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>	<p>Relier la vitesse de réaction à la vitesse volumique de consommation d'un réactif ou de formation d'un produit.</p> <p>Déterminer l'influence d'une concentration sur la vitesse d'une réaction chimique.</p>
<p>Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent. Temps de demi-réaction.</p>	<p>Exprimer, pour une transformation modélisée par une seule réaction chimique, la loi de vitesse si la réaction chimique admet un ordre. Déterminer la valeur de la constante de vitesse à une température donnée. Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode graphique. Déterminer un ordre de réaction à l'aide des temps de demi-réaction. Déterminer la valeur d'un ordre par la méthode intégrale, en se limitant à une décomposition d'ordre 0, 1 ou 2 d'un unique réactif, ou en se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques.</p> <p>Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : mettre en œuvre la méthode d'Euler à l'aide d'un langage de programmation pour simuler l'évolution temporelle de la concentration des constituants.</p>
<p>Loi d'Arrhenius ; énergie d'activation</p>	<p>Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une réaction chimique à partir de valeurs de la constante cinétique à différentes températures.</p> <p>Déterminer l'énergie d'activation d'une réaction chimique.</p>

Thème 2 : mouvements et interactions

La partie 2.1. « **Description et paramétrage du mouvement d'un point** » vise notamment à mettre en place les principaux systèmes de coordonnées : cartésiennes, polaires et cylindriques. Le but est de permettre aux étudiants de disposer d'outils efficaces pour décrire une assez grande variété de mouvements de points. Pour atteindre cet objectif, il convient de les familiariser progressivement avec les projections et dérivations de vecteurs ainsi qu'avec l'algébrisation des grandeurs dans un contexte relevant de la physique. Enfin, cette partie est l'occasion de procéder à des analyses qualitatives des comportements cinématiques de systèmes réels décrits par un point, notamment sur les exemples simples des mouvements rectilignes et circulaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point	

Cinématique du point Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement. Description du mouvement d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Systèmes de coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques.	Utiliser les expressions des composantes des vecteurs position, vitesse et accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques.
	Identifier les degrés de liberté d'un mouvement. Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé. Construire le trièdre local associé au repérage d'un point.
Mouvement à vecteur accélération constant.	Exprimer les vecteurs position et vitesse en fonction du temps. Établir l'expression de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes des vecteurs position, vitesse et accélération en coordonnées polaires. Exploiter les liens entre les composantes du vecteur accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur vitesse et sa variation temporelle. Situer qualitativement la direction du vecteur accélération dans la concavité d'une trajectoire plane.
	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.

Dans la partie **2.2. « Lois de Newton »**, on cherche d'abord à renforcer les compétences des étudiants relatives à la mise en équations d'un problème, qu'il s'agisse des étapes de bilans de forces ou de projection de la deuxième loi de Newton sur la base choisie. On vise par ailleurs, sur l'exemple de quelques mouvements simples, à renforcer les compétences d'analyse qualitative d'une équation différentielle : stabilité des solutions, positions d'équilibre, type d'évolution, durée ou période typique d'évolution, etc. Cette pratique s'articule avec l'utilisation d'un langage de programmation pour résoudre des équations différentielles. Enfin, il s'agit aussi de sensibiliser les étudiants aux limites de validité de certains modèles, et ainsi de donner toute leur importance aux étapes de modélisation et de validation d'un modèle. On ne considère que des systèmes fermés. Concernant les satellites et les planètes, on se limite aux mouvements circulaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2. Lois de Newton	
Référentiel galiléen. Première loi de Newton.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Notion de force. Troisième loi de Newton.	Établir un bilan des forces et en rendre compte sur un schéma.
Deuxième loi de Newton.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel.

	Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force par exemple à l'aide d'un microcontrôleur.
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement.	Mettre en équation le mouvement sans frottement d'un point matériel et le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant.
Modèles d'une force de frottement fluide. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme en présence de frottement fluide.	Exploiter, sans la résoudre analytiquement, une équation différentielle : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats obtenus par simulation numérique. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides. <u>Capacité numérique</u> : tracer la trajectoire d'un point matériel dans le cas d'une chute en présence de frottements.
Tension d'un fil. Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre numériquement l'équation différentielle du deuxième ordre non linéaire et mettre en évidence le non-isochronisme des oscillations.
Mouvement dans un champ de gravitation. Mouvements des satellites et des planètes. Orbites circulaires. Période de révolution. Lois de Kepler.	Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire.

La partie **2.3. « Approche énergétique du mouvement d'un point matériel »** vise à construire une démarche alternative et complémentaire pour l'étude d'une situation relevant de la mécanique – et plus généralement de la physique – fondée sur la conservation éventuelle de certaines grandeurs – ici, l'énergie mécanique. Cette approche est l'occasion d'illustrer la capacité prédictive des analyses graphiques et numériques, par exemple pour pouvoir décrire un comportement à partir d'une représentation graphique de l'énergie potentielle dans le cas d'un mouvement conservatif.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.3. Approche énergétique du mouvement d'un point matériel.	
Puissance, travail et énergie cinétique Travail élémentaire d'une force. Travail d'une force entre deux points. Puissance d'une force.	Déterminer le travail d'une force au cours d'un déplacement élémentaire. Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force.

Théorèmes de l'énergie cinétique et de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser le théorème approprié en fonction du contexte.
Force conservative et énergie potentielle	Distinguer force conservative et force non conservative. Établir et citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (champ uniforme) et de l'énergie potentielle élastique.
Énergie mécanique Théorème de l'énergie mécanique. Mouvement conservatif.	Identifier les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.
Mouvement conservatif à une dimension.	Identifier sur un graphe d'énergie potentielle une barrière et un puits de potentiel. Dédire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif d'un système : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.
Positions d'équilibre. Stabilité.	Dédire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et le caractère stable ou instable de ces positions.
Oscillateurs mécaniques.	Réaliser le bilan énergétique d'un oscillateur mécanique en absence, puis en présence, de frottement en régime libre.

Concernant la partie **2.4. « Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe »**, il s'agit de définir le mouvement en remarquant que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire et de déterminer la vitesse de chaque point en fonction de celle-ci et de la distance à l'axe de rotation.

L'étude du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe gardant une direction fixe dans un référentiel galiléen mais pour lequel l'axe de rotation est en mouvement est exclue.

Cette partie se termine par l'étude d'un système déformable pour souligner le rôle des forces intérieures dans le bilan énergétique d'un système.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.4. Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe	
Définition d'un solide.	Différencier un solide d'un système déformable.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque d'un solide en rotation autour d'un axe fixe et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.
Théorème scalaire du moment cinétique appliqué au solide mobile autour d'un axe fixe Moment cinétique scalaire d'un solide en rotation autour d'un axe. Moment d'inertie.	Exploiter la relation pour le solide entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni. Relier qualitativement le moment d'inertie à la répartition des masses.

Moment d'une force par rapport à un axe orienté. Couple.	Exprimer le moment d'une force par rapport à un axe orienté, en privilégiant l'utilisation du bras de levier. Définir un couple de forces, le moment d'un couple.
Liaison pivot.	Définir une liaison pivot et justifier la valeur du moment qu'elle peut produire.
Théorème scalaire du moment cinétique appliqué au solide en rotation autour d'un axe fixe orienté dans un référentiel galiléen.	Déterminer l'équation du mouvement, le moment d'inertie du solide par rapport à l'axe de rotation étant donné.
Pendule pesant.	Établir l'équation du mouvement. Établir une intégrale première du mouvement.
Approche énergétique du mouvement d'un solide autour d'un axe fixe orienté, dans un référentiel galiléen Énergie cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe.	Utiliser l'expression de l'énergie cinétique, le moment d'inertie étant fourni.
Théorème de l'énergie cinétique pour un solide en rotation autour d'un axe fixe.	Établir, dans ce cas, l'équivalence entre le théorème scalaire du moment cinétique et celui de l'énergie cinétique.
Système déformable Théorème de l'énergie cinétique pour un système déformable.	Prendre en compte le travail des forces intérieures. Utiliser sa nullité dans le cas d'un solide. Réaliser le bilan énergétique du tabouret d'inertie.

B. Second semestre

Thème 1 : Ondes et signaux (2)

Le thème 1 « Ondes et signaux » traite, au second semestre, des oscillations forcées, du filtrage linéaire, de l'induction et de la conversion électromécanique. Il s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Le point de vue adopté cherche à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation de leurs applications. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace, soit dans celui d'un cadre rectangulaire en rotation. Ce dernier modèle permet d'introduire la notion de dipôle magnétique et une analogie de comportement permet de l'étendre au cas de l'aiguille d'une boussole. Le thème s'achève avec l'étude des convertisseurs électromécaniques les plus classiques.

Le succès de cet enseignement suppose le respect de ces limitations : il ne s'agit pas d'une étude générale des phénomènes d'induction. Corrélativement, l'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

La partie **1.5. « Oscillateurs forcés »** prolonge l'étude faite au premier semestre sur les oscillateurs libres. Le choix est fait ici aussi de présenter simultanément les oscillateurs électriques et mécaniques de manière à mettre l'accent sur les analogies formelles et comportementales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.5. Oscillateurs forcés	
Impédances complexes.	Établir et citer l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine.
Association de deux impédances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.
Oscillateur mécanique ou électrique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	Utiliser la représentation complexe pour étudier le régime forcé. Relier l'acuité d'une résonance au facteur de qualité. Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase. Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier le phénomène de résonance. <u>Capacité numérique</u> : mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation ou en tension.

L'objectif principal de la partie **1.6. « Filtrage linéaire »** n'est pas de former les étudiants aux aspects techniques des calculs des fonctions de transfert et des tracés de diagrammes de Bode mais de mettre l'accent sur l'interprétation des propriétés du signal de sortie connaissant celles du signal d'entrée et d'appréhender le rôle central de la linéarité des systèmes utilisés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
---------------------	---------------------

1.6. Filtrage linéaire	
Signaux périodiques.	Identifier sur le spectre d'un signal périodique la composante continue, le fondamental et les harmoniques. Définir la valeur moyenne d'un signal et sa valeur efficace.
Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	Prévoir le comportement d'un filtre en hautes et basses fréquences. Tracer le diagramme de Bode (amplitude et phase) associé à une fonction de transfert d'ordre 1. Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 (ou ses représentations graphiques) pour étudier la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique. Interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode fournis d'après l'expression de la fonction de transfert. Mettre en œuvre un dispositif illustrant la fonction de filtrage d'un système linéaire.
Modèles de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.	Expliquer l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de faible impédance de sortie et forte impédance d'entrée. Expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètre, amortisseur, accéléromètre, etc.). Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation, l'action d'un filtre sur un signal périodique dont le spectre est fourni. Mettre en évidence l'influence des caractéristiques du filtre sur l'opération de filtrage.

La partie **1.7. « Champ magnétique »** vise à relier le champ magnétique et ses sources ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, l'exploitation des représentations graphiques et la connaissance d'ordres de grandeur.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7. Champ magnétique	

Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Associer un moment magnétique à un aimant, par analogie avec une boucle de courant. Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Dans la partie **1.8. « Actions d'un champ magnétique »**, il s'agit de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier un mouvement dans un champ uniforme et stationnaire : celui d'une barre en translation ou celui d'un moment magnétique en rotation modélisé par un cadre rectangulaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.8. Actions d'un champ magnétique	
Résultante et puissance des forces de Laplace.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme. Établir et citer l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) placée dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre. Exprimer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Établir et exploiter l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique. Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.

Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.
--	--

La partie 1.9. « **Lois de l'induction** » repose sur la loi de Faraday qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui constitue un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On évoque, à ce sujet, les différents points de vue possibles sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.9. Lois de l'induction	
Flux d'un champ magnétique Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
Loi de Faraday Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modulation de Lenz.	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algèbrisation.

La partie 1.10. « **Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps** » aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur de tension.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.10. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction Flux propre et inductance propre.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Vérifier la compatibilité du signe de l'inductance propre avec la loi de modulation de Lenz. Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par la bobine étant donné. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
Cas de deux bobines en interaction Inductance mutuelle entre deux bobines.	Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe, de grande longueur, en « influence totale », le champ magnétique créé par une bobine étant donné.

Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.	Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.
Transformateur de tension parfait.	Établir la loi des tensions. Citer des applications du transformateur de tension pour le transport d'énergie électrique ou l'isolement.

La partie 1.11. « **Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire** » est centrée sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un moteur à courant continu ou un dispositif de freinage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.11. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique	Interpréter qualitativement les phénomènes créés lors du mouvement d'une barre sur des rails de Laplace et lors du mouvement d'une spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique. Établir les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Établir et interpréter la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique. Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.
Freinage par induction.	Expliquer l'origine des courants de Foucault et en citer des exemples d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.
Conversion de puissance électrique en puissance mécanique Moteur à courant continu à entrefer plan.	Expliquer le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu à entrefer plan en utilisant les forces de Laplace. Utiliser la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique.

La partie 1.12 « **Convertisseurs électromécaniques** » présente les convertisseurs de puissance les plus courants. Les principes de fonctionnement sont expliqués sans entrer dans le détail des réalisations technologiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.12. Convertisseurs électromécaniques	

Moteur à courant continu.	Établir les relations reliant respectivement la vitesse de rotation à la force électromotrice et le couple à l'intensité du courant.
Machine synchrone.	Établir la condition d'existence d'un couple moyen non nul d'un moteur synchrone.
Machine asynchrone.	Établir l'expression du couple moyen du moteur asynchrone en fonction de la vitesse de rotation afin de mettre en évidence un fonctionnement moteur et un fonctionnement génératrice.
	Expliquer les avantages et inconvénients des différentes machines et donner des exemples d'utilisation. Modifier le fonctionnement des moteurs (vitesse ou couple) en agissant sur certains paramètres électriques.

Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts

Après avoir mis l'accent sur le passage d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, les parties **3.1. « Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre »** et **3.2 « Énergie échangée par un système au cours d'une transformation »** proposent, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, et d'aborder les deux principes fondamentaux de la thermodynamique. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique.

On utilise les notations suivantes : pour une grandeur extensive « A », « a » sera la grandeur massique associée et « A_m » la grandeur molaire associée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique.	Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité.
Système thermodynamique.	Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression. Pression, température, volume : équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible. Exemples d'un gaz réel aux faibles pressions et d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable.	Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Dédire une température d'une condition d'équilibre thermique. Utiliser l'équation d'état des gaz parfaits, l'interpréter à l'échelle microscopique. Comparer, à l'aide de réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat, le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait. Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.

<p>Énergie interne d'un système Énergie interne du gaz parfait monoatomique. Énergie interne des gaz parfaits polyatomiques. Capacité thermique à volume constant d'un gaz parfait.</p>	<p>Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique en fonction de la température.</p> <p>Exploiter la propriété $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.</p>
<p>Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.</p>	<p>Exploiter la propriété $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.</p>
<p>Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P, T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v), titre en vapeur.</p>	<p>Analyser un diagramme de phases expérimental (P, T).</p> <p>Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression.</p> <p>Positionner les phases dans les diagrammes (P, T) et (P, v).</p> <p>Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v).</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
<p>Transformation thermodynamique subie par un système. Évolutions isochore, monotherme, isotherme, monobare, isobare.</p>	<p>Définir un système adapté à une problématique donnée.</p>
<p>Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare.</p>	<p>Évaluer le travail des forces de pression par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable.</p> <p>Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.</p>
<p>Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.</p>	<p>Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.</p> <p>Identifier, dans une situation expérimentale, le ou les systèmes modélisables par un thermostat.</p> <p>Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.</p>

Concernant les bilans d'énergie abordés dans la partie **3.3. « Premier principe. Bilans d'énergie »**, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ sont données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.3. Premier principe. Bilans d'énergie	

Premier principe de la thermodynamique.	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail et transfert thermique. Exploiter l'extensivité de l'énergie interne. Distinguer le statut de la variation d'énergie interne du statut des termes d'échange. Calculer le transfert thermique sur un chemin donné connaissant le travail et la variation de l'énergie interne.
Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final. Exprimer l'enthalpie molaire $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de son énergie interne. Justifier sur un exemple que l'enthalpie molaire H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T . Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion, etc.).

Concernant la partie **3.4. « Deuxième principe. Bilans d'entropie »**, l'expression de la fonction d'état entropie est systématiquement donnée et sa construction n'est pas une capacité visée. On cite sans aucun développement quantitatif son interprétation en termes de désordre de façon à faciliter une interprétation intuitive des bilans d'entropie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.4. Deuxième principe. Bilans d'entropie.	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créée}}$ avec $S_{\text{éch}} = \sum Q_i/T_i$.	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier la création d'entropie à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité. Analyser le cas particulier d'un système en évolution adiabatique.
Variation d'entropie d'un système.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie. Exploiter l'extensivité de l'entropie.
Loi de Laplace.	Citer et utiliser la loi de Laplace après avoir rappelé ses conditions d'application.

Cas particulier d'une transition de phase.	Citer et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$.
--	--

Dans la partie **3.5. « Machines thermiques »**, l'enseignement de la thermodynamique est orienté vers des applications industrielles réelles.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.5. Machines thermiques	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	Donner le sens réel des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme. Définir un rendement – ou une efficacité – et le relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Démontrer et utiliser le théorème de Carnot. Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme. Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles. Mettre en œuvre une machine thermique cyclique ditherme.

Thème 4 : Constitution et transformations de la matière (2)

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie, dans le domaine du vivant et dans les procédés industriels. Un nombre considérable de développements technologiques et d'analyses environnementales (traitement des eaux, méthodes d'analyse, extraction d'ions métalliques des minerais, générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, etc.) repose sur des transformations acido-basiques, de solubilisation-précipitation et d'oxydo-réduction en solution aqueuse dont la maîtrise est importante pour prévoir, interpréter et optimiser les phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette seconde partie du thème « **Constitution et transformations de la matière** » est donc de présenter différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements. Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

Les différentes transformations en solution aqueuse abordées dans la partie 4.5. « Réactions acide-base et de précipitation » constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montre qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une seule réaction. Il est cependant important de

noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.5. Réactions acide-base et de précipitation	
<p>Réactions acide-base</p> <ul style="list-style-type: none"> - constante d'acidité ; - diagrammes de prédominance et de distribution. - exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature - faible ou forte - des acides chlorhydrique et acétique, de la soude, de l'ammoniac. <p>Réactions de dissolution ou de précipitation</p> <ul style="list-style-type: none"> - constante de solubilité ; - solubilité et condition de précipitation ; - domaine d'existence ; - facteurs influençant la solubilité. 	<p>Reconnaître une réaction acide-base à partir de son équation.</p> <p>Extraire de ressources disponibles les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou interpréter des observations expérimentales.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques d'équilibre sont connues.</p> <p>Retrouver les valeurs de constantes thermodynamiques d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance.</p> <p>Déterminer la composition chimique d'un système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité d'un solide en fonction d'une variable pertinente.</p> <p>Prévoir l'état de saturation d'une solution.</p> <p>Mettre en œuvre une réaction acide-base et une réaction de précipitation pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.</p>

L'analyse de transformations mettant en jeu des oxydants et réducteurs usuels et des piles permettent d'aborder, dans la partie **4.6. « Réactions d'oxydo-réduction »** les différents concepts associés aux phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. La relation de Nernst ainsi que la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard permettent de prévoir l'évolution des systèmes et le caractère favorisé des transformations.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.6. Réactions d'oxydo-réduction	
<p>Oxydants et réducteurs, réactions d'oxydo-réduction</p> <p>Nombre d'oxydation.</p> <p>Exemples d'oxydants et de réducteurs minéraux usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène.</p>	<p>Relier la position d'un élément dans le tableau périodique et le caractère oxydant ou réducteur du corps simple correspondant.</p> <p>Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique.</p> <p>Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple.</p>

Pile, tension à vide, potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence	Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrode. Déterminer la capacité électrique d'une pile.
Diagrammes de prédominance ou d'existence.	Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.
Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction. Dismutation et médiamutation.	Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples. Mettre en œuvre une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser une analyse quantitative en solution aqueuse. Réaliser une pile et étudier son fonctionnement.

Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette autocollimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux Basse Fréquence
- Multimètre numérique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)
- Microcontrôleur

3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Dynamomètre
- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique

- Thermomètre, thermocouple, thermistance, capteur infra-rouge
- Calorimètre
- Machines thermiques dithermes

4. Domaine constitution et transformations de la matière

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Matériel classique du laboratoire de chimie : dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, etc.), dispositifs d'agitation, matériel de filtration sous pression atmosphérique et sous pression réduite
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Voltmètre et électrodes
- Conductimètre et cellule de mesure
- Thermomètre
- Balance de précision

Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il est complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité sont traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$.
Équations non linéaires	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions.
2. Équations différentielles	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$.	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre.

	<p>Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité).</p> <p>Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe.</p> <p>Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données.</p> <p>Représenter graphiquement cette solution.</p>
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithmes népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$).
Dérivée. Notation dx/dt .	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre 1 ou 2 ; interpréter graphiquement.
Développements limités.	Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$, e^x , $\ln(1+x)$ et $\sin(x)$, et à l'ordre 2 de la fonction $\cos(x)$.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.
Valeur moyenne.	Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni par un formulaire.
4. Géométrie	
Vecteurs et systèmes de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Utiliser leur effet sur l'orientation de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite.

Courbes planes paramétrées.	Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cdot \cos(\omega t)$, $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Citer les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	Énoncer la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions trigonométriques cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\pi/2 \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclut l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique et de la chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que les capacités exigibles en fin de première année. Il sera complété dans le programme de physique-chimie de seconde année.

Domaines numériques	Capacités exigibles
1. Outils graphiques	
Représentation graphique d'un nuage de points.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque matplotlib pour représenter un nuage de points.
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque matplotlib pour tracer la courbe représentative d'une fonction.

Courbes planes paramétrées.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque matplotlib pour tracer une courbe plane paramétrée.
2. Équations algébriques	
Résolution d'une équation algébrique ou d'une équation transcendante : méthode dichotomique.	Déterminer, en s'appuyant sur une représentation graphique, un intervalle adapté à la recherche numérique d'une racine par une méthode dichotomique. Mettre en œuvre une méthode dichotomique afin de résoudre une équation avec une précision donnée. Utiliser la fonction bisect de la bibliothèque scipy.optimize (sa spécification étant fournie).
3. Intégration – Dérivation	
Calcul approché d'une intégrale sur un segment par la méthode des rectangles.	Mettre en œuvre la méthode des rectangles pour calculer une valeur approchée d'une intégrale sur un segment.
Calcul approché du nombre dérivé d'une fonction en un point.	Utiliser un schéma numérique pour déterminer une valeur approchée du nombre dérivé d'une fonction en un point.
4. Équations différentielles	
Équations différentielles d'ordre 1.	Mettre en œuvre la méthode d'Euler explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1.
Équations différentielles d'ordre supérieur ou égal à 2	Transformer une équation différentielle d'ordre n en un système différentiel de n équations d'ordre 1. Utiliser la fonction odeint de la bibliothèque scipy.integrate (sa spécification étant fournie).
5. Probabilité – statistiques	
Variable aléatoire.	Utiliser les fonctions de base des bibliothèques random et/ou numpy (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction hist de la bibliothèque matplotlib.pyplot (sa spécification étant fournie) pour représenter les résultats d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire. Déterminer la moyenne et l'écart-type d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire.
Régression linéaire.	Utiliser la fonction polyfit de la bibliothèque numpy (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données. Utiliser la fonction random.normal de la bibliothèque numpy (sa spécification étant fournie) pour simuler un processus aléatoire.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de physique-chimie de la classe TSI 2nde année

Programme de physique-chimie de la voie TSI

Classe de seconde année

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de TSI2 est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques s'appuyant sur celles déjà travaillées au lycée et en classe de TSI1. Le programme vise à préparer les étudiants à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ces derniers auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. Elles offrent aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories. L'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative. La construction d'un modèle passe aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser de façon complémentaire connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est organisé en deux parties.

Dans la première partie intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « **Mesures et incertitudes** » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

La seconde partie intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de cinq thèmes : « Thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques », « Électronique », « Optique ondulatoire », « Électromagnétisme » et « Transformations chimiques de la matière ». La présentation en deux colonnes (« notions et contenus » et « capacités exigibles ») met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise.

Certains items de cette seconde partie, identifiés **en caractères gras** dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants.

Trois annexes sont consacrées, d'une part, au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes et, d'autre part, aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie à la fin de l'année de la classe de TSI2.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression ; celle-ci relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, etc.). - Énoncer ou dégager une problématique scientifique. - Représenter la situation par un schéma modèle. - Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. - Relier le problème à une situation modèle connue. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser / Raisonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. - Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. - Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques. - Évaluer des ordres de grandeur. - Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.

Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. - Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données. - Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. - Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, etc.). - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> ○ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. ○ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. ○ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, etc.). - Écouter, confronter son point de vue.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, **l'environnement** et le **développement durable** ou encore le **réchauffement climatique**.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences est d'autant plus efficace que les étudiants sont acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes facilitent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;

- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques : mathématiques, informatique, sciences industrielles de l'ingénieur.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, l'enseignant veille soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises en autonomie par les étudiants à l'issue de leur seconde année de CPGE. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'annexe 1 du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles ; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année. L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).

	Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les étudiants doivent acquérir au cours de l'année de TSI2 durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de TSI1 dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de seconde année de TSI.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

Les activités expérimentales sur le thème de la chimie sont aussi l'occasion de consolider les savoir-faire de la classe de TSI1 en particulier dans le domaine des solutions aqueuses.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de temps et de fréquences	
Analyse spectrale	Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou un système d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
2. Électricité	
Montages utilisant un amplificateur linéaire intégré (ALI).	Identifier les limitations suivantes : saturation en tension, saturation en courant, vitesse de balayage, bande passante. Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI.
Électronique numérique	Utiliser un convertisseur analogique-numérique et un convertisseur numérique-analogique lors d'un filtrage numérique.
Onde électromagnétique	Mettre en œuvre un détecteur dans le domaine des ondes centimétriques.
3. Optique	
Analyse d'une lumière.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et déterminer sa direction de polarisation. Mesurer une longueur d'onde à l'aide d'un goniomètre équipé d'un réseau.
Analyse d'une figure d'interférence.	Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.
4. Thermodynamique	
Conduction thermique.	Mettre en œuvre un dispositif de mesure de conductivité thermique le protocole étant donné.
5. Chimie	
Effectuer des bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.
Réaliser un dosage par titrage indirect. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, indicateurs colorés de fin de titrage.	Identifier et exploiter la réaction support du titrage. Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage indirect.

3. Prévention du risque au laboratoire de physique-chimie

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique, optique et celles liées à la pression et à la température leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques au laboratoire	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H) et conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
- Risque électrique	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- Risque optique	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
- Risques liés à la pression et à la température	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
2. Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Contenus thématiques

Les contenus de la formation sont organisés autour de cinq thèmes.

1. Thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques

- 1.1. Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen
- 1.2. Expression différentielle des principes de la thermodynamique
- 1.3. Diagrammes d'état des fluides réels purs
- 1.4. Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite
- 1.5. Énergétique des fluides en écoulement dans une conduite
- 1.6. Thermodynamique industrielle
- 1.7. Transfert d'énergie par conduction thermique à une dimension en coordonnées cartésiennes.

2. Électronique

- 2.1. Stabilité des systèmes linéaires
- 2.2. Rétroaction
- 2.3. Oscillateurs
- 2.4. Électronique numérique

3. Optique ondulatoire

- 3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses
- 3.2. Superposition d'ondes lumineuses
- 3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young

4. Électromagnétisme

- 4.1. Électrostatique
- 4.2. Magnétostatique
- 4.3. Équations de Maxwell
- 4.4. Propagation

5. Transformations chimiques de la matière

- 5.1. Thermodynamique d'un système siège d'une réaction chimique
- 5.2. Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction
- 5.3. Diagrammes potentiel-pH

1. Thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques

Cette partie du programme de la classe de TSI2 s'intéresse aux phénomènes liés à l'écoulement d'un fluide et à la conduction thermique dans les machines thermiques. Elle est essentiellement abordée à travers la mise en œuvre de bilans d'énergie. Elle prolonge le programme de thermodynamique de la classe de TSI1 en introduisant le formalisme de la thermodynamique différentielle.

Les principes de la thermodynamique pour un système fermé sont repris sous forme infinitésimale. Les identités thermodynamiques sont introduites dans le but d'établir et de comprendre les allures des courbes dans les diagrammes thermodynamiques ; il ne s'agit pas de les exploiter pour retrouver les expressions des fonctions d'état, ces dernières devant toujours être fournies. L'application des deux principes aux fluides en écoulement stationnaire dans les systèmes ouverts conduit ensuite à l'analyse de quelques systèmes industriels.

On introduit également en classe de TSI2 des notions de base de mécanique des fluides. L'objectif est de décrire les écoulements simples de fluides dans les machines thermiques en évoquant les phénomènes de perte de charge et le rôle de la viscosité. L'approche se fonde exclusivement sur la notion de bilan macroscopique : toute formulation locale de la mécanique des fluides, notamment à l'aide d'opérateurs vectoriels, est exclue. Enfin, on aborde la conduction thermique à l'aide de bilans infinitésimaux, la loi de Newton étant introduite pour faire le lien avec la thermodynamique industrielle.

La partie 1.1 « **Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen** » introduit sur le contexte de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen.	
Forces surfaciques, forces volumiques. Champ de pression.	Distinguer les forces de pression des forces de pesanteur.

Statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme.	Établir la relation entre la dérivée de la pression par rapport à une coordonnée verticale, la masse volumique et le champ de pesanteur. Établir l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le cadre du modèle du gaz parfait. Comparer les variations de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère.
---	--

La partie **1.2 « Expression différentielle des principes de la thermodynamique »** présente les principes de la thermodynamique sous forme différentielle. Dans le but d'unifier la présentation en physique et en chimie, les identités thermodynamiques sont introduites dans le cas d'un système de composition variable. Toute étude générale de la notion de potentiel thermodynamique est hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Expression différentielle des principes thermodynamiques.	
Échelle mésoscopique, transformation infinitésimale.	Découper un système en sous-systèmes élémentaires. Découper une transformation finie en une succession de transformations infinitésimales.
Premier principe pour une transformation infinitésimale d'un système fermé. Deuxième principe pour une transformation infinitésimale d'un système fermé.	Appliquer les principes pour obtenir une équation différentielle relative au système considéré.
Potentiel thermodynamique. Fonction enthalpie libre.	Justifier que l'enthalpie libre est un potentiel thermodynamique adapté à l'étude des transformations isothermes, isobares et spontanées.
Identités thermodynamiques pour un système fermé de composition variable. Potentiel chimique.	Citer les expressions des différentielles de l'énergie interne, de l'enthalpie et de l'enthalpie libre. Définir la température thermodynamique, la pression thermodynamique et le potentiel chimique. Distinguer les éventuels caractères intensif ou extensif des variables utilisées. Écrire les principes et les identités thermodynamiques par unité de masse du système. Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques.

L'étude **1.3 des « Diagrammes d'état des fluides réels purs »** est l'occasion de réinvestir les notions de thermodynamique différentielle. On y exploite également des diagrammes de fluides réels afin d'habituer les étudiants à ne pas se limiter à des situations « idéales » (gaz parfait, etc.).

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.3. Diagrammes d'état des fluides réels purs.	
Enthalpie et entropie de changement d'état.	Citer l'ordre de grandeur de l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau. Calculer l'énergie récupérable par transfert thermique lors d'une liquéfaction isobare. Relier l'entropie de changement d'état à l'enthalpie de changement d'état.
Titre massique.	Utiliser la règle des moments.
Diagrammes de Clapeyron, entropique et des frigoristes.	Représenter, pour le diagramme de Clapeyron, l'allure des courbes isothermes et isentropiques. Exploiter un diagramme fourni pour déterminer une grandeur physique.

La partie **1.4 « Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite »** introduit le point de vue eulérien pour l'étude des écoulements. Il s'agit de décrire simplement un écoulement en identifiant des tubes de courant sur lesquels des bilans peuvent ensuite être effectués.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.4. Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite.	
Grandeurs eulériennes. Régime stationnaire.	Décrire localement les propriétés thermodynamiques et mécaniques d'un fluide à l'aide des grandeurs intensives pertinentes.
Lignes et tubes de courant. Débit massique.	Exprimer le débit massique en fonction de la vitesse d'écoulement. Exploiter la conservation du débit massique le long d'un tube de courant.
Débit volumique.	Justifier l'intérêt d'utiliser le débit volumique pour l'étude d'un fluide incompressible en écoulement.

Dans la partie **1.5 « Énergétique des fluides en écoulement dans une conduite »**, on effectue des bilans énergétiques dans une conduite. On se place dans un premier temps dans le cadre de la dynamique des fluides parfaits. Toute utilisation de l'équation d'Euler ou de Navier-Stokes est exclue. La relation de Bernoulli est établie. Les pertes de charge dans les conduites sont étudiées. Enfin, les transferts thermiques sont pris en compte afin d'exprimer les principes de la thermodynamique pour un système en écoulement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.5. Énergétique des fluides en écoulement laminaire stationnaire dans une conduite.	
Fluides parfaits. Fluides newtoniens : notion de viscosité.	Citer des ordres de grandeur de viscosité de gaz et de liquides (air, eau et lubrifiant). Exploiter les conditions aux limites du champ de vitesse d'un fluide dans une conduite. Relier qualitativement l'irréversibilité d'un écoulement à la viscosité.
Relation de Bernoulli.	Définir un volume et une surface de contrôle. Établir et exploiter la relation de Bernoulli pour un fluide parfait, incompressible en écoulement stationnaire.

Perte de charge singulière et régulière.	Modifier la relation de Bernoulli en tenant compte d'un terme de dissipation d'énergie fourni. Mettre en évidence une perte de charge.
Travail indiqué massique d'une machine. Bilan d'énergie.	Relier la notion de travail indiqué massique à la présence de parties mobiles. Établir un bilan de puissance pour un circuit hydraulique ou pneumatique avec ou sans pompe.
Premier et deuxième principes pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie.	Établir et utiliser les premier et deuxième principes formulés avec des grandeurs massiques. Identifier les termes à négliger en fonction du contexte étudié. Relier l'entropie massique créée aux causes d'irréversibilité.

La partie **1.6 « Thermodynamique industrielle »** permet un approfondissement du cours de première année, par l'étude de cycles industriels. On se limite à des calculs dans le cadre du modèle du gaz parfait ou à l'utilisation des diagrammes d'état si le fluide est réel. Aucune connaissance relative à la technologie des installations ou aux différents types de cycles n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.6. Thermodynamique industrielle.	
Étude de quelques dispositifs d'une installation industrielle Compresseur et turbine calorifugés.	Établir et exploiter la variation d'enthalpie massique pour une transformation réversible.
Échangeur thermique calorifugé.	Établir et exploiter la relation entre les puissances thermiques reçues par les deux écoulements.
Détendeur calorifugé (laminage).	Établir et exploiter la nature isenthalpique de la transformation.
Cycles industriels Moteurs, réfrigérateurs, pompes à chaleur.	Repérer, pour une machine dont les éléments constitutifs sont donnés, les sources thermiques, le sens des échanges thermiques et mécaniques. Relier le fonctionnement d'une machine au sens de parcours du cycle dans un diagramme thermodynamique. Exploiter des diagrammes et des tables thermodynamiques pour déterminer les grandeurs thermodynamiques intéressantes. Définir et exprimer le rendement, l'efficacité ou le coefficient de performance d'une machine. Citer des ordres de grandeur de puissances thermique et mécanique mises en jeu pour différentes tailles de dispositifs.

La partie **1.7 « Transfert d'énergie par conduction thermique à une dimension en coordonnées cartésiennes »** aborde l'étude de la conduction thermique dans les solides. On se limite à l'étude de problèmes à une dimension en coordonnées cartésiennes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7. Transfert d'énergie par conduction thermique à une dimension en coordonnées cartésiennes.	
Flux thermique. Vecteur densité de flux thermique.	Définir et algébriser le flux thermique échangée à travers une interface.
Loi de Fourier.	Relier la non-uniformité de la température à l'existence d'un flux thermique et interpréter son sens. Utiliser la loi de Fourier.
Bilan d'énergie.	Établir la relation entre la température et le vecteur densité de flux thermique.
Équation de la diffusion thermique sans terme source.	Établir l'équation de la diffusion thermique. Interpréter qualitativement l'irréversibilité du phénomène. Relier le temps et la longueur caractéristiques d'un phénomène de diffusion au coefficient de diffusion par une analyse dimensionnelle. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre l'équation de la diffusion thermique à une dimension par une méthode des différences finies dérivée de la méthode d'Euler explicite de résolution des équations différentielles ordinaires.
Analogie électrique dans le cas du régime stationnaire.	Définir la résistance thermique. Exploiter l'analogie électrique lors d'un bilan thermique.
Loi de Newton.	Exploiter la loi de Newton fournie pour prendre en compte les échanges conducto-convectifs.

2. Électronique

Ce module renforce et complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « **Ondes et signaux** » du programme de première année. Ainsi, les notions de filtrage et d'analyse spectrale sont réinvesties, en particulier dans les activités expérimentales. Le programme de deuxième année ajoute la rétroaction et le bouclage des systèmes linéaires dans le but d'aborder la stabilité, les oscillateurs et la réalisation de filtres actifs.

Ces différentes thématiques sont illustrées à l'aide de l'amplificateur linéaire intégré (ALI) dont l'étude n'est pas une fin en soi mais un outil permettant des réalisations expérimentales variées. Par ailleurs, des exemples de manifestations des non-linéarités sont abordés à l'occasion de la saturation d'un amplificateur ou de la réalisation d'une fonction mémoire (comparateur à hystérésis).

Afin de compléter l'approche analogique des circuits électriques, un module à vocation expérimentale est consacré au traitement numérique des signaux à travers les sujets suivants :

- la conversion analogique numérique ;
- l'échantillonnage et le repliement de spectre ;
- le filtrage numérique.

La partie **2.1 « Rétroaction »** illustre quelques propriétés relatives à la rétroaction sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est évoquée en travaux pratiques afin d'identifier les

distorsions harmoniques traduisant un comportement non linéaire du système étudié. Les limitations associées aux courants de polarisation et la tension de décalage ne sont pas étudiées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1. Rétroaction.	
Modèle de l'ALI parfait défini par des courants de polarisation nuls, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. Distinguer les différents régimes de fonctionnement.
Limites du modèle : vitesse limite de balayage, saturation de l'intensité du courant de sortie.	Détecter, dans un montage à ALI, les manifestations de la vitesse limite de balayage et de la saturation de l'intensité du courant de sortie.
ALI idéal (parfait de gain infini) en régime linéaire.	Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de stabilité du régime linéaire. Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur et suiveur. Expliquer l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de forte impédance d'entrée et de faible impédance de sortie.
ALI idéal en régime saturé.	Établir la relation entrée-sortie du comparateur simple. Associer, pour une entrée sinusoïdale, le caractère non-linéaire du système et la génération d'harmoniques en sortie. Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis.

La partie **2.2 « Oscillateurs »** s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les calculs des fonctions de transfert des filtres ne constituent pas un objectif de formation. En travaux pratiques, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2. Oscillateurs.	
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre du deuxième ordre avec un amplificateur.	Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. Analyser, à partir de l'équation différentielle, l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. Interpréter le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations. Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoïdal et analyser les spectres des signaux générés. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler l'évolution temporelle d'un signal généré par un oscillateur.

Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis.	Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Déterminer l'expression de la période.
Générateur de signaux non sinusoïdaux.	Mettre en œuvre un oscillateur de relaxation et analyser les spectres des signaux générés.

La partie **2.3 « Électronique numérique »** est exclusivement étudiée de manière expérimentale et aborde la question du traitement numérique du signal dans le prolongement du programme de première année.

Le phénomène de repliement de spectre est expliqué qualitativement, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon et de réaliser convenablement une acquisition numérique en vue d'une analyse spectrale.

Afin de mettre en évidence d'autres effets associés à l'échantillonnage, on réalise de manière comparative un filtre analogique passe-bas et un filtre numérique remplissant la même fonction. Ce dernier est réalisé à l'aide d'une chaîne de traitement : CAN, algorithme numérique, CNA. On étudie expérimentalement l'influence de la fréquence d'échantillonnage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.3. Électronique numérique.	
Échantillonnage.	Mettre en évidence l'influence de la fréquence d'échantillonnage.
Condition de Nyquist-Shannon.	Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre dû à l'échantillonnage lors de l'utilisation d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.
Analyse spectrale numérique.	Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une d'acquisition numérique afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon.
Filtrage numérique.	<u>Capacité numérique</u> : réaliser, à l'aide d'un langage de programmation, un filtrage numérique passe-bas d'un signal issu d'une acquisition et mettre en évidence la limitation introduite par l'échantillonnage.

3. Optique ondulatoire

Le programme d'optique ondulatoire de la classe de TSI2 s'inscrit dans le prolongement de la partie « Propagation d'un signal » du thème « Ondes et signaux » du programme de la classe de TSI1. Il s'agit pour les étudiants d'approfondir l'étude des phénomènes d'interférences lumineuses, conséquences de la nature ondulatoire de la lumière.

Si le formalisme utilisé permet une modélisation précise des phénomènes décrits, il convient néanmoins de privilégier les aspects expérimentaux et d'utiliser tous les supports de visualisation (expériences de cours, simulations, animations, etc.) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations. L'enseignant peut souligner que ces phénomènes, étudiés dans le cadre de l'optique, sont généralisables à tout comportement ondulatoire.

L'approche expérimentale est centrée sur la mise en œuvre des trous d'Young et de dispositifs d'interférences à N ondes.

La partie **3.1 « Modèle scalaire des ondes lumineuses »** introduit les outils nécessaires pour décrire les phénomènes d'interférences. Le programme utilise le mot « intensité » pour décrire la grandeur

détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » ou « éclairement » sans chercher à les distinguer à ce niveau. L'intensité lumineuse est introduite comme une puissance par unité de surface. Le théorème de Malus est admis.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses.	
Grandeur scalaire optique.	Utiliser une grandeur scalaire pour décrire un signal lumineux.
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus. Principe du retour inverse de la lumière.	Exprimer le retard de phase en un point (par rapport à un autre) en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.
Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Associer une description de la formation des images en termes de rayon de lumière et en termes de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon de lumière choisi.
Détecteurs. Intensité lumineuse.	Relier l'intensité lumineuse à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire optique. Citer l'ordre de grandeur du temps d'intégration de quelques capteurs optiques.

Dans la partie **3.2 « Superposition d'ondes lumineuses »**, la formule de Fresnel, admise en classe de première année, est démontrée. L'étude de la superposition de N ondes cohérentes ne doit pas donner lieu à des développements calculatoires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.2. Superposition d'ondes lumineuses.	
Superposition d'ondes incohérentes entre elles.	Justifier et exploiter l'additivité des intensités.
Superposition de deux ondes cohérentes entre elles, formule de Fresnel. Facteur de contraste.	Vérifier que les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (égalité des pulsations et déphasage constant dans le temps) sont réunies. Établir et exploiter la formule de Fresnel. Associer un bon contraste à des intensités voisines.
Superposition de N ondes cohérentes, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique. Réseau par transmission.	Établir l'expression de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à la valeur de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Mettre en œuvre un spectroscopie à réseau.

Dans la partie **3.3 « Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young »**, les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. Les fentes d'Young peuvent être abordées mais de manière exclusivement expérimentale. Aucune connaissance sur un autre diviseur du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young.	
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source à distance finie et observation à grande distance finie. Ordre d'interférences.	Exprimer et utiliser l'ordre d'interférences. Mettre en œuvre une expérience d'interférences : trous d'Young ou fentes d'Young.
Variations de l'ordre d'interférences avec la position du point d'observation ; franges d'interférences. Interfrange.	Justifier la forme des franges observées.

4. Électromagnétisme

Le programme d'électromagnétisme de la classe de TSI2 s'inscrit dans le prolongement du thème « **Ondes et signaux** » du programme de TSI1. Il s'agit pour les étudiants de découvrir les lois locales et intégrales qui gouvernent les champs électrique et magnétique et des applications dans des domaines variés.

Si certaines notions ont été abordées en classe de première année, le formalisme utilisé constitue bien souvent pour les étudiants une première découverte ; il convient pour l'enseignant d'être particulièrement attentif aux difficultés potentielles des étudiants et d'utiliser tous les outils de visualisation (expériences de cours, simulations, animations, etc.) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations.

Pour les calculs de champs, l'accent est mis sur les situations à haut degré de symétrie qui permettent l'utilisation efficace des propriétés de flux ou de circulation.

La loi de Biot et Savart, les notions de potentiel vecteur et de courant surfacique ne relèvent pas du programme. La relation de passage relative au champ électrique peut être exploitée, mais doit être systématiquement fournie en cas de besoin.

Après une présentation des équations de Maxwell et des aspects énergétiques, le programme analyse le phénomène de propagation d'une onde électromagnétique dans le vide, la structure des champs associés et la réflexion des ondes sur un conducteur parfait.

Les équations locales des champs statiques sont introduites comme cas particuliers des équations de Maxwell.

Les notions abordées la partie **4.1 « Electrostatique »** sont centrées sur les distributions de charges, le champ et le potentiel. Pour le champ et le potentiel, on se limite aux expressions explicites dans le cas d'une charge ponctuelle et sous forme intégrale dans le cas de distributions continues.

L'accent est mis sur les propriétés intégrales du champ et sur le théorème de Gauss pour des situations présentant un haut degré de symétrie.

Des capacités sur la lecture des lignes de champ et des surfaces équipotentielles sont développées. Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève pas du programme. Une approche énergétique est conduite dans le cas d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrique extérieur.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Electrostatique.	
Loi de Coulomb. Champ électrostatique.	Exprimer le champ électrostatique créé par une charge ponctuelle.
Distributions continues de charges volumique, surfacique, linéique. Principe de superposition.	Décomposer une distribution en des distributions plus simples dans le but de calculer un champ électrostatique par superposition.

	<p>Choisir un type de distribution continue adaptée à la situation modélisée.</p> <p>Justifier qualitativement le choix d'une modélisation d'une distribution de charges par une distribution infinie.</p> <p>Évaluer la charge totale d'une distribution continue dans des situations à géométrie simple.</p>
Symétries et invariances du champ électrostatique.	<p>Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges.</p> <p>Identifier les invariances d'une distribution de charges.</p> <p>Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de charges pour caractériser le champ électrostatique créé.</p>
Circulation du champ électrostatique. Potentiel électrostatique. Gradient.	<p>Relier le champ électrostatique au potentiel.</p> <p>Exprimer le potentiel créé par une charge ponctuelle.</p> <p>Calculer un champ électrostatique à partir du potentiel, l'expression de l'opérateur gradient étant fournie dans le cas des coordonnées sphériques et cylindriques.</p> <p>Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrostatique.</p>
Flux du champ électrostatique. Théorème de Gauss.	<p>Utiliser le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.</p>
Systèmes modélisés par une sphère, un cylindre infini et un plan infini.	<p>Établir les expressions des champs électrostatiques créés en tout point de l'espace par une sphère uniformément chargée en volume, par un cylindre infini uniformément chargé en volume et par un plan infini uniformément chargé en surface.</p> <p>Établir et exploiter le fait qu'à l'extérieur d'une distribution à symétrie sphérique, le champ électrostatique créé est le même que celui d'une charge ponctuelle concentrant la charge totale et placée au centre de la distribution.</p>
Condensateur plan modélisé par la superposition de deux distributions surfaciques infinies de charges opposées.	<p>Établir l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide en négligeant les effets de bords.</p>
Lignes de champ, tubes de champ, surfaces équipotentielles.	<p>Orienter les lignes de champ électrostatique créées par une distribution de charges.</p> <p>Représenter les surfaces équipotentielles connaissant les lignes de champ et inversement.</p> <p>Associer, en dehors des sources, les variations de l'intensité du champ électrostatique à la position relative des lignes de champ.</p> <p>Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, tracer quelques lignes de champ</p>

	et lignes équipotentielles pour une distribution donnée.
Énergie potentielle électrostatique d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.	Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.

L'étude de la magnétostatique menée dans la partie **4.2 « Magnétostatique »** s'appuie le plus possible sur les différents aspects qualitatifs et quantitatifs vus en première année ; les étudiants sont donc déjà familiarisés avec le concept de champ magnétostatique.

On aborde les propriétés intégrales du champ et on utilise le théorème d'Ampère pour des calculs dans des cas présentant un haut degré de symétrie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Magnétostatique.	
Vecteur densité de courant volumique. Intensité du courant. Distributions de courant électrique volumique et linéique.	Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant volumique. Justifier la modélisation d'une distribution de courant par une distribution filiforme.
Symétries et invariances des distributions de courant.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de courants. Identifier les invariances d'une distribution de courants. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de courants pour prévoir des propriétés du champ magnétostatique créé.
Propriétés de flux et de circulation. Théorème d'Ampère.	Identifier les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé simplement à l'aide du théorème d'Ampère. Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère en vue de déterminer l'expression d'un champ magnétostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.
Modèles du fil rectiligne infini de section non nulle et du solénoïde infini.	Justifier le choix d'une modélisation d'une distribution de courants par une distribution infinie. Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne infini de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume, par un solénoïde infini en admettant que le champ est nul à l'extérieur.

Lignes de champ, tubes de champ.	Orienter les lignes de champ magnétostatique créées par une distribution de courants. Associer les variations de l'intensité du champ magnétostatique à l'évolution de la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.
----------------------------------	--

Dans la partie **4.3 « Équations de Maxwell »**, une vision cohérente des lois de l'électromagnétisme est présentée. Elle constitue une première approche quantitative du phénomène de propagation et permet également de revenir qualitativement sur l'induction étudiée en classe de première année. Aucun modèle relatif à la loi d'Ohm locale n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Équations de Maxwell.	
Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge dans le cas à une dimension cartésienne.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Citer, utiliser et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale. Relier qualitativement le couplage spatiotemporel entre champ électrique et champ magnétique au phénomène de propagation.
Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Cas des champs statiques : équations locales.	Établir les lois locales des champs statiques à partir des équations de Maxwell.

La partie **4.4 « Propagation »**, articulée autour des ondes électromagnétiques, est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent. Quelques aspects énergétiques associés à la propagation d'une onde plane dans l'espace vide de charge et de courant sont abordés ; les échanges d'énergie entre la matière et le champ électromagnétique ne sont pas étudiés.

La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait et son confinement dans une cavité permettent aux étudiants d'aborder la notion d'onde stationnaire et de découvrir des savoir-faire spécifiques permettant leur étude efficace.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Propagation.	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension cartésienne. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Densité volumique d'énergie électromagnétique, vecteur de Poynting et bilan d'énergie.	Citer et utiliser les expressions du vecteur de Poynting et de l'énergie électromagnétique volumique associés à un champ électromagnétique, en se limitant à des cas simples. Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée pour une onde plane.

	Effectuer un bilan d'énergie sous forme globale pour une onde plane dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane progressive monochromatique. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.
Exemple d'états de polarisation d'une onde plane progressive et monochromatique : polarisation rectiligne. Polariseurs rectilignes.	Identifier l'expression d'une onde plane polarisée rectilignement. Mettre en évidence une polarisation rectiligne.
Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	Exploiter la nullité (admise) des champs dans un métal parfait. Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant la relation de passage du champ électrique fournie. Caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension cartésienne. Mode d'onde stationnaire.	Établir la condition de quantification des solutions. Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique dans le domaine des ondes centimétriques.

5. Transformations chimiques de la matière

Les transformations chimiques de la matière ont été abordées en classe de TSI1 et le critère d'évolution spontanée d'un système chimique en transformation y a été présenté sans être démontré. En TSI2, la fonction enthalpie libre et le potentiel chimique sont introduits dans la partie 1.2 « **Expression différentielle des principes thermodynamiques** » et exploités dans cette partie dont le but est d'appliquer les deux principes de la thermodynamique à la transformation physico-chimique afin, d'une part d'aborder les transferts thermiques, et, d'autre part d'établir puis exploiter le critère d'évolution spontanée d'un système.

Dans la partie 5.1 « **Thermodynamique d'un système siège d'une réaction chimique** », on adopte pour les potentiels chimiques une expression générale, $\mu_i = \mu_{i,\text{réf}} + RT \ln(a_i)$, qui fait référence aux activités a_i introduites en première année. L'établissement de cette expression est hors programme. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure n'est pas abordée. On se limite aux cas d'une espèce chimique pure, d'une espèce en solution aqueuse très diluée et d'une espèce en mélange de gaz parfaits avec référence à l'état standard.

Seules des transformations physico-chimiques monobares sont envisagées. Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température en dehors des changements d'états. Les grandeurs standard de réaction permettent la détermination, à une température donnée, de la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre caractéristique d'une réaction, valeur qui était systématiquement donnée en première année. C'est ainsi l'occasion de revenir sur la détermination de la composition d'un système physico-chimique en fin d'évolution.

La notion d'affinité chimique n'est pas utilisée, le sens d'évolution spontanée d'un système hors d'équilibre, à température et pression fixées, est déterminé par le signe de l'enthalpie libre de réaction.

Enfin, l'étude de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur l'évolution d'un système chimique et son état d'équilibre permet d'aborder la problématique de l'optimisation d'un procédé chimique.

Les illustrations et applications sont choisies dans le domaine industriel, dans la vie courante et au niveau du laboratoire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.1. Thermodynamique d'un système siège d'une réaction chimique.	
Potentiel chimique dans les cas des modèles : <ul style="list-style-type: none"> - des gaz parfaits ; - d'un constituant en phase condensée pure ; - des solutions infiniment diluées. 	Exprimer et utiliser le potentiel chimique d'un constituant. Déterminer la variation d'enthalpie libre d'un système physico-chimique entre deux états d'équilibre thermodynamique.
Grandeur de réaction. État standard. Enthalpie standard de réaction et entropie standard de réaction. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément, entropie molaire standard absolue. Loi de Hess.	Relier entre elles les enthalpie, entropie et enthalpie libre de réaction. Déterminer l'enthalpie standard de réaction et l'entropie standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques. Associer le signe de l'enthalpie standard de réaction au caractère endothermique ou exothermique de la réaction. Justifier qualitativement ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.
Effets thermiques pour une transformation monobare : transfert thermique associé à une transformation physico-chimique monobare et monotherme ; variation de température associée à une transformation physico-chimique monobare et adiabatique.	Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation physico-chimique supposée monobare et adiabatique. Déterminer une enthalpie standard de réaction.
Critère d'évolution, critère d'équilibre dans le cas d'un système chimique dont l'évolution spontanée est modélisée par une seule réaction isotherme et isobare.	Relier l'enthalpie libre de réaction à la constante thermodynamique d'équilibre et au quotient réactionnel. Prévoir le sens d'évolution d'un système chimique à partir de l'enthalpie libre de réaction.
Enthalpie libre standard de réaction. Relation de van 't Hoff.	Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à une température quelconque. Exploiter la relation de van 't Hoff fournie dans le cadre de l'approximation d'Ellingham. Déterminer l'évolution de la valeur d'une constante thermodynamique d'équilibre en fonction de la température.
Optimisation d'un procédé chimique : par modification de la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre ; par modification de la valeur du quotient réactionnel.	Identifier les paramètres d'influence et leur contrôle pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable. <u>Capacité numérique</u> : tracer, à l'aide d'un langage de programmation, le taux d'avancement à l'équilibre en fonction de la température pour un système siège d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction.

La partie 5.2 « **Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction** » se fonde sur les acquis de première année relatifs à l'étude des réactions d'oxydo-réduction et des piles, ainsi que sur la partie de thermodynamique chimique de seconde année pour relier les grandeurs thermodynamiques aux potentiels et potentiels standard.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.2 Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction.	
Relation entre enthalpie libre de réaction et potentiels des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.	Citer et exploiter la relation entre l'enthalpie libre de réaction et les potentiels des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.
Relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard des couples impliqués.	Déterminer l'enthalpie libre standard d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples. Déterminer la valeur du potentiel standard d'un couple d'oxydo-réduction à partir de données thermodynamiques.
Approche thermodynamique du fonctionnement d'une pile électrochimique.	Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique. Relier la tension à vide d'une pile électrochimique et l'enthalpie libre de la réaction modélisant son fonctionnement. Décrire et expliquer le fonctionnement d'une pile électrochimique à partir de données sur sa constitution et de tables de potentiels standard. Déterminer une constante thermodynamique par l'étude de piles.
Stockage et conversion d'énergie chimique.	Étudier le fonctionnement d'une pile pour effectuer un bilan de matière.

Dans la partie 5.3 « **diagrammes potentiel-pH** », ceux-ci sont exploités pour prévoir ou interpréter thermodynamiquement des transformations chimiques. Leur construction et leur utilisation pour déterminer des constantes thermodynamiques ne constituent pas des objectifs de formation. La confrontation avec la réalité amène à aborder éventuellement des blocages cinétiques en lien avec l'évolution temporelle des systèmes étudiée en première année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.3. Diagrammes potentiel-pH.	
Lecture et utilisation d'un diagramme potentiel-pH. Diagramme potentiel-pH de l'eau.	Identifier les différents domaines d'un diagramme potentiel-pH fourni associés à des espèces chimiques données. Prévoir une dismutation ou mediamutation en fonction du pH du milieu. Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes. Prévoir la stabilité thermodynamique des espèces dans l'eau. Exploiter des diagrammes potentiel-pH pour expliquer les phénomènes de corrosion, de passivation et d'immunité.

	Mettre en œuvre des réactions d'oxydoréduction en s'appuyant sur l'utilisation de diagrammes potentiel-pH.
--	---

Annexe 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique-chimie de TSI1. À elles deux, ces listes regroupent le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une aide.

1. Domaine optique

- Polariseur.
- Capteur photographique numérique.

2. Domaine électrique

- Émetteur et récepteur dans le domaine des ondes centimétriques.

3. Domaine de la chimie

- Calorimètre.

Annexe 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de TSI2 sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 2 du programme de la classe de TSI1 et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » n'a pas fait l'objet d'une rubrique en première année. L'expression des différents opérateurs introduits sont exigibles en coordonnées cartésiennes. Les expressions des opérateurs en coordonnées cylindriques et sphériques et les formules d'analyse vectorielle ne sont pas exigibles ; elles doivent donc être systématiquement rappelées.

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion. L'accent est mis sur le rôle des conditions aux limites.

Les capacités relatives à la notion de différentielle d'une fonction de plusieurs variables sont limitées à l'essentiel, elles sont mobilisées principalement dans les cours de thermodynamique et de chimie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Géométrie	
Systèmes de coordonnées.	Utiliser le système de coordonnées sphériques.
2. Analyse vectorielle	

Gradient.	Citer le lien entre le gradient et la différentielle. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.
Divergence.	Utiliser le théorème d'Ostrogradski fourni. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
Rotationnel.	Utiliser le théorème de Stokes fourni. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ scalaire.	Définir le laplacien à l'aide de la divergence et du gradient. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ de vecteurs.	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes. Utiliser la formule d'analyse vectorielle fournie : $\text{rot}(\text{rot}\mathbf{A}) = \text{grad}(\text{div}\mathbf{A}) - \Delta\mathbf{A}$.
3. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de diffusion, équation de d'Alembert.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution connue dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.
4. Calcul différentiel	
Différentielle d'une fonction de plusieurs variables. Dérivée partielle. Théorème de Schwarz.	Écrire l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Identifier la valeur d'une dérivée partielle, l'expression de la différentielle étant donnée. Utiliser le théorème de Schwarz.

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclut l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique et celui de la chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous complète les outils numériques identifiés dans le programme de physique-chimie de première année de TSI.

Outils numériques	Capacités exigibles
Représentation graphique d'un champ scalaire ou vectoriel.	Utiliser les fonctions de base (contour et streamplot) de la bibliothèque matplotlib (leurs spécifications étant fournies) pour représenter des lignes de niveau ou des lignes de champ.
Équation de diffusion à une dimension.	Mettre en œuvre une méthode des différences finies explicite pour résoudre l'équation de diffusion à une dimension en régime variable.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et sciences industrielles (TSI)

Annexe 3

Programmes de sciences industrielles de l'ingénieur 1^{ère} et 2^{nde} années

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE TECHNOLOGIE ET SCIENCES INDUSTRIELLES

1. Objectifs de formation

1.1. Finalité

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) de la filière TSI s'inscrit dans un parcours de formation initiale pour accéder au titre d'ingénieur. Il trouve ses racines dans l'enseignement de spécialité du cycle terminal en Sciences et Techniques de l'Industrie et du Développement Durable. L'objectif de ce programme est de proposer des contenus d'enseignements qui permettent de développer progressivement les compétences nécessaires à l'intégration dans une grande école et à l'exercice des métiers d'ingénieurs. Ce programme est ambitieux quant au développement de compétences scientifiques et technologiques qui soutiennent l'expertise du futur ingénieur. Il l'est aussi pour le développement de compétences transversales nécessaires pour communiquer, travailler en équipe, exercer un sens critique et des responsabilités de manière éthique et déontologique. En cohérence avec les objectifs du cycle initial de la formation aux métiers de l'ingénierie, ce programme contribue à l'approche pédagogique par les STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*).

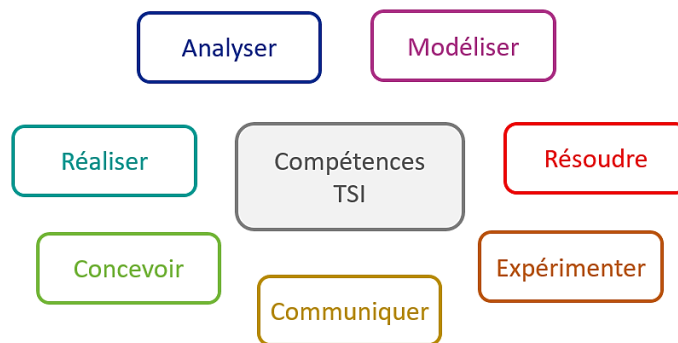
1.2. Objectifs généraux

Les ingénieurs doivent être en capacité de résoudre de façon innovante des problèmes inédits afin de répondre aux besoins des personnes et d'apporter un progrès dans leur qualité de vie. Ils participent aux processus de développement des systèmes à chaque étape de leur cycle de vie, de la caractérisation du besoin jusqu'au recyclage, en respectant les contraintes de développement durable et d'écoconception.

Cette capacité des ingénieurs à proposer des solutions innovantes est plus que jamais indispensable au développement d'une industrie capable de faire face aux grands enjeux sociétaux, économiques et environnementaux. Ces enjeux sont notamment ceux de la transition énergétique, la préservation de la qualité de l'environnement, la progression des technologies du numérique, la mutation des métropoles et des territoires, l'évolution des besoins alimentaires et des exigences en matière de santé pour des humains toujours plus nombreux sur notre planète. Dans un contexte de concurrence mondialisée, la capacité d'innovation des ingénieurs est nécessaire à l'industrie de notre pays qui doit demeurer compétitive et souveraine.

Les objectifs généraux du programme de SII en CPGE TSI visent à développer les compétences clés dans le large domaine des sciences industrielles de l'ingénieur qui sont nécessaires à l'exercice du métier d'ingénieur. Celles-ci sont consolidées et complétées par la formation poursuivie jusqu'à l'obtention du titre d'ingénieur.

L'enseignement des SII en CPGE TSI a également pour objectif d'apporter aux étudiants des méthodes et des outils qui leur permettront de s'adapter aux évolutions permanentes des sciences et des technologies et de communiquer avec l'ensemble des acteurs associés à l'exercice des métiers d'ingénieurs et scientifiques.

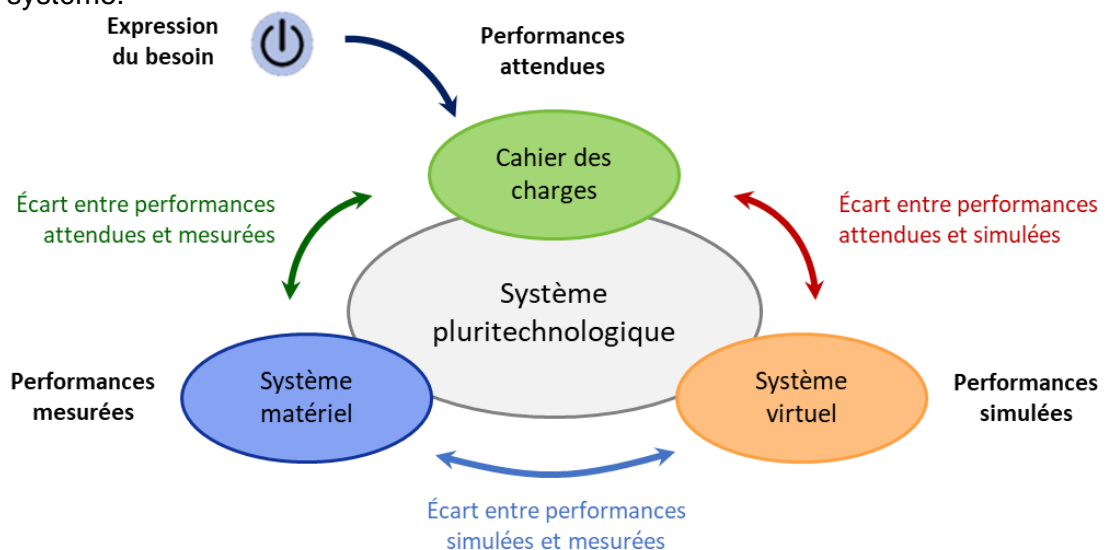


Les compétences générales de l'ingénieur développées en TSI

1.3. La démarche des enseignements en CPGE TSI

L'approche pédagogique et didactique des enseignements en TSI s'organise autour de systèmes pluritechnologiques. Chaque système est défini à partir de besoins fonctionnels et d'exigences, de modèles numériques et d'un système matériel. Un système sera étudié dans sa globalité à partir de ces trois approches imbriquées :

- la réalité du besoin ou exigences fonctionnelles. Elle se décline dans le cahier des charges défini avec un client ;
- la réalité virtuelle d'un système. Elle se traduit dans l'élaboration d'un modèle permettant de simuler son comportement afin d'en prévoir et d'en évaluer les performances, et de valider les organisations fonctionnelle et structurelle ;
- la réalité matérielle d'un système. Elle se traduit par la réalisation d'un prototype fonctionnel qui permet de valider par expérimentation les performances du produit ou système.



La démarche pédagogique et didactique en sciences industrielles de l'ingénieur

Les objets et les systèmes, dans leur complexité, mobilisent plusieurs formes d'énergie et sont communicants. Ils sont pluritechnologiques.

La démarche en sciences industrielles de l'ingénieur en TSI vise à :

- contribuer à l'élaboration des trois réalités du système pluritechnologique (le cahier des charges, le système virtuel et le système matériel) ;
- comparer les performances issues de ces trois réalités ;
- optimiser le système virtuel et le système matériel afin de faire converger leurs performances vers celles attendues au cahier des charges.

Les contenus du programme de TSI permettent aux étudiants d'investir complètement la démarche de l'ingénieur en s'intéressant à toutes les représentations des systèmes. Pour cela les enseignements en TSI installent progressivement l'ensemble des connaissances et des compétences nécessaires à la maîtrise des différentes représentations d'un même objet ou système, à la comparaison des différentes performances, à l'optimisation des systèmes dans leurs réalités numérique et matérielle, afin de répondre aux attentes du client.

À partir de l'analyse du cahier des charges, des solutions innovantes sont conçues et réalisées. La réalisation consiste en l'élaboration de modèles à l'aide d'outils numériques et de prototypes matériels de systèmes intégrant la chaîne de puissance et la chaîne d'information, capables de valider tout ou partie du cahier des charges.

1.4. Usage de la liberté pédagogique

Le programme définit les obligations faites aux professeurs des contenus à enseigner, les mêmes pour tous les étudiants, garantes de l'équité d'une formation offrant à chacun les mêmes chances de réussite. Les finalités et objectifs généraux de la formation en sciences industrielles de l'ingénieur laissent aux enseignants le choix pédagogique de l'organisation des enseignements et de ses méthodes. La nature des enseignements en sciences industrielles de l'ingénieur suppose la mise en œuvre d'une didactique naturellement liée à la discipline qui impose une réflexion sur le développement des compétences, la transmission des connaissances et leur ordonnancement dans la programmation des apprentissages.

La pédagogie mise en œuvre valorise et s'appuie sur les compétences acquises par les élèves de la voie technologique et du développement durable par la mise en application concrète de connaissances scientifiques et technologiques sur des supports d'enseignement représentatifs de solutions innovantes. Les solutions contemporaines sont mises en perspective avec l'histoire des sociétés, des technologies, avec les préoccupations de respect de l'environnement et des ressources naturelles, de façon à construire les bases d'une culture d'ingénieur éthique et responsable.

2. Programme

Le programme est organisé en sept compétences générales déclinées en compétences attendues qui pourront être évaluées en fin de cycle.

Partant de ces indications de fin de cycle, le programme détaille les compétences développées, précise les connaissances associées et fournit un indicateur de positionnement temporel dans le cycle.

Les compétences développées et les connaissances associées sont positionnées dans les semestres, cela signifie :

- qu'elles doivent être acquises en fin du semestre précisé ;
- qu'elles ont pu être introduites au cours des semestres précédents ;
- qu'elles peuvent être mobilisées aux semestres suivants.

Les compétences générales et compétences attendues sont détaillées ci-dessous.

A – Analyser

- A1 – Analyser le besoin et les exigences
- A2 – Définir les frontières de l'analyse
- A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle
- A4 – Analyser les performances et les écarts
- A5 – Analyser un compromis produit-procédés-matériaux

B – Modéliser

- B1 – Identifier les phénomènes physiques pour les modéliser et caractériser les grandeurs nécessaires
- B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement
- B3 – Valider un modèle

C – Résoudre

- C1 – Proposer une démarche de résolution
- C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique
- C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique

D – Expérimenter

- D1 – Découvrir le fonctionnement d'un système pluritechnologique et le mettre en œuvre
- D2 – Proposer et justifier un protocole expérimental
- D3 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

E – Communiquer

- E1 – Rechercher et traiter des informations
- E2 – Produire et échanger de l'information

F – Concevoir

- F1 – Écoconcevoir l'architecture d'un système innovant
- F2 – Proposer et choisir des solutions techniques
- F3 – Dimensionner une solution technique choisie dans une démarche de développement durable

G – Réaliser

- G1 – Réaliser tout ou partie d'un prototype

Les liens avec l'enseignement d'informatique du tronc commun sont identifiés par le symbole $\Leftrightarrow I$.

A – Analyser

A1 – Analyser le besoin et les exigences

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Décrire le besoin et les exigences.	Ingénierie Système et diagrammes associés.	S1
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les diagrammes d'Ingénierie Système - SysML (uc, req) peuvent être proposés à lire, à compléter ou à créer en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe.</i></p>		
Traduire un besoin fonctionnel en exigences.	Impact environnemental. Analyse du cycle de vie (extraction, fabrication, utilisation, fin de vie, recyclage et transport). Multi-étapes et multicritères.	S1
Définir les domaines d'application et les critères technico-économiques et environnementaux.		
Qualifier et quantifier les exigences.		
Évaluer l'impact environnemental et sociétal.		
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Il s'agit de prendre en compte les exigences liées au développement durable et de sensibiliser aux aspects sociétaux.</i></p> <p><i>L'évaluation de l'impact environnemental et sociétal s'appuie sur les 3 piliers du développement durable (social, économique et environnemental).</i></p>		

A2 – Définir les frontières de l'analyse

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Isoler un système et justifier l'isolement.	Frontière de l'étude.	S2
Définir les éléments influents du milieu extérieur.	Milieu extérieur.	
Identifier la nature des flux échangés traversant la frontière d'étude.	Flux de matière, d'énergie et d'information.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les diagrammes d'Ingénierie Système - SysML (bdd, ibd) peuvent être proposés à lire, à compléter ou à créer en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe.</i></p>		

A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Associer les fonctions aux constituants.	Architecture fonctionnelle.	S1
Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système.	Chaînes fonctionnelles (chaîne d'information et chaîne de puissance).	S4
Identifier et décrire les chaînes fonctionnelles du système.	Fonctions acquérir, traiter, communiquer, restituer, alimenter, stocker, adapter, moduler, convertir, transmettre et agir.	S1
Identifier et décrire les liens entre les chaînes fonctionnelles.	Flux de matière, d'énergie et d'information.	S1
Identifier l'architecture structurelle d'un système.	Architecture structurelle. Diagramme de définition de blocs.	S1
Identifier la nature des flux échangés entre les différents constituants.	Diagramme de bloc interne. Flux de matière, d'énergie et d'information (définition, nature et codage).	S1
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La description des chaînes fonctionnelles de différents systèmes permet de construire une culture technologique.</i></p> <p><i>Les chaînes fonctionnelles, diagrammes de définition de blocs et diagrammes de bloc interne peuvent être à lire ou à compléter avec les éléments syntaxiques fournis.</i></p>		
Caractériser un constituant de la chaîne de puissance.	Alimentation d'énergie. Association de préactionneurs et d'actionneurs : – caractéristiques ; – réversibilité ; – domaines d'application. Transmetteurs de puissance : – caractéristiques ; – réversibilité ; – domaines d'application.	S3
Caractériser un constituant de la chaîne d'information.	Capteurs : – fonctions ; – nature des grandeurs physiques d'entrée et de sortie ; – nature du signal et support de l'information. Carte programmable.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les étudiants doivent être capables de justifier un choix qualitatif de constituants de la chaîne de puissance ou d'information.</i></p>		

Analyser la structure d'un programme informatique. $\Leftrightarrow I$	Analyse fonctionnelle d'un programme. Définition et appel d'une fonction. Découpage fonctionnel. Spécification de fonctions.	S1
Analyser un algorithme. $\Leftrightarrow I$	Variables (type et portée). Structures algorithmiques (boucles et tests).	S3
Analyser les principes d'intelligence artificielle. $\Leftrightarrow I$	Régression et classification, apprentissage supervisé. Phases d'apprentissage et d'inférence. Modèle linéaire monovarié, k plus proches voisins.	S3
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>L'apprentissage non supervisé est introduit en regard de l'apprentissage supervisé mais aucune connaissance spécifique n'est exigible.</i></p> <p><i>Les réseaux de neurones sont abordés mais aucune connaissance spécifique n'est exigible.</i></p>		
Identifier les architectures matérielles et fonctionnelles d'un réseau de communication.	Caractéristiques d'un réseau (débit, dimension, robustesse et topologie). Supports de l'information. Caractéristiques d'un canal de transmission.	S2
	Multiplexage temporel et fréquentiel.	S4
Décoder une trame en vue d'analyser les différents champs et les données échangées.	Protocole, trame et champs (rôle des champs dans une trame). Adressage physique et logique d'un constituant.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>L'étude des réseaux de communication est focalisée sur les concepts communs aux protocoles de communication usuels.</i></p>		
Interpréter tout ou partie de l'évolution temporelle d'un système séquentiel.	Diagramme de séquence. Lignes de vie, messages asynchrones et synchrones, boucles. Diagramme d'états. État, transition, événement, condition de garde, activité et action.	S2
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les diagrammes d'Ingénierie Système - SysML (stm) peuvent être proposés à lire, à compléter ou à créer sur des cas simples, en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe. Les diagrammes de séquence ne peuvent être proposés qu'en lecture.</i></p> <p><i>L'évolution temporelle des états et des variables d'un diagramme d'états est représentée sous la forme d'un chronogramme.</i></p>		

Identifier la structure d'un système asservi.	Grandeurs d'entrée et de sortie. Capteur, chaîne directe, chaîne de retour, commande, comparateur, consigne, correcteur et perturbation. Poursuite et régulation.	S1
---	---	----

A4 – Analyser les performances et les écarts

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Extraire un indicateur de performance pertinent à partir des exigences ou de résultats issus de l'expérimentation ou de la simulation.	Ordre de grandeur. Homogénéité des résultats. Matrice de confusion (tableau de contingence), sensibilité et spécificité d'un test.	S4
Caractériser les écarts entre les performances.		
Interpréter et vérifier la cohérence des résultats obtenus expérimentalement, analytiquement ou numériquement. $\Leftrightarrow I$		
Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés.		
Analyser le type de correction nécessaire pour atteindre les performances attendues.	Rejet de perturbation, erreurs, temps de réponse, bande passante, dépassement, marges de gain et de phase. Correcteur proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase.	S3
Analyser les écarts entre les performances d'un prototype et les exigences.	Dispositifs de contrôle. Scénarios de test.	S3
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Aucune connaissance spécifique n'est exigible en métrologie ou en compatibilité électromagnétique.</i></p>		

A5 – Analyser un compromis produit-procédés-matériaux

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Justifier le choix d'un indicateur de performance.	Propriétés physiques des matériaux. Classes des matériaux, domaines généraux d'application. Indices de performance. Diagrammes d'Ashby. Impact environnemental Caractéristiques des procédés.	S3
Comparer qualitativement les caractéristiques physiques des matériaux.		
Justifier le choix d'un matériau et/ou d'un procédé.		
Analyser les résultats d'une simulation numérique de procédés.		
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les propriétés mécaniques des matériaux sont caractérisées principalement grâce aux essais de traction.</i></p> <p><i>La connaissance des désignations normalisées des matériaux n'est pas au programme.</i></p> <p><i>Des bases de données et des outils logiciels associés permettent de conduire une analyse qualitative et quantitative sur les procédés et les matériaux en utilisant une démarche d'écoconception.</i></p> <p><i>L'objectif consiste en une découverte des procédés classiques de fabrication liés aux classes des matériaux.</i></p>		
Justifier le besoin fonctionnel d'une spécification.		S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les ajustements normalisés ne sont pas exigibles. Seule la nature des ajustements est à préciser (glissant, incertain et serré).</i></p>		

B – Modéliser

B1 – Identifier les phénomènes physiques pour les modéliser et caractériser les grandeurs nécessaires

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Identifier les phénomènes physiques à modéliser.	Nature des grandeurs (effort et flux). Type de l'information.	S2
Caractériser les grandeurs associées utiles à la modélisation.		
Identifier les paramètres d'un modèle.		
Identifier les performances à évaluer.	Performances attendues. Ordres de grandeur. Paramètres prépondérants.	S3
Proposer des hypothèses simplificatrices en fonction des objectifs visés.		

B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir un modèle adapté aux performances à prévoir ou à évaluer.	Phénomènes physiques. Domaine de validité.	S4
Compléter un modèle multi-physique.	Paramètres d'un modèle.	S3
Associer un modèle aux constituants des chaînes fonctionnelles.	Grandeurs flux et effort. Sources parfaites et imparfaites.	
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>L'utilisation d'un logiciel de modélisation multi-physique permettant d'assembler des constituants issus d'une bibliothèque est privilégiée pour la modélisation des systèmes pluritechnologiques.</i></p> <p><i>Les modèles mis en œuvre couvrent différents domaines (électrique, mécanique, thermique, hydraulique et pneumatique).</i></p>		
Modéliser un système par schéma-blocs.	Schéma fonctionnel sous forme de blocs d'un système ou d'un constituant. Élaboration, manipulation et réduction de schéma-blocs. Fonctions de transfert.	S2
Établir un modèle de connaissance par des fonctions de transfert.	Systèmes linéaires continus et invariants : – causalité ; – modélisation par équations différentielles ; – transformée de Laplace ; – fonction de transfert ; – forme canonique ; – gain, ordre, classe, pôles et zéros.	S2
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La présentation de la transformée de Laplace se limite à son énoncé et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaires.</i></p> <p><i>Les théorèmes de la valeur finale, de la valeur initiale et du retard sont donnés sans démonstration.</i></p>		
Modéliser le signal d'entrée.	Signaux canoniques d'entrée : – impulsion ; – échelon ; – rampe ; – signaux sinusoïdaux.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Un signal d'entrée périodique non sinusoïdal pourra être assimilé à sa série de Fourier limitée à sa composante continue et au premier harmonique.</i></p>		

Établir un modèle de comportement à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle. $\Leftrightarrow I$	Premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain et retard. Paramètres caractéristiques. Allures des réponses indicielle et fréquentielle. Diagramme de Bode.	S2
Simplifier un modèle.	Linéarisation d'un modèle autour d'un point de fonctionnement. Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle : – principe ; – justification ; – limites.	S3
Modéliser un correcteur numérique. $\Leftrightarrow I$	Caractérisation des signaux à temps discret (échantillonnage et quantification). Modélisation par équations aux différences (équations de récurrence) d'un correcteur numérique.	S4
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les limites de modélisation d'un système à temps discret par un modèle à temps continu pourront être mises en évidence par l'augmentation de la période d'échantillonnage.</i></p> <p><i>Les transformées en z ne sont pas au programme.</i></p>		
Déterminer les caractéristiques d'un solide ou d'un ensemble de solides indéformables.	Solide indéformable : – définition ; – repère ; – équivalence solide/repère ; – volume et masse ; – centre d'inertie ; – matrice d'inertie, théorème de Huygens.	S3
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les calculs intégraux des éléments d'inertie (matrice et centre d'inertie) ne donnent pas lieu à évaluation.</i></p> <p><i>Le théorème de Huygens est présenté sous forme vectorielle mais l'utilisation pratique se limite au transport d'un seul moment d'inertie.</i></p>		

Proposer une modélisation des liaisons avec leurs caractéristiques géométriques.	Liaisons : – géométrie des contacts entre deux solides ; – liaisons parfaites ; – degrés de liberté ; – classe d'équivalence cinématique ; – liaisons normalisées entre solides, caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés ; – paramètres géométriques linéaires et angulaires ; – symboles normalisés.	S1
Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique volumique.	Graphe de liaisons. Schéma cinématique.	
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Le paramétrage avec les angles d'Euler ou les angles de roulis, de tangage et de lacet est présenté, mais la maîtrise de ce paramétrage n'est pas exigée.</i></p>		
Modéliser la cinématique d'un ensemble de solides.	Vecteur position. Mouvements simple (translation et rotation) et composé. Trajectoire d'un point. Définition du vecteur vitesse et du vecteur taux de rotation. Définition du vecteur accélération. Composition des mouvements. Définition du contact ponctuel entre deux solides (roulement et glissement). Torseur cinématique (champ des vecteurs vitesse).	S1
Modéliser une action mécanique.	Modèle local (densités linéique, surfacique et volumique d'effort). Modèle global. Frottements sec (lois de Coulomb) et visqueux. Torseur des actions mécaniques transmissibles. Torseur d'une action mécanique extérieure. Torseurs couple et glisseur.	S2
Simplifier un modèle de mécanisme.	Liaisons équivalentes (approches cinématique et statique). Conditions et limites de la modélisation plane.	S2

Modifier un modèle de mécanisme afin de le rendre isostatique.	Mobilité du modèle d'un mécanisme. Degré d'hyperstatisme d'un modèle. Substitution de liaisons.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>L'identification des contraintes géométriques et dimensionnelles liées au degré d'hyperstatisme n'est pas exigible.</i></p>		
Associer un modèle poutre à un solide.	Hypothèses de géométrie. Fibre neutre et section droite. Torseur de cohésion.	S3
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les hypothèses de continuité, d'élasticité, d'homogénéité et d'isotropie des matériaux ainsi que les hypothèses de Navier-Bernoulli et de Barré de Saint-Venant tout comme l'hypothèse des petites perturbations (petites déformations et petits déplacements) sont présentées, mais aucune connaissance spécifique n'est exigible.</i></p>		
Paramétrer un modèle dans un logiciel de simulation par éléments finis.	Proposer ou justifier des conditions aux limites.	S4
Décrire le comportement d'un système séquentiel.	Diagramme d'états. État, transition, événement, condition de garde, activité et action.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>La description graphique permet de s'affranchir d'un langage de programmation spécifique.</i></p>		
Modéliser les modulateurs statiques d'énergie.	Règles d'interconnexion des sources parfaites. Bidirectionnalités des interrupteurs. Association des interrupteurs (cellule élémentaire de commutation). Caractéristiques des modulateurs : – nature des grandeurs d'entrée-sortie ; – réversibilité.	S4
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La modélisation se limite à l'étude fonctionnelle des caractéristiques statiques des interrupteurs avec la mise en évidence de l'unidirectionnalité ou la bidirectionnalité en courant ou tension des interrupteurs.</i></p> <p><i>La modélisation des pertes dans les interrupteurs n'est pas exigible.</i></p> <p><i>La modélisation se limite aux fonctions de modulation continu-continu, continu-alternatif et alternatif-continu non commandée et à leurs associations.</i></p>		

<p>Modéliser un convertisseur électromécanique en régime permanent.</p>	<p>Modèle électromécanique de la machine à courant continu.</p> <p>Modèle statique monophasé de la machine synchrone (FEM induite, réactance synchrone et résistance).</p> <p>Modèle statique monophasé équivalent de la machine asynchrone (pertes fer négligées).</p> <p>Bilan des puissances d'un convertisseur électromécanique en régime permanent.</p>	<p>S4</p>
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La physique des convertisseurs électromécaniques (machines électriques) n'est pas au programme.</i></p> <p><i>Seule la machine asynchrone à rotor à cage d'écurueil est modélisée (pilotage uniquement par le stator).</i></p> <p><i>Les modèles des machines alternatives sont fournis. Le comportement des machines alternatives est étudié en alimentation en fréquence fixe (ou lentement variable) utilisant les modèles linéaires continus statiques.</i></p> <p><i>Pour la machine asynchrone, seule la commande scalaire est étudiée (commande en « U/f » constant).</i></p> <p><i>Le fonctionnement des machines est qualifié en régime permanent dans les quatre quadrants.</i></p>		
<p>Modéliser la commande d'un ensemble asservi constitué du modulateur d'énergie, de la machine électrique et de sa charge.</p>	<p>Commande en couple des machines à courant continu et synchrone.</p> <p>Commande des machines en vitesse.</p> <p>Modèle en régime dynamique de la machine à courant continu.</p> <p>Modèle en régime dynamique dans le plan (d,q) de la machine synchrone.</p>	<p>S4</p>
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La boucle interne de courant (couple) est présentée pour améliorer les performances de la boucle de vitesse angulaire.</i></p> <p><i>Il s'agit d'établir que la commande de la MS dans le plan (d,q) permet d'obtenir le même comportement qu'une MCC.</i></p> <p><i>Le modèle en régime dynamique de la machine synchrone dans le plan (d,q) est fourni sans démonstration.</i></p>		

B3 – Valider un modèle

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Vérifier la cohérence du modèle choisi en confrontant les résultats analytiques et/ou numériques aux résultats expérimentaux.	Notions d'écart (absolu, relatif), mesure des écarts. Critères de performances.	S4
Préciser les limites de validité d'un modèle.	Point de fonctionnement. Non-linéarités (courbure, hystérésis, saturation et seuil) et retard pur.	S4
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les activités de simulation et d'expérimentation permettent de mettre en évidence les limites des modèles linéaires mais l'étude des modèles non-linéaires n'est pas au programme.</i></p>		
Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser les écarts entre les résultats analytiques et/ou numériques et les résultats expérimentaux.	Hypothèses de modélisation. Paramètres d'un modèle. Paramètres influents et prépondérants.	S4

C – Résoudre

C1 – Proposer une démarche de résolution

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer une démarche permettant d'évaluer les performances des systèmes asservis.	Exigences : – stabilité (définition, marges de stabilité, amortissement et dépassement relatif) ; – précision (erreur/écart statique et erreur de traînage) ; – rapidité (temps de réponse à 5 %, bande passante et retard de traînage).	S2
Proposer une démarche de réglage d'un correcteur.	Correcteurs proportionnels.	S3
Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique. $\Leftrightarrow I$	Décomposition d'un problème complexe en sous problèmes simples. Choix des algorithmes d'intelligence artificielle : – k plus proches voisins ; – régression linéaire monovariante.	S3
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les réseaux de neurones peuvent être évoqués mais aucune connaissance spécifique n'est exigible.</i></p>		

Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie géométrique ou cinématique. $\Leftrightarrow I$	Fermetures géométriques. Fermetures cinématiques.	S1
Proposer une démarche permettant la détermination d'une action mécanique inconnue ou d'une loi de mouvement.	Graphe de structure. Choix des isolements. Choix des équations pertinentes vis-à-vis de l'objectif. Principe Fondamental de la Statique dans un référentiel galiléen. Principe Fondamental de la Dynamique. Théorème de l'énergie cinétique.	S3
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>La détermination du moment dynamique peut être introduite sur quelques cas simples mais sa maîtrise ne sera ni exigible ni évaluée. La détermination des actions mécaniques inconnues peut être menée par l'usage d'un outil de simulation numérique.</i></p>		
Proposer une démarche permettant de déterminer des grandeurs électriques.	Lois de Kirchhoff. Théorème de superposition. Puissance électrique.	S1
Proposer une démarche permettant de déterminer les contraintes et/ou les déplacements le long d'une poutre.	Tronçons. Méthode des coupures.	S3
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les méthodes de résolution des problèmes hyperstatiques en résistance des matériaux ne sont pas au programme et les sollicitations ne sont pas combinées.</i></p>		

C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Déterminer la réponse temporelle.	Expression de la solution de l'équation différentielle associée à un système d'ordre 1 soumis à une entrée échelon. Allure des représentations temporelles des solutions des équations différentielles d'ordre 1 et 2 pour les entrées de type échelon et sinus (en régime permanent).	S3
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Le calcul des transformées de Laplace et de leurs inverses n'est pas exigé. Elles sont utilisées à partir de résultats fournis.</i></p> <p><i>Pour les systèmes d'ordre 2, seule l'allure de la réponse en fonction de la valeur du facteur d'amortissement est à connaître.</i></p>		

Déterminer la réponse fréquentielle.	Diagramme asymptotique de Bode, allure du diagramme de Bode réel.	S3
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les diagrammes de Bode réels sont déterminés à l'aide d'outils numériques ou fournis.</i></p>		
Déterminer les performances d'un système asservi.	<p>Stabilité d'un système asservi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - définition ; - dépassement ; - position des pôles dans le plan complexe ; - marges de stabilité. <p>Rapidité d'un système :</p> <ul style="list-style-type: none"> - temps de réponse à 5 % ; - bande passante. <p>Précision d'un système asservi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - théorème de la valeur finale ; - écart/erreur statique ; - écart/erreur de traînage ; - sensibilité aux perturbations en régime permanent ; - lien entre la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte et l'écart statique ; - lien entre la position de l'intégrateur et la sensibilité aux perturbations. 	S3
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Seul le diagramme de Bode est au programme.</i></p> <p><i>Pour les systèmes d'ordre 2, les abaques et relations nécessaires sont fournies.</i></p>		
Mettre en œuvre une démarche de réglage d'un correcteur.	Correcteurs proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase.	S3
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Pour les correcteurs proportionnel intégral et à avance de phase, la démarche de réglage est fournie.</i></p>		
Caractériser le mouvement d'un repère par rapport à un autre repère.	<p>Trajectoire d'un point.</p> <p>Mouvements de translation, de rotation, ou composé.</p> <p>Vecteurs vitesse et accélération d'un point.</p> <p>Torseur cinématique.</p>	S1
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les méthodes graphiques peuvent être présentées mais leur maîtrise n'est pas exigée.</i></p>		

Déterminer les relations entre les grandeurs géométriques ou cinématiques.	Loi entrée-sortie géométrique. Loi entrée-sortie cinématique. Transmetteurs de puissance (vis-écrou, roue et vis sans fin, trains d'engrenages simples et épicycloïdaux, pignon-crémaillère et poulies-courroie).	S1
Déterminer les actions mécaniques en statique.	Référentiel galiléen. Principe Fondamental de la Statique. Principe des actions réciproques.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les méthodes graphiques peuvent être présentées mais leur maîtrise n'est pas exigée.</i></p>		
Déterminer les actions mécaniques en dynamique dans le cas où le mouvement est imposé.	Torseurs cinétique et dynamique d'un solide par rapport à un référentiel galiléen. Principe Fondamental de la Dynamique. Énergie cinétique d'un solide ou ensemble de solides en mouvement par rapport à un référentiel galiléen. Inertie et masse équivalentes.	S3
Déterminer la loi de mouvement dans le cas où les efforts extérieurs sont connus.	Puissance d'une action mécanique extérieure à un solide ou à un ensemble de solides, dans son mouvement par rapport au repère galiléen. Puissance des inter-efforts dans un ensemble de solides. Théorème de l'énergie cinétique. Rendement en régime permanent.	
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>La détermination du moment dynamique peut être introduite sur quelques cas simples mais sa maîtrise ne sera ni exigible ni évaluée. La détermination des actions mécaniques inconnues peut être menée par l'usage d'un outil de simulation numérique.</i></p>		
Déterminer les grandeurs relatives au comportement d'une poutre.	Torseur de cohésion. Sollicitations (traction-compression, torsion et flexion). Contraintes dans une section droite. Déplacements le long d'une ligne moyenne, conditions aux limites. Coefficient de sécurité et résistance mécanique.	S4
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les sollicitations ne seront pas combinées. L'effet du cisaillement est hors programme.</i></p>		

Déterminer les signaux électriques dans les circuits.	<p>Circuits en régime alternatif sinusoïdal.</p> <p>Diagramme de Fresnel.</p> <p>Puissance active (continu, monophasé et triphasé en régime alternatif sinusoïdal).</p> <p>Puissances apparente, réactive et facteur de puissance, en monophasé et triphasé en régime alternatif sinusoïdal.</p> <p>Ondulation des grandeurs électriques en régime permanent dans les modulateurs.</p> <p>Composants de filtrage.</p>	S3
Déterminer les conditions d'équilibre de l'association convertisseur électromécanique et charge.	<p>Caractéristiques mécaniques actionneur-charge.</p> <p>Point de fonctionnement.</p>	S4
Caractériser le point de fonctionnement en régime permanent de l'association convertisseur électromécanique et charge.	<p>Stabilité d'un point de fonctionnement.</p> <p>Quadrants de fonctionnement.</p>	

C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mener une simulation numérique. $\simeq I$	<p>Choix des grandeurs physiques.</p> <p>Choix des paramètres du solveur (pas de la discrétisation et durée de la simulation).</p> <p>Influence des paramètres du modèle sur les performances.</p>	S4
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>L'influence du choix du solveur (méthode à pas fixe ou à pas variable) pourra être analysée mais aucune connaissance spécifique n'est exigible.</i></p>		
Résoudre numériquement une équation ou un système d'équations. $\simeq I$	<p>Réécriture des équations.</p> <p>Méthodes de dichotomie et de Newton pour résoudre des problèmes du type $f(x) = 0$.</p> <p>Intégration et dérivation numérique (schémas arrière et avant).</p> <p>Schéma d'Euler explicite pour résoudre une équation ou un système d'équations différentielles.</p>	S3

<p><i>Commentaires</i></p> <p>La « réécriture des équations » signifie :</p> <ul style="list-style-type: none"> – remettre en forme des équations pour leurs traitements par une bibliothèque ; – mettre sous forme matricielle un problème (problème de Cauchy et système linéaire). <p>Les méthodes numériques sont introduites au fur et à mesure, en fonction des besoins de la formation. L'utilisation des bibliothèques préimplémentées est privilégiée.</p> <p>Les aspects théoriques liés aux méthodes numériques ne sont pas exigibles (stabilité, convergence, conditionnement de matrices...).</p>		
<p>Résoudre un problème en utilisant une solution d'intelligence artificielle.</p> <p>↔ I</p>	<p>Apprentissage supervisé.</p> <p>Phases d'apprentissage et d'inférence.</p> <p>Mise en œuvre des algorithmes (k plus proches voisins et régression linéaire monovariée).</p> <p>Choix des données d'apprentissage.</p> <p>Choix des paramètres de classification.</p>	<p>S3</p>
<p><i>Commentaires</i></p> <p>L'apprentissage non supervisé est évoqué, mais aucune connaissance spécifique n'est exigée.</p> <p>L'utilisation des bibliothèques préimplémentées est privilégiée.</p>		
<p>Effectuer des traitements à partir de données de mesures expérimentales.</p> <p>↔ I</p>	<p>Traitement de fichiers de données.</p> <p>Moyenne et écart type.</p> <p>Moyenne glissante et filtres numériques passe-bas du premier et du second ordre.</p>	<p>S2</p>

D – Expérimenter

D1 – Découvrir le fonctionnement d'un système pluritechnologique et le mettre en œuvre

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
<p>Mettre en œuvre un système en suivant un protocole dans le respect des règles de sécurité.</p>	<p>Normes de sécurité.</p>	<p>S1</p>
<p><i>Commentaires</i></p> <p>Le respect des instructions de sécurité et des normes est une exigence qui s'appuie sur la fourniture des extraits de textes réglementaires.</p> <p>La connaissance des normes de sécurité n'est pas exigible.</p>		
<p>Identifier les constituants réalisant les principales fonctions des chaînes d'information et de puissance.</p>	<p>Chaîne d'information.</p> <p>Chaîne de puissance.</p>	<p>S1</p>
<p>Identifier les principales grandeurs physiques d'effort et de flux.</p>	<p>Grandeurs d'effort et de flux.</p>	<p>S2</p>

D2 – Proposer et justifier un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer un protocole en fonction de l'objectif visé.		S4
Configurer et régler le système en fonction de l'objectif visé.		S2
Choisir la grandeur physique à mesurer ou justifier son choix.	Caractérisation des grandeurs physiques (unité, ordre de grandeur, amplitude, fréquence, valeurs efficace et moyenne, spectre). Appareils de mesure. Capteurs.	S3
Justifier le choix d'un appareil de mesure ou d'un capteur vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer.		
Choisir les grandeurs d'entrées à imposer et les grandeurs de sorties à acquérir pour identifier un modèle de comportement sur un système ou sur un constituant du système.	Réponses temporelles et harmoniques.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>L'objectif consiste à qualifier et quantifier une performance et/ou renseigner un modèle de comportement.</i></p>		

D3 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer.	Règles de raccordement des appareils de mesure et des capteurs. Caractéristiques (calibre, position, etc.) et fonctions d'un appareil de mesure.	S1
Identifier les erreurs de mesure et de méthode.	Incertitudes, résolution, justesse, fidélité, linéarité et sensibilité. Échantillonnage, repliement de spectre, quantification.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>L'incertitude renvoie à la technologie des appareils de mesure et des capteurs. Il n'est pas exigé de longs développements théoriques et calculs associés.</i></p>		
Générer un programme et l'implanter dans le système cible.	Outils de programmation.	S3
Relever les grandeurs caractéristiques d'un protocole de communication.	Protocole, trame. Débit maximal, débit utile. Caractéristiques des signaux.	S2

Mettre en œuvre une liaison entre objets communicants.	Paramètres de configuration d'un réseau. Internet des objets. Adressage physique et logique.	S4
--	--	----

E – Communiquer

E1 – Rechercher et traiter des informations

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Rechercher des informations.	Outils de recherche. Mots-clefs.	S2
Distinguer les différents types de documents et de données en fonction de leurs usages.		
Vérifier la pertinence des informations (obtention, véracité, fiabilité et précision de l'information).		
Extraire les informations utiles d'un dossier technique.		
Lire et interpréter un document technique.		S4
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La veille technologique sera intégrée dans la démarche de recherche documentaire.</i></p> <p><i>Toutes les représentations schématiques technologiques sont fournies, et en particulier les symboles des constituants pneumatiques, hydrauliques et thermiques.</i></p> <p><i>La description d'un même système doit utiliser plusieurs modes de représentations.</i></p>		
Classer les informations.		S2
Effectuer une synthèse des informations disponibles dans un dossier technique.		

E2 – Produire et échanger de l'information

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir un outil de communication adapté au contexte.	Outils multimédias, outils bureautiques.	S2
Travailler de manière collaborative.	Espaces partagés et de stockage, Espace Numérique de Travail (E.N.T).	

<p>Présenter et formaliser une idée.</p> <p>Faire preuve d'écoute et confronter des points de vue.</p> <p>Présenter un protocole, une démarche, une solution en réponse à un besoin.</p> <p>Présenter de manière argumentée une synthèse des résultats.</p>	<p>Tableau, graphique, diaporama, média, carte mentale, schéma, croquis.</p> <p>Placement de la voix, qualité de l'expression, gestion du temps.</p>	S2
<p>Produire des documents techniques adaptés à l'objectif de la communication. $\Leftrightarrow I$</p>	<p>Diagrammes SysML.</p> <p>Chaîne fonctionnelle.</p> <p>Schéma-blocs.</p> <p>Schémas cinématique, électrique, pneumatique, thermique, hydraulique.</p> <p>Graphe de structure.</p> <p>Croquis, représentations 3D et 2D.</p> <p>Spécifications d'algorithmes.</p>	S4
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La communication est liée à l'ensemble des activités.</i></p> <p><i>Les croquis doivent traduire les intentions de conception, la représentation normalisée ne peut être exigée.</i></p> <p><i>La description d'un même système doit utiliser plusieurs modes de représentations.</i></p>		
<p>Utiliser un vocabulaire technique, des symboles et des unités adéquats.</p>	<p>Grandeurs utilisées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - unités du système international ; - homogénéité des grandeurs. 	S4
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les résultats importants et les éléments de synthèse, dans une publication ou une communication orale, sont mis en valeur.</i></p>		

F – Concevoir

F1 – Écoconcevoir l'architecture d'un système innovant

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
<p>Proposer une architecture fonctionnelle et structurelle.</p>		S4
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Cette proposition peut se faire sous forme d'association de blocs.</i></p> <p><i>Il s'agit d'allouer des constituants à la satisfaction d'exigences fonctionnelles et de décrire les interfaces entre ces constituants.</i></p> <p><i>L'activité de projet est une modalité pédagogique à privilégier pour développer cette compétence.</i></p>		

Intégrer les contraintes d'écoconception dans les architectures proposées.	Cycle de vie, stratégies d'écoconception.	S4
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les axes suivants sont abordés :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – développement d'une solution innovante ; – sélection des matériaux ; – réduction de la quantité de matière ; – optimisation des techniques de production ; – optimisation de la logistique ; – réduction de l'impact environnemental de la phase d'utilisation ; – optimisation de la durée de vie du produit ; – gestion de la fin de vie du système. <p><i>Aucune méthode normalisée ne donne lieu à évaluation.</i></p>		

F2 – Proposer et choisir des solutions techniques

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer et hiérarchiser des critères de choix.	Critères liés au triptyque Matière, Énergie, Information.	S4
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les critères de choix abordés sont liés aux fonctionnalités techniques, au respect des normes écologiques et de sécurité, au coût et à l'impact environnemental.</i></p>		
Choisir la technologie des constituants de la chaîne d'information.	Technologie de capteur. Carte de commande.	S4
Choisir la technologie des constituants de la chaîne de puissance.	Dispositifs de stockage d'énergie. Modulateurs de puissance. Convertisseurs de puissance. Transmetteurs de puissance.	S4
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Pour les modulateurs et convertisseurs de puissance, on se limitera aux technologies électrique, hydraulique, mécanique, pneumatique et thermique.</i></p> <p><i>Les choix seront faits à partir de documents techniques fournis en prenant en compte l'impact environnemental.</i></p>		
Modifier la commande pour faire évoluer le comportement du système.	Modification d'un programme : – système séquentiel ; – structures algorithmiques. Choix du type de correcteur.	S4

F3 – Dimensionner une solution technique choisie dans une démarche de développement durable

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Dimensionner un constituant des chaînes fonctionnelles.	Constituants de la chaîne d'information. Constituants de la chaîne de puissance.	S4
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Le dimensionnement peut se faire à partir des exigences et d'une documentation technique tout en respectant les enjeux environnementaux.</i></p> <p><i>Pour la chaîne d'information, le dimensionnement concerne les constituants suivants :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – capteurs (étendue de mesure, précision, justesse, fidélité et sensibilité) ; – CNA – CAN (fréquence d'échantillonnage, résolution et plage de conversion) ; – carte de commande (résolution et mémoire) ; – filtre passif (fréquence de coupure, gabarit) ; – liaisons série et réseaux (débit de communication). <p><i>Pour la chaîne de puissance, le dimensionnement concerne les constituants suivants :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – dispositifs de stockage d'énergie ; – modulateurs de puissance : grandeurs flux et effort en régime permanent et contrainte maximale ; – convertisseurs de puissance : couple quadratique (thermique) équivalent ; – éléments des transmetteurs de puissance modélisés par des poutres : flèche et coefficient de sécurité vis-à-vis de la contrainte maximale ; – organes de guidage dans les transmissions, les formules constructeur sont fournies. 		
Écoconcevoir une pièce en optimisant le triptyque produit-procédés-matériaux.	Familles et propriétés des matériaux. Méthode de choix des matériaux et des procédés. Indicateur de performances. Résistance et déplacement. Influence du procédé sur la géométrie du produit.	S4
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>L'utilisation de logiciels de simulation et de choix de matériaux et procédés est à privilégier.</i></p>		

G – Réaliser

G1 – Réaliser tout ou partie d'un prototype

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Réaliser tout ou partie de la chaîne de puissance.		S4
Instrumenter tout ou partie d'un système pour valider une exigence ou renseigner un modèle de comportement.		
Intégrer les constituants correspondant à une fonction dans un prototype.		
Implémenter et exécuter un programme sur une cible.		
Valider le fonctionnement du prototype.		
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La réalisation d'une chaîne d'asservissement numérique pourra servir de support.</i></p> <p><i>L'acquisition de savoir-faire professionnels est exclue.</i></p> <p><i>Tous les moyens de réalisation ou de prototypage rapide mutualisés dans l'établissement scolaire peuvent être utilisés, en particulier les ressources disponibles dans un espace d'innovation partagé (fablab).</i></p>		



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et sciences industrielles (TSI)

Annexe 4

Programmes d'informatique 1^{ère} et 2^{nde} années

Table des matières

1	Programme du premier semestre	5
2	Programme du second semestre	6
2.1	Méthodes de programmation et analyse des algorithmes	6
2.2	Représentation des nombres	6
2.3	Bases des graphes	7
3	Programme du troisième semestre	8
3.1	Bases de données	8
3.2	Dictionnaires et algorithmes pour l'intelligence artificielle	9
3.3	Algorithmique numérique	9
A	Langage Python	10

Introduction au programme

Les objectifs du programme Le programme d'informatique de TSI et TPC s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il a pour objectif la formation de futurs ingénieures et ingénieurs, enseignantes et enseignants, chercheuses et chercheurs et avant tout des personnes informées, capables de gouverner leur vie professionnelle et citoyenne en pleine connaissance et maîtrise des techniques et des enjeux de l'informatique et en la nourrissant par les habitudes de la démarche scientifique. Le présent programme a pour ambition de poser les bases d'un enseignement cohérent et mesuré d'une science informatique encore jeune et dont les manifestations technologiques connaissent des cycles d'obsolescence rapide. On garde donc à l'esprit :

- de privilégier la présentation de concepts fondamentaux pérennes sans s'attacher outre mesure à la description de technologies, protocoles ou normes actuels;
- de donner aux futurs diplômées et diplômés les moyens de réussir dans un domaine en mutation rapide et dont les technologies qui en sont issues peuvent sauter brutalement d'un paradigme à un autre très différent;
- de préparer les étudiantes et étudiants à tout un panel de professions et de situations de la vie professionnelle qui les amène à remplir tour à tour une mission d'expertise, de création ou d'invention, de prescription de méthodes ou de techniques, de contrôle critique des choix opérés ou encore de décision en interaction avec des spécialistes;
- que les concepts à enseigner sont les mêmes dans toutes les filières mais que le professeur d'informatique de chaque classe peut adapter la façon de les transmettre et les exemples concrets sur lesquels il s'appuie au profil de ses élèves et aux autres enseignements qu'ils suivent.

Compétences visées Ce programme vise à développer les six grandes compétences suivantes :

analyser et modéliser un problème ou une situation, notamment en utilisant les objets conceptuels de l'informatique pertinents (table relationnelle, graphe, dictionnaire, etc.);

imaginer et concevoir une solution, décomposer en blocs, se ramener à des sous-problèmes simples et indépendants, adopter

une stratégie appropriée, décrire une démarche, un algorithme ou une structure de données permettant de résoudre le problème;

décrire et spécifier les caractéristiques d'un processus, les données d'un problème, ou celles manipulées par un algorithme ou une fonction;

mettre en œuvre une solution, par la traduction d'un algorithme ou d'une structure de données dans un langage de programmation ou un langage de requête;

justifier et critiquer une solution, que ce soit en démontrant un algorithme par une preuve mathématique ou en développant des processus d'évaluation, de contrôle, de validation d'un code que l'on a produit;

communiquer à l'écrit ou à l'oral, présenter des travaux informatiques, une problématique et sa solution; défendre ses choix; documenter sa production et son implémentation.

La pratique régulière de la résolution de problèmes par une approche algorithmique et des activités de programmation qui en résultent constitue un aspect essentiel de l'apprentissage de l'informatique. Les exemples ou les exercices d'application peuvent être choisis au sein de l'informatique elle-même ou en lien avec d'autres champs disciplinaires.

Sur les partis pris par le programme Ce programme impose aussi souvent que possible des choix de vocabulaire ou de notation de certaines notions. Les choix opérés ne présument pas la supériorité de l'option retenue. Ils ont été précisés dans l'unique but d'aligner les pratiques d'une classe à une autre et d'éviter l'introduction de longues définitions récapitulatives préliminaires à un exercice ou un problème. De même, ce programme nomme aussi souvent que possible l'un des algorithmes possibles parmi les classiques qui répondent à un problème donné. Là encore, le programme ne défend pas la prééminence d'un algorithme ou d'une méthode par rapport à un autre mais il invite à faire bien plutôt que beaucoup.

Sur les langages et la programmation L'enseignement du présent programme repose sur un langage de manipulation de données (SQL) ainsi que le langage de programmation Python, pour lequel une annexe liste de façon limitative les éléments qui sont exigibles des étudiants ainsi que ceux auxquels les étudiants sont

familiarisés et qui peuvent être attendus à condition qu'ils soient accompagnés d'une documentation. La poursuite de l'apprentissage du langage Python est vue en particulier par les étudiants pour adopter immédiatement une bonne discipline de programmation tout en se concentrant sur le noyau du langage plutôt que sur une API pléthorique.

Mode d'emploi Ce programme a été rédigé par semestre pour assurer une certaine homogénéité de la formation. Le premier semestre permet d'asseoir les bases de programmation vues au lycée et les concepts associés. **L'organisation de la progression au sein des deux premiers semestres relève de la responsabilité pédagogique de la professeure ou du professeur** et le tissage de liens entre les thèmes contribue à la valeur de son enseignement. Les notions étudiées lors d'un semestre précédent sont régulièrement revisitées tout au long des deux années d'enseignement.

1 Programme du premier semestre

Le programme du premier semestre poursuit les objectifs suivants :

- consolider l'apprentissage de la programmation en langage Python qui a été entrepris dans les classes du lycée;
- mettre en place un environnement de travail;
- mettre en place une discipline de programmation : spécification précise des fonctions et programmes, annotations et commentaires, jeux de tests;
- introduire les premiers éléments de complexité des algorithmes : on ne présente que l'estimation asymptotique du coût dans le cas le pire;
- introduire des outils de validation : variants et invariants.

Le tableau ci-dessous présente les thèmes qui sont abordés lors de ces séances, et, en colonne de droite, une liste, sans aucun caractère impératif, d'exemples d'activités qui peuvent être proposées aux étudiants. L'ordre de ces thèmes n'est pas impératif.

Aucune connaissance relative aux modules éventuellement rencontrés lors de ces séances n'est exigible des étudiants.

Thèmes	Exemples d'activité. Commentaires.
Recherche séquentielle dans un tableau unidimensionnel. Dictionnaire.	Recherche d'un élément. Recherche du maximum, du second maximum. Comptage des éléments d'un tableau à l'aide d'un dictionnaire. <i>Manipulations élémentaires d'un tableau unidimensionnel. Utilisation de dictionnaires en boîte noire. Notions de coût constant, de coût linéaire.</i>
Algorithmes opérant sur une structure séquentielle par boucles simples ou imbriquées.	Recherche d'un facteur (ou d'un mot) dans un texte. Calcul d'une intégrale par la formule de la moyenne ou par la méthode des trapèzes. Tri à bulles. <i>Notion de complexité quadratique. On propose des outils pour valider la correction de l'algorithme.</i>
Utilisation de modules, de bibliothèques.	Lecture d'un fichier de données simples. Calculs statistiques sur ces données. Représentation graphique (histogrammes, etc.).
Algorithmes dichotomiques.	Recherche dichotomique dans un tableau trié. Calcul d'une solution de l'équation $f(x) = 0$ sur $[a, b]$ quand $f(a).f(b) < 0$. <i>On met en évidence une accélération entre complexité linéaire d'un algorithme naïf et complexité logarithmique d'un algorithme dichotomique. On met en œuvre des jeux de tests, des outils de validation.</i>
Fonctions récursives.	Version récursive d'algorithmes dichotomiques. Fonctions produisant à l'aide de <code>print</code> successifs des figures alphanumériques. Dessins de fractales. <i>On évite de se cantonner à des fonctions mathématiques (factorielle, suites récurrentes). On peut montrer le phénomène de dépassement de la taille de la pile.</i>
Tableau de pixels et images.	Algorithmes de rotation de 90 degrés, de réduction ou d'agrandissement. Modification d'une image : flou, détection de contour, etc. <i>Les images servent de support à la présentation de manipulations de tableaux à deux dimensions.</i>
Tris.	Algorithmes quadratiques : tri par insertion, par sélection. Tri par partition-fusion. Tri par comptage. <i>On fait observer différentes caractéristiques (par exemple, stable ou non, en place ou non, comparatif ou non, etc).</i>

2 Programme du second semestre

2.1 Méthodes de programmation et analyse des algorithmes

Même si on ne prouve pas systématiquement tous les algorithmes, on dégage l'idée qu'un algorithme doit se prouver et que sa programmation doit se tester.

Notions	Commentaires
Instruction et expression. Effet de bord.	On peut signaler par exemple que le fait que l'affectation soit une instruction est un choix des concepteurs du langage Python et en expliquer les conséquences.
Spécification des données attendues en entrée, et fournies en sortie/retour.	On entraîne les étudiants à accompagner leurs programmes et leurs fonctions d'une spécification. Les signatures des fonctions sont toujours précisées.
Annotation d'un bloc d'instructions par une précondition, une postcondition, une propriété invariante.	Ces annotations se font à l'aide de commentaires.
Assertion.	L'utilisation d'assertions est encouragée par exemple pour valider des entrées. La levée d'une assertion entraîne l'arrêt du programme. Ni la définition ni le rattrapage des exceptions ne sont au programme.
Explication et justification des choix de conception ou programmation.	Les parties complexes de codes ou d'algorithmes font l'objet de commentaires qui l'éclairent en évitant la paraphrase. Le choix des collections employées (par exemple, liste ou dictionnaire) est un choix éclairé.
Terminaison. Variant. Invariant.	On montre sur plusieurs exemples que la terminaison peut se démontrer à l'aide d'un variant de boucle. Sur plusieurs exemples, on explicite, sans insister sur aucun formalisme, des invariants de boucles en vue de montrer la correction des algorithmes.
Jeu de tests associé à un programme.	Il n'est pas attendu de connaissances sur la génération automatique de jeux de tests; un étudiant doit savoir écrire un jeu de tests à la main, donnant à la fois des entrées et les sorties correspondantes attendues. On sensibilise, par des exemples, à la notion de partitionnement des domaines d'entrée et au test des limites.
Complexité.	On aborde la notion de complexité temporelle dans le pire cas en ordre de grandeur. On peut, sur des exemples, aborder la notion de complexité en espace.

2.2 Représentation des nombres

On présente sans formalisation théorique les enjeux de la représentation en mémoire des nombres. Ces notions permettent d'expliquer certaines difficultés rencontrées et précautions à prendre lors de la programmation ou de l'utilisation d'algorithmes de calcul numérique dans les disciplines qui y recourent.

Notions	Commentaires
Représentation des entiers positifs sur des mots de taille fixe.	La conversion d'une base à une autre n'est pas un objectif de formation.
Représentation des entiers signés sur des mots de taille fixe.	Complément à deux.
Entiers multi-précision de Python.	On les distingue des entiers de taille fixe sans détailler leur implémentation. On signale la difficulté à évaluer la complexité des opérations arithmétiques sur ces entiers.
Distinction entre nombres réels, décimaux et flottants.	On montre sur des exemples l'impossibilité de représenter certains nombres réels ou décimaux dans un mot machine

Représentation des flottants sur des mots de taille fixe. Notion de mantisse, d'exposant.	On signale la représentation de 0 mais on n'évoque pas les nombres dénormalisés, les infinis ni les NaN. Aucune connaissance liée à la norme IEEE-754 n'est au programme.
Précision des calculs en flottants.	On insiste sur les limites de précision dans le calcul avec des flottants, en particulier pour les comparaisons. On n'entre pas dans un comparatif des différents modes d'arrondi.

2.3 Bases des graphes

Il s'agit de définir le modèle des graphes, leurs représentations et leurs manipulations.

On s'efforce de mettre en avant des applications importantes et si possibles modernes : réseau de transport, graphe du web, réseaux sociaux, bio-informatique. On précise autant que possible la taille typique de tels graphes.

Notions	Commentaires
Vocabulaire des graphes.	Graphe orienté, graphe non orienté. Sommet (ou nœud); arc, arête. Boucle. Degré (entrant et sortant). Chemin d'un sommet à un autre. Cycle. Connexité dans les graphes non orientés. On présente l'implémentation des graphes à l'aide de listes d'adjacence (rassemblées par exemple dans une liste ou dans un dictionnaire) et de matrice d'adjacence ainsi que les différences en terme d'occupation mémoire. On n'évoque ni multi-arcs ni multi-arêtes.
Notations.	Graphe $G = (S, A)$, degrés $d(s)$ (pour un graphe non orienté), $d_+(s)$ et $d_-(s)$ (pour un graphe orienté).
Pondération d'un graphe. Étiquettes des arcs ou des arêtes d'un graphe.	On motive l'ajout d'information à un graphe par des exemples concrets.
Fonctions de manipulation.	Obtention du nombre de sommets, ajout/suppression/test d'existence d'un arc ou d'une arête, construction de la liste des voisins d'un sommet, etc. On présente l'importance de construire des fonctions de manipulation élémentaires en vue d'une programmation modulaire ainsi que l'impact du choix d'une représentation en terme de complexité temporelle.
Parcours d'un graphe.	On introduit à cette occasion les piles et les files; on souligne les problèmes d'efficacité posés par l'implémentation des files par les listes de Python et l'avantage d'utiliser un module dédié tel que <code>collections.deque</code> . Détection de la présence de cycles ou de la connexité d'un graphe non orienté.

3 Programme du troisième semestre

3.1 Bases de données

On se limite volontairement à une description applicative des bases de données en langage SQL. Il s'agit de permettre d'interroger une base présentant des données à travers plusieurs relations. On ne présente pas l'algèbre relationnelle ni le calcul relationnel.

Notions	Commentaires
Vocabulaire des bases de données : tables ou relations, attributs ou colonnes, domaine, schéma de tables, enregistrements ou lignes, types de données.	On présente ces concepts à travers de nombreux exemples. On s'en tient à une notion sommaire de domaine : entier, flottant, chaîne; aucune considération quant aux types des moteurs SQL n'est au programme. Aucune notion relative à la représentation des dates n'est au programme; en tant que de besoin on s'appuie sur des types numériques ou chaîne pour lesquels la relation d'ordre coïncide avec l'écoulement du temps. Toute notion relative aux collations est hors programme; en tant que de besoin on se place dans l'hypothèse que la relation d'ordre correspond à l'ordre lexicographique usuel. NULL est hors programme.
Clef primaire.	Une clef primaire n'est pas forcément associée à un unique attribut même si c'est le cas le plus fréquent. La notion d'index est hors programme. On présente la notion de clef étrangère.
Requêtes SELECT avec simple clause WHERE (sélection), projection, renommage AS. Utilisation des mots-clefs DISTINCT, LIMIT, OFFSET, ORDER BY.	Les opérateurs au programme sont +, -, *, / (on passe outre les subtilités liées à la division entière ou flottante), =, <>, <, <=, >, >=, AND, OR, NOT.
Opérateurs ensemblistes UNION, INTERSECT et EXCEPT, produit cartésien.	
Jointures internes T_1 JOIN T_2 ... JOIN T_n ON ϕ . Autojointure.	On présente les jointures en lien avec la notion de relations entre tables. On se limite aux équi-jointures : ϕ est une conjonction d'égalités. On fera le lien avec la notion de clef étrangère
Agrégation avec les fonctions MIN, MAX, SUM, AVG et COUNT, y compris avec GROUP BY.	Pour la mise en œuvre des agrégats, on s'en tient à la norme SQL99. On présente quelques exemples de requêtes imbriquées. On marque la différence entre WHERE et HAVING sur des exemples.
Mise en œuvre	
La création de tables et la suppression de tables au travers du langage SQL sont hors programme. La mise en œuvre effective se fait au travers d'un logiciel permettant d'interroger une base de données à l'aide de requêtes SQL. Récupérer le résultat d'une requête à partir d'un programme n'est pas un objectif. Même si aucun formalisme graphique précis n'est au programme, on peut décrire les entités et les associations qui les lient au travers de diagrammes sagittaux informels. Sont hors programme : la notion de modèle logique <i>vs</i> physique, les bases de données non relationnelles, les méthodes de modélisation de base, les fragments DDL, TCL et ACL du langage SQL, les transactions, l'optimisation de requêtes par l'algèbre relationnelle.	

3.2 Dictionnaires et algorithmes pour l'intelligence artificielle

Les dictionnaires sont utilisés en boîte noire dès la première année; les principes de leur fonctionnement sont présentés en deuxième année.

Cette partie permet aussi de revisiter les notions de programmation et de représentation de données par un graphe, qui sont vues en première année, en les appliquant à des enjeux contemporains.

Notions	Commentaires
Dictionnaires, clefs et valeurs.	On présente les principes du hachage, et les limitations qui en découlent sur le domaine des clefs utilisables.
Usage des dictionnaires en programmation Python.	Syntaxe pour l'écriture des dictionnaires. Parcours d'un dictionnaire.
Algorithme des k plus proches voisins avec distance euclidienne.	Matrice de confusion. Lien avec l'apprentissage supervisé.
Algorithme des k -moyennes.	Lien avec l'apprentissage non-supervisé. La démonstration de la convergence n'est pas au programme. On observe des convergences vers des minima locaux.
Jeux d'accessibilité à deux joueurs sur un graphe. Stratégie. Stratégie gagnante. Position gagnante.	On considère des jeux à deux joueurs (J_1 et J_2) modélisés par des graphes bipartis (l'ensemble des états contrôlés par J_1 et l'ensemble des états contrôlés par J_2). Il y a trois types d'états finals : les états gagnants pour J_1 , les états gagnants pour J_2 et les états de match nul. On ne considère que les stratégies sans mémoire.
Notion d'heuristique.	On présente la notion d'heuristique à partir d'exemples simples comme le problème du sac à dos.

Mise en œuvre

La connaissance dans le détail des algorithmes de cette section n'est pas un attendu du programme. Les étudiants acquièrent une familiarité avec les idées sous-jacentes qu'ils peuvent réinvestir dans des situations où les modélisations et les recommandations d'implémentation sont guidées, notamment dans leurs aspects arborescents.

3.3 Algorithmique numérique

Dans cette partie du programme, on présente des algorithmes numériques pour une approche pluri-disciplinaire.

On se concentre sur la bonne compréhension de leur fonctionnement et la mise en avant de leur limites.

Ces algorithmes seront appliqués à des problématiques concrètes étudiées dans d'autres disciplines. On veillera à faire programmer par les étudiants les algorithmes étudiés.

Notions	Commentaires
Méthode d'Euler	Résolution approchée d'équations différentielles ordinaires d'ordre 1 et 2. Illustration de l'impact du pas sur la qualité de la solution obtenue.
Méthode de Gauss avec recherche partielle du pivot.	Résolution des systèmes linéaires inversibles. Erreurs d'arrondis et problème de la comparaison à zéro. On aura recours à une conception modulaire pour présenter cet algorithme.
Interpolation polynomiale de Lagrange.	Interpolation par morceaux.

Mise en œuvre

La connaissance dans le détail des algorithmes de cette section n'est toujours pas un attendu du programme.

A Langage Python

Cette annexe liste limitativement les éléments du langage Python (version 3 ou supérieure) dont la connaissance est exigible des étudiants. Aucun concept sous-jacent n'est exigible au titre de la présente annexe.

Aucune connaissance sur un module particulier n'est exigible des étudiants.

Toute utilisation d'autres éléments du langage que ceux que liste cette annexe, ou d'une fonction d'un module, doit obligatoirement être accompagnée de la documentation utile, sans que puisse être attendue une quelconque maîtrise par les étudiants de ces éléments.

Traits généraux

- Typage dynamique : l'interpréteur détermine le type à la volée lors de l'exécution du code.
- Principe d'indentation.
- Portée lexicale : lorsqu'une expression fait référence à une variable à l'intérieur d'une fonction, Python cherche la valeur définie à l'intérieur de la fonction et à défaut la valeur dans l'espace global du module.
- Appel de fonction par valeur : l'exécution de $f(x)$ évalue d'abord x puis exécute f avec la valeur calculée.

Types de base

- Opérations sur les entiers (`int`) : `+`, `-`, `*`, `//`, `**`, `%` avec des opérandes positifs.
- Opérations sur les flottants (`float`) : `+`, `-`, `*`, `/`, `**`.
- Opérations sur les booléens (`bool`) : `not`, `or`, `and` (et leur caractère paresseux).
- Comparaisons `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`.

Types structurés

- Structures indicées immuables (chaînes, tuples) : `len`, accès par indice positif valide, concaténation `+`, répétition `*`, tranche.
- Listes : création par compréhension `[e for x in s]`, par `[e] * n`, par `append` successifs; `len`, accès par indice positif valide; concaténation `+`, extraction de tranche, copie (y compris son caractère superficiel); `pop` en dernière position.
- Dictionnaires : création, accès, insertion, `len`, `copy`.

Structures de contrôle

- Instruction d'affectation avec `=`. Dépaquetage de tuples.
- Instruction conditionnelle : `if`, `elif`, `else`.
- Boucle `while` (sans `else`). `break`, `return` dans un corps de boucle.
- Boucle `for` (sans `else`) et itération sur `range(a, b)`, une chaîne, un tuple, une liste, un dictionnaire au travers des méthodes `keys` et `items`.
- Définition d'une fonction `def f(p1, ..., pn), return`.

Divers

- Introduction d'un commentaire avec `#`.
- Utilisation simple de `print`, sans paramètre facultatif.
- Importation de modules avec `import module`, `import module as alias`, `from module import f, g, ...`
- Manipulation de fichiers texte (la documentation utile de ces fonctions doit être rappelée; tout problème relatif aux encodages est éludé) : `open`, `read`, `readline`, `readlines`, `split`, `write`, `close`.
- Assertion : `assert` (sans message d'erreur).

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme de la classe préparatoire de première année et de la classe préparatoire de seconde année de Technologie, physique et chimie (TPC) : modification

NOR : ESRS2111518A

arrêté du 9-7-2021 - JO du 23-7-2021

MENJS - DGESCO - MESRI - DGESIP A1-2 - MOM

Vu Code de l'éducation, notamment articles D. 612-19 à D. 612-29 ; arrêtés du 10-2-1995 modifiés ; arrêté du 3-7-1995 modifié ; arrêté du 20-6-1996 modifié ; avis du Cneser du 8-6-2021 ; avis du CSE du 17-6-2021

Article 1 - Les programmes de mathématiques et d'informatique de première et seconde années de la classe préparatoire scientifique Technologie, physique et chimie (TPC), annexés respectivement aux arrêtés du 3 juillet 1995 et du 20 juin 1996 susvisés, sont remplacés par ceux figurant respectivement aux annexes 1 et 4 du présent arrêté.

Article 2 - Les programmes de physique et technologie physique, et de chimie et technologie chimique de première année de la classe préparatoire scientifique Technologie, physique et chimie (TPC), annexés à l'arrêté du 3 juillet 1995 susvisé, sont remplacés par les programmes de physique et chimie figurant respectivement aux annexes 2 et 3 du présent arrêté.

Article 3 - Les dispositions du présent arrêté prennent effet à compter de la rentrée de l'année scolaire 2021-2022 pour les classes de première année, et à compter de la rentrée de l'année scolaire 2022-2023 pour les classes de seconde année.

Article 4 - I. Les articles 2 des arrêtés du 3 juillet 1995 et du 20 juin 1996 susvisés sont remplacés chacun par les dispositions suivantes :

« Article 2 - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie. »

II. Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie.

Article 5 - Le directeur général de l'enseignement scolaire, la directrice générale des outre-mer et la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 9 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre des Outre-mer, et par délégation,
La directrice générale des outre-mer,
Sophie Brocas

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexe

↪ *Programmes de la classe préparatoire scientifique Technologie, physique et chimie (TPC)*



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie, physique et chimie (TPC)

Annexe 1

Programmes de mathématiques



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de mathématiques de la classe TPC 1^{ère} année

Classe préparatoire TPC1

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	4
Programme	5
Vocabulaire ensembliste et méthodes de raisonnement	5
Premier semestre	7
Nombres complexes	7
Pratique calculatoire	8
Étude globale d'une fonction d'une variable réelle à valeurs réelles	9
Compléments sur les nombres complexes	11
Géométrie élémentaire du plan	12
Géométrie élémentaire de l'espace	13
Équations différentielles linéaires à coefficients constants	14
Calcul matriciel et systèmes linéaires	15
A - Calcul matriciel	15
B - Systèmes linéaires	16
Dénombrement	17
Deuxième semestre	18
Nombres réels et suites numériques	18
Limites, continuité et dérivabilité	19
A - Limites et continuité	19
B - Dérivabilité	21
Intégration sur un segment	22
Polynômes	23
Espaces vectoriels et applications linéaires	24
A - Espaces vectoriels	24
B - Espaces vectoriels de dimension finie	25
C - Applications linéaires et représentations matricielles	26
Développements limités	27
Probabilités sur un univers fini	28
Variables aléatoires sur un univers fini	29

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires technologiques TSI et TPC sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Objectifs de formation

Les étudiants des classes préparatoires doivent acquérir les compétences nécessaires aux scientifiques et technologues, qu'ils soient ingénieurs, chercheurs, enseignants, pour identifier les situations auxquelles ils sont confrontés, dégager les meilleures stratégies pour y faire face, prendre avec un recul suffisant des décisions dans un contexte complexe.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires technologiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher**, mettre en œuvre des stratégies : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies ;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer ;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique ...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre ;
- **raisonner**, argumenter : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture ;
- **calculer**, utiliser le langage symbolique : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main ou à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats ;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques, permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonnement, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent ; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension-même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent. Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la géométrie apparaît à la fois comme un terrain propice à l'introduction de l'algèbre linéaire, mais aussi comme un champ d'utilisation des concepts développés dans ce domaine du programme ; les équations différentielles sont au cœur des activités de modélisation pour les sciences physiques ; les probabilités permettent d'illustrer certains résultats d'analyse et justifient l'introduction du vocabulaire ensembliste.

C'est ainsi que le programme valorise les interprétations des concepts de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie et des probabilités en termes de paramètres modélisant l'état et l'évolution de systèmes mécaniques, physiques ou chimiques (mouvement, vitesse et accélération, signaux continus ou discrets, mesure des grandeurs mécaniques ou physiques...).

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions.

Les professeurs de mathématiques doivent régulièrement accéder aux laboratoires afin de favoriser l'établissement de liens forts entre la formation mathématique et les formations dispensées dans les enseignements scientifiques et technologiques. Cet accès permet de :

- prendre appui sur les situations expérimentales rencontrées dans ces enseignements ;
- connaître les logiciels utilisés et l'exploitation qui peut en être faite pour illustrer les concepts mathématiques ;
- prendre en compte les besoins mathématiques des autres disciplines.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il pourra s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un problème spécifique et la construction, pour le résoudre, d'outils conceptuels qui, pris ensuite par les mathématiciens comme objets d'étude, ont pu ultérieurement servir au traitement d'autres classes de problèmes.

Architecture et contenu du programme

Le programme s'en tient à un cadre et à un vocabulaire théorique bien délimités, mais suffisamment efficaces pour l'étude de situations usuelles, et assez riches pour servir de support à une formation solide.

Les programmes proposent des contenus équilibrés d'algèbre, d'analyse et de géométrie, auxquels s'ajoute un enseignement de probabilités visant à consolider les notions étudiées au lycée. Les probabilités permettent de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, d'établir des ponts avec les autres disciplines.

En cohérence avec l'introduction d'un enseignement d'algorithmique au lycée, le programme encourage la démarche algorithmique et le recours à l'outil informatique (calculatrices, logiciels). Il identifie un certain nombre d'algorithmes qui doivent être connus et pratiqués par les étudiants. Ceux-ci doivent également savoir utiliser les fonctionnalités graphiques des calculatrices et des logiciels.

La géométrie, en tant qu'outil de modélisation et de représentation, est intégrée à l'ensemble du programme, qui préconise le recours à des figures pour aborder l'algèbre linéaire et les fonctions de variable réelle.

Le choix a été fait d'introduire assez tôt dans l'année un module substantiel visant à consolider ou à introduire des pratiques de calcul (limites des fonctions, dérivation, calcul de primitives, résolution de certains types d'équations différentielles) avant d'introduire les théories sous-jacentes, afin d'en faciliter l'assimilation.

Le volume global du programme a été conçu pour libérer des temps dédiés à une mise en activité effective des étudiants. Cela doit être notamment la règle lors des séances de travaux dirigés et de travaux pratiques d'informatique.

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement que des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours. À l'intérieur de chaque semestre, le professeur conduit en toute liberté, dans le respect de la cohérence de la formation globale, l'organisation de son enseignement et le choix de ses méthodes. En particulier, la chronologie retenue dans la présentation des différentes sections du programme ne doit pas être interprétée comme un modèle de progression : afin de faciliter l'organisation du travail des étudiants et de montrer l'intérêt des notions étudiées, il convient d'en aborder l'enseignement en coordination avec les disciplines scientifiques et technologiques.

Programme

Vocabulaire ensembliste et méthodes de raisonnement

Cette section regroupe les différents points de vocabulaire, notations et raisonnements nécessaires aux étudiants pour la conception et la rédaction efficace d'une démonstration mathématique. Ces notions sont introduites de manière progressive et trouvent naturellement leur place dans les autres sections, en vue d'être acquises en fin de première année. Toute étude systématique de la logique ou de la théorie des ensembles est hors programme. Plusieurs groupes classiques étant rencontrés dans le cadre du programme, la terminologie associée peut être utilisée mais aucune connaissance théorique n'est exigible.

CONTENUS	CAPACITÉS & COMMENTAIRES
a) Rudiments de logique	
Quantificateurs.	L'emploi des quantificateurs en guise d'abréviation est exclu.
Connecteurs logiques : disjonction (ou), conjonction (et), implication, équivalence.	Les étudiants doivent savoir employer les quantificateurs et les connecteurs logiques pour formuler avec précision certains énoncés et leur négation.
b) Ensembles	
Appartenance, inclusion. Sous-ensemble (ou partie) de E . Ensemble vide. Opérations sur les parties d'un ensemble : réunion, intersection, complémentaire.	Démontrer une égalité, une inclusion de deux ensembles. Maîtriser le lien entre connecteurs logiques et opérations ensemblistes. Notations $E \setminus A$, \bar{A} , A^c .
Produit cartésien de deux ensembles, d'un nombre fini d'ensembles. Ensemble des parties d'un ensemble.	Un élément de E^p est appelé p -liste ou p -uplet d'éléments de E . Notation $\mathcal{P}(E)$.
c) Propriétés de \mathbb{N} et raisonnement par récurrence	
Propriétés de l'ensemble \mathbb{N} .	Les propriétés de l'addition, de la multiplication et de la relation d'ordre dans \mathbb{N} sont supposées connues. Toute construction et toute axiomatique de \mathbb{N} sont hors programme.
Toute partie non vide de \mathbb{N} a un plus petit élément. Toute partie majorée non vide de \mathbb{N} a un plus grand élément. Raisonnement par récurrence.	Dans la pratique, on se limite aux récurrences simple ou double. Les connaissances du cycle terminal sur les suites arithmétiques ou géométriques ou les calculs de sommes pourront servir de premier support d'étude, la mise en œuvre d'un raisonnement par récurrence trouvant progressivement sa place dans des situations variées du programme.
d) Autres méthodes de raisonnement	
Raisonnement par contraposition. Raisonnement par l'absurde. Principe d'analyse-synthèse.	Les étudiants doivent savoir distinguer condition nécessaire et condition suffisante. L'objectif est de donner une méthode de résolution détaillée pour les exemples du programme nécessitant ce type de raisonnement. On se limite à des exemples simples en évitant tout excès de technicité.

e) Fonctions

Fonction (ou application) d'un ensemble E dans un ensemble F . Graphe.	Notation $\mathcal{F}(E, F)$. Le point de vue est intuitif : une fonction de E dans F associe à tout élément de E un unique élément de F . Toute formalisation est hors programme.
Restriction.	Notation $f _A$.
Image directe, image réciproque.	On évite tout développement technique sur la notion d'image réciproque. Notation $f^{-1}(B)$.
Composition.	Reconnaître une fonction composée.
Injection, surjection, bijection, réciproque d'une bijection.	Interpréter l'injectivité, la surjectivité et la bijectivité à l'aide du nombre de solutions de l'équation $f(x) = m$.
Fonction identité.	

Premier semestre

Nombres complexes

L'objectif est d'introduire tôt dans l'année les nombres complexes, qui ne figurent pas au programme de la série STL. Le programme combine plusieurs aspects :

- équations algébriques (équations du second degré, racines n -ièmes d'un nombre complexe);
- interprétation géométrique des nombres complexes;
- exponentielle complexe et applications à la trigonométrie.

Il est recommandé d'illustrer le cours de nombreuses figures et de relier cette section aux besoins des disciplines scientifiques et technologiques.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Nombres complexes

Ensemble \mathbb{C} des nombres complexes. Parties réelle et imaginaire, forme algébrique. Opérations sur les nombres complexes. Le plan étant muni d'un repère orthonormé, affixe d'un point, d'un vecteur et image d'un nombre complexe.	La construction de \mathbb{C} est hors programme. Notations $\operatorname{Re}(z)$, $\operatorname{Im}(z)$. On identifie \mathbb{C} au plan usuel muni d'un repère orthonormé direct.
---	---

b) Conjugaison et module

Conjugaison : définition, compatibilité avec les opérations. Module d'un nombre complexe. Relation $ z ^2 = z\bar{z}$. Module d'un produit et d'un quotient. Inégalité triangulaire.	Notation \bar{z} . Interpréter géométriquement le conjugué d'un nombre complexe. Notation $ z $. Interpréter géométriquement le module d'un nombre complexe. Interpréter géométriquement $ z - a $ pour $a, z \in \mathbb{C}$.
--	--

c) Nombres complexes de module 1

Identification du cercle trigonométrique et de l'ensemble des nombres complexes de module 1. Définition de $e^{i\theta}$ où $\theta \in \mathbb{R}$, formules d'Euler. Description des éléments de \mathbb{U} . Relation $e^{i(a+b)} = e^{ia}e^{ib}$. Formule de Moivre.	Notation \mathbb{U} . Factoriser $e^{ia} \pm e^{ib}$. Linéariser et factoriser des expressions trigonométriques. Retrouver les expressions de $\cos(nt)$ et $\sin(nt)$ en fonction de $\cos(t)$ et $\sin(t)$ pour de petites valeurs de n . Il s'agit de consolider une pratique du calcul, en évitant tout excès de technicité.
---	---

d) Arguments d'un nombre complexe non nul

Arguments d'un nombre complexe non nul.	Écrire un nombre complexe non nul sous la forme $z = \rho e^{i\theta}$ où $\rho > 0$ et $\theta \in \mathbb{R}$ (forme exponentielle). Interpréter géométriquement un argument d'un nombre complexe.
---	---

Arguments d'un produit, d'un quotient.

e) Exponentielle complexe

Définition de l'exponentielle d'un nombre complexe : $e^z = e^x e^{iy}$ où $z = x + iy$ et $x, y \in \mathbb{R}$.	Notations $\exp(z)$, e^z . Résoudre une équation du type $e^z = e^{z'}$.
---	---

Relation $e^{z+z'} = e^z e^{z'}$.

Pratique calculatoire

Prenant appui sur les acquis de la classe de terminale, cette section a pour but de mettre en œuvre des techniques de calcul indispensables en mathématiques et dans les autres disciplines scientifiques. Les définitions précises et les constructions rigoureuses des notions de calcul intégral et différentiel sont étudiées ultérieurement. Le point de vue adopté ici est principalement pratique. Le professeur organise cette section de la façon qui lui semble la plus appropriée, en tenant compte des acquis des étudiants et des besoins des autres disciplines. Il est nécessaire d'insister sur ces notions tôt dans l'année afin de faciliter le reste de l'apprentissage.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Inégalités dans \mathbb{R}

Inégalités larges, inégalités strictes, intervalles de \mathbb{R} .
Compatibilité avec les opérations.
Résoudre des inéquations. Application à l'étude de la position relative de deux courbes.
Interpréter graphiquement une inéquation du type $f(x) \leq \lambda$.
L'objectif est une maîtrise élémentaire des inégalités.
Valeur absolue, inégalité triangulaire.

Dresser un tableau de signe.

Majoration, minoration et encadrement de sommes, de produits et de quotients.

Interpréter sur la droite réelle des inégalités du type $|x - a| \leq b$.

b) Équations, inéquations polynomiales

Mise sous forme canonique d'un trinôme du second degré. Discriminant.
Équation du second degré à coefficients réels.
Factorisation d'un polynôme de degré 2.
Relation entre coefficients et racines des polynômes du second degré.
Factorisation d'un polynôme dont une racine est connue.

Recherche des racines complexes d'un polynôme à coefficients réels.
Déterminer le signe d'un trinôme.
Connaissant une racine, en déduire rapidement l'autre en utilisant les relations entre coefficients et racines.
Savoir factoriser un polynôme de degré inférieur ou égal à 3 dont une racine est connue.

c) Équations, inéquations trigonométriques

Cercle trigonométrique, valeurs usuelles.
Formules exigibles : $\cos(a \pm b)$, $\sin(a \pm b)$, $\cos(2a)$, $\sin(2a)$.
Formules de factorisation de $\cos(p) \pm \cos(q)$ et de $\sin(p) \pm \sin(q)$. Lignes trigonométriques associées aux transformations $\frac{\pi}{2} \pm a$ et $\pi \pm a$.
Tangente d'un angle.
Arctangente d'un réel.

Trigonométrie dans un triangle rectangle.
Utiliser le cercle trigonométrique pour résoudre des équations et inéquations trigonométriques.
Linéarisation de $\cos^2(a)$ et $\sin^2(a)$.
Transformation de $a \cos(\omega t) + b \sin(\omega t)$ en $A \cos(\omega t + \varphi)$.
Introduction à la fonction arctan, comme permettant de trouver la solution de $\tan(x) = \lambda$ dans $]-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}[$. Interprétation sur le cercle trigonométrique.

d) Calcul de dérivées, de primitives et d'intégrales

Ce paragraphe donne des résultats de calcul différentiel utiles aux autres disciplines scientifiques dès le premier semestre.

Dérivées des fonctions usuelles : $x \mapsto x^n$ avec $n \in \mathbb{Z}$, \exp , \ln , \cos , \sin , $x \mapsto \sqrt{x}$.

Maîtriser le calcul des fonctions dérivées dans des cas simples.
Aucune étude théorique de la continuité et de la dérivation n'est abordée à ce stade.

Opérations : somme, produit, quotient, composée.

Primitive sur un intervalle.

Reconnaître des expressions du type $\frac{u'}{u}$, $u'u^n$, $\frac{u'}{u^n}$ avec $n \in \mathbb{N}^*$, $u'e^u$, $\frac{u'}{\sqrt{u}}$, $u' \times (v' \circ u)$ où u et v sont des fonctions dérivables afin d'en calculer des primitives.

Intégrale d'une fonction sur un segment. Interprétation en terme d'aire sous la courbe. Linéarité de l'intégrale.

On s'appuie sur la formule $\int_a^b f(t) dt = F(b) - F(a)$, où F est une primitive de f sur $[a, b]$.

On illustre les exercices avec des situations issues des autres disciplines.

Aucune étude théorique n'est abordée à ce stade.

e) Sommes et produits

Le symbole de sommation a été introduit au lycée.

Notations et règles de calcul.

Effectuer un changement d'indice.

Sommes et produits télescopiques.

L'objectif est de faire acquérir aux étudiants une aisance dans la manipulation des symboles \sum et \prod sur des exemples de difficulté raisonnable.

Factorielle, coefficients binomiaux.

Notations $n!$, $\binom{n}{k}$ lue « k parmi n ».

Triangle de Pascal. Formule du binôme de Newton.

Les expressions de $\binom{n}{0}$, $\binom{n}{1}$, $\binom{n}{2}$ et $\binom{n}{n}$ sont à connaître.

Factorisation de $a^3 - b^3$.

Exemple de calcul de sommes :

C'est l'occasion de remobiliser les résultats de la classe de terminale portant sur la somme des premiers termes d'une suite arithmétique ou géométrique.

$$\sum_{k=0}^n k, \quad \sum_{k=0}^n q^k, \quad q \in \mathbb{K}.$$

Étude globale d'une fonction d'une variable réelle à valeurs réelles

Dans le prolongement du cycle terminal du lycée, on consolide dans cette section les méthodes d'étude et de représentation des fonctions réelles d'une variable réelle. Le champ des fonctions mobilisables est étendu : aux fonctions exponentielle et logarithme népérien et aux fonctions trigonométriques, étudiées en classe de terminale, on ajoute les fonctions puissances et les fonctions trigonométriques réciproques. Cette section est naturellement à relier aux disciplines scientifiques et technologiques.

a) Généralités sur les fonctions d'une variable réelle à valeurs dans \mathbb{R}

Ensemble de définition d'une fonction.

C'est l'occasion de faire travailler la notion de composition de fonction et la résolution d'inéquations.

Représentation graphique d'une fonction.

Représenter graphiquement une fonction donnée par son expression. Représenter graphiquement $x \mapsto f(x) + a$, $x \mapsto f(x \pm a)$, $x \mapsto f(ax)$ et $x \mapsto af(x)$ à partir du graphe de f .

Fonctions paires, impaires, périodiques.

Interpréter graphiquement ces propriétés.

Somme, produit, quotient, composée.

Monotonie.

Fonctions majorées, minorées, bornées.

Interpréter graphiquement ces propriétés.

Une fonction f est bornée si et seulement si $|f|$ est majorée.

Extremum global, extremum local.

C'est l'occasion d'établir des encadrements à partir d'études de signe.

Définition d'une fonction d'une variable réelle à valeurs dans \mathbb{C} .

b) Comportement asymptotique d'une fonction

Les étudiants ont peu manipulé les limites au lycée et il convient d'avoir une approche progressive.

Limite d'une somme, d'un produit, d'un quotient, d'un inverse.

Exemples de formes indéterminées :

$$\infty - \infty; \quad 0 \times \infty; \quad 1^\infty; \quad \frac{0}{0}; \quad \frac{\infty}{\infty}.$$

Limites de référence :

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(x)}{x}; \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\ln(1+x)}{x}; \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\exp(x)-1}{x}; \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\cos(x)-1}{x^2}.$$

Calculer une limite par encadrement ou par comparaison.

Ces limites sont l'occasion de varier les situations lors des recherches de limite. La démonstration n'est pas un attendu du premier semestre.

Croissances comparées :

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^n}{\exp(x)} \quad \text{et} \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} x^n \exp(x) \quad \text{pour } n \in \mathbb{N}.$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln(x)}{x^n} \quad \text{et} \quad \lim_{x \rightarrow 0} x^n \ln(x) \quad \text{pour } n \in \mathbb{N}.$$

Limite d'une fonction composée.

Asymptotes horizontales, verticales.

Interprétation graphique.

c) Dérivation

Nombre dérivé en un point. Fonction dérivable en un point.

Équation de la tangente en un point.

Application à l'étude des variations ou du signe d'une fonction.

Interprétation graphique du nombre dérivé.

Dresser le tableau de variation d'une fonction.

Faire le lien entre injectivité et stricte monotonie.

Un tableau de variation clairement présenté, accompagné de la détermination du signe de la dérivée et des valeurs ou limites aux bornes, vaut justification de bijectivité.

Fonction réciproque.

Tracer le graphe d'une fonction réciproque.

Calculer la dérivée d'une fonction réciproque.

Les formules sont admises et pourront être démontrées au second semestre.

La formule peut être illustrée graphiquement.

d) Étude d'une fonction

Plan d'étude d'une fonction.

Déterminer l'ensemble de définition d'une fonction.

Déterminer les symétries et les périodicités afin de réduire l'ensemble d'étude.

Déterminer les variations et les limites.

Déterminer les extremums éventuels.

Tracer le graphe.

Obtenir des inégalités grâce à une étude de fonction.

Les asymptotes ainsi que la position des tangentes par rapport à la courbe seront traitées ultérieurement comme des applications des développements limités.

e) Fonctions usuelles

Racine carrée. Dérivée.

Valeur absolue.

Partie entière.

Étude des fonctions exponentielle, logarithme népérien, puissances.

Fonctions circulaires directes et réciproques : rappels sur les fonctions cos et sin, définition et étude des fonctions tan, arcsin, arccos, arctan.

Croissances comparées des fonctions logarithme népérien, puissances et exponentielle.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^\alpha}{\exp(\beta x)} \text{ et } \lim_{x \rightarrow -\infty} x^\alpha \exp(\beta x) \text{ pour } \alpha > 0 \text{ et } \beta > 0.$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{(\ln(x))^\beta}{x^\alpha} \text{ et } \lim_{x \rightarrow 0} x^\alpha (\ln(x))^\beta \text{ pour } \alpha > 0 \text{ et } \beta > 0.$$

Les étudiants doivent savoir représenter graphiquement ces fonctions.

Notation $\lfloor x \rfloor$.

Déterminer la dérivée, les variations et le graphe de ces fonctions.

Les fonctions puissances sont définies sur \mathbb{R}_+^* et prolongées en 0 le cas échéant. Seules les fonctions puissances entières sont en outre définies sur \mathbb{R}_-^* .

On introduit la notation $\sqrt[n]{x}$ pour $x > 0$, sans développement.

Relations $(xy)^\alpha = x^\alpha y^\alpha$, $x^{\alpha+\beta} = x^\alpha x^\beta$, $(x^\alpha)^\beta = x^{\alpha\beta}$.

Déterminer la dérivée, les variations et le graphe de ces fonctions.

Les formules du type $\sin(\arccos x)$ ne sont pas à connaître.

Comparer les fonctions au voisinage de l'infini.

Les fonctions hyperboliques sont hors programme.

Compléments sur les nombres complexes**a) Équation du second degré dans \mathbb{C}**

Racines carrées d'un nombre complexe.

Équation du second degré dans \mathbb{C} .

Déterminer les racines carrées d'un nombre complexe sous forme algébrique ou exponentielle.

Résoudre une équation du second degré dans \mathbb{C} .

b) Racines n -ièmes

Racines de l'unité : définition, description, propriétés.

Description des racines n -ièmes d'un nombre complexe.

Représenter géométriquement les racines de l'unité.

Notation \mathbb{U}_n .

Résoudre l'équation $z^n = \lambda$ où $\lambda \in \mathbb{C}$.

Géométrie élémentaire du plan

À l'issue de la terminale, les étudiants connaissent le plan géométrique euclidien en tant qu'ensemble de points, la façon d'associer à deux points A et B le vecteur \overrightarrow{AB} , ainsi que les propriétés opératoires usuelles. Il convient d'observer que tout vecteur s'exprime comme combinaison linéaire de deux vecteurs indépendants, c'est-à-dire non colinéaires. Dans le plan, les notions suivantes sont supposées connues : calcul vectoriel, distance euclidienne, orthogonalité, repère orthonormé, angles. La donnée d'un repère orthonormé identifie le plan à \mathbb{R}^2 ou à \mathbb{C} . La géométrie joue un rôle essentiel en mathématiques et dans les disciplines scientifiques et technologiques ; elle est au cœur des compétences de modélisation et de représentation. Cette section doit être traitée en liaison avec les autres disciplines.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Repérage dans le plan

Repère orthonormé (ou orthonormal).

On peut introduire à cette occasion le vocabulaire relatif à l'algèbre linéaire : famille libre, famille liée, vecteurs linéairement indépendants, vecteurs colinéaires.

Coordonnées cartésiennes. Coordonnées polaires.

Passer des coordonnées polaires aux coordonnées cartésiennes et inversement.

b) Produit scalaire

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non nuls alors

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \cos(\vec{u}, \vec{v})$$

et $\vec{u} \cdot \vec{v} = 0$ sinon.

Bilinéarité, symétrie.

Interpréter le produit scalaire en termes de projections orthogonales.

Exprimer le produit scalaire dans une base orthonormée.

Caractériser l'orthogonalité de deux vecteurs.

Déterminer une mesure d'un angle non orienté.

Démonstrations hors programme.

c) Déterminant dans une base orthonormée directe

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non nuls alors

$$\det(\vec{u}, \vec{v}) = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \sin(\vec{u}, \vec{v})$$

et $\det(\vec{u}, \vec{v}) = 0$ sinon.

Expression du déterminant dans une base orthonormée directe.

Bilinéarité, antisymétrie.

Interpréter $|\det(\vec{u}, \vec{v})|$ comme l'aire du parallélogramme construit sur \vec{u} et \vec{v} .

Caractériser la colinéarité de deux vecteurs.

La notion d'orientation du plan est admise, ainsi que celle de base orthonormée directe.

Notation : $\begin{vmatrix} x & x' \\ y & y' \end{vmatrix}$.

Démonstrations hors programme.

d) Droites

Définition, vecteur directeur, vecteur normal.

Équation cartésienne et système d'équations paramétriques.

Projeté orthogonal d'un point sur une droite.

Distance d'un point à une droite.

Passer d'une représentation paramétrique à une représentation cartésienne et inversement.

Déterminer l'intersection de deux droites.

Déterminer le projeté orthogonal d'un point sur une droite.

Application au calcul de la distance d'un point à une droite.

Aucune formule de distance d'un point à une droite n'est au programme.

e) Cercles

Définition, équation cartésienne.

Représentation paramétrique.

Reconnaître une équation cartésienne de cercle.

Déterminer une équation d'un cercle à partir de son centre et de son rayon.

Déterminer le centre et le rayon d'un cercle à partir d'une équation.

Géométrie élémentaire de l'espace

Dans cette section, on adapte à l'espace les notions étudiées dans la section de géométrie plane. L'étude de ce contenu mathématique nouveau s'appuie de façon essentielle sur la section de géométrie plane et sur l'intuition géométrique développée dans les autres disciplines. Des notions telles que le repérage dans l'espace et le produit vectoriel doivent être abordées en concertation avec les professeurs des disciplines scientifiques et technologiques.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Repérage dans l'espace

Repère orthonormé (ou orthonormal) de l'espace.
Coordonnées cartésiennes.

Maîtriser le lien entre la géométrie pure et la géométrie repérée.
On peut à nouveau utiliser le vocabulaire relatif à l'algèbre linéaire : famille libre, famille liée, vecteurs linéairement indépendants, vecteurs colinéaires, vecteurs coplanaires.

b) Produit scalaire

Définition géométrique.
Bilinéarité, symétrie.

Exprimer le produit scalaire dans une base orthonormée directe.
Démonstrations hors programme.

c) Produit vectoriel dans l'espace orienté

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non colinéaires, le produit vectoriel de \vec{u} et \vec{v} est

$$\vec{u} \wedge \vec{v} = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \sin(\vec{u}, \vec{v}) \vec{k}$$

avec \vec{k} unitaire et directement orthogonal à (\vec{u}, \vec{v}) ; si non le produit vectoriel est le vecteur nul.

Bilinéarité, antisymétrie.

La notion d'orientation de l'espace, reposant sur les conventions physiques usuelles, est admise.
Déterminer si deux vecteurs sont colinéaires.
Exprimer les coordonnées du produit vectoriel dans une base orthonormée directe.

Démonstrations hors programme.

d) Déterminant dans l'espace orienté muni d'une base orthonormée directe

Définition du déterminant de trois vecteurs :

$$\det(\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}) = (\vec{u} \wedge \vec{v}) \cdot \vec{w}.$$

Expression du déterminant dans une base orthonormée directe.

Trilinéarité, antisymétrie.

Déterminer si trois vecteurs sont coplanaires.
Interpréter $|\det(\vec{u}, \vec{v}, \vec{w})|$ comme volume du parallélépipède construit sur $\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$.

$$\text{Notation : } \begin{vmatrix} x & x' & x'' \\ y & y' & y'' \\ z & z' & z'' \end{vmatrix}.$$

Développement du déterminant selon la troisième colonne, en lien avec la définition.

Démonstrations hors programme.

e) Plans et droites

Différents modes de définition d'un plan : par un point et deux vecteurs non colinéaires, un point et un vecteur normal, trois points non alignés.

Différents modes de définition d'une droite : par un point et un vecteur directeur, par deux points distincts, comme intersection de deux plans.

Projeté orthogonal d'un point sur une droite ou un plan.
Distance d'un point à un plan, distance d'un point à une droite.

Déterminer une équation cartésienne ou un système d'équations paramétriques d'un plan. Passer d'une représentation à l'autre.

Déterminer un vecteur directeur d'une droite définie comme intersection de deux plans.

Déterminer un système d'équations cartésiennes ou un système d'équations paramétriques d'une droite.

Passer d'une représentation à l'autre.

Étudier les intersections.

Déterminer le projeté orthogonal d'un point sur une droite, sur un plan.

Application au calcul de distances.

Aucune formule de distance d'un point à une droite ou à un plan n'est au programme.

f) Sphères

Définition, équation cartésienne dans un repère ortho-normé.

Reconnaître une équation cartésienne de sphère.
Déterminer une équation d'une sphère à partir de son centre et de son rayon.
Déterminer le centre et le rayon d'une sphère à partir d'une équation.
Déterminer l'intersection d'une sphère et d'un plan.

Équations différentielles linéaires à coefficients constants

En classe de terminale, les étudiants ont étudié des exemples simples d'équations différentielles linéaires à coefficients constants du premier ordre. Il s'agit dans cette section de consolider et d'étendre cette étude. Les équations différentielles sont un domaine à la fois très riche pour les mathématiques et pour la physique-chimie. Cette section doit être traitée en concertation avec les professeurs des autres disciplines afin de l'illustrer par des exemples issus des domaines scientifiques et technologiques.

a) Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficient constant

Équation $y' + ay = b(t)$ où $a \in \mathbb{R}$ ou \mathbb{C} et où b est une fonction continue sur un intervalle de \mathbb{R} , à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

Principe de superposition. Description de la solution générale de l'équation avec second membre comme la somme de la solution générale de l'équation homogène et d'une solution particulière.

Existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Équation $y' + ay = b$ où a et b sont deux éléments de \mathbb{R} et problème de Cauchy associé.

Écrire et résoudre l'équation homogène associée.

Détermination d'une solution particulière dans le cas d'un second membre de la forme $Ae^{\lambda t}$ avec $(A, \lambda) \in \mathbb{R}^2$ ou de la forme $A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$ avec $(A, B, \omega) \in \mathbb{R}^3$.
Aucune technique n'est exigible pour toute autre forme de second membre.

Les étudiants doivent savoir étudier des équations dans lesquelles la variable et la fonction inconnue sont représentées par d'autres lettres que t et y .

Démonstration hors programme.

Détermination de la solution vérifiant une condition initiale donnée.

Les solutions relèvent des automatismes de calcul.

b) Équations différentielles linéaires du second ordre à coefficients constants

Équation différentielle linéaire du second ordre à coefficients constants $y'' + ay' + by = c(t)$ où a et b sont des nombres réels et c est une fonction continue sur un intervalle de \mathbb{R} , à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

Principe de superposition. Description de la solution générale de l'équation avec second membre comme la somme de la solution générale de l'équation homogène et d'une solution particulière.

Existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Équation $y'' \pm \omega^2 y = 0$ où $\omega \in \mathbb{R}$ et problème de Cauchy associé.

Résoudre l'équation homogène en passant par l'équation caractéristique associée.

Détermination d'une solution particulière dans le cas d'un second membre de la forme $Ae^{\lambda t}$ avec $(A, \lambda) \in \mathbb{R}^2$ ou de la forme $A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$ avec $(A, B, \omega) \in \mathbb{R}^3$.

Aucune technique n'est exigible pour toute autre forme de second membre.

Démonstration hors programme.

Détermination de la solution vérifiant une condition initiale donnée.

Les solutions relèvent des automatismes de calcul.

Calcul matriciel et systèmes linéaires

Cette section est à concevoir comme une initiation aux structures algébriques et plus particulièrement à l'algèbre linéaire « abstraite » qui sera étudiée au second semestre.

La problématique de départ est la résolution des systèmes linéaires. Elle est à la fois familière aux étudiants – ils l'ont rencontrée et pratiquée dans l'enseignement secondaire pour de petites dimensions, par exemple en géométrie – et motivante par le nombre important de problèmes se ramenant à la résolution d'un système linéaire (méthode des différences finies, méthode des moindres carrés, etc). L'objectif majeur de la sous-section « B - Systèmes linéaires » est la justification et la mise en œuvre de l'algorithme de Gauss-Jordan de résolution d'un système linéaire.

La recherche d'une méthode systématique de résolution d'un système linéaire par cet algorithme conduit naturellement au calcul matriciel qui recèle à la fois des propriétés inhabituelles pour les étudiants (existence de diviseurs de 0, non commutativité) et des propriétés analogues à celles des ensembles de nombres (distributivité, etc.) qu'il convient de mettre en évidence.

L'ordre d'exposition choisi ci-dessous n'est nullement impératif. On pourra aussi bien commencer par introduire la théorie des systèmes linéaires, avant de traiter le calcul matriciel. On veillera à respecter les objectifs de formation suivants :

- Familiariser les étudiants avec les différentes représentations des solutions d'un système linéaire.
- Entraîner au calcul matriciel. On évitera cependant tout excès de technicité et on se limitera à des systèmes et des matrices de taille raisonnable dans les applications numériques.
- Consolider la formation à l'algorithmique et la programmation.

Dans cette section, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

A - Calcul matriciel

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Opérations sur les matrices

Ensemble des matrices à n lignes et p colonnes à coefficients dans \mathbb{K} .

Opérations sur les matrices : addition, multiplication par un scalaire et produit de deux matrices (bilinéarité, associativité).

Transposée. Opérations sur les transposées (addition, multiplication par un scalaire et produit).

Notation $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Si X est une matrice colonne, interpréter le produit AX comme une combinaison linéaire des colonnes de la matrice A .

Interpréter la j -ème colonne du produit AB comme le produit de A par la j -ème colonne de B .

Interpréter la i -ème ligne du produit AB comme le produit de la i -ème ligne de A par B .

Cas particulier de la multiplication à droite par une matrice élémentaire de $\mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{K})$ ou la multiplication à gauche par une matrice élémentaire de $\mathcal{M}_{1,n}(\mathbb{K})$ pour en extraire une ligne ou une colonne.

Produit non commutatif.

Exemples de diviseurs de zéro.

Notation A^T .

b) Ensemble des matrices carrées

Ensemble $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$. Matrices diagonales et triangulaires. Notation I_n .

Matrices symétriques et antisymétriques.

Puissance d'une matrice carrée et formule du binôme.

Opérations élémentaires et interprétation au moyen des matrices élémentaires.

Matrice inversible, inverse.

Stabilité des opérations.

Exemples de matrices nilpotentes.

L'objectif est d'interpréter l'effet d'un tel produit. Aucune technicité n'est attendue.

Notation A^{-1} . Notation $GL_n(\mathbb{K})$.

Inverse du produit de matrices inversibles.
Inverse de la transposée d'une matrice inversible.

Calcul de l'inverse d'une matrice A carrée de taille n .
Exemple d'inversion à l'aide d'un polynôme annulateur donné.
On admet que l'inversibilité à droite implique l'inversibilité à gauche et réciproquement.
Toute théorie générale des groupes est exclue.
La notion de comatrice est hors programme.

B - Systèmes linéaires

a) Systèmes linéaires

Équation linéaire à p inconnues.
Système linéaire de n équations à p inconnues.
Système homogène.
Matrice A d'un système linéaire.
Opérations élémentaires sur les lignes d'un système : échange des lignes L_i et L_j , multiplication de L_i par $\lambda \neq 0$, ajout de λL_j à L_i pour $i \neq j$.
Deux systèmes sont dits équivalents si on passe de l'un à l'autre par une suite finie d'opérations élémentaires sur les lignes.
Deux systèmes équivalents ont le même ensemble de solutions.

Interprétation géométrique dans le plan et dans l'espace.
Les solutions sont définies comme éléments de \mathbb{R}^p .
Système homogène associé à un système quelconque.
Écrire un système sous la forme matricielle $AX = B$.
Notations $L_i \leftrightarrow L_j$, $L_i \leftarrow \lambda L_i$ et $L_i \leftarrow L_i + \lambda L_j$.

Relier cette notion aux opérations élémentaires sur les matrices.

b) Échelonnement et algorithme du pivot de Gauss-Jordan

Un système est dit échelonné s'il vérifie les deux propriétés suivantes :

1. si une ligne est entièrement nulle, toutes les lignes suivantes le sont aussi ;
2. à partir de la deuxième ligne, dans chaque ligne non entièrement nulle, le premier coefficient non nul à partir de la gauche est situé à droite du premier coefficient non nul de la ligne précédente.

Résolution d'un système linéaire via l'algorithme du pivot de Gauss-Jordan.

On appelle pivot le premier coefficient non nul de chaque ligne non entièrement nulle.

L'invariance du nombre de pivots est admise.

c) Ensemble des solutions d'un système linéaire

Inconnues principales et inconnues secondaires (paramètres).

Faire le lien entre nombre d'équations, nombre d'inconnues et nombre de pivots.

Rang d'un système linéaire.
Système incompatible. Système compatible.

Le rang est ici défini comme le nombre de pivots.
Déterminer des conditions de compatibilité pour un système donné.

Structure de l'ensemble des solutions d'un système compatible.
Cas particulier des systèmes carrés.

Résoudre un système compatible. Application aux problèmes d'intersection en géométrie.
Lien avec la notion de matrice inversible.

Dénombrement

Cette section a pour but de présenter les bases du dénombrement, notamment en vue de l'étude des probabilités. Toute formalisation excessive est exclue. En particulier :

- on adopte un point de vue intuitif pour la définition d'un ensemble fini et la notion de cardinal;
- parmi les propriétés du paragraphe a), les plus intuitives sont admises sans démonstration;
- l'utilisation systématique de bijections dans les problèmes de dénombrement n'est pas un attendu du programme.

Cette section est également l'occasion d'aborder les coefficients binomiaux sous un autre angle que celui de la section « Pratique calculatoire ».

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Cardinal d'un ensemble fini

Cardinal d'un ensemble fini non vide. L'ensemble vide est de cardinal nul.

Notations $|A|$, $\text{Card}(A)$.

Cardinal d'une partie d'un ensemble fini, cas d'égalité. Une application entre deux ensembles finis de même cardinal est bijective si et seulement si elle est injective, si et seulement si elle est surjective.

Maîtriser le langage des applications et des bijections dans le cadre des ensembles finis, et le relier aux notions élémentaires sur le dénombrement.

Cardinal d'une union disjointe, de l'union de deux ensembles, d'un complémentaire, d'un produit cartésien. Cardinal de l'ensemble des parties d'un ensemble fini.

La formule du crible est hors programme.

b) Dénombrement

Nombre de p -uplets (ou p -listes) d'éléments distincts d'un ensemble à n éléments.

Reconnaître des situations relevant de ce cadre. La notation A_n^p est hors programme.

Nombre de permutations d'un ensemble à n éléments.

Nombre de parties à p éléments d'un ensemble à n éléments. Lien avec les coefficients binomiaux.

Reconnaître des situations de dénombrement relevant de ce cadre.

Donner une interprétation combinatoire des propriétés suivantes :

$$\binom{n}{p} = \binom{n}{n-p}; \quad \sum_{p=0}^n \binom{n}{p} = 2^n; \quad \binom{n-1}{p-1} + \binom{n-1}{p} = \binom{n}{p}.$$

Deuxième semestre

Nombres réels et suites numériques

L'objectif est d'énoncer les propriétés fondamentales de la droite réelle, et de les appliquer à l'étude des suites, qui interviennent en mathématiques tant pour leur intérêt pratique (modélisation de phénomènes discrets) que théorique (approximations de nombres réels). Les notions de borne supérieure et inférieure sont introduites uniquement pour aboutir au théorème de la limite monotone.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Nombres réels

Ensembles usuels de nombres : entiers naturels, entiers relatifs, nombres décimaux, nombres rationnels.
Droite réelle.

La construction de ces ensembles de nombres est hors programme.
Faire le lien avec la géométrie.
La construction de \mathbb{R} est hors programme.

Distance entre deux réels.
La relation d'ordre \leq dans \mathbb{R} . Majorant, maximum, mineur, minimum. Borne supérieure, borne inférieure.
Toute partie majorée (resp. minorée) non vide de \mathbb{R} admet une borne supérieure (resp. inférieure).
Caractérisation des intervalles de \mathbb{R} : une partie I de \mathbb{R} est un intervalle si et seulement si, pour tout $(a, b) \in I^2$ avec $a < b$, $[a, b] \subset I$.

Cas d'une partie de \mathbb{R} , puis d'une fonction réelle.
Résultat admis.
Aucun développement n'est attendu.

b) Généralités sur les suites réelles

Modes de définition d'une suite.

Reconnaître une suite définie de façon explicite, implicite ou par récurrence. Reconnaître une suite extraite.
Représenter les termes d'une suite du type $u_{n+1} = f(u_n)$.
Toute étude d'une telle suite doit être guidée.

Opérations.
Monotonie, stricte monotonie.
Suite minorée, majorée, bornée.

Manipuler sur des exemples des majorations et minoration.
Une suite (u_n) est bornée si et seulement si $(|u_n|)$ est majorée.

Suite arithmétique, suite géométrique, suite arithmético-géométrique.

En terminale technologique, les suites géométriques n'ont été vues qu'avec des raisons positives.
Pour une relation de récurrence $u_{n+1} = au_n + b$ où $a \in \mathbb{R} \setminus \{1\}$ et $b \in \mathbb{R}$, recherche d'une solution constante et détermination des solutions.

c) Limite d'une suite réelle

Limite finie ou infinie d'une suite.
Unicité de la limite.

Les définitions sont énoncées avec des inégalités larges.
Notations $u_n \rightarrow \ell$, $\lim u_n$.

Suite convergente, divergente.
Toute suite réelle convergente est bornée.
Si une suite possède une limite (finie ou infinie) alors toutes ses suites extraites possèdent la même limite.
Si les suites (u_{2n}) et (u_{2n+1}) convergent vers la même limite alors la suite (u_n) converge vers cette limite commune.

Montrer la divergence d'une suite à l'aide de suites extraites.

Opérations sur les limites de suites : somme, multiplication par un scalaire, produit, inverse.
Cas des suites géométriques, arithmétiques.
Passage à la limite dans une inégalité.

Lever une indétermination.

d) Théorèmes d'existence d'une limite

Théorèmes de convergence par encadrement.

On pourra montrer l'existence d'une limite ℓ en majorant $|u_n - \ell|$, notamment lorsque la suite vérifie une inégalité du type : $|u_{n+1} - \ell| \leq M|u_n - \ell|$.

Divergence par comparaison : si (u_n) tend vers $+\infty$ et si, à partir d'un certain rang, on a $u_n \leq v_n$, alors (v_n) tend vers $+\infty$.

Adapter cet énoncé aux suites tendant vers $-\infty$.

Théorème de la limite monotone.

Exploiter ce théorème sur des exemples.

Théorème des suites adjacentes.

Il convient d'insister sur l'intérêt algorithmique de cette notion : résolution approchée par dichotomie d'une équation du type $f(x) = 0$.

e) Comparaisons de suites

Relations de comparaison : négligeabilité, équivalence.

Notation $u_n = o(v_n)$ et $u_n \sim v_n$.

On définit ces relations à partir du quotient $\frac{u_n}{v_n}$ en supposant que la suite (v_n) ne s'annule pas à partir d'un certain rang.

Croissances comparées des suites usuelles : $(\ln(n)^\beta)$, (n^α) et (a^n) .

Traduire les croissances comparées à l'aide de o .

Lien entre les différentes relations de comparaison.

Équivalence entre les relations $u_n \underset{n \rightarrow +\infty}{\sim} v_n$ et $u_n - v_n \underset{n \rightarrow +\infty}{=} o(v_n)$.

Compatibilité de l'équivalence avec le produit, le quotient, les puissances.

Exploiter ces résultats pour déterminer le comportement asymptotique de suites.

Toute autre opération sur les équivalents est hors programme.

Propriétés conservées par équivalence : signe, limite.

Limites, continuité et dérivabilité

Cette section est divisée en deux parties, consacrées aux limites et à la continuité pour la première, au calcul différentiel pour la seconde. On y formalise les résultats qui ont été utilisés d'un point de vue calculatoire au premier semestre.

Dans de nombreuses questions de nature qualitative, on visualise une fonction par son graphe. Il convient de souligner cet aspect géométrique en ayant recours à de nombreuses figures.

Les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} non vide et non réduit à un point et sont à valeurs réelles.

Dans un souci d'unification, on dit qu'une propriété portant sur une fonction f définie sur I est vraie au voisinage de a si elle est vraie sur l'intersection de I avec un intervalle ouvert centré sur a si a est réel, avec un intervalle $[A, +\infty[$ si $a = +\infty$, avec un intervalle $]-\infty, A]$ si $a = -\infty$.

A - Limites et continuité

L'essentiel du paragraphe qui suit consiste à adapter au cadre continu les notions déjà abordées pour les suites. Le professeur a la liberté d'admettre certains résultats.

a) Limite finie ou infinie en un point ou en $\pm\infty$

Étant donné un point a appartenant à I ou extrémité de I , limite finie ou infinie d'une fonction en a .
Unicité de la limite.

Maîtriser le formalisme mathématique de la définition de la limite et le mettre en relation avec l'intuition géométrique.

Les définitions sont énoncées avec des inégalités larges.

Notations $f(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} \ell$, $f(x) \xrightarrow{x \rightarrow \pm\infty} \ell$, $\ell \in \mathbb{R} \cup \{\pm\infty\}$.

Notations $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = \ell$, $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = \ell$, $\ell \in \mathbb{R} \cup \{\pm\infty\}$.

Si f admet une limite finie en a , alors f est bornée au voisinage de a .

Limite à droite, limite à gauche.

Extension de la notion de limite en a lorsque f est définie sur $I \setminus \{a\}$.

Image d'une suite de limite a par une fonction admettant une limite en a .

Aucun formalisme n'est attendu sur la notion de voisinage.

Notations $\lim_{\substack{x \rightarrow a \\ x > a}} f(x) = \ell$ ou $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = \ell$.

Montrer qu'une fonction n'admet pas de limite à l'aide de deux suites.

b) Comparaison de fonctions

Passage à la limite dans une inégalité. Théorème d'encadrement pour les fonctions.

Théorème de la limite monotone.

Relations de négligeabilité et d'équivalence.

Démonstration non exigible.

Adapter au cas des fonctions les définitions et les résultats étudiés sur les suites.

c) Continuité en un point

Continuité de f en un point a de I .

Maîtriser le formalisme mathématique de la définition de la continuité et le mettre en relation avec l'intuition géométrique.

La continuité de f au point a de I est définie par la relation $f(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} f(a)$.

Continuité à droite et à gauche.

Prolongement par continuité en un point.

Pour a n'appartenant pas à I , la fonction f se prolonge par continuité en a si et seulement si elle admet une limite finie en a .

Opérations sur les fonctions continues : somme, produit, quotient, composition.

Exploiter ces résultats sur des exemples.

On pourra en profiter pour introduire la notion de stabilité d'un ensemble par combinaison linéaire sans évocation particulière de structure vectorielle.

d) Continuité sur un intervalle

Définition. Opérations.

Théorème des valeurs intermédiaires. Image d'un intervalle par une fonction continue.

Appliquer le procédé de dichotomie à l'approximation d'un zéro d'une fonction continue.

Démonstration hors programme.

Une fonction continue sur un segment est bornée et atteint ses bornes.

Démonstration hors programme.

e) Continuité et bijectivité

Toute fonction f continue et strictement monotone sur un intervalle I réalise une bijection de I sur l'intervalle $f(I)$; sa réciproque est continue et strictement monotone sur $f(I)$ (de même monotonie que la fonction f).

Appliquer ce résultat sur des exemples.

Comparer la représentation graphique d'une fonction continue strictement monotone et celle de sa réciproque.

Démonstration hors programme.

f) Fonctions complexes

Brève extension des définitions et résultats généraux sur les limites et la continuité pour les fonctions de \mathbb{R} dans \mathbb{C} .

Opérations sur les fonctions continues : somme, produit, quotient.

Caractérisation de la limite et de la continuité à l'aide des parties réelle et imaginaire.

Les théorèmes sur les images d'intervalles ne s'étendent pas dans \mathbb{C} .

B - Dérivabilité

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Nombre dérivé, fonction dérivée

Dérivabilité de f en a , nombre dérivé.

Étudier la dérivabilité d'une fonction en un point particulier, à partir de la définition.

Notation $f'(a)$.

Équivalence avec l'existence d'un développement limité en a à l'ordre 1.

La droite d'équation

$$y = f(a) + f'(a)(x - a)$$

est appelée tangente au graphe de f au point d'abscisse a . Cette définition peut être justifiée (limite de sécantes).
Interprétation cinématique.

Dérivabilité à droite et à gauche en a .

Demi-tangente à droite et à gauche au point d'abscisse a .

Dérivabilité d'une fonction sur un intervalle.

Notation f' .

b) Opérations sur les fonctions dérivables

Si f et g sont dérivables en a , dérivabilité et dérivée en a

de $f + g$, fg et, si $g(a) \neq 0$, de $\frac{f}{g}$.

Dérivabilité et dérivée en a de $g \circ f$ lorsque f est dérivable en a et g est dérivable en $f(a)$.

Si f est une fonction continue et strictement monotone (donc bijective) de l'intervalle I sur l'intervalle $J = f(I)$ et si f est dérivable en a et $f'(a) \neq 0$, alors f^{-1} est dérivable en $f(a)$ et calcul de la dérivée de f^{-1} en ce point.

Interprétation géométrique de la formule de la dérivée de la fonction réciproque.

Extension des résultats précédents aux fonctions dérivables sur un intervalle. En particulier, propriétés de la réciproque d'une bijection de classe \mathcal{C}^1 .

c) Propriétés des fonctions dérivables

Notion d'extremum local. Condition nécessaire d'extremum local en un point intérieur.

Inégalité des accroissements finis : si f est dérivable sur un intervalle I et si, pour tout $t \in I$, $|f'(t)| \leq M$, alors

$$\text{pour tous } x, y \text{ de } I, |f(y) - f(x)| \leq M|y - x|.$$

Caractérisation des fonctions constantes, croissantes, strictement croissantes, parmi les fonctions dérivables sur un intervalle.

Appliquer ces résultats sur des exemples.

d) Fonctions de classe \mathcal{C}^k

Fonction de classe \mathcal{C}^k sur un intervalle I , où k appartient à $\mathbb{N} \cup \{\infty\}$.

Notation $f^{(k)}$.

Opérations : combinaison linéaire, produit (formule de Leibniz), quotient, composée, réciproque.

Maîtriser le calcul des fonctions dérivées. Les démonstrations relatives à la composition et à la réciproque ne sont pas exigibles.

e) Fonctions complexes

Brève extension des définitions et résultats précédents aux fonctions à valeurs complexes.

Caractérisation de la dérivabilité en termes de parties réelle et imaginaire.

Dérivation de $t \mapsto \exp(\varphi(t))$ avec φ à valeurs dans \mathbb{C} .

L'inégalité des accroissements finis est hors programme.

Intégration sur un segment

L'objectif de cette section est de consolider, d'approfondir et d'étendre la notion d'intégrale étudiée au lycée. La présentation de l'intégrale d'une fonction positive sur un segment s'appuie sur la notion d'aire, mais tout développement théorique sur ce sujet est hors programme. Le cas des fonctions à valeurs réelles est étendu sans difficulté au cas complexe.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Intégrale d'une fonction continue sur un segment

Intégrale $\int_a^b f$ d'une fonction f continue sur un segment $[a, b]$.

Valeur moyenne.

Inégalité $\left| \int_a^b f \right| \leq \int_a^b |f|$.

Relation de Chasles.

Une fonction continue et positive sur $[a, b]$ (où $a < b$) est nulle si et seulement si son intégrale est nulle.

Extension aux fonctions à valeurs complexes.

Interpréter géométriquement l'intégrale d'une fonction positive (aire sous la courbe).

Modéliser une situation physique par une intégration.

La construction est hors programme.

Notations $\int_a^b f(t) dt$ ou $\int_a^b f$.

Interprétation graphique.

Majorer et minorer une intégrale.

Extension de la notation $\int_a^b f(t) dt$ au cas où $b \leq a$.

b) Calcul intégral

Si f est une fonction continue sur I et si x_0 est un point de cet intervalle, alors

$$x \mapsto \int_{x_0}^x f(t) dt$$

est l'unique primitive de f sur I s'annulant en x_0 .

En particulier, toute fonction continue sur I admet des primitives sur I .

Calcul d'une intégrale au moyen d'une primitive. Pour f de classe \mathcal{C}^1 :

$$\int_a^b f'(t) dt = f(b) - f(a).$$

Intégration par parties.

Changement de variable : si φ est de classe \mathcal{C}^1 sur I et si f est continue sur $\varphi(I)$, alors, pour tous a et b dans I ,

$$\int_{\varphi(a)}^{\varphi(b)} f(x) dx = \int_a^b f(\varphi(t)) \varphi'(t) dt.$$

Primitives des fonctions usuelles.

Appliquer ce théorème sur des exemples.

Deux primitives d'une fonction continue sur l'intervalle I diffèrent d'une constante.

Appliquer ces techniques au calcul de primitives.

Tout excès de technicité est exclu.

Savoir reconnaître des primitives usuelles.

Pour les fonctions rationnelles, on se limite à des cas simples : aucune théorie de la décomposition en éléments simples n'est au programme.

Polynômes

L'objectif est d'étudier par des méthodes élémentaires les propriétés de base des polynômes, et de les exploiter pour la résolution de problèmes portant sur les équations algébriques et les fonctions numériques. Le programme se limite au cas où les coefficients sont réels ou complexes (\mathbb{K} désignant \mathbb{R} ou \mathbb{C}). On pourra confondre polynômes et fonctions polynomiales.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Polynômes à une indéterminée

Polynômes à coefficients dans \mathbb{K} , où $\mathbb{K} = \mathbb{R}$ ou \mathbb{C} .

Notation $\mathbb{K}[X]$. La construction de $\mathbb{K}[X]$ est hors programme.

Notation $a_0 + a_1X + \dots + a_nX^n$ ou $\sum_{p=0}^n a_pX^p$.

Opérations : somme, produit et composée.

Degré d'un polynôme. Coefficient dominant, polynôme unitaire (ou normalisé). Degré d'une somme, d'un produit et de la composée.

Le degré du polynôme nul vaut par convention $-\infty$.

Ensemble $\mathbb{K}_n[X]$ des polynômes de degré au plus n .

La notion de valuation d'un polynôme est hors programme.

Fonction polynomiale associée à un polynôme.

b) Bases de l'arithmétique dans $\mathbb{K}[X]$

Divisibilité dans $\mathbb{K}[X]$. Diviseurs et multiples.

Division euclidienne dans $\mathbb{K}[X]$.

Effectuer une division euclidienne de polynômes.

c) Dérivation

Polynôme dérivé.

Dérivées de la somme, de la multiplication par un scalaire, d'un produit.

Dérivées d'ordre supérieur. Formule de Leibniz.

d) Racines

Racine d'un polynôme.

Déterminer les racines d'un polynôme.

Caractériser les racines par la divisibilité.

Multiplicité d'une racine.

Caractérisation par les valeurs des dérivées successives en a de l'ordre de multiplicité de la racine a .

Le nombre de racines d'un polynôme non nul est majoré par son degré.

Polynôme scindé sur \mathbb{K} .

e) Décomposition en facteurs de degré 1

Théorème de d'Alembert-Gauss.

Démonstration hors programme.

Décomposition d'un polynôme en facteurs de degré 1 sur \mathbb{C} .

On illustre l'idée de la décomposition dans $\mathbb{R}[X]$ à partir de la décomposition dans $\mathbb{C}[X]$, mais l'étude générale des polynômes irréductibles est hors programme.

f) Somme et produit des racines d'un polynôme de degré 2

Expressions de la somme et du produit des racines d'un polynôme de degré 2 en fonction de ses coefficients.

Les autres fonctions symétriques élémentaires sont hors programme.

Recherche de deux nombres complexes connaissant leur somme et leur produit.

Espaces vectoriels et applications linéaires

Le programme se limite à l'algèbre linéaire sur \mathbb{R} et sur \mathbb{C} . Après l'approche numérique de la section « Calcul matriciel et systèmes linéaires », on passe à une vision plus géométrique. Les trois grands thèmes traités sont les espaces vectoriels, la théorie de la dimension finie et les applications linéaires.

Dans la sous-section « A - Espaces vectoriels » on généralise les objets de la géométrie du plan et de l'espace : vecteurs, bases, droites, plans...

La deuxième sous-section « B - Espaces vectoriels de dimension finie » vise à définir la dimension d'un espace vectoriel admettant une famille génératrice finie et en présente plusieurs méthodes de calcul. La notion de dimension interprète le nombre de degrés de liberté pour un problème linéaire.

L'étude des applications linéaires suit naturellement celle des espaces vectoriels à la sous-section « C - Applications linéaires et représentations matricielles ». Son objectif est de fournir un cadre aux problèmes linéaires. Il convient de souligner, à l'aide de nombreuses figures, comment l'intuition géométrique permet d'interpréter en petite dimension les notions de l'algèbre linéaire, ce qui facilite leur extension à une dimension supérieure.

Au moins deux approches pédagogiques sont possibles :

- traiter cette section selon l'ordre présenté ci-dessous, en l'illustrant notamment sur les espaces \mathbb{K}^n à l'aide des techniques développées dans la section « Calcul matriciel et systèmes linéaires » ;
- mettre en place les différentes notions (sous-espaces vectoriels, familles de vecteurs, dimension, applications linéaires) dans le cas particulier des espaces \mathbb{K}^n avant de les étendre aux espaces vectoriels généraux.

Il est attendu des étudiants qu'ils sachent reconnaître une situation se prêtant à une modélisation linéaire conduisant à une représentation adaptée dans un espace bien choisi.

A - Espaces vectoriels

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Espaces vectoriels et sous-espaces vectoriels

Définition d'un \mathbb{K} -espace vectoriel.

Espaces vectoriels de référence : \mathbb{K}^n pour $n \in \mathbb{N}^*$, $\mathbb{K}[X]$, $\mathbb{K}_n[X]$, $\mathcal{F}(I, \mathbb{K})$ avec I un intervalle de \mathbb{R} , \mathbb{R}^N et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Combinaisons linéaires d'un nombre fini de vecteurs.

Sous-espaces vectoriels d'un \mathbb{K} -espace vectoriel : définition et caractérisation. Droites et plans vectoriels.

L'ensemble des solutions d'un système linéaire homogène à p inconnues et à coefficients dans \mathbb{K} est un sous-espace vectoriel de \mathbb{K}^p .

L'ensemble des solutions sur un intervalle I d'une équation différentielle linéaire homogène à coefficients constants est un sous-espace vectoriel de $\mathcal{F}(I, \mathbb{K})$.

Sous-espace vectoriel engendré par une famille finie de vecteurs. Intersection de sous-espaces vectoriels.

Somme de deux sous-espaces vectoriels F et G d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E .

La somme $F + G$ est directe si l'écriture de tout vecteur de $F + G$ comme somme d'un vecteur de F et d'un vecteur de G est unique.

Sous-espaces vectoriels supplémentaires dans E .

Les étudiants doivent savoir montrer qu'un ensemble est un espace vectoriel en l'identifiant comme un sous-espace vectoriel d'un espace vectoriel connu.

Appréhender le concept d'espace vectoriel de fonctions.

Notation $\text{Vect}(u_1, \dots, u_p)$.

Passer du registre géométrique au registre algébrique et inversement.

Exploiter une relation $F \cap G = \{0\}$ pour démontrer que F et G sont en somme directe.

Notation $F \oplus G = E$.

Déterminer l'unique décomposition d'un vecteur donné sur deux sous-espaces vectoriels supplémentaires.

b) Familles finies de vecteurs

Vecteurs colinéaires. Vecteurs coplanaires.

Famille libre, famille liée.

Déterminer si une famille donnée est libre ou liée.

Obtenir une relation de dépendance dans une famille liée.

Toute famille de polynômes non nuls à coefficients dans \mathbb{K} et de degrés échelonnés est libre.

Famille génératrice d'un sous-espace vectoriel.

Déterminer si une famille est génératrice.

B - Espaces vectoriels de dimension finie

a) Dimension finie

Un espace vectoriel est dit de dimension finie s'il admet une famille génératrice finie.

Bases.

Exemples usuels : bases canoniques des espaces vectoriels \mathbb{K}^n , $\mathbb{K}_n[X]$ et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Coordonnées dans une base. Matrice colonne des coordonnées d'un vecteur x dans une base \mathcal{B} .

Théorème de la base extraite : de toute famille génératrice d'un \mathbb{K} -espace vectoriel non nul E , on peut extraire une base de E .

Théorème de la base incomplète : toute famille libre de E peut être complétée en une base de E .

Dans un espace vectoriel engendré par n vecteurs, toute famille de $n + 1$ vecteurs est liée.

Dimension.

Dimension de \mathbb{K}^n , $\mathbb{K}_n[X]$ et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Si E est de dimension n et \mathcal{F} est une famille de n vecteurs de E , alors \mathcal{F} est une base de E si et seulement si \mathcal{F} est libre, si et seulement si \mathcal{F} est génératrice de E .

Exhiber une base d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E non nul de dimension finie.

Déterminer les coordonnées d'un vecteur donné dans une base donnée.

Notation $\text{Mat}_{\mathcal{B}}(x)$.

Application à l'existence d'une base pour tout \mathbb{K} -espace vectoriel non nul de dimension finie.

Notation $\dim(E)$.

On convient que l'espace vectoriel $\{0_E\}$ est de dimension nulle.

b) Sous-espaces vectoriels d'un espace vectoriel de dimension finie

Si F est un sous-espace vectoriel d'un espace vectoriel E de dimension finie alors F est de dimension finie et $\dim(F) \leq \dim(E)$. De plus, $F = E$ si et seulement si les deux dimensions sont égales.

Base adaptée à une somme directe.

Si $(e_1, \dots, e_k, e_{k+1}, \dots, e_n)$ est une famille libre d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E , alors $\text{Vect}(e_1, \dots, e_k)$ et $\text{Vect}(e_{k+1}, \dots, e_n)$ sont en somme directe.

Supplémentaires d'un sous-espace vectoriel. Existence, dimension commune.

Dimension de la somme de deux sous-espaces vectoriels : formule de Grassmann.

Démontrer l'égalité de deux sous-espaces vectoriels à l'aide d'une inclusion et de l'égalité des dimensions.

Démontrer que deux sous-espaces vectoriels sont supplémentaires à l'aide de la caractérisation par leur intersection réduite à $\{0_E\}$ et la somme des dimensions.

Base obtenue par concaténation de bases de sous-espaces vectoriels supplémentaires.

Cas d'une somme directe.

c) Familles finies de vecteurs

Rang d'une famille finie (u_1, \dots, u_p) de vecteurs d'un \mathbb{K} -espace vectoriel.

Notation $\text{rg}(u_1, \dots, u_p)$.

Utiliser le rang d'une famille de vecteurs pour démontrer qu'elle est libre ou génératrice.

C- Applications linéaires et représentations matricielles

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Généralités

Applications linéaires, endomorphismes, isomorphismes et automorphismes.

Identité.

Opérations sur les applications linéaires : combinaisons linéaires et composées.

Réciproque d'un isomorphisme, composée d'isomorphismes.

Image directe, image réciproque d'un sous-espace vectoriel.

Image et noyau.

L'image par une application linéaire u d'une famille génératrice de E est génératrice de $\text{Im}(u)$.

Notations $\mathcal{L}(E, F)$ et $\mathcal{L}(E)$.

Savoir utiliser l'image par une application linéaire de quelques vecteurs pour en déduire l'image d'une combinaison linéaire de ces derniers.

Notation Id_E .

On peut identifier \mathbb{K}^n à $\mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{K})$.

Notation $\text{GL}(E)$ pour le groupe linéaire.

Notations $\text{Ker}(u)$ et $\text{Im}(u)$.

Déterminer une base de l'image, du noyau d'une application linéaire.

Caractériser l'injectivité d'une application linéaire à l'aide du noyau, la surjectivité à l'aide de l'image.

b) Isomorphismes

Une application linéaire de E dans F est un isomorphisme si et seulement si elle transforme une (toute) base de E en une base de F .

Espaces isomorphes, caractérisation par la dimension.

Si E et F ont même dimension finie, alors une application linéaire de E dans F est bijective si elle est injective ou surjective.

Cas particulier des endomorphismes.

Contre-exemples en dimension infinie.

c) Modes de définition d'une application linéaire

Une application linéaire est entièrement déterminée par l'image d'une base.

Une application linéaire définie sur $E = E_1 \oplus E_2$ est déterminée par ses restrictions à E_1 et E_2 .

d) Rang d'une application linéaire

Rang d'une application linéaire.

Théorème du rang : si E est de dimension finie et $u \in \mathcal{L}(E, F)$ alors u est de rang fini et $\dim(E) = \dim(\text{Ker}(u)) + \text{rg}(u)$.

Notation $\text{rg}(u)$.

Démonstration hors programme.

Utilisation pour la recherche d'une base de l'image et du noyau d'un endomorphisme.

e) Application linéaire de \mathbb{K}^p dans \mathbb{K}^n canoniquement associée à une matrice.

On peut identifier les éléments de \mathbb{K}^p et \mathbb{K}^n avec des matrices colonnes.

Application $X \mapsto AX$ avec $A \in \mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$. Linéarité.

L'image AX est combinaison linéaire des colonnes de A .

Image et noyau d'une matrice.

Notations $\text{Ker}(A)$ et $\text{Im}(A)$.

Déterminer les équations de l'image et du noyau de A . On utilise l'échelonnement d'un système pour déterminer des équations de l'image.

f) Représentation matricielle en dimension finie

Matrice d'une application linéaire u dans un couple de bases.

Un couple de bases $(\mathcal{B}, \mathcal{C})$ étant fixé, isomorphisme $u \mapsto \text{Mat}_{\mathcal{B}, \mathcal{C}}(u)$. Application au calcul de la dimension de $\mathcal{L}(E, F)$.

Matrice d'une composée.

Lien entre matrices inversibles et isomorphismes.

Matrice de passage d'une base à une autre.

Effet d'un changement de bases sur la matrice d'un vecteur, d'une application linéaire, d'un endomorphisme.

Matrices semblables.

Expression des coordonnées de $u(x)$ en fonction de celles de x .

Notation $\text{Mat}_{\mathcal{B}, \mathcal{C}}(u)$ où \mathcal{B} est une base de l'espace de départ et \mathcal{C} une base de l'espace d'arrivée.

Notation $\text{Mat}_{\mathcal{B}}(u)$ dans le cas où $\mathcal{B} = \mathcal{C}$.

Déterminer la matrice d'un vecteur, d'une application linéaire après un changement de base(s).

Choisir une base adaptée à un problème donné.

L'objectif est de donner une première approche de notions qui seront approfondies en seconde année.

La diagonalisation est hors programme.

g) Rang d'une matrice

Rang d'une matrice $A \in \mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Le rang d'une matrice est égal au nombre de pivots du système linéaire $AX = 0$.

Théorème du rang appliqué aux matrices.

Le rang d'une application linéaire est égal au rang de sa matrice dans un couple de bases.

Caractérisation des matrices inversibles à l'aide du rang.

Défini comme le rang de ses vecteurs colonnes dans \mathbb{K}^n ou, de manière équivalente, comme le rang de l'application linéaire de \mathbb{K}^p dans \mathbb{K}^n qui lui est canoniquement associée.

Calculer le rang d'une famille de vecteurs, d'une application linéaire par la méthode du pivot.

Développements limités

L'objectif est la maîtrise du calcul de développements limités simples. Le calcul de développements limités à un ordre élevé n'est pas un objectif du programme; il relève des outils logiciels.

a) Généralités

Si f est définie sur l'intervalle I et si a est un point de I ou une extrémité de I , développement limité d'ordre n de f au voisinage de a .

Unicité, troncature.

Opérations sur les développements limités : combinaison linéaire, produit.

Composition, passage au quotient.

Intégration terme à terme d'un développement limité.

Formule de Taylor-Young : développement limité à l'ordre n en un point a de I d'une fonction de classe \mathcal{C}^n sur I .

Interpréter un développement limité comme approximation d'une fonction.

Ramener un développement limité en 0 par translation.

Adaptation au cas où f est définie sur $I \setminus \{a\}$.

Développement limité en 0 d'une fonction paire ou impaire.

Étudier le signe d'une fonction au voisinage d'un point à l'aide d'un développement limité.

Déterminer sur des exemples simples le développement limité d'une fonction composée.

Aucun résultat général sur ce point n'est exigible.

La division suivant les puissances croissantes est hors programme.

Calculer le développement limité d'une fonction de classe \mathcal{C}^n à partir de ses dérivées successives.

Développements limités usuels.

Exploiter les développements limités usuels dans le cadre de développements limités simples.

Exploiter les outils logiciels pour des développements limités plus complexes.

Les étudiants doivent connaître les développements limités à tout ordre en 0 de $x \mapsto \frac{1}{1-x}$, \exp , \sin , \cos , $x \mapsto (1+x)^\alpha$, $x \mapsto \ln(1+x)$, \arctan ainsi que celui de \tan à l'ordre 3.

b) Applications des développements limités

Aucune théorie n'est attendue dans ce paragraphe. On illustrera seulement les différents cas de figure.

Calcul de limites.

Étude locale d'une fonction.

Utiliser les développements limités pour lever une forme indéterminée.

Déterminer un prolongement par continuité, la dérivabilité en un point, la nature d'un extremum, une tangente et sa position relative locale par rapport à la courbe, grâce à un développement limité.

Déterminer les éventuelles asymptotes et leurs positions relatives locales.

Aucun résultat général n'est exigible.

Probabilités sur un univers fini

Cette section a pour objectifs de mettre en place un cadre théorique permettant de fonder l'étude des probabilités dans le cas d'un univers fini et de développer la formation des étudiants au raisonnement probabiliste. On enrichit le point de vue fréquentiste étudié au lycée par une formalisation ensembliste. On mettra l'accent sur des exemples issus de la vie courante ou provenant des autres disciplines.

a) Espaces probabilisés finis

Expérience aléatoire. L'ensemble des issues (ou des résultats possibles, ou réalisations) d'une expérience aléatoire est appelé univers et est noté Ω .

Événement, événement élémentaire (singleton). Événement certain, événement impossible, événement contraire, événements incompatibles. Opérations sur les événements. Système complet d'événements.

On appelle probabilité sur un univers fini Ω toute application P de $\mathcal{P}(\Omega)$ dans $[0, 1]$ vérifiant $P(\Omega) = 1$ et, pour tout couple (A, B) de parties disjointes de Ω , $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$.

Un espace probabilisé fini est un couple (Ω, P) où Ω est un univers fini et P une probabilité sur Ω .

Probabilité de l'union de deux événements, probabilité de l'événement contraire, croissance d'une probabilité.

Si $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_n\}$ et p_1, \dots, p_n sont des réels positifs de somme 1, il existe une et une seule probabilité P sur Ω telle que :

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}, P(\{\omega_i\}) = p_i.$$

Équiprobabilité (ou probabilité uniforme).

Modéliser des situations aléatoires.

On se limite au cas où l'univers Ω est fini.

Maîtriser le lien entre point de vue ensembliste et point de vue probabiliste.

On se limite au cas où l'ensemble des événements est l'ensemble des parties de Ω .

Notation \bar{A} pour l'événement contraire.

Expliciter l'espace probabilisé modélisant une situation aléatoire décrite en langage naturel.

Calculer la probabilité d'un événement à partir d'un tableau de probabilités.

Choisir les valeurs des p_i revient à choisir un modèle probabiliste.

b) Indépendance et conditionnement

Si A et B sont deux événements tels que $P(B) > 0$, on appelle probabilité conditionnelle de A sachant B le réel $P_B(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$.

Formules des probabilités composées, des probabilités totales.

Formules de Bayes : si A et B sont deux événements tels que $P(A) > 0$ et $P(B) > 0$, alors

$$P_B(A) = \frac{P_A(B)P(A)}{P(B)}.$$

Indépendance de deux événements.

Indépendance d'une famille finie d'événements $(A_i)_{i \in [1, n]}$.

Illustrer une expérience aléatoire à l'aide d'arbres de probabilités.

La définition de $P_B(A)$ est justifiée par une approche heuristique fréquentiste.

L'application P_B est une probabilité.

On donnera plusieurs exemples.

Si $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B équivaut à $P_B(A) = P(A)$.

L'indépendance des événements A_i deux à deux n'entraîne pas leur indépendance si $n \geq 3$.

Variables aléatoires sur un univers fini**a) Variable aléatoire**

Une variable aléatoire est une application définie sur l'univers Ω à valeurs dans un ensemble E . Lorsque $E \subset \mathbb{R}$, la variable aléatoire est dite réelle.

Loi de probabilité P_X d'une variable aléatoire X .

Image d'une variable aléatoire par une application.

Définition de deux variables aléatoires indépendantes.

Si X et Y sont indépendantes alors pour tout $(A, B) \subset X(\Omega) \times Y(\Omega)$,

$$P((X, Y) \in A \times B) = P(X \in A)P(Y \in B).$$

Variables aléatoires indépendantes.

Loi conditionnelle de Y sachant $(X = x)$.

Modéliser des situations données en langage naturel à l'aide de variables aléatoires.

Si X est une variable aléatoire et si A est une partie de E , notation $\{X \in A\}$ ou $(X \in A)$ pour l'événement $X^{-1}(A)$.

Notation $P(X \in A)$, $P(X = x)$, $P(X \leq x)$.

Lien entre les événements $(X = k)$, $(X \leq k - 1)$ et $(X \leq k)$.

L'application P_X est définie par la donnée des $P(X = x)$ pour x dans $X(\Omega)$.

Si f est une application à valeurs réelles, on admet que $f(X)$ est une variable aléatoire et on se limite aux cas simples du type X^2 et X^3 .

Démonstration hors programme.

b) Espérance

Définition de l'espérance d'une variable aléatoire : si $X(\Omega) = \{x_1, \dots, x_n\}$,

$$E(X) = \sum_{k=1}^n x_k P(X = x_k).$$

Variable centrée.

Interpréter l'espérance en terme de moyenne pondérée.

Théorème de transfert : si X est une variable aléatoire réelle à valeurs finies et $\varphi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, alors l'espérance de la variable aléatoire $\varphi(X)$ est donnée par la formule

$$E(\varphi(X)) = \sum_{k=1}^n \varphi(x_k)P(X = x_k).$$

$E(aX + b) = aE(X) + b$ pour a et b réels.

Espérance du produit de deux variables aléatoires indépendantes.

Calculer une espérance à l'aide de la formule de transfert.

On admet de manière plus générale la linéarité de l'espérance.

c) Variance et écart type d'une variable aléatoire

Variance et écart type d'une variable aléatoire.

Notations $V(X)$ et $\sigma(X)$.

Interpréter la variance comme indicateur de dispersion.

Variable réduite.

Relation $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$ (Koenig-Huygens).

$V(aX + b) = a^2V(X)$ pour a et b réels.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

L'inégalité de Markov est hors programme.

d) Lois usuelles

Loi certaine.

Loi uniforme.

Reconnaître des situations modélisables par une loi uniforme.

Loi de Bernoulli de paramètre $p \in [0, 1]$.

Reconnaître des situations modélisables par une loi de Bernoulli.

Notation $X \hookrightarrow \mathcal{B}(p)$.

Loi binomiale de paramètres $n \in \mathbb{N}^*$ et $p \in [0, 1]$.

Reconnaître des situations modélisables par une loi binomiale.

Notation $X \hookrightarrow \mathcal{B}(n, p)$.

Si X_1, \dots, X_n sont indépendantes de loi $\mathcal{B}(p)$, alors $X_1 + \dots + X_n$ suit la loi $\mathcal{B}(n, p)$.

Les étudiants doivent savoir interpréter une loi binomiale comme loi d'une somme de variables de Bernoulli identiques et indépendantes.

Espérance et variance associées à ces différentes lois.

Pour la loi uniforme, on limitera les résultats à la loi uniforme sur $\{1, \dots, n\}$.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de mathématiques de la classe TPC 2nde année

Classe préparatoire TPC2

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	4
Programme	5
Compléments d'algèbre linéaire	5
Déterminants	6
Réduction des endomorphismes	7
Intégration sur un intervalle quelconque	8
Séries numériques	9
Séries entières	10
Espaces préhilbertiens réels, espaces euclidiens	11
A - Structure préhilbertienne	11
B - Isométries vectorielles d'un espace euclidien	12
Équations différentielles linéaires	13
Probabilités	14
A - Probabilités sur un univers dénombrable	14
B - Variables aléatoires discrètes	15
Fonctions vectorielles et courbes paramétrées	16
Séries de Fourier	17
Fonctions de plusieurs variables	18

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires technologiques TSI et TPC sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Objectifs de formation

Les étudiants des classes préparatoires doivent acquérir les compétences nécessaires aux scientifiques et technologues, qu'ils soient ingénieurs, chercheurs, enseignants, pour identifier les situations auxquelles ils sont confrontés, dégager les meilleures stratégies pour y faire face, prendre avec un recul suffisant des décisions dans un contexte complexe.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires technologiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher**, mettre en œuvre des stratégies : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies ;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer ;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique ...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre ;
- **raisonner**, argumenter : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture ;
- **calculer**, utiliser le langage symbolique : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main ou à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats ;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques, permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonnement, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension-même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent. Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la géométrie apparaît à la fois comme un terrain propice à l'introduction de l'algèbre linéaire, mais aussi comme un champ d'utilisation des concepts développés dans ce domaine du programme; les équations différentielles sont au cœur des activités de modélisation pour les sciences physiques; les probabilités permettent d'illustrer certains résultats d'analyse et justifient l'introduction du vocabulaire ensembliste.

C'est ainsi que le programme valorise les interprétations des concepts de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie et des probabilités en termes de paramètres modélisant l'état et l'évolution de systèmes mécaniques, physiques ou chimiques (mouvement, vitesse et accélération, signaux continus ou discrets, mesure des grandeurs mécaniques ou physiques...).

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions.

Les professeurs de mathématiques doivent régulièrement accéder aux laboratoires afin de favoriser l'établissement de liens forts entre la formation mathématique et les formations dispensées dans les enseignements scientifiques et technologiques. Cet accès permet de :

- prendre appui sur les situations expérimentales rencontrées dans ces enseignements;
- connaître les logiciels utilisés et l'exploitation qui peut en être faite pour illustrer les concepts mathématiques;
- prendre en compte les besoins mathématiques des autres disciplines.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il pourra s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un problème spécifique et la construction, pour le résoudre, d'outils conceptuels qui, pris ensuite par les mathématiciens comme objets d'étude, ont pu ultérieurement servir au traitement d'autres classes de problèmes.

Architecture et contenu du programme

Le programme s'en tient à un cadre et à un vocabulaire théorique bien délimités, mais suffisamment efficaces pour l'étude de situations usuelles, et assez riches pour servir de support à une formation solide.

Les programmes proposent des contenus équilibrés d'algèbre, d'analyse et de géométrie, auxquels s'ajoute un enseignement de probabilités visant à consolider les notions étudiées au lycée. Les probabilités permettent de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, d'établir des ponts avec les autres disciplines.

En cohérence avec l'introduction d'un enseignement d'algorithmique au lycée, le programme encourage la démarche algorithmique et le recours à l'outil informatique (calculatrices, logiciels). Il identifie un certain nombre d'algorithmes qui doivent être connus et pratiqués par les étudiants. Ceux-ci doivent également savoir utiliser les fonctionnalités graphiques des calculatrices et des logiciels.

Le volume global du programme a été conçu pour libérer des temps dédiés à une mise en activité effective des étudiants. Cela doit être notamment la règle lors des séances de travaux dirigés et de travaux pratiques d'informatique.

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement que des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours. Le professeur conduit en toute liberté, dans le respect de la cohérence de la formation globale, l'organisation de son enseignement et le choix de ses méthodes. En particulier, la chronologie retenue dans la présentation des différentes sections du programme ne doit pas être interprétée comme un modèle de progression : afin de faciliter l'organisation du travail des étudiants et de montrer l'intérêt des notions étudiées, il convient d'en aborder l'enseignement en coordination avec les disciplines scientifiques et technologiques.

Programme

Compléments d'algèbre linéaire

Cette section est organisée autour de trois objectifs :

- consolider les acquis de la classe de première année;
- étudier de nouveaux concepts : hyperplans, projecteurs et symétries, sous-espaces stables, trace, polynômes de matrice;
- passer du point de vue géométrique au point de vue matriciel et inversement.

Le programme valorise les interprétations géométriques en dimensions 2 et 3 et l'illustration des notions et des résultats par de nombreuses figures.

Dans toute cette partie, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Sous-espaces vectoriels

Hyperplan d'un espace vectoriel de dimension finie n , défini comme un sous-espace vectoriel de dimension $n - 1$.

Équations d'un hyperplan. Caractérisation comme un sous-espace vectoriel admettant une droite comme supplémentaire.

Interprétation géométrique en dimension 2 et 3.

b) Projecteurs et symétries

Projecteurs et symétries associés à deux sous-espaces vectoriels supplémentaires.

Expression de la matrice d'un projecteur et d'une symétrie dans une base adaptée aux supplémentaires permettant de les définir.

Caractérisation par les relations $p \circ p = p$ et $s \circ s = \text{Id}_E$ et leur traduction matricielle.

Déterminer les éléments caractéristiques d'un projecteur et d'une symétrie.

c) Sous-espaces vectoriels stables

Sous-espace vectoriel stable par un endomorphisme. Matrice dans une base adaptée.

Les étudiants doivent savoir interpréter une forme matricielle par blocs en termes de sous-espace vectoriel stable, et inversement.

On pourra notamment s'appuyer sur les exemples des projecteurs et des symétries.

d) Matrices

Matrices semblables.

Trace d'une matrice carrée.

Linéarité. $\text{Tr}(AB) = \text{Tr}(BA)$.

Deux matrices semblables ont même trace.

Trace d'un endomorphisme en dimension finie.

Matrice symétrique, antisymétrique.

Décomposition d'une matrice comme somme d'une matrice symétrique et d'une matrice antisymétrique.

Polynôme de matrice.

$\mathcal{S}_n(\mathbb{K})$ et $\mathcal{A}_n(\mathbb{K})$ sont supplémentaires dans $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.

C'est l'occasion de reprendre le travail fait en première année sur l'exploitation d'un polynôme annulateur pour étudier l'inversibilité d'une matrice.

Déterminants

Cette section développe une théorie du déterminant des matrices carrées, puis des endomorphismes d'un espace de dimension finie. Il met en évidence l'aspect algébrique (caractérisation des matrices inversibles) et l'aspect géométrique (volume orienté).

Les capacités attendues sont la connaissance et l'utilisation des propriétés du déterminant permettant un calcul simple via des opérations élémentaires. Tout excès de technicité est exclu et l'outil informatique est utilisé dès que le calcul s'avère trop lourd.

Dans toute cette partie, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Déterminant d'une matrice carrée

Il existe une unique application de $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$ dans \mathbb{K} , appelée déterminant, telle que :

- (i) le déterminant est linéaire par rapport à chacune des colonnes ;
- (ii) l'échange de deux colonnes a pour effet de multiplier le déterminant par -1 ;
- (iii) le déterminant de la matrice identité I_n vaut 1.

Notation \det .

La démonstration de ce théorème pour $n \geq 4$ et la notion générale de forme multilinéaire sont hors programme.

Interprétation géométrique de cette définition pour $n \in \{2, 3\}$ par les notions d'aire et de volume algébriques.

b) Propriétés du déterminant

Le déterminant d'une matrice ayant deux colonnes égales est nul.

Expression de $\det(\lambda A)$ pour $\lambda \in \mathbb{K}$ et $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.

Effet sur un déterminant des opérations élémentaires sur les colonnes.

Déterminant d'une matrice triangulaire.

Une matrice carrée est inversible si et seulement si son déterminant est non nul.

Déterminant d'un produit de matrices carrées.

Déterminant de l'inverse d'une matrice carrée.

Déterminant de la transposée d'une matrice carrée.

Démonstration hors programme.

Démonstration hors programme.

Le déterminant vérifie les mêmes propriétés vis-à-vis des lignes que des colonnes.

Développement par rapport à une colonne ou une ligne du déterminant d'une matrice.

Démonstration non exigible.

La notion de comatrice est hors programme.

c) Déterminant d'une famille de vecteurs, d'un endomorphisme

Déterminant d'une famille de vecteurs dans une base.

Caractérisation des bases.

Déterminant d'un endomorphisme. Caractérisation des automorphismes.

La formule de changement de base pour un déterminant est hors programme.

Traduction sur le déterminant d'un endomorphisme des propriétés relatives au déterminant d'une matrice.

Réduction des endomorphismes

Cette section étudie la réduction des matrices et des endomorphismes d'un espace vectoriel de dimension finie sur \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

Après avoir introduit le vocabulaire des éléments propres et la notion de polynôme caractéristique, on s'intéresse à la question de la diagonalisabilité d'un endomorphisme ou d'une matrice carrée.

L'application des résultats de la réduction à la recherche des solutions d'une récurrence linéaire d'ordre 2 à coefficients constants crée un nouveau pont entre l'algèbre et l'analyse et anticipe l'étude des équations différentielles linéaires dont la résolution repose sur des outils similaires.

Tout développement sur les polynômes d'endomorphisme ou de matrice est hors programme.

Les espaces vectoriels considérés sont de dimension finie sur \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Éléments propres et polynôme caractéristique

Valeur propre, vecteur propre, sous-espace propre d'un endomorphisme f en dimension finie.

Notation $E_\lambda(f)$. Interprétation en termes de droite stable.

Spectre.

Notation $\text{Sp}(f)$.

Une somme finie de sous-espaces propres associés à des valeurs propres distinctes est directe.

Le polynôme caractéristique d'un endomorphisme est défini par la fonction polynomiale

Le polynôme caractéristique d'un endomorphisme f est de coefficient dominant égal à 1. Il s'écrit :

$$x \mapsto \chi_f(x) = \det(x\text{id}_E - f).$$

$$\chi_f(X) = X^n - \text{Tr}(f)X^{n-1} + \dots + (-1)^n \det(f).$$

Les racines du polynôme caractéristique d'un endomorphisme sont les valeurs propres de cet endomorphisme. Polynôme annulateur d'un endomorphisme.

Le théorème de Cayley-Hamilton et la notion de polynôme minimal sont hors programme.

Si un polynôme P annule un endomorphisme u , alors toute valeur propre de u est racine de P .

Cas d'un projecteur ou d'une symétrie.

Ordre de multiplicité d'une valeur propre. Comparaison entre l'ordre de multiplicité d'une valeur propre et la dimension du sous-espace propre associé.

Éléments propres et polynôme caractéristique d'une matrice.

Extension des définitions et des résultats précédents aux matrices.

Lien entre éléments propres d'un endomorphisme et ceux de sa matrice dans une base donnée.

b) Endomorphismes et matrices diagonalisables

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est dit diagonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est diagonale.

Interprétation : existence d'une base de vecteurs propres.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est diagonalisable si et seulement si la somme de ses sous-espaces propres est égale à E .

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est diagonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé et si l'ordre de multiplicité de chaque valeur propre est égal à la dimension du sous-espace propre associé.

Les projecteurs et les symétries sont des exemples d'endomorphismes diagonalisables.

Expression de la trace et du déterminant d'un endomorphisme diagonalisable à l'aide des valeurs propres.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension n ayant n valeurs propres distinctes est diagonalisable.

Une matrice carrée est dite diagonalisable si elle est semblable à une matrice diagonale.

Extension des résultats précédents aux matrices carrées.

c) Applications de la réduction

Puissances d'une matrice diagonale.

Formule $A^n = P B^n P^{-1}$ pour $n \in \mathbb{N}$ et $A = P B P^{-1}$.

Structure de l'ensemble des suites numériques vérifiant une relation de récurrence linéaire d'ordre 2 à coefficients constants. Équation caractéristique. Base de solutions.

Les étudiants peuvent utiliser librement l'expression de D^n pour D diagonale.

Calcul des puissances d'une matrice diagonalisable.

Application aux récurrences vectorielles d'ordre 1 de la forme $X_{n+1} = A X_n$. Les étudiants peuvent utiliser librement la relation $X_n = A^n X_0$.

On se limite au cas homogène.

Utilisation pour la résolution d'un système de suites récurrentes linéaires.

Intégration sur un intervalle quelconque

L'objectif de cette section est double :

- étendre la notion d'intégrale étudiée en première année à des fonctions continues sur un intervalle quelconque par le biais des intégrales généralisées
- définir, dans le cadre des fonctions continues, la notion de fonction intégrable.

L'étude de la semi-convergence des intégrales n'est pas un objectif du programme.

Les fonctions considérées sont continues sur un intervalle de \mathbb{R} et à valeurs dans $\mathbb{K} = \mathbb{R}$ ou \mathbb{C} .

a) Intégrale d'une fonction continue sur un intervalle

Pour $f: I = [a, b[\rightarrow \mathbb{K}$, $b > a$ ou $b = +\infty$, l'intégrale $\int_a^b f(t) dt$ est dite convergente si la fonction $x \mapsto \int_a^x f(t) dt$ admet une limite finie quand x tend vers b par valeurs inférieures. Si tel est le cas, on note cette limite $\int_a^b f(t) dt$ ou $\int_I f(t) dt$.

Adaptation de la définition aux fonctions définies sur un intervalle $]a, b]$, avec $a < b$ ou $a = -\infty$, puis sur un intervalle $]a, b[$.

Linéarité, positivité et croissance de l'application $f \mapsto \int_I f(t) dt$.

Intégrales de référence : $\int_1^{+\infty} \frac{1}{t^\alpha} dt$ et $\int_0^1 \frac{1}{t^\alpha} dt$, pour $\alpha \in \mathbb{R}$.

Nature et valeur de $\int_0^1 \ln(t) dt$ et $\int_0^{+\infty} e^{-\alpha t} dt$ selon le signe de α .

Relation de Chasles.

Théorème de changement de variable : étant données une fonction f continue sur $]a, b[$ et une fonction φ strictement croissante de classe \mathcal{C}^1 sur $]\alpha, \beta[$, les intégrales $\int_a^b f(t) dt$ et $\int_\alpha^\beta f(\varphi(u)) \varphi'(u) du$, où $a = \lim_{u \rightarrow \alpha} \varphi(u)$ et $b = \lim_{u \rightarrow \beta} \varphi(u)$ sont de même nature et égales en cas de convergence.

Aucun théorème d'intégration par parties sur un intervalle quelconque n'est au programme.

Les intégrales de la forme $\int_a^b \frac{1}{(t-a)^\alpha} dt$ ne font pas partie des intégrales de référence.

Adaptation au cas où φ est strictement décroissante.

b) Intégrales des fonctions positives

Théorèmes de comparaison pour les fonctions à valeurs réelles, continues et positives sur $[a, b]$, sous l'hypothèse $f \leq g$, $f(t) \underset{t \rightarrow b}{\sim} g(t)$ ou $f(t) \underset{t \rightarrow b}{=} o(g(t))$.

Si f est une fonction continue et positive sur un intervalle I et telle que $\int_I f(t) dt = 0$, alors f est identiquement nulle sur I .

Il suffit de vérifier les hypothèses au voisinage de b .

c) Intégrales absolument convergentes

Définition d'une intégrale absolument convergente.

Théorème d'absolue convergence : une intégrale absolument convergente est convergente.

Si f est continue sur un intervalle I à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} et si son intégrale est absolument convergente sur I , alors

$$\left| \int_I f(t) dt \right| \leq \int_I |f(t)| dt.$$

Une fonction continue est dite intégrable sur l'intervalle I si son intégrale sur I est absolument convergente.
Espace vectoriel des fonctions intégrables sur I .

Démonstration hors programme.

Démonstration hors programme pour une fonction à valeurs dans \mathbb{C} .

Notation $\int_I f(t) dt$.

Séries numériques

L'étude des séries prolonge celle des suites et prépare celle des séries entières et des séries de Fourier. Elle permet de mettre en œuvre l'analyse asymptotique. L'objectif majeur est la maîtrise de la convergence absolue.

a) Généralités

Série à termes réels ou complexes, sommes partielles. Convergence ou divergence et, en cas de convergence, somme et restes.

Linéarité de la somme.

Le terme général d'une série convergente tend vers 0.

Séries géométriques : sommes partielles, condition nécessaire et suffisante de convergence, valeur de la somme en cas de convergence.

Séries télescopiques : la série $\sum (u_{n+1} - u_n)$ converge si et seulement si la suite (u_n) converge, calcul de la somme en cas de convergence.

La série est notée $\sum u_n$.

En cas de convergence, sa somme est notée $\sum_{n=0}^{+\infty} u_n$.

Divergence grossière.

b) Séries à termes positifs

Une série à termes positifs converge si et seulement si la suite de ses sommes partielles est majorée.

Théorèmes de comparaison pour les séries à termes positifs sous l'hypothèse $u_n \leq v_n$, ou $u_n = o(v_n)$, ou $u_n \sim v_n$.

Règle de d'Alembert.

Théorème de comparaison série-intégrale : si $f : [n_0, +\infty[\rightarrow \mathbb{R}$ est une fonction continue, positive et décroissante, alors la série $\sum_{n \geq n_0} f(n)$ et l'intégrale $\int_{n_0}^{+\infty} f(t) dt$ sont de même nature.

Il suffit que $u_n \leq v_n$ à partir d'un certain rang.

Toute autre règle de comparaison est hors programme.
Exemples simples d'encadrements et d'application à l'étude asymptotique de sommes partielles ou de restes.

Séries de Riemann.

Les étudiants doivent savoir comparer une série à termes positifs à une série de Riemann.

c) Séries absolument convergentes

Convergence absolue d'une série à termes réels ou complexes.

La convergence absolue implique la convergence.

Démonstration non exigible. La notion de semi-convergence est hors programme.

Pour une série absolument convergente $\sum u_n$,

$$\left| \sum_{n=0}^{+\infty} u_n \right| \leq \sum_{n=0}^{+\infty} |u_n|.$$

d) Séries alternéesThéorème des séries alternées : si la suite réelle (u_n) converge en décroissant vers 0, alors $\sum (-1)^n u_n$ converge.**Séries entières**

Les séries entières considérées sont à coefficients réels ou complexes. La variable est réelle ou complexe. Les objectifs de cette section sont les suivants :

- étudier la convergence d'une série entière de variable complexe et mettre en évidence la notion de rayon de convergence;
- étudier les propriétés de sa somme en se limitant au cas d'une variable réelle;
- établir les développements en série entière des fonctions usuelles.

La théorie des séries entières sera appliquée à la recherche de solutions d'équations différentielles linéaires.

a) Convergence d'une série entière

Série entière d'une variable réelle ou complexe.

Lemme d'Abel : étant donné un nombre réel $r > 0$, tel que la suite $(a_n r^n)_{n \in \mathbb{N}}$ soit bornée, alors, pour tout nombre complexe z tel que $|z| < r$, la série $\sum a_n z^n$ est absolument convergente.Rayon de convergence défini comme borne supérieure dans $\mathbb{R} \cup \{+\infty\}$ de l'ensemble des réels $r \geq 0$ tels que la suite $(a_n r^n)_{n \in \mathbb{N}}$ est bornée.

Disque ouvert de convergence, intervalle ouvert de convergence.

Si $|a_n| \leq |b_n|$ à partir d'un certain rang, alors le rayon de convergence de la série entière $\sum_{n \geq n_0} a_n z^n$ est supérieur ou égal à celui de $\sum_{n \geq n_0} b_n z^n$.Si $|a_n| \underset{n \rightarrow +\infty}{\sim} |b_n|$, alors le rayon de convergence de la série entière $\sum a_n z^n$ est égal à celui de $\sum b_n z^n$.

Application de la règle de d'Alembert pour les séries numériques au calcul du rayon.

Les séries entières $\sum a_n z^n$ et $\sum n a_n z^n$ ont le même rayon de convergence.Si le rayon de convergence R est un réel strictement positif, alors pour $|z| < R$, la série $\sum a_n z^n$ converge absolument, et pour $|z| > R$, la série $\sum a_n z^n$ diverge grossièrement.

Toute étude systématique de la convergence sur le cercle de convergence est exclue.

Démonstration hors programme.

b) Somme d'une série entière d'une variable réelle

Fonction somme d'une série entière, domaine de définition.

La fonction somme est de classe \mathcal{C}^∞ sur son intervalle ouvert de convergence. Dérivation terme à terme.

Relation entre les coefficients et les dérivées successives en 0.

Intégration terme à terme sur un segment inclus dans l'intervalle ouvert de convergence.

Démonstration hors programme.

Démonstration hors programme.

c) Fonctions développables en série entière

Fonction développable en série entière au voisinage de 0.

Unicité du développement en série entière.

Développements en série entière usuels :

$$\frac{1}{1-x}, \ln(1+x), e^x, \cos(x), \sin(x).$$

Lien avec la série de Taylor.

Les étudiants doivent savoir utiliser l'unicité de la solution d'un problème de Cauchy pour déterminer un développement en série entière.

d) Exponentielle complexe

Développement en série entière admis :

$$\exp(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{z^n}{n!}.$$

En première année, l'exponentielle complexe est définie par la relation

$$e^{x+iy} = e^x(\cos(y) + i \sin(y))$$

où x et y sont deux réels quelconques.

Espaces préhilbertiens réels, espaces euclidiens

Cette section est organisée autour de trois objectifs :

- introduire les notions fondamentales liées à la structure préhilbertienne;
- étudier les isométries vectorielles et les matrices orthogonales, notamment dans le cas des dimensions 2 et 3 en insistant sur les représentations géométriques;
- traiter la réduction des matrices symétriques réelles.

A - Structure préhilbertienne**a) Produit scalaire et norme**

Produit scalaire.

Espace préhilbertien réel, espace euclidien.

Produit scalaire euclidien canonique sur \mathbb{R}^n .

Norme associée à un produit scalaire, distance associée.

Inégalité de Cauchy-Schwarz, cas d'égalité.

Identité du parallélogramme, identité de polarisation.

Notations $\langle x, y \rangle$, $(x|y)$, $x \cdot y$.

Exemples de produits scalaires sur des espaces de fonctions ou de polynômes.

Notation $\| \cdot \|$.

b) Orthogonalité

Vecteurs orthogonaux, sous-espaces vectoriels orthogonaux.

Orthogonal d'un sous-espace vectoriel F .

Théorème de Pythagore.

Notation F^\perp .

Famille orthogonale, famille orthonormée (ou orthonormale).

Toute famille orthogonale de vecteurs non nuls est libre.
Algorithme d'orthonormalisation de Gram-Schmidt.

Existence de bases orthonormées en dimension finie. Coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée, expression du produit scalaire et de la norme.

Aucune formule n'est exigible. Les étudiants doivent savoir mettre en œuvre l'algorithme dans le cas d'un nombre restreint de vecteurs.

c) Projection orthogonale sur un sous-espace vectoriel de dimension finie

Pour étudier la notion de projection orthogonale et la distance à un sous-espace, on s'appuie sur des figures.

Si F est un sous-espace vectoriel de dimension finie d'un espace préhilbertien, alors F et F^\perp sont supplémentaires. Projection orthogonale sur un sous-espace vectoriel de dimension finie. Expression du projeté orthogonal dans une base orthonormée.

Le projeté orthogonal de x sur F est l'unique élément de F qui minimise $\|x - y\|$ avec $y \in F$. Distance d'un vecteur x à un sous-espace vectoriel F de dimension finie.

En dimension finie, dimension de l'orthogonal.

Les étudiants doivent aussi savoir déterminer le projeté orthogonal $p_F(x)$ d'un vecteur x sur un sous-espace vectoriel F en résolvant un système linéaire traduisant l'orthogonalité de $x - p_F(x)$ aux vecteurs d'une base de F .
Notation $d(x, F)$.

B - Isométries vectorielles d'un espace euclidien

a) Isométries vectorielles d'un espace euclidien

Un endomorphisme d'un espace euclidien est une isométrie vectorielle s'il conserve la norme.

Caractérisations par la conservation du produit scalaire, par l'image d'une base orthonormée.

Symétrie orthogonale par rapport à un sous-espace vectoriel. Réflexion.

Groupe orthogonal d'un espace euclidien E .

L'étude des formes quadratiques est hors programme.

On s'appuie sur des figures.

Notation $O(E)$.

On vérifie ici les propriétés conférant à $O(E)$ une structure de groupe, mais la définition axiomatique des groupes est hors programme.

Si un sous-espace vectoriel est stable par une isométrie vectorielle, son orthogonal est stable par cette isométrie.

b) Matrices orthogonales

Une matrice A de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ est dite orthogonale si $A^T A = I_n$.
Groupe orthogonal d'ordre n .

Si \mathcal{B}_0 est une base orthonormée de E , une base \mathcal{B} de E est orthonormée si et seulement si la matrice de passage de \mathcal{B}_0 à \mathcal{B} est orthogonale.

Si \mathcal{B}_0 est une base orthonormée de E et u un endomorphisme de E , alors u est une isométrie vectorielle de E si et seulement si $\text{Mat}_{\mathcal{B}_0}(u)$ est orthogonale.

Déterminant d'une matrice orthogonale, d'une isométrie vectorielle.

Isométrie vectorielle directe, indirecte.

Groupe spécial orthogonal.

Traduction sur les colonnes ou les lignes de A .

Notations $O_n(\mathbb{R}), O(n)$.

Application à l'orientation d'un espace euclidien et à la notion de base orthonormée directe.

Notations $SO_n(\mathbb{R}), SO(n)$ et $SO(E)$.

c) Classification en dimensions 2 et 3

Caractérisation des symétries orthogonales par leurs représentations matricielles.

Description du groupe orthogonal en dimensions 2 et 3.

Utilisation des éléments propres pour la classification des isométries vectorielles.

Les étudiants doivent savoir déterminer les caractéristiques géométriques et trouver une base orthonormée adaptée à une isométrie vectorielle.

d) Matrices symétriques réelles

Les valeurs propres d'une matrice symétrique réelle sont toutes réelles.

Les sous-espaces propres d'une matrice symétrique réelle sont deux à deux orthogonaux.

Théorème spectral : pour toute matrice symétrique réelle A , il existe une matrice diagonale D et une matrice orthogonale P telles que $A = PDP^{-1} = PDP^T$.

Démonstration hors programme.

Démonstration hors programme. La notion d'endomorphisme symétrique est hors programme.

Équations différentielles linéaires

L'étude des équations différentielles est limitée au cas linéaire en raison de son importance dans d'autres champs disciplinaires.

Cette section donne l'occasion de faire le lien avec les résultats de première année dans le cas des coefficients constants.

a) Équations différentielles linéaires d'ordre 1

Équation différentielle linéaire du premier ordre

$$y' + a(t)y = b(t),$$

où a et b sont des fonctions réelles ou complexes, définies et continues sur un intervalle I .

Espace vectoriel des solutions de l'équation homogène. Principe de superposition.

Structure de l'ensemble des solutions.

Méthode de variation de la constante.

Théorème de Cauchy linéaire : existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy pour une équation de la forme $y' + a(t)y = b(t)$.

Équation homogène associée.

Détermination des solutions.

Plan de résolution.

Le raccordement de solutions est hors programme.

Détermination la solution vérifiant une condition initiale donnée.

b) Équations différentielles linéaires d'ordre 2

Équation différentielle linéaire du second ordre

$$y'' + a(t)y' + b(t)y = c(t),$$

où a , b , c sont des fonctions réelles ou complexes, définies et continues sur un intervalle I .

Espace vectoriel des solutions de l'équation homogène.

Principe de superposition.

Structure de l'ensemble des solutions.

Théorème de Cauchy linéaire : existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy pour une équation de la forme $y'' + a(t)y' + b(t)y = c(t)$.

Équation homogène associée.

Le raccordement de solutions est hors programme.

Recherche de solutions particulières polynomiales ou développables en série entière.

Démonstration hors programme.

Résolution complète par abaissement de l'ordre dans le cas où une solution de l'équation homogène ne s'annulant pas est connue.
Exemples de résolution d'équations différentielles par changement de variable.

On donne toute indication utile.
On donne toute indication utile.

c) Systèmes différentiels linéaires homogènes à coefficients constants

Écriture sous la forme $X' = AX$ où A est une matrice carrée réelle ou complexe à coefficients constants.
Existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.
Réécriture d'une équation scalaire d'ordre n sous la forme d'un système différentiel d'ordre 1.
Cas particulier des équations différentielles linéaires d'ordre 2 homogènes à coefficients constants.

Pratique guidée de la résolution dans le cas où la matrice A est diagonalisable.
Démonstration hors programme.
Lien avec la forme des solutions d'une équation scalaire d'ordre 2 étudiée en première année.

Probabilités

A - Probabilités sur un univers dénombrable

On aborde dans cette sous-section l'étude des probabilités sur un univers dénombrable afin de modéliser les processus stochastiques à temps discret. Les résultats démontrés en première année dans le cadre d'un univers fini sont étendus sans démonstration. La construction d'espaces probabilisés modélisant notamment une suite d'expériences aléatoires indépendantes est hors de portée à ce niveau. On se limite au cas où l'ensemble des événements est l'ensemble des parties de Ω . La notion de tribu est hors programme.

a) Espace probabilisé dénombrable

Ensemble fini.
Un ensemble est dit dénombrable s'il est en bijection avec \mathbb{N} .

Un ensemble fini ou dénombrable peut être décrit en extension sous la forme $\{x_n | n \in \mathbb{N}\}$.
Dénombrabilité de \mathbb{N} , de \mathbb{Z} .
On signale que les intervalles ne sont pas dénombrables.
Toute autre connaissance sur la dénombrabilité est hors programme.
Extension des définitions vues en première année.
Les étudiants doivent faire le lien entre point de vue probabiliste et point de vue ensembliste.

Expérience aléatoire, événement.
Suite infinie d'événements, union et intersection.
Système complet d'événements.
On appelle probabilité sur un univers Ω toute application P de $\mathcal{P}(\Omega)$ dans $[0, 1]$ vérifiant $P(\Omega) = 1$ et, pour toute suite $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ d'événements deux à deux incompatibles :

$$P\left(\bigcup_{n \in \mathbb{N}} A_n\right) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n).$$

b) Indépendance et conditionnement

Si A et B sont deux événements tels que $P(B) > 0$, on appelle probabilité conditionnelle de A sachant B le réel

L'application P_B est une probabilité sur Ω .

$$P_B(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}.$$

Formule des probabilités composées.

Formule des probabilités totales : si $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ est un système complet d'événements de probabilités non nulles, alors la série $\sum P(B \cap A_n)$ converge et,

$$P(B) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B \cap A_n) = \sum_{n=0}^{+\infty} P_{A_n}(B) P(A_n).$$

Formule de Bayes : si A et B sont deux événements tels que $P(A) > 0$, $P(B) > 0$, alors, $P_B(A) = \frac{P_{A(B)} P(A)}{P(B)}$.

Indépendance de deux événements.

Indépendance d'une famille finie d'événements.

Si $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B équivaut à $P_B(A) = P(A)$.

L'indépendance des événements A_i deux à deux n'entraîne pas leur indépendance si $n \geq 3$.

B - Variables aléatoires discrètes

Cette sous-section a pour objectifs de consolider les acquis de première année sur les variables aléatoires réelles finies et d'étendre les résultats au cas des variables discrètes sur un univers dénombrable. Dans toute cette section, l'univers Ω est supposé dénombrable.

a) Variable aléatoire réelle

Une variable aléatoire réelle X est une application définie sur un univers Ω et à valeurs dans \mathbb{R} .

Loi de probabilité d'une variable aléatoire.

L'application P_X est définie par la donnée des $P(X = x)$ pour x dans $X(\Omega)$.

Image d'une variable aléatoire par une application.

Notation P_X .

Lien entre $P(X \leq k)$, $P(X \leq k - 1)$ et $P(X = k)$ pour une variable aléatoire réelle discrète à valeurs entières.

La notion de fonction de répartition est hors programme. Si f est une application à valeurs réelles, on admet que $f(X)$ est une variable aléatoire et on se limite aux cas simples du type X^2 et X^3 .

b) Espérance d'une variable aléatoire

La variable aléatoire réelle X est dite d'espérance finie si la série $\sum x_n P(X = x_n)$ est absolument convergente. Dans ce cas, on appelle espérance de X le réel

$$\sum_{n=0}^{+\infty} x_n P(X = x_n).$$

Linéarité de l'espérance.

Théorème de transfert : si X est une variable aléatoire et f une application à valeurs réelles définie sur l'image $\{x_n, n \in \mathbb{N}\}$ de X , alors $f(X)$ est d'espérance finie si et seulement si la série $\sum f(x_n) P(X = x_n)$ est absolument convergente. Dans ce cas, on a :

$$E(f(X)) = \sum_{n=0}^{+\infty} f(x_n) P(X = x_n).$$

On admet que la somme $\sum_{n=0}^{+\infty} x_n P(X = x_n)$ ne dépend pas de l'ordre d'énumération.

Notation $E(X)$.

Démonstration hors programme.

Démonstration hors programme.

Les étudiants doivent savoir calculer une espérance en appliquant le théorème de transfert.

c) Variance et écart type d'une variable aléatoire

Si la variable aléatoire X^2 est d'espérance finie, alors X est elle-même d'espérance finie.

Lorsque X^2 est d'espérance finie, alors $(X - E(X))^2$ est d'espérance finie et on appelle variance de X le réel $E((X - E(X))^2)$.

Relation $V(X) = E(X^2) - (E(X))^2$ (Koenig-Huygens).

Écart type d'une variable aléatoire.

$V(aX + b) = a^2V(X)$ pour a et b réels.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

Notation $V(X)$.

Interpréter la variance comme indicateur de dispersion.

Notation $\sigma(X)$.

L'inégalité de Markov est hors programme.

d) Lois usuelles

Pour $p \in]0, 1[$, loi géométrique de paramètre p : la variable aléatoire X suit la loi $\mathcal{G}(p)$ si et seulement si

$$\forall k \in \mathbb{N}^*, \quad P(X = k) = p(1 - p)^{k-1}.$$

Pour $\lambda \in \mathbb{R}$, loi de Poisson de paramètre λ : la variable aléatoire X suit la loi $\mathcal{P}(\lambda)$ si et seulement si

$$\forall k \in \mathbb{N}, \quad P(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}.$$

Notation $X \hookrightarrow \mathcal{G}(p)$.

Les étudiants doivent savoir reconnaître des situations modélisables par une loi géométrique.

La loi géométrique peut être interprétée comme rang du premier succès dans une suite infinie d'épreuves de Bernoulli indépendantes et de même paramètre p .

Notation $X \hookrightarrow \mathcal{P}(\lambda)$.

Loi des événements rares.

Espérance et variance d'une loi géométrique, d'une loi de Poisson.

Fonctions vectorielles et courbes paramétrées

Cette section fournit l'occasion de revoir une partie des notions abordées dans le cours d'analyse de première année. L'étude des fonctions vectorielles en dimension inférieure ou égale à trois permet de présenter des résultats utiles dans les autres disciplines scientifiques et introduit le paragraphe sur les courbes paramétrées. Dans ce cadre, le but est de tracer des courbes sans support logiciel quand les calculs se prêtent à un tracé rapide. Pour les calculs plus longs, on utilise un outil informatique qui permet en plus de mettre en évidence des problèmes d'échelle et de restriction d'intervalle. L'étude des courbes définies par une équation polaire est hors programme.

a) Fonctions d'une variable réelle à valeurs dans \mathbb{R}^2 ou \mathbb{R}^3

Limite en un point. Continuité et dérivabilité (éventuellement à gauche ou à droite) en un point ou sur un intervalle.

Dérivée d'une somme de deux fonctions vectorielles, du produit d'une fonction à valeurs réelles et d'une fonction à valeurs vectorielles.

Fonctions de classe \mathcal{C}^k sur un intervalle I . Espace vectoriel $\mathcal{C}^k(I, \mathbb{R}^n)$.

Formule de Taylor-Young pour une fonction de classe \mathcal{C}^k .

Développement limité d'une fonction de classe \mathcal{C}^k .

Ces notions sont définies à l'aide des fonctions coordonnées.

Les étudiants doivent savoir interpréter géométriquement et cinématiquement la notion de dérivée en un point.

b) Courbes paramétrées

<p>Courbe paramétrée. Tangente en un point.</p> <p>Demi-tangente à droite ou à gauche en un point.</p> <p>Caractérisation de la tangente à partir du premier vecteur dérivé non nul.</p> <p>Cas particulier d'un point régulier.</p> <p>Point stationnaire : point ordinaire, d'inflexion et de rebroussement.</p> <p>Position relative locale de la courbe par rapport à sa tangente.</p> <p>Exemples de constructions de courbes planes.</p>	<p>La tangente en un point est définie comme la limite des sécantes.</p> <p>Une demi-tangente en un point est définie comme la limite à droite ou à gauche des sécantes.</p> <p>L'étude locale en un point où tous les vecteurs dérivés successifs sont nuls est hors programme.</p> <p>Interprétation cinématique.</p> <p>Les étudiants doivent savoir utiliser les développements limités de chacune des composantes.</p> <p>Les étudiants doivent savoir exploiter les propriétés des fonctions (parité, périodicité...) afin de restreindre l'ensemble d'étude.</p> <p>L'étude du comportement asymptotique d'une courbe paramétrée est hors programme.</p>
--	---

Séries de Fourier

L'étude des séries de Fourier est présentée dans le cadre des fonctions T -périodiques, continues par morceaux et à valeurs dans \mathbb{R} . Cette section développe des compétences de calcul à travers celui des coefficients de Fourier et l'application du théorème de Parseval. L'interprétation géométrique de la n -ième somme de Fourier comme projection orthogonale relie les points de vue analytique et géométrique de la théorie. Cette section est aussi particulièrement favorable aux interactions entre les disciplines.

a) Fonctions définies par morceaux

<p>Une fonction à valeurs réelles définie sur un segment $[a, b]$ à est dite continue par morceaux (respectivement de classe \mathcal{C}^1 par morceaux) sur $[a, b]$ s'il existe une subdivision $a = a_0 < a_1 < \dots < a_n = b$ telle que la restriction de f à chaque intervalle $]a_i, a_{i+1}[$ soit prolongeable en une fonction continue (respectivement de classe \mathcal{C}^1) sur $[a_i, a_{i+1}]$.</p> <p>Une fonction à valeurs réelles T-périodique est dite continue par morceaux sur \mathbb{R} (respectivement de classe \mathcal{C}^1 par morceaux sur \mathbb{R}) si elle est continue par morceaux (respectivement de classe \mathcal{C}^1 par morceaux) sur une période.</p> <p>Espace vectoriel des fonctions à valeurs réelles, T-périodiques et continues par morceaux sur \mathbb{R} (respectivement de classe \mathcal{C}^1 par morceaux sur \mathbb{R}).</p> <p>Intégrale sur une période d'une fonction T-périodique et continue par morceaux.</p>	<p>Interprétation graphique.</p> <p>Notations $\mathcal{C}_T^{0,m}(\mathbb{R})$, $\mathcal{C}_T^{1,m}(\mathbb{R})$.</p> <p>Extension rapide de la définition et des propriétés de l'intégrale au cas des fonctions continues par morceaux.</p>
---	--

b) Coefficients et séries de Fourier

<p>Coefficients de Fourier trigonométriques d'une fonction f continue par morceaux, T-périodique.</p> <p>Cas des fonctions paires, impaires.</p>	<p>Notation $a_k(f)$ et $b_k(f)$ ou, plus simplement, a_k et b_k.</p> <p>Le coefficient a_0 est défini comme la valeur moyenne sur une période.</p>
--	--

Série de Fourier d'une fonction f continue par morceaux T -périodique. Sommes partielles : pour $n \in \mathbb{N}^*$ et $t \in \mathbb{R}$,

$$S_n(f)(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)) \text{ où } \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Dans le cas des fonctions continues, interprétation géométrique de $S_n(f)$ comme la projection orthogonale de f sur le sous-espace vectoriel engendré par les fonctions $t \mapsto \cos(k\omega t)$ et $t \mapsto \sin(k\omega t)$ ($k \in \llbracket 0, n \rrbracket$) pour le produit scalaire défini par

$$\langle f, g \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T f(t)g(t) dt.$$

c) Théorèmes de convergence

Théorème de Parseval : si f est une fonction T -périodique et continue par morceaux sur \mathbb{R} , alors les séries $\sum a_n^2$ et $\sum b_n^2$ convergent et :

$$\frac{1}{T} \int_0^T |f(t)|^2 dt = a_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{+\infty} (a_n^2 + b_n^2).$$

Théorème de Dirichlet : si f est une fonction T -périodique et de classe \mathcal{C}^1 par morceaux sur \mathbb{R} , alors la série de Fourier de f converge en tout point $t \in \mathbb{R}$ et

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} S_n(f)(t) = \frac{1}{2} \lim_{h \rightarrow 0} (f(t+h) + f(t-h)).$$

Cas où f est continue et de classe \mathcal{C}^1 par morceaux.

Démonstration hors programme.

Interprétation géométrique du théorème de Parseval dans le cas des fonctions continues.

Les étudiants doivent savoir appliquer ce résultat pour calculer la somme de certaines séries numériques.

Démonstration hors programme.

On appelle régularisée de f la fonction définie sur \mathbb{R} par $t \mapsto \frac{1}{2} \lim_{h \rightarrow 0} (f(t+h) + f(t-h))$.

Les étudiants doivent savoir appliquer ce résultat pour calculer la somme de certaines séries numériques.

Fonctions de plusieurs variables

Les fonctions considérées dans cette section sont définies sur une partie de \mathbb{R}^2 ou \mathbb{R}^3 et à valeurs dans \mathbb{R} . L'étude des fonctions de plusieurs variables se veut résolument pratique : présentation de recherche d'extremums, résolution d'équations aux dérivées partielles simples.

a) Introduction à la topologie de \mathbb{R}^n ($n \leq 3$)

Norme et distance euclidienne dans \mathbb{R}^n .

Boule ouverte, boule fermée.

Partie bornée de \mathbb{R}^n .

Partie ouverte, partie fermée.

Point intérieur, point extérieur, point adhérent à une partie. Intérieur, frontière (ou bord), adhérence d'une partie de \mathbb{R}^n .

Tout développement sur les normes non euclidiennes est hors programme.

Notations $B_o(a, r)$, $B_f(a, r)$.

Chaque définition est assortie d'une figure.

Les caractérisations séquentielles sont hors programme.

b) Limite et continuité

Limite en un point adhérent, continuité en un point, continuité sur une partie.

Opérations.

Toute fonction réelle continue sur une partie fermée bornée de \mathbb{R}^n est bornée et atteint ses bornes.

L'étude de la continuité d'une fonction de plusieurs variables n'est pas un attendu du programme.

Démonstration hors programme.

c) Dérivées partielles

Dérivées partielles d'ordre 1 en un point intérieur.	Notations $\partial_i f(a)$, $\frac{\partial f}{\partial x_i}(a)$.
Gradient.	La notion de différentielle est hors programme.
Point critique.	Notation ∇f .
Fonction de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert. Opérations.	
Développement limité à l'ordre 1 d'une fonction de classe \mathcal{C}^1 .	Existence admise.
Dérivée de $t \mapsto f(x(t), y(t))$.	
Dérivées partielles de $(u, v) \mapsto h(f(u, v), g(u, v))$.	Les étudiants doivent connaître le cas particulier des coordonnées polaires et savoir étendre les deux résultats précédents au cas de trois variables.
Dérivées partielles d'ordre 2 en un point intérieur.	Notations $\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(a)$, $\partial_1 \partial_2 f(a)$.
Fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert. Opérations.	
Théorème de Schwarz.	Démonstration hors programme.

d) Équations aux dérivées partielles d'ordre 1

Exemples de résolution d'équations aux dérivées partielles du premier ordre.	Les étudiants doivent être capables d'utiliser un changement de variables suggéré dans les deux cas suivants : transformation affine, passage en coordonnées polaires.
--	--

e) Extremums d'une fonction de deux variables

Extremum global, extremum local.
 Si une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert de \mathbb{R}^2 admet un extremum local en un point, alors celui-ci est un point critique.
 Recherche d'extremums globaux sur une partie fermée bornée de \mathbb{R}^2 .



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie, physique et chimie (TPC)

Annexe 2

Programme de physique de 1^{ère} année

Programme de physique — TPC1

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique de la classe de TPC1 constitue un ensemble cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques qui préparent les étudiants à la deuxième année de classe préparatoire et, au-delà, à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de consolider les compétences de chaque étudiant, forgées durant le cycle terminal de la voie technologique du lycée, inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle de connaissances scientifiques par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur. En tant que science expérimentale, la physique est une discipline qui développe la curiosité, la créativité et l'analyse critique. Il est donc naturel que l'expérience se situe au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

L'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte le caractère incontournable des sciences numériques dans la formation des scientifiques, notamment dans le domaine de la simulation, et vise également à développer chez les étudiants des compétences transférables dans d'autres champs que le seul champ disciplinaire de la physique.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des modèles, des concepts et des théories. Le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle exige bien souvent une utilisation maîtrisée des mathématiques dont Galilée, fondateur de la physique expérimentale, soulignait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. De façon complémentaire, l'utilisation de l'outil numérique offre aujourd'hui aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation plus poussée du monde réel que ne le permettent les outils mathématiques usuels.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser des connaissances et des capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de la première année de classe préparatoire TPC1. Leur mise en œuvre s'appuie sur des problématiques concrètes qui mobilisent aussi les capacités expérimentales spécifiques, également exigibles, qui sont identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». La formation expérimentale doit reposer sur un apprentissage progressif et structuré de l'ensemble des capacités attendues, tout au long des deux années de classe préparatoire TPC. La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est articulée autour de trois thèmes fédérateurs : « **thème E – énergie : conversions et transferts** », « **thème M – mouvements et interactions** », et « **thème S – ondes et signaux** ». La présentation en deux colonnes « notions et contenus » et, en regard, « capacités exigibles » met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Certains items de cette seconde partie, identifiés en caractères gras dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils

doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants; l'annexe dédiée à cette composante en précise les objectifs et les attendus en termes de contenus comme de capacités exigibles.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique en fin d'année en TPC1.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression pour chacun des deux semestres. Celle-ci est laissée à la libre appréciation du professeur et relève de sa liberté pédagogique.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Chaque compétence est illustrée par un ensemble de capacités associées qui permettent d'en préciser le contour sans pour autant constituer une liste exhaustive. Certaines peuvent parfois relever de plusieurs compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les différentes compétences doivent être acquises à l'issue des deux années de formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétences	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> — Rechercher, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée. — Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...) — Énoncer ou dégager une problématique scientifique en prenant en compte ses différents aspects (technique, scientifique, sociétal). — Représenter la situation par un schéma modèle. — Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. — Relier le problème à une situation modèle connue. — Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser/Raisonner	<ul style="list-style-type: none"> — Formuler des hypothèses. — Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. — Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. — Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle, des lois physiques ou chimiques. — Estimer des ordres de grandeur. — Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. — Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de plusieurs documents.

Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> — Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. — Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photographie. — Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. — Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. — Construire des représentations graphiques à partir de données. — Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. — Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> — Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. — Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document ou dans de la bibliographie scientifique, à ses connaissances. — Discuter de la recevabilité d'une hypothèse, d'une information. — Analyser les résultats de manière critique. — Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...). — Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> — À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> ◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. ◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. ◦ appuyer son propos sur des supports appropriés. ◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.). ◦ citer l'origine des sources utilisées. — Écouter, confronter son point de vue.

Pour atteindre le plein niveau de maîtrise de ces compétences et de ces capacités, les étudiants doivent progressivement développer, dans les différentes activités proposées par le professeur, leur **autonomie**, leur **esprit d'initiative** et leur **esprit critique**. La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la poursuite d'études scientifiques, à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique, des questions liées à la recherche scientifique actuelle, des enjeux de citoyenneté comme l'engagement, la responsabilité individuelle et collective, la sécurité pour soi et autrui, ou des enjeux environnementaux et climatiques.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, le professeur organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires, pouvant être en langue anglaise, est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité. Lorsque

le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées;

- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des différents enseignements scientifiques de physique, de chimie, de mathématiques et d'informatique ainsi que l'enseignement de sciences en langue vivante (ESLV).

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, le professeur veillera soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Première partie

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants. Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur formation en première année de classe préparatoire TPC. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique. Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans une annexe du présent programme.

1 Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles; leur pleine maîtrise est donc bien un objectif de fin de seconde année. Elles sont communes aux enseignements de physique et de chimie et leur apprentissage s'effectue de manière coordonnée entre les professeurs concernés.

L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une relation fournie, l'incertitude-type d'une grandeur qui s'exprime en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, par une relation du type somme, différence, produit ou quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire – simulation de Monte-Carlo – permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, simuler un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation de Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

2 Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales générales que les étudiants doivent acquérir durant les séances de travaux pratiques en première année de classe préparatoire TPC1. Le travail des capacités présentées ci-dessous et leur consolidation se poursuivent en seconde année.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « Capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

2.1 Mesures de grandeurs physiques

Les activités expérimentales doivent développer, tout au long de la formation des étudiants, la capacité à mettre en œuvre un dispositif de mesure d'une grandeur physique, à choisir le matériel adapté et à l'utiliser de façon autonome, éventuellement à l'aide d'une notice succincte.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Grandeurs physiques diverses Acquisition et analyse d'une image numérique.	Acquérir (webcam, appareil photo numérique,...) l'image d'un phénomène physique sous forme numérique, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel pour conduire l'étude d'un phénomène.
Mesure de longueur à partir d'une photo ou d'une vidéo.	Évaluer, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique et en estimer la précision.
Mesures de durées et de fréquences Fréquence ou période : mesure directe au fréquence-mètre numérique, à l'oscilloscope ou via une carte d'acquisition.	Mettre en œuvre une méthode directe de mesure de fréquence ou de période.
Décalage temporel/différence de phase à l'aide d'un oscilloscope numérique.	Reconnaître une avance ou un retard de phase. Convertir un décalage temporel en une différence de phase et inversement. Repérer précisément une différence de phase nulle ou égale à π en mode XY.
Mesures électriques Mesure d'une tension : — mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. Mesure de l'intensité d'un courant : — mesure directe à l'ampèremètre numérique ; — mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. Mesure d'une résistance ou d'une capacité : — mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre ; — mesure indirecte d'une résistance à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension.	Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques : — choisir une résolution, un calibre et un nombre de points adaptés à la mesure ; — préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur un montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ; — définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête, etc.). — gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.
Caractérisation d'un dipôle quelconque.	Visualiser la caractéristique d'un dipôle à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.
Production d'un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.	Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.

<p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> — isolation, amplification, filtrage ; — sommation, intégration 	<p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.</p> <p>Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.</p> <p>Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p>
<p>Optique Former une image.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée.</p> <p>Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée.</p> <p>Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations...).</p> <p>Estimer une valeur approchée d'une distance focale.</p>
<p>Créer ou repérer une direction de référence.</p>	<p>Régler et mettre en œuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.</p>
<p>Analyser une image numérique.</p>	<p>Acquérir (webcam, appareil photographique numérique...) l'image d'un phénomène physique sous forme numérique, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel pour conduire l'étude d'un phénomène.</p>
<p>Mécanique Mesurer une masse.</p>	<p>Utiliser une balance de précision.</p> <p>Repérer la position d'un centre de masse.</p>
<p>Visualisation et décomposition d'un mouvement.</p>	<p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p>
<p>Mesure d'une accélération.</p>	<p>Mettre en œuvre un accéléromètre, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.</p>
<p>Mesure d'une action mécanique.</p>	<p>Utiliser un dynamomètre.</p>
<p>Thermodynamique Mesure d'une pression.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur de pression, en identifiant son caractère différentiel ou absolu.</p>
<p>Repérage d'une température.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur de température, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.</p> <p>Choisir le capteur en fonction de ses caractéristiques (linéarité, sensibilité, gamme de fonctionnement, temps de réponse), et du type de mesures à effectuer.</p>
<p>Bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>

3 Prévention du risque au laboratoire

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans tous les domaines recensés ci-après permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques lorsqu'ils évoluent au laboratoire de physique. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Prévention des risques au laboratoire Règles de sécurité au laboratoire.</p>	<p>Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire.</p> <p>Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.</p>
<p>Risque électrique.</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.</p>
<p>Risque optique.</p>	<p>Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.</p>
<p>Risques liés à la pression et à la température.</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.</p>

Deuxième partie

Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

Premier semestre	
Thème S – ondes et signaux	8
S.1 Formation des images	8
S.2 Signaux et composants électriques dans l'ARQS	9
S.3 Circuits linéaires du premier ordre	10
Thème E – énergie : conversions et transferts	11
E.1 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système	11
E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique	12
Thème M – mouvements et interactions	13
M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point	13
M.2 Lois de Newton	13
M.3 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel	15
Second semestre	
Thème M – mouvements et interactions	15
M.4 Mouvement de particules chargées dans des champs électriques et magnétiques, uniformes et stationnaires	15
Thème S – ondes et signaux	16
S.4 Oscillateurs électriques et mécaniques en régime libre	16
S.5 Régime sinusoïdal forcé	17
S.6 Propagation d'un signal	18
S.7 Induction électromagnétique	19
Thème E – énergie : conversions et transferts	20
E.3 Statique des fluides	20
E.4 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire	21
E.5 Machines thermiques	22

Premier semestre

Thème S – ondes et signaux

S.1 Formation des images

Dans cette partie, le professeur s'appuie sur les compétences expérimentales des étudiants dans le domaine de la formation des images pour mettre en évidence l'apport de la modélisation et d'une description algébrique du réel. De nombreuses applications technologiques peuvent être abordées; certaines sont précisées par le programme, d'autres sont laissées à la libre appréciation des enseignants (lunette, microscope, optique d'un smartphone, etc.).

Notions et contenus	Capacités exigibles
Sources lumineuses Modèle de la source ponctuelle monochromatique. Spectre	Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur. Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Modèle de l'optique géométrique Modèle de l'optique géométrique. Notion de rayon lumineux. Indice d'un milieu transparent. Réflexion, réfraction. Lois de Snell-Descartes.	Définir le modèle de l'optique géométrique. Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique. Établir la condition de réflexion totale.
Conditions de l'approximation de Gauss et applications Stigmatisme. Miroir plan.	Construire l'image d'un objet par un miroir plan.

Conditions de l'approximation de Gauss.	Énoncer les conditions de l'approximation de Gauss et ses conséquences. Relier le stigmatisme approché aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces dans l'approximation de Gauss.	Définir les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence. Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle. Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et de Newton. Établir et utiliser la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente. Former l'image d'un objet dans des situations variées.
Modèles de quelques dispositifs optiques L'œil. Punctum proximum, punctum remotum.	Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe. Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.
L'appareil photographique.	Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur. Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné. Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.
Système optique à plusieurs lentilles.	Modéliser, à l'aide de plusieurs lentilles, un dispositif optique d'utilisation courante.

S.2 Signaux et composants électriques dans l'ARQS

La partie « S.2 Signaux et composants électriques dans l'ARQS » pose les bases nécessaires à l'étude des circuits dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS). Si le programme se concentre sur l'étude des dipôles R , L et C , il est possible, lors des travaux pratiques, de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance spécifique préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Grandeurs électriques Charge électrique, intensité du courant électrique. Régime continu, régime variable quasi-stationnaire. Potentiel, potentiel de référence, tension. Puissance électrique.	Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charges électriques. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer des ordres de grandeur d'intensités, de tensions et de puissances dans différents domaines d'application.
Dipôles électriques usuels Source de tension.	Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin. Évaluer la résistance de sortie d'une source de tension réelle.
Système à comportement résistif.	Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance.

Association de deux résistances. Ponts diviseurs de tension et de courant.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Exploiter les relations des diviseurs de tension ou de courant. Mettre en évidence l'influence de la résistance d'entrée d'un voltmètre ou d'un ampèremètre sur les valeurs mesurées.
Système à comportement capacitif : modèle du condensateur idéal. Relation entre charge et tension ; capacité d'un condensateur. Énergie stockée.	Relier l'intensité algébriquement reçue à la tension aux bornes d'un condensateur. Exploiter l'expression fournie de la capacité d'un condensateur en fonction de ses caractéristiques. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur.
Système à comportement inductif : modèle de la bobine idéale. Relation entre intensité et tension ; inductance d'une bobine.	Relier l'intensité algébriquement reçue à la tension aux bornes d'une bobine. Exprimer l'énergie stockée dans une bobine.
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement.	Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être non-linéaire et mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental.

S.3 Circuits linéaires du premier ordre

La partie « **S.3 Circuits linéaires du premier ordre** » est consacrée à l'étude de l'évolution temporelle transitoire vers un régime permanent d'un système linéaire du premier ordre soumis à un échelon de tension ou en régime libre. Cette partie amène à opérer une distinction entre les régimes transitoires et permanents, et, plus généralement, permet d'introduire le modèle du système linéaire du premier ordre et de faire émerger la notion essentielle de temps caractéristique d'évolution.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle du circuit RC alimenté par une source idéale de tension constante. Charge et décharge d'un condensateur, temps caractéristique.	Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur. Déterminer en fonction du temps la tension aux bornes d'un condensateur dans le cas de sa charge ou de sa décharge. Exploiter la continuité de la tension aux bornes d'un condensateur. Déterminer un ordre de grandeur de la durée d'un régime transitoire.
Modèle du circuit RL série.	Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par l'intensité du courant dans le circuit. Exploiter la continuité du courant circulant dans une bobine. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.
Capteurs capacitifs. Capteurs inductifs.	Mettre en œuvre un capteur capacitif ou inductif et identifier les paramètres influençant ses performances.
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser un bilan énergétique sur le circuit RC série. Réaliser un bilan énergétique sur le circuit RL série.
Circuit du premier ordre à une ou deux mailles.	Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un circuit linéaire du premier ordre dans un circuit comportant une ou deux mailles et analyser ses caractéristiques. Capacité numérique : mettre en œuvre la méthode d'Euler à l'aide d'un langage de programmation pour simuler la réponse d'un système linéaire du premier ordre à une excitation de forme quelconque.

Thème E – énergie : conversions et transferts

Cette partie propose, en introduction, une présentation de différents états de la matière. La description d'un état d'équilibre thermodynamique d'un système à l'aide d'un jeu réduit de variables d'état s'appuie sur les modèles usuels du gaz parfait et de la phase condensée peu dilatable et peu compressible, dont les limites sont cependant mentionnées par comparaison avec les propriétés physiques de systèmes réels.

Le premier principe de la thermodynamique est ensuite énoncé et permet d'établir les premiers bilans énergétiques, dont la formulation rigoureuse constitue un des objectifs de formation privilégiés. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant, dès que possible, sur des dispositifs expérimentaux qui permettent leur acquisition progressive et authentique.

On utilise les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a désigne la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

E.1 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Les états de la matière État solide, liquide et gazeux. Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique. Distance moyenne entre particules.</p>	<p>Définir et caractériser les différents états de la matière. Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité. Citer quelques ordres de grandeur de distances moyennes entre entités dans un solide, un liquide et un gaz.</p>
<p>Système thermodynamique.</p>	<p>Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.</p>
<p>État d'équilibre thermodynamique et variables d'état.</p>	<p>Présenter les paramètres usuellement utilisés pour la description d'un système thermodynamique : pression, température, volume, densité volumique de particules, masse volumique. Associer qualitativement la pression aux propriétés physiques du système à l'échelle microscopique. Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Dédire une température d'une condition d'équilibre thermique.</p>
<p>Gaz parfait Modèle du gaz parfait.</p>	<p>Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.</p>
<p>Équation d'état du gaz parfait.</p>	<p>Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température. Citer et exploiter l'équation d'état des gaz parfaits.</p>
<p>Mélange idéal de gaz parfaits. Pression partielle. Loi de Dalton.</p>	<p>Donner la définition de la pression partielle. Exploiter la loi de Dalton.</p>
<p>Énergie interne du gaz parfait. Capacité thermique à volume constant d'un gaz considéré comme parfait.</p>	<p>Exprimer la variation de l'énergie interne d'un gaz parfait en fonction de la variation de température, la capacité thermique à volume constant étant donnée.</p>
<p>Phase condensée peu dilatable et peu compressible Modèle de la phase condensée peu dilatable et peu compressible.</p>	<p>Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.</p>
<p>Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée peu dilatable et peu compressible.</p>	<p>Exprimer la variation de l'énergie interne d'une phase condensée peu dilatable et peu compressible en fonction de la variation de température, la capacité thermique à volume constant étant donnée.</p>
<p>Description d'un corps pur en équilibre diphasé</p>	

Corps pur en équilibre diphasé. Diagramme de phases (P, T), point critique, point triple. Cas particulier de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v), pression de vapeur saturante, titre en vapeur.	Analyser un diagramme de phases expérimental (P, T) et nommer les différents changements de phase. Positionner les différentes phases d'un corps pur dans les diagrammes (P, T) et (P, v). Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v).
--	--

E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique

Cette partie, centrée sur le premier principe de la thermodynamique, aborde les bilans d'énergie. Les relations entre variables d'état thermodynamiques considérées dans cette partie se limitent exclusivement à celles qui relèvent du modèle du gaz parfait ou du modèle de la phase condensée peu dilatable et peu compressible. La loi de Laplace qui caractérise l'évolution adiabatique et réversible d'un gaz parfait n'est pas exigible, pas plus que ses conditions de validité. Elle peut néanmoins être utilisée à condition d'être fournie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transformations thermodynamiques Transformation thermodynamique d'un système. Transformations isochore, isobare et monobare. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur au système pour déterminer l'état d'équilibre final. Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes qui peuvent être modélisés par un thermostat ou dont la pression peut être supposée constante.
Premier principe de la thermodynamique. Bilans d'énergie. Premier principe de la thermodynamique.	Utiliser le premier principe de la thermodynamique entre deux états d'équilibre thermodynamique. Exploiter les propriétés d'extensivité et de fonction d'état de l'énergie interne.
Travail Travail des forces de pression.	Évaluer un travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron ou de Watt.
Transferts thermiques Modes de transferts thermiques.	Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection et rayonnement.
Puissance thermique proportionnelle à l'écart des températures du système étudié et du milieu extérieur au système. Modélisation de l'évolution de la température d'un système considéré comme peu compressible et peu dilatable au contact d'un thermostat.	Interpréter qualitativement le signe de la puissance thermique reçue par le système en fonction du signe de l'écart des températures du système étudié et du milieu extérieur au système. Effectuer un bilan d'énergie pour un système considéré comme peu compressible et peu dilatable en contact avec un thermostat : établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la température du système.
Fonction d'état enthalpie Fonction d'état enthalpie ; capacité thermique à pression constante d'un gaz parfait et d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable.	Exprimer le premier principe de la thermodynamique sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final. Exploiter les propriétés d'extensivité et de fonction d'état de l'enthalpie. Exprimer la variation d'enthalpie d'un gaz parfait ou d'une phase condensée peu dilatable et peu compressible en fonction de la variation de température, la capacité thermique à pression constante étant donnée. Citer la valeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.

Enthalpie massique de fusion, de vaporisation et de sublimation. Variation d'enthalpie associée à un changement d'état.	Réaliser un bilan énergétique en prenant en compte des changements d'état. Citer les ordres de grandeur de l'enthalpie massique de fusion et de vaporisation de l'eau. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie massique de changement d'état, etc.).
---	---

Thème M – mouvements et interactions

M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point

La partie « **M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point** » vise notamment à mettre en place les principaux systèmes de coordonnées : cartésiennes, polaires, cylindriques et sphériques. Le but est de permettre aux étudiants de disposer d'outils efficaces pour décrire une grande variété de mouvements de points. Pour atteindre cet objectif, il convient de les familiariser progressivement avec les projections et dérivations de vecteurs ainsi qu'avec l'algébrisation des grandeurs dans un contexte relevant de la physique. Enfin, cette partie est l'occasion de procéder à des analyses qualitatives des comportements cinématiques de systèmes réels assimilés à un point, notamment sur les exemples simples des mouvements rectilignes et circulaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Repérage dans l'espace et dans le temps Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement. Caractère absolu des distances et des intervalles de temps.	Citer une situation où la description classique de l'espace ou du temps est prise en défaut.
Cinématique du point Description du mouvement d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.	Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire géométriquement les composantes du vecteur vitesse en coordonnées cartésiennes et cylindriques. Établir les expressions des composantes des vecteurs position, déplacement élémentaire, vitesse et accélération dans les seuls cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Identifier les degrés de liberté du mouvement. Choisir un système de coordonnées adapté au problème.
Mouvement à vecteur accélération constant.	Exprimer le vecteur vitesse et le vecteur position en fonction du temps. Établir l'expression de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur position, du vecteur vitesse et du vecteur accélération en coordonnées polaires planes.
Repérage d'un point dont la trajectoire est connue.	Situer qualitativement la direction du vecteur vitesse et du vecteur accélération pour une trajectoire plane. Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.

M.2 Lois de Newton

Dans la partie « **M.2 Lois de Newton** », on cherche d'abord à renforcer les compétences des étudiants relatives à la mise en équations d'un problème, qu'il s'agisse des étapes de bilan des actions mécaniques, de représentation de la situation étudiée par un schéma adapté, de projection de la deuxième loi de Newton sur la base choisie, ou de résolution des équations

du mouvement. On cherche par ailleurs, sur l'exemple de quelques mouvements simples, à renforcer les compétences d'analyse qualitative d'une équation différentielle : stabilité des solutions, positions d'équilibre, type d'évolution, durée ou période typique d'évolution, etc. Cette pratique s'articule avec l'utilisation d'un langage de programmation pour résoudre des équations différentielles. Enfin, il s'agit aussi de confronter les étudiants aux limites de validité de certains modèles de forces, et ainsi de donner toute leur importance aux étapes de modélisation et de validation d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Quantité de mouvement Masse d'un système matériel. Conservation de la masse pour un système fermé.	Exploiter la conservation de la masse pour un système matériel fermé.
Quantité de mouvement d'un système matériel. Lien avec la vitesse du centre de masse d'un système fermé.	Réduire le mouvement d'un système matériel à celui d'un point. Écrire la quantité de mouvement d'un système matériel en fonction de la vitesse de son centre de masse : $\vec{p} = m \vec{v}(G)$
Première loi de Newton : principe d'inertie. Référentiels galiléens.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Modélisation d'une action mécanique par une force. Troisième loi de Newton.	Établir un bilan des actions mécaniques sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte en représentant les forces associées sur un schéma adapté.
Deuxième loi de Newton. Théorème de la quantité de mouvement.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre de masse d'un système matériel fermé dans un référentiel galiléen. Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
Force de gravitation. Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Étudier le mouvement d'un système modélisé par un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement.
Modèles d'une force de frottement fluide. Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute.	Exploiter, sans la résoudre analytiquement, une équation différentielle : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats obtenus par simulation numérique. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.
Modèle linéaire de l'élasticité d'un matériau.	Modéliser un comportement élastique par une loi de force linéaire; extraire une constante de raideur et une longueur à vide à partir de données mesurées ou fournies. Analyser la limite d'une modélisation linéaire à partir de documents expérimentaux. Mettre en œuvre un microcontrôleur lors d'un test de traction.
Système masse-ressort en l'absence de frottement. Pulsation propre.	Établir l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique; la résoudre compte tenu des conditions initiales. Identifier l'expression de la pulsation propre dans l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique. Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.
Tension d'un fil. Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.
Modèle des lois de frottement de glissement : lois de Coulomb.	Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.

M.3 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel

La partie « **M.3 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel** » vise à construire une démarche alternative et complémentaire pour l'étude d'une situation relevant de la mécanique – et plus généralement de la physique – fondée sur la conservation de certaines grandeurs – ici, l'énergie mécanique. Cette approche est l'occasion d'illustrer la capacité prédictive des analyses graphiques et numériques, par exemple pour pouvoir décrire un comportement à partir d'une représentation graphique de l'énergie potentielle dans le cas d'un mouvement conservatif.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Puissance, travail et énergie cinétique Puissance et travail d'une force dans un référentiel. Théorèmes de l'énergie cinétique et de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen, dans le cas d'un système modélisé par un point matériel.</p>	<p>Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force. Utiliser le théorème approprié en fonction du contexte.</p>
<p>Champ de force conservative et énergie potentielle Énergie potentielle. Lien entre un champ de force conservative et l'énergie potentielle.</p>	<p>Établir et citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (champ uniforme), de l'énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel) et de l'énergie potentielle élastique. Déterminer l'expression d'une force à partir de l'énergie potentielle pour un système à un degré de liberté. Dédire qualitativement, en un point du graphe d'une fonction énergie potentielle, le sens et l'intensité de la force associée.</p>
<p>Énergie mécanique Énergie mécanique. Théorème de l'énergie mécanique. Mouvement conservatif.</p>	<p>Distinguer force conservative et force non conservative. Justifier et exploiter la conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.</p>
<p>Mouvement conservatif à une dimension.</p>	<p>Identifier sur un graphe d'énergie potentielle une barrière et un puits de potentiel. Dédire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.</p>
<p>Positions d'équilibre. Stabilité.</p>	<p>Dédire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre. Analyser qualitativement la nature, stable ou instable, de ces positions.</p>
<p>Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable, approximation locale par un puits de potentiel harmonique.</p>	<p>Établir l'équation différentielle du mouvement au voisinage d'une position d'équilibre stable. Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre numériquement une équation différentielle du deuxième ordre non-linéaire et faire apparaître l'effet des termes non-linéaires.</p>

Second semestre

Thème M – mouvements et interactions

M.4 Mouvement de particules chargées dans des champs électriques et magnétiques, uniformes et stationnaires

Dans cette partie, l'accent est d'abord porté sur la production d'un champ électrique ou magnétique. L'examen de cartes de champs électrostatiques et magnétostatiques permet non seulement de localiser leurs sources dont la nature physique (charge ou courant électrique) est affirmée, mais aussi d'identifier les zones de l'espace où le champ, électrostatique ou magnétostatique, peut être modélisé par un champ uniforme. Cette approche prépare l'étude plus approfondie de l'électrostatique et de la magnétostatique menée en seconde année.

L'introduction de la force de Lorentz est ensuite le point de départ pour l'étude du mouvement d'une particule chargée

dans un champ électrique ou magnétique, uniforme et stationnaire, en évitant tout développement calculatoire excessif. Grâce à l'examen de situations concrètes et motivantes, les étudiants sont amenés à analyser des trajectoires, à conduire une réflexion sur les moyens qui peuvent être mis en œuvre pour accélérer une particule chargée. Cette étude peut être articulée avec celle menée en chimie au sujet de la spectrométrie de masse.

M.4.1 Champs électrique et magnétique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Champ électrique Sources de champ électrique ; cartes de champ électrique.	Tracer l'allure des cartes de champ électrique pour une charge ponctuelle et un condensateur plan. Identifier sur une carte de champ électrique les zones où le champ peut être modélisé par un champ uniforme. Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ électrique à partir d'expressions fournies. Citer l'ordre de grandeur de la rigidité diélectrique de l'air sec.
Champ magnétique Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Identifier sur une carte de champ magnétique les zones où le champ peut être modélisé par un champ uniforme. Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.

M.4.2 Mouvement de particules chargées

Notions et contenus	Capacités exigibles
Force de Lorentz exercée sur une particule chargée.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
Puissance de la force de Lorentz.	Justifier qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.
Énergie potentielle d'une charge soumise à un champ électrique.	Exprimer l'énergie potentielle d'une particule chargée en fonction de sa charge et du potentiel électrique.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant. Effectuer un bilan énergétique pour déterminer la valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétostatique.	Déterminer le rayon de la trajectoire et le sens de parcours.

Thème S – ondes et signaux

S.4 Oscillateurs électriques et mécaniques en régime libre

Dans le prolongement des parties M.2 et S.3, on aborde désormais l'étude temporelle de systèmes du deuxième ordre, en prenant en compte des effets dissipatifs. L'oscillateur LC est d'abord introduit de manière à mettre l'accent sur l'universalité du modèle de l'oscillateur harmonique. L'étude conjointe des oscillateurs amortis mécaniques et électriques s'ap-

puie sur leur analogie formelle et de comportement. L'approche énergétique peut aussi donner l'occasion de déterminer l'équation différentielle caractéristique de l'évolution temporelle d'un oscillateur harmonique à partir de la propriété de conservation de son énergie, qu'il soit de nature électrique ou mécanique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oscillateurs harmoniques Modèle du circuit LC .	Établir l'équation différentielle qui caractérise un circuit LC ; la résoudre compte tenu des conditions initiales. Identifier l'expression de la pulsation propre dans l'équation différentielle d'un circuit LC .
Oscillateurs amortis Modèles du circuit RLC série et de l'oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques. Prévoir qualitativement l'évolution du système à partir de considérations énergétiques. Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité. Décrire la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité. Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou indiciel en recherchant les racines du polynôme caractéristique et en tenant compte des conditions initiales. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire selon la valeur du facteur de qualité. Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électrique. Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un système linéaire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser un bilan énergétique.

S.5 Régime sinusoïdal forcé

La partie « **S.5 Régime sinusoïdal forcé** » est l'occasion d'introduire les notions d'impédance et de résonance. En lien avec la partie **S.4**, le professeur est invité à signaler l'existence d'analogies comportementales avec des situations relevant du domaine de la mécanique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Régime sinusoïdal forcé. Description du comportement d'un dipôle en régime sinusoïdal forcé. Impédance complexe.	Identifier une situation de régime sinusoïdal forcé. Utiliser la représentation complexe des signaux pour étudier le régime forcé. Interpréter physiquement le module et l'argument de l'impédance complexe d'un dipôle. Établir l'expression de l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine.
Association de deux impédances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.
Oscillateurs électriques soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	Relier qualitativement l'acuité d'une résonance au facteur de qualité. Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase. Mettre en œuvre un dispositif expérimental visant à caractériser un phénomène de résonance.

S.6 Propagation d'un signal

Dans la partie « **S.6 Propagation d'un signal** », il est recommandé de s'appuyer sur une approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de signaux qui se propagent et la traduction mathématique de cette propagation, sans qu'aucune référence ne soit faite à une équation d'onde. L'étude de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et du phénomène d'interférences associé permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par la différence de phase entre les deux signaux dans le signal résultant. L'étude des interférences lumineuses est l'occasion d'introduire la notion de différence de chemin optique et de la relier à la différence de phase. Les ondes stationnaires permettent d'illustrer le rôle des conditions aux limites dans l'apparition de modes propres.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Exemples de signaux.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, mécaniques, électromagnétiques.
<p>Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent</p> <p>Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Célérité, retard temporel.</p>	<p>Écrire les signaux sous la forme $f(x - ct)$ ou $g(x + ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t - x/c)$ ou $g(t + x/c)$. Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.</p>
<p>Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Phase, phase à l'origine, vitesse de phase, double périodicité spatiale et temporelle.</p>	<p>Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase. Relier la différence de phase entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation. Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et la différence de phase dues à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</p>
<p>Phénomène d'interférences</p> <p>Interférences de deux ondes de même fréquence. Interférences constructives, interférences destructives.</p>	<p>Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes. Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène. Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction de la différence de phase. Capacité numérique : représenter, à l'aide d'un langage de programmation, la somme de deux signaux sinusoïdaux périodiques synchrones en faisant varier la phase à l'origine de l'un des deux.</p>
<p>Interférences de deux ondes lumineuses de même fréquence, différence de chemin optique. Exemple du dispositif des trous de Young éclairé par une source monochromatique.</p>	<p>Déterminer les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous de Young. Relier la différence de phase entre les deux ondes à la différence de chemin optique. Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique linéarisée entre les deux ondes. Établir l'expression de l'interfrange. Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</p>
Ondes stationnaires mécaniques	

Modes propres.	<p>Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres.</p> <p>Exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur de la corde.</p> <p>Utiliser la propriété énonçant qu'une vibration quelconque d'une corde accrochée entre deux extrémités fixes se décompose en modes propres.</p> <p>Relier les notions sur les ondes stationnaires avec celles utilisées en musique.</p> <p>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.</p> <p>Capacité numérique : représenter, à l'aide d'un langage de programmation, une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples de celle du fondamental.</p>
----------------	---

S.7 Induction électromagnétique

S.7.1 Lois de l'induction

Cette partie repose intégralement sur la loi de Faraday, qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui constitue un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On évoque, à ce sujet, les différentes descriptions possibles d'un même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place pour le modéliser.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Flux d'un champ magnétique</p> <p>Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.</p>	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<p>Loi de Faraday</p> <p>Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.</p> <p>Loi de modération de Lenz.</p>	<p>Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.</p> <p>Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.</p>
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algèbre.

S.7.2 Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps

Dans la continuité de l'introduction de la loi de Faraday, on aborde le phénomène d'auto-induction, puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes. Le transformateur de tension est présenté comme un exemple concret de système exploitant ce couplage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Auto-induction</p> <p>Flux propre et inductance propre.</p>	<p>Différencier le flux propre des flux extérieurs.</p> <p>Utiliser la loi de modération de Lenz.</p> <p>Évaluer et citer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur.</p> <p>Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.</p>
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.

Cas de deux bobines en interaction Inductance mutuelle entre deux bobines.	Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en « influence totale ». Mesurer la valeur de l'inductance mutuelle entre deux bobines et étudier l'influence de la géométrie.
Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.	Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.
Transformateur de tension.	Établir la loi des tensions.
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.

S.7.3 Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

La conversion de puissance électromécanique constitue le cœur de cette partie, dans laquelle le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. L'objectif est de se doter d'expressions opérationnelles pour pouvoir étudier le mouvement d'une barre en translation dans un champ magnétique uniforme et stationnaire. Cette situation, simple sur plan géométrique, permet de dégager les concepts et les paramètres physiques pertinents pour la modélisation des convertisseurs électromécaniques, dont le haut-parleur électrodynamique fait figure d'exemple de référence.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Force de Laplace Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme. Résultante et puissance de la force de Laplace.	Distinguer le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme. Établir et exploiter l'expression de la résultante de la force de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Exprimer la puissance de la force de Laplace.
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique Rail de Laplace. Freinage par induction.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Expliquer l'origine des courants de Foucault et en citer des exemples d'utilisation.
Conversion de puissance électrique en puissance mécanique Haut-parleur électrodynamique.	Analyser le fonctionnement du haut-parleur électrodynamique en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace. Réaliser un bilan énergétique. Mettre en œuvre une étude expérimentale d'un haut-parleur électrodynamique visant à illustrer son principe de fonctionnement ou à déterminer quelques-unes de ses caractéristiques.

Thème E – énergie : conversions et transferts

E.3 Statique des fluides

La partie « E.3 Statique des fluides » s'organise en deux sous-parties. L'établissement de la relation fondamentale de la statique des fluides donne l'occasion de mettre en œuvre un raisonnement à l'échelle locale de la particule de fluide. Il

convient d'insister sur le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage. La notion de gradient d'un champ scalaire est hors programme. L'étude d'un fluide à l'équilibre hydrostatique dans le champ de pesanteur est ensuite conduite à l'aide de deux exemples : le modèle de l'atmosphère isotherme et la modélisation du champ de pression dans un fluide considéré comme incompressible. L'utilisation de l'outil numérique permet d'aller au-delà de ces modèles introductifs pour s'approcher d'une description plus réaliste.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Pression dans un fluide au repos Forces volumiques, forces surfaciques. Résultante de forces de pression sur une surface.</p>	<p>Citer des exemples de forces surfaciques ou volumiques. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Déterminer l'expression ou la valeur de la résultante des forces de pression sur une surface plane.</p>
<p>Statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme.</p>	<p>Établir la relation $\frac{dP}{dz} = \pm \rho g$.</p>
<p>Équilibre hydrostatique dans le champ de pesanteur terrestre Modèle de l'atmosphère isotherme. Échelle de hauteur caractéristique de variation de la pression.</p>	<p>Établir l'expression de la pression en fonction de l'altitude dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait. Citer la valeur de la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer. Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, étudier les variations de température et de pression dans l'atmosphère.</p>
<p>Distribution de pression dans un fluide homogène incompressible.</p>	<p>Établir l'expression de la pression en fonction de la profondeur dans le cas d'un fluide incompressible.</p>
<p>Poussée d'Archimède.</p>	<p>Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède.</p>

E.4 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire

La partie « E.4 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire » s'appuie sur les compétences développées par les étudiants dans la voie technologique du lycée. Il s'agit ici d'introduire les outils théoriques nécessaires à la description de systèmes hydrauliques sur le plan énergétique. Le premier principe de la thermodynamique est appliqué à l'étude de l'écoulement stationnaire d'un fluide dans un système hydraulique. Sa démonstration permet non seulement de comprendre pourquoi la fonction d'état enthalpie intervient mais aussi d'insister sur le fait que les différentes variations sont calculées entre l'entrée et la sortie du système. Pour autant, cette démonstration n'est pas exigible des étudiants. La relation de Bernoulli est admise dans le cas particulier de l'écoulement adiabatique et stationnaire d'un fluide considéré comme incompressible, la parenté de sa formulation avec le premier principe appliqué à l'étude de l'écoulement stationnaire d'un fluide étant soulignée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Bilans de masse. Débit de masse. Conservation du débit de masse pour un écoulement stationnaire.</p>	<p>Établir et exploiter un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert ou fermé adapté.</p>
<p>Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire Premier principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire dans un système muni d'une seule entrée et d'une seule sortie. Travail utile et transfert thermique massiques.</p>	<p>Exploiter le premier principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire, en termes de grandeurs massiques, notamment pour l'étude d'un détenteur, d'un compresseur, d'une turbine, d'un échangeur thermique.</p>
<p>Diagramme (P, h) d'un fluide réel.</p>	<p>Repérer l'état thermodynamique d'un fluide par un point sur le diagramme. Décrire qualitativement ou quantitativement l'état thermodynamique d'un fluide repéré par un point du diagramme.</p>

Cas particulier de l'écoulement adiabatique et stationnaire d'un fluide considéré comme incompressible.

Relation de Bernoulli pour l'écoulement adiabatique et stationnaire d'un fluide considéré comme incompressible dans un système muni d'une seule entrée et d'une seule sortie.

Exploiter la relation de Bernoulli, fournie sous la forme $\frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) \pm g(z_2 - z_1) = w_u$, en procédant, le cas échéant, à la simplification de termes négligeables.

E.5 Machines thermiques

La partie « **E.5 Machines thermiques** » se limite à la modélisation du fonctionnement d'une machine thermique par une évolution cyclique ditherme. Elle s'inscrit dans le prolongement de la section **E.4** où sont étudiés, sur le plan énergétique, différents éléments hydrauliques constitutifs de machines thermiques réelles. La limitation de la performance d'une machine thermique imposée par le second principe de la thermodynamique, vu en deuxième année, est abordée grâce à l'inégalité de Clausius, admise à ce stade de la formation des étudiants. Le recours au diagramme (P, h) d'un fluide réel permet d'étudier des situations concrètes, de se libérer de calculs excessifs et de s'interroger sur les limites des modèles de fluides idéalisés. Les diagrammes (T, s) sont hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Application du premier principe de la thermodynamique aux machines thermiques cycliques dithermes. Rendement, efficacité.	Décrire le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme. Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme. Étudier des propriétés des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes (P, h) . Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Citer quelques ordres de grandeur des rendements ou efficacités des machines thermiques réelles actuelles. Expliquer le principe de la cogénération.
Inégalité de Clausius. Limitation du rendement ou de l'efficacité d'une machine thermique cyclique ditherme.	Exploiter l'inégalité de Clausius fournie. Identifier quelques phénomènes physiques responsables de la limitation du rendement ou de l'efficacité d'une machine thermique.

Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux basse fréquence
- Multimètre numérique
- Multiplieur analogique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)
- Microcontrôleur

3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Dynamomètre
- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique
- Thermomètre ou thermocouple
- Calorimètre
- Machines thermiques dithermes

Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique. La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il est complété dans le programme de seconde année. Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité, sont traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$.
Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions.
2. Équations différentielles	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.

Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$.	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$).
Dérivée. Notation $\frac{dx}{dt}$.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux; interpréter graphiquement.
Développements limités.	Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.
Valeur moyenne.	Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Déterminer un comportement asymptotique; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni par un formulaire.
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Utiliser leur effet sur l'orientation de l'espace.

Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle. Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Citer les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\pi/2 \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclut l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que les capacités exigibles en fin de première année.

Domaines numériques	Capacités exigibles
1. Outils graphiques	
Représentation graphique d'un nuage de points.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour représenter un nuage de points.
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer la courbe représentative d'une fonction.
Courbes planes paramétrées.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer une courbe plane paramétrée.
2. Équations algébriques	
Résolution d'une équation algébrique ou d'une équation transcendante : méthode dichotomique.	Déterminer, en s'appuyant sur une représentation graphique, un intervalle adapté à la recherche numérique d'une racine par une méthode dichotomique. Mettre en œuvre une méthode dichotomique afin de résoudre une équation avec une précision donnée. Utiliser la fonction <code>bisect</code> de la bibliothèque <code>scipy.optimize</code> (sa spécification étant fournie).
Systèmes linéaires de n équations indépendantes à n inconnues.	Définir les matrices A et B à la représentation matricielle $AX = B$ du système à résoudre. Utiliser la fonction <code>solve</code> de la bibliothèque <code>numpy.linalg</code> (sa spécification étant fournie).
3. Intégration – Dérivation	

Calcul approché d'une intégrale sur un segment par la méthode des rectangles.	Mettre en œuvre la méthode des rectangles pour calculer une valeur approchée d'une intégrale sur un segment.
Calcul approché du nombre dérivé d'une fonction en un point.	Utiliser un schéma numérique pour déterminer une valeur approchée du nombre dérivé d'une fonction en un point.
4. Équations différentielles	
Équations différentielles d'ordre 1.	Mettre en œuvre la méthode d'Euler explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1.
Équations différentielles d'ordre supérieur ou égal à 2	Transformer une équation différentielle d'ordre n en un système différentiel de n équations d'ordre 1. Utiliser la fonction <code>odeint</code> de la bibliothèque <code>scipy.integrate</code> (sa spécification étant fournie).
5. Probabilité - statistiques	
Variable aléatoire.	Utiliser les fonctions de base des bibliothèques <code>random</code> et/ou <code>numpy</code> (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction <code>hist</code> de la bibliothèque <code>matplotlib.pyplot</code> (sa spécification étant fournie) pour représenter les résultats d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire. Déterminer la moyenne et l'écart-type d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire.
6. Traitement de données numériques	
Régression linéaire.	Utiliser la fonction <code>polyfit</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données. Utiliser la fonction <code>random.normal</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour simuler un processus aléatoire.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie, physique et chimie (TPC)

Annexe 3

Programme de chimie de 1^{ère} année

Programme de chimie — TPC1

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de chimie de la classe de TPC1 est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques préparant les étudiants à la deuxième année de classe préparatoire et, au-delà, à un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant ou de scientifique. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences déjà travaillées au lycée inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant.

Parce que la chimie est avant tout une science expérimentale qui développe la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours, en travaux dirigés ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier d'ingénieur, de chercheur ou de scientifique.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques, notamment dans le domaine de la simulation. Ces sciences offrent aujourd'hui aux étudiants la possibilité de modélisations numériques complexes, permettant de décrire plus finement le monde réel.

Afin justement de pouvoir élaborer des modèles en prise avec la réalité, les étudiants doivent apprendre à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des concepts et des théories. La démarche de modélisation occupe donc une place centrale dans le programme et l'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à apprendre à mobiliser connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de chapitres portant sur les transformations de la matière d'une part et la structure et les propriétés physiques et chimiques de la matière d'autre part, des modélisations macroscopiques et microscopiques venant rendre compte des phénomènes de plus en plus précisément. La présentation en deux colonnes « notions et contenus » et « capacités exigibles » met en valeur les éléments clés constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, des reprises sont effectuées en enrichissant les descriptions ; par exemple, les transformations sont essentiellement modélisées macroscopiquement au premier semestre, puis progressivement des descriptions microscopiques sont envisagées et enfin un dialogue entre les deux niveaux de description macroscopique-microscopique est engagé.

Certains items de cette seconde partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants; l'annexe dédiée à cette composante en précise les objectifs.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie et de physique en fin de l'année de TPC1.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour l'ensemble des étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression pour chacun des deux semestres; celle-ci relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétences	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> — Rechercher, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée. — Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, représentation graphique, tableau, ...). — Énoncer ou dégager une problématique scientifique. — Représenter la situation par un schéma modèle. — Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. — Relier le problème à une situation modèle connue. — Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser / Reasonner	<ul style="list-style-type: none"> — Formuler des hypothèses. — Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. — Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. — Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle, des lois physiques ou chimiques. — Évaluer des ordres de grandeur. — Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. — Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de plusieurs documents.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> — Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, d'un protocole, d'un modèle. — Extraire une information d'un texte, d'une représentation graphique, d'un tableau, d'un schéma, d'une photographie. — Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. — Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. — Effectuer des représentations graphiques à partir de données. — Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. — Conduire une analyse dimensionnelle.

Valider	<ul style="list-style-type: none"> — Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. — Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. — Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. — Analyser les résultats de manière critique. — Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, ...). — Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> — À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> ◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. ◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. ◦ appuyer son propos sur des supports appropriés. ◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, ...). — Écouter, confronter son point de vue.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la poursuite d'études scientifiques, à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme par exemple la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'éducation à l'**environnement** et au **développement durable**, le **réchauffement climatique**.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires, pouvant être en langue anglaise, est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques, physique, mathématiques et informatique, ainsi qu'avec l'enseignement de sciences en langue vivante (ESLV).

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, l'enseignant veillera soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Première partie

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**. D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure en Annexe 1 du présent programme.

1 Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année. Elles sont communes aux enseignements de physique et de chimie et leur apprentissage s'effectue de manière coordonnée entre les enseignants.

L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de résultats expérimentaux, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur qui s'exprime en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de type simulation de Monte-Carlo permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, simuler un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation de Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

2 Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent avoir acquises, durant les séances de travaux pratiques, à l'issue de la première année. Une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes – repérés en gras dans le corps du programme – peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'organiseraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour d'un appareil de mesure ne sauraient être l'objectif unique d'une séance, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion de l'étude d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées en quatre domaines en chimie, les deux premiers étant davantage transversaux :

2.1 Prévention du risque au laboratoire de chimie

2.2 Mesures de grandeurs physiques

2.3 Synthèses chimiques

2.4 Analyses qualitatives et quantitatives

Cette structuration ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. En effet, lors de la mise en œuvre d'une synthèse au laboratoire, il peut être utile de procéder à une analyse du produit formé ou à une mesure de grandeur physique caractéristique et, bien entendu, il est indispensable de prendre en compte les consignes de sécurité.

Par ailleurs, il convient de développer les compétences de la démarche scientifique et de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative des étudiants lors des activités expérimentales.

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des capacités ci-dessous figure en **Annexe 1** du programme.

2.1 Prévention du risque chimique au laboratoire

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation, au rejet et au stockage des espèces chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Prévention du risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H), conseils de prudence (P). Fiches de données de sécurité (FDS).	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et aux conditions de stockage des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

2.2 Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : — Volume — Masse — pH — Conductance et conductivité — Tension — Température — Pouvoir rotatoire — Indice de réfraction — Absorbance et transmittance	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Distinguer les instruments de verrerie <i>In et Ex</i> . Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de composition connue avec le matériel approprié. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Utiliser un appareil de mesure (balance, pH-mètre, conductimètre, voltmètre, thermomètre, réfractomètre, spectrophotomètre, polarimètre) en s'appuyant sur une notice. Mettre en œuvre des mesures calorimétriques à pression constante. Choisir les électrodes adaptées à une mesure électrochimique. Construire un dispositif électrochimique à partir de sa représentation symbolique. Étalonner une chaîne de mesure.

2.3 Synthèses chimiques

Au cours de la première année, l'étudiant acquiert la maîtrise de différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses et les fondements théoriques de ces techniques, en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées. Progressivement, il est invité à proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Les différentes techniques utilisées permettent de réaliser les opérations de :

- chauffage et refroidissement;
- séparation et purification : extraction liquide-liquide ou liquide-solide, filtrations, séchage d'un liquide ou d'un solide, séparation avec usage de l'évaporateur rotatif, recristallisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transformation chimique	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.
Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel.	Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat. Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur. Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant, contrôler et réguler le reflux.
Suivi de l'évolution de la transformation.	Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
Séparation et purification	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'une espèce chimique, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures.
Séparation de deux liquides non miscibles.	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase.

Séparation de deux espèces chimiques dissoutes dans une phase liquide.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Séparation d'un soluté du solvant.	Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif.
Séparation d'un liquide et d'un solide.	Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.
Lavage d'un solide.	Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide.	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.
Séchage d'un solide.	Sécher un solide dans une étuve. Estimer, par des mesures de masse, l'efficacité du séchage.
Séchage d'un liquide.	Utiliser un desséchant solide et estimer correctement, par l'observation, la quantité à utiliser.

2.4 Analyses qualitatives et quantitatives

Au cours de la première année, l'étudiant acquiert la maîtrise de différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives pour caractériser une espèce chimique, en contrôler la pureté ou la doser. L'étudiant sait distinguer les méthodes d'analyse destructives et non destructives et développe progressivement la capacité à proposer une stratégie de mesures de concentrations ou de quantités de matière, une méthode de caractérisation d'une espèce chimique, tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié.

Les techniques utilisées lors des analyses qualitatives et quantitatives sont les suivantes : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, spectrophotométrie UV-visible, polarimétrie, réfractométrie, chromatographie sur couche mince.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Caractérisation d'une espèce chimique et contrôle de sa pureté	Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.
Chromatographies sur couche mince.	Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour la caractérisation d'une espèce chimique et le suivi d'une transformation. Justifier le choix de la méthode de révélation utilisée.
Détermination expérimentale de grandeurs physiques ou spectroscopiques caractéristiques de l'espèce chimique (les principes théoriques de la RMN sont hors programme).	Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques. Mesurer une température de fusion. Mesurer un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire. Mesurer une absorbance. Déterminer un coefficient d'absorption molaire en spectrophotométrie UV-visible. Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'un produit synthétisé avec celles du produit commercial. À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.
Dosages par étalonnage	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-visible.

<p>Dosages par titrage Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.</p> <hr/> <p>Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.</p>	<p>Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur ou d'aspect observé). Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage.</p> <hr/> <p>Exploiter une courbe de titrage pour déterminer la quantité de matière, masse ou concentration de l'espèce titrée. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre. Utiliser un logiciel de simulation pour tracer des courbes de distribution et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale. Justifier la nécessité d'effectuer un titrage indirect. Distinguer équivalence et repérage de fin de titrage.</p>
<p>Suivi cinétique de transformations chimiques Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de température.</p>	<p>Choisir une méthode de suivi prenant en compte la facilité de mise en œuvre, les propriétés des espèces chimiques étudiées, la durée de la transformation estimée ou fournie. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse. Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.</p>

Deuxième partie

Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

Premier semestre	
1. Transformations de la matière	9
1.1 Description et évolution d'un système vers un état final lors d'une transformation chimique	10
1.2 Évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation chimique	11
2. Relations entre structure des entités chimiques, propriétés physiques et réactivité	12
2.1 Structure des entités chimiques	12
2.2 Relations entre structure des entités chimiques et propriétés physiques macroscopiques	13
2.3 Réactivité des espèces organiques et premières applications en synthèse	14
3. Structures microscopiques et propriétés physiques des solides	16
Deuxième semestre	
4. Transformations de la matière	18
4.1 Évolution d'un système et mécanisme réactionnel	18
4.2 Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques	19
5. Transformations chimiques en solution aqueuse	19
5.1 Réactions acide-base et de précipitation	19
5.2 Réactions d'oxydo-réduction	20
6. Réactivité, transformations en chimie organique et stratégie de synthèse	21
6.1 Techniques spectroscopiques de caractérisation	22
6.2 Réactions d'oxydo-réduction en chimie organique	23
6.3 Activation de groupes caractéristiques	23
6.4 Protection de groupes caractéristiques et stratégie de synthèse	24

Premier semestre

1. Transformations de la matière

L'objectif de cette partie est d'amener les étudiants à mobiliser de manière autonome les notions et modèles pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Il convient que les problématiques abordées, les illustrations et les applications prennent largement appui sur des transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, en milieu industriel ou dans le monde du vivant.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- décrire un système physico-chimique avec méthode et en utilisant un vocabulaire scientifique précis;
- effectuer une distinction entre les mondes des objets et des phénomènes (systèmes physico-chimiques, transformations chimiques) et le monde des modèles (réaction chimique comme modèle d'une transformation, lois d'évolution temporelle comme modèle macroscopique de l'évolution);
- exploiter les outils de description ou d'analyse expérimentale des systèmes chimiques pour modéliser leur évolution;
- proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence;
- confronter les prévisions d'un modèle avec des résultats expérimentaux;
- traduire, en langage de programmation, les démarches mises en œuvre pour déterminer l'état final d'un système ou pour exploiter des résultats expérimentaux et les confronter à des modèles.

1.1 Description et évolution d'un système vers un état final lors d'une transformation chimique

Les concepts développés dans cette partie permettent d'envisager l'optimisation des synthèses ou des analyses, tout à la fois pour obtenir davantage de produit désiré, réduire des produits secondaires non désirés ou favoriser une réaction support d'une analyse.

L'étude quantitative de l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique, est réalisée à partir d'une modélisation par une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Il s'agit de prévoir le sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et de déterminer leur composition dans l'état final.

L'utilisation d'un langage de programmation permet l'étude, le cas échéant, d'un système siège d'une transformation chimique modélisée par une réaction unique et pour lequel la résolution analytique exacte est difficile.

Les compétences relatives à cette partie du programme sont ensuite mobilisées régulièrement au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de la thermodynamique chimique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Système physico-chimique Espèces physico-chimiques.</p>	<p>Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système.</p>
<p>Corps purs et mélanges : concentration en quantité de matière, fraction molaire, pression partielle. Variables intensives et extensives. Composition d'un système physico-chimique. Modèle du gaz parfait : équation d'état.</p>	<p>Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes. Reconnaître le caractère extensif ou intensif d'une variable. Utiliser l'équation d'état du gaz parfait dans le cas d'un système gazeux.</p>
<p>Transformation chimique d'un système Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques. Équation de réaction; constante thermodynamique d'équilibre.</p>	<p>Écrire l'équation de la réaction (ou des réactions) qui modélise(nt) une transformation chimique donnée.</p> <p>Déterminer une constante thermodynamique d'équilibre et tester l'influence de différents paramètres sur l'état d'équilibre d'un système.</p>
<p>Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : avancement, activité, quotient de réaction, critère d'évolution.</p>	<p>Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélanges de gaz parfaits avec référence à l'état standard. Exprimer le quotient de réaction. Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système chimique.</p>
<p>Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.</p>	<p>Identifier un état d'équilibre chimique. Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique du système et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Capacité numérique : déterminer, à l'aide d'un langage de programmation, l'état final d'un système, siège d'une transformation, modélisée par une réaction unique à partir des conditions initiales et de la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre.</p>
<p>Optimisation d'un procédé chimique : — par modification de la valeur de K° ; — par modification de la valeur du quotient de réaction.</p>	<p>Identifier les paramètres d'influence d'un état d'équilibre et leur contrôle pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.</p>

1.2 Évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation chimique

L'étude de l'évolution temporelle d'un système chimique permet, dans un premier temps, de dégager expérimentalement les facteurs cinétiques concentration et température et de les mettre en œuvre en stratégie de synthèse et d'analyse. Cette mise en évidence est prolongée par les premières modélisations macroscopiques d'évolution des concentrations avec des lois de vitesse d'ordre simple et d'influence de la température avec la loi d'Arrhenius.

Les déterminations d'ordre global ou apparent mettent en œuvre la méthode différentielle ou intégrale, et peuvent s'effectuer à l'aide de logiciels dédiés ou d'un langage de programmation, pour l'exploitation des mesures dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité.

La modélisation microscopique par le biais des mécanismes réactionnels est présentée lors des premières synthèses en chimie organique (partie 2.3). Elle est approfondie ultérieurement avec une approche plus exhaustive des mécanismes et leur validation par confrontation des lois de vitesse issues du modèle et des résultats expérimentaux (en partie 4.1).

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Cinétique en réacteur fermé de composition uniforme Vitesse volumiques de consommation d'un réactif et de formation d'un produit. Vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique (supposée sans accumulation d'intermédiaires).</p>	<p>Relier la vitesse de réaction, dans les cas où elle est définie, à la vitesse volumique de consommation d'un réactif ou de formation d'un produit.</p>
<p>Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent. Temps de demi-vie d'un réactif, temps de demi-réaction.</p>	<p>Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</p> <p>Exprimer, pour une transformation modélisée par une seule réaction chimique, la loi de vitesse si la réaction chimique admet un ordre et déterminer la valeur de la constante de vitesse à une température donnée. Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode numérique ou graphique. Déterminer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction. Confirmer la valeur d'un ordre par la méthode intégrale, en se limitant strictement à une décomposition d'ordre 0, 1 ou 2 d'un unique réactif, ou se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques.</p> <p>Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation ou d'un logiciel dédié, et à partir de données expérimentales, tracer l'évolution temporelle d'une concentration, d'une vitesse volumique de formation ou de consommation, d'une vitesse de réaction et tester une loi de vitesse donnée.</p>
<p>Loi empirique d'Arrhenius; énergie d'activation.</p>	<p>Déterminer l'énergie d'activation d'une réaction chimique.</p> <p>Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une réaction chimique à partir de valeurs de la constante cinétique à différentes températures.</p>
<p>Facteurs concentration et température en stratégie de synthèse et d'analyse : dilution, chauffage, reflux, trempé.</p>	<p>Reconnaître, dans un protocole, des opérations visant à augmenter ou à diminuer une vitesse de réaction.</p>

2. Relations entre structure des entités chimiques, propriétés physiques et réactivité

Décrivant la matière au niveau macroscopique par des espèces chimiques aux propriétés physiques et chimiques caractéristiques, les chimistes la modélisent au niveau microscopique par des entités chimiques dont les structures électroniques et géométriques permettent d'interpréter et de prévoir certaines de ces propriétés.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- utiliser le tableau périodique des éléments pour déterminer ou justifier des structures d'entités et des propriétés microscopiques (polarité, polarisabilité, amphiphilie, nucléophilie, électrophilie)
- s'approprier les outils de description des entités chimiques et leur complémentarité dans la description des interactions intermoléculaires;
- relier structure et propriétés microscopiques aux grandeurs et comportements macroscopiques (cohésion, solubilité, miscibilité, températures de changement d'état, tensioactivité);
- appréhender la notion de solvant, de tensioactif, d'émulsion au niveau microscopique à travers les interactions intermoléculaires et au niveau macroscopique par leur utilisation au laboratoire, dans l'industrie et dans la vie courante;
- maîtriser et utiliser différentes représentations schématiques d'une entité chimique;
- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer le choix d'un mécanisme réactionnel en synthèse organique.

2.1 Structure des entités chimiques

L'étude de la constitution de la matière s'appuie sur le tableau périodique des éléments, outil essentiel des chimistes, dans l'objectif de développer progressivement les compétences relatives à l'utilisation des informations qu'il contient pour prévoir, dans cette partie, le nombre de liaisons d'un atome et la nature (apolaire, polaire, ionique) des liaisons chimiques.

En première année, on se limite au modèle de Lewis de la liaison covalente localisée et délocalisée pour rendre compte des structures et propriétés des entités chimiques; le modèle quantique de la liaison avec les orbitales atomiques et moléculaires est abordé uniquement en seconde année.

Le modèle de Lewis permet, pour les entités chimiques organiques, d'introduire les notions d'isomérisation de configuration et de conformation. Les ordres de grandeur des énergies de liaison et de la barrière conformationnelle permettent de sensibiliser à la solidité et à la flexibilité des édifices moléculaires.

Sans donner lieu à une étude systématique, la nomenclature IUPAC s'enrichit au fur et à mesure des besoins pour représenter une entité chimique organique à partir de son nom, en tenant compte de la donnée d'éventuelles informations stéréochimiques et en utilisant un type de représentation donné.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle de Lewis de la liaison covalente Liaison covalente localisée; longueur et énergie de la liaison covalente. Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion monoatomique ou polyatomique (étude limitée aux éléments des blocs s et p).	Citer l'ordre de grandeur de longueurs et d'énergies de liaison covalente. Déterminer, pour les éléments des blocs s et p, le nombre d'électrons de valence d'un atome à partir de la position de l'élément dans le tableau périodique. Citer les éléments des périodes 1 à 3 du tableau périodique (nom, symbole, numéro atomique). Établir un ou des schémas de Lewis pertinent(s) pour une molécule ou un ion.
Liaison covalente délocalisée : mésomérisation.	Identifier et représenter les enchaînements donnant lieu à une délocalisation électronique. Mettre en évidence une éventuelle délocalisation électronique à partir de données expérimentales.
Géométrie et polarité des entités chimiques Structure géométrique d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Modèle VSEPR. Représentation de Cram.	Associer qualitativement la géométrie d'une entité à la minimisation de son énergie. Prévoir et interpréter les structures de type AX_n avec $n \leq 4$ et AX_pE_q , avec $p + q = 3$ ou 4.

Électronégativité : liaison polarisée, moment dipolaire, molécule polaire.	Comparer les électronégativités de deux atomes à partir de données ou de leurs positions dans le tableau périodique. Prévoir la polarisation d'une liaison à partir des électronégativités comparées des deux atomes mis en jeu. Relier l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent à la structure géométrique d'une molécule. Déterminer direction et sens du vecteur moment dipolaire d'une liaison ou d'une molécule.
Structure des entités chimiques organiques Isomérisation de constitution. Stéréoisomérisation de conformation en série aliphatique non cyclique ; ordre de grandeur de la barrière conformationnelle. Représentation de Newman. Représentation topologique.	Comparer la stabilité de plusieurs conformations. Interpréter la stabilité d'un conformère donné.
Stéréoisomérisation de configuration : chiralité, énantiomérisation, diastéréoisomérisation, descripteurs stéréochimiques R, S et Z, E.	Attribuer les descripteurs stéréochimiques aux centres stéréogènes. Déterminer la relation d'isomérisation entre deux isomères. Représenter une entité chimique organique à partir de son nom, fourni en nomenclature systématique, en tenant compte de la donnée d'éventuelles informations stéréochimiques, en utilisant un type de représentation donné.
Activité optique, pouvoir rotatoire, loi de Biot.	Relier la valeur du pouvoir rotatoire à la composition d'un mélange de stéréoisomères. Déterminer la composition d'un système chimique ou suivre une transformation chimique en utilisant l'activité optique.
Séparation de diastéréoisomères et d'énantiomères.	Citer des analogies et différences de propriétés entre des diastéréoisomères et des énantiomères. Reconnaître des protocoles de séparation de stéréoisomères.

2.2 Relations entre structure des entités chimiques et propriétés physiques macroscopiques

L'étude des interactions entre entités a pour objectif d'interpréter, de prévoir ou de comparer certaines propriétés physiques : température de changement d'état, miscibilité, solubilité, formation de micelles, d'émulsions. Ces notions sont réinvesties lors de l'étude des chromatographies sur couche mince et en phase gazeuse.

De nombreuses illustrations et applications dans la vie courante ou au niveau du laboratoire (choix de solvant pour les synthèses ou les extractions ; séparation par chromatographie sur colonne) ou dans le domaine du vivant (double couche et solubilisation des médicaments) peuvent être proposées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Interactions entre entités Interactions de van der Waals, polarisabilité. Liaison hydrogène (interaction par pont hydrogène). Ordres de grandeur énergétiques des interactions entre entités.	Lier la polarisabilité d'un atome à sa position dans le tableau périodique. Lier qualitativement la valeur des énergies d'interactions intermoléculaires à la polarité et la polarisabilité des molécules.
Changements d'état Température de changement d'état de corps purs moléculaires.	Prévoir ou interpréter les températures de changement d'état de corps purs moléculaires par l'existence d'interactions de van der Waals ou de liaisons hydrogène.

<p>Solubilité, miscibilité Grandeurs caractéristiques et propriétés de solvants moléculaires : moment dipolaire, permittivité relative, caractère protogène. Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.</p>	<p>Associer une propriété d'un solvant moléculaire à une ou des grandeurs caractéristiques. Interpréter la miscibilité totale, partielle ou nulle de deux solvants. Interpréter la solubilité d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.</p>
<p>Séparation d'espèces d'un mélange : extraction par solvant, dissolution, précipitation, lavage. Constante de partage, log P.</p>	<p>Déterminer une constante de partage. Réaliser une extraction, un lavage et les interpréter en termes de solubilité, miscibilité, constante de partage, ou log P.</p>
<p>Chromatographies Chromatographie sur couche mince (CCM), rapport frontal. Chromatographie en phase gazeuse (CPG), temps de rétention.</p>	<p>Identifier la phase stationnaire et la phase mobile. Identifier la présence d'une espèce chimique dans un échantillon à partir de son chromatogramme (rapport frontal ou référence). Interpréter l'ordre d'élution des différentes espèces chimiques en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de la phase mobile.</p>
<p>Amphiphilie Espèces chimiques amphiphiles, micelles, structure schématique des membranes cellulaires.</p>	<p>Prévoir le caractère amphiphile d'une entité à partir de sa structure. Interpréter la structure d'une association d'entités amphiphiles (micelle, bicouche, membrane cellulaire). Comparer et interpréter, en lien avec la structure des entités, les propriétés physiques d'espèces chimiques amphiphiles (concentration micellaire critique, solubilité).</p>
<p>Émulsions.</p>	<p>Décrire la structure d'une émulsion en distinguant phase dispersée et phase continue. Interpréter les propriétés détergentes ou émulsifiantes des espèces chimiques amphiphiles.</p>

2.3 Réactivité des espèces organiques et premières applications en synthèse

L'objectif de cette partie est d'aborder les premières synthèses organiques en interprétant les transformations chimiques associées à partir de la réactivité des espèces organiques mises en jeu, réactivité déduite de la structure et des propriétés des entités chimiques qui les composent; pour ce qui concerne les propriétés acido-basiques, une table de pK_a sera systématiquement fournie.

Les premières modélisations, au niveau microscopique, des transformations chimiques par un mécanisme réactionnel sont établies sur des exemples simples faisant intervenir des entités nucléophiles et électrophiles, acides et basiques. Ces modélisations permettent de rendre compte de modifications de groupes caractéristiques (substitution, élimination, addition) et de chaînes carbonées, ainsi que de propriétés cinétiques ou stéréochimiques.

Les modèles mécanistiques et le modèle du complexe activé sont introduits sur des exemples de transformations s'appuyant, dans un premier temps, sur les halogénoalcane, mais dans le but d'une maîtrise permettant un réinvestissement à d'autres groupes caractéristiques.

L'approche mécanistique est privilégiée à l'approche fonctionnelle pour favoriser le raisonnement et la transférabilité dans des situations analogues et pour commencer à engager la réflexion sur les stratégies de synthèse.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réactivité des espèces organiques et écriture des mécanismes réactionnels Conséquences de la structure sur la réactivité : nucléophile, électrophile.</p>	<p>Identifier les sites électrophiles et/ou nucléophiles d'une entité chimique.</p>

<p>Modélisation microscopique d'une transformation : mécanisme réactionnel, acte élémentaire, molécularité, complexe activé, intermédiaire réactionnel.</p>	<p>Distinguer l'équation chimique symbolisant une réaction chimique de l'équation traduisant un acte élémentaire. Distinguer un intermédiaire réactionnel d'un complexe activé. Tracer et commenter un profil énergétique correspondant à un acte élémentaire ou à plusieurs actes élémentaires successifs. Donner la loi de vitesse d'une réaction se déroulant en un seul acte élémentaire.</p>
<p>Interprétation microscopique de l'influence des facteurs cinétiques.</p>	<p>Interpréter l'influence des concentrations et de la température sur la vitesse d'un acte élémentaire, en termes de fréquence et d'efficacité des chocs entre entités.</p>
<p>Formalisme des flèches courbes.</p>	<p>Utiliser le formalisme des flèches courbes pour rendre compte d'un acte élémentaire et le relier aux caractères nucléophile et électrophile des entités.</p>
<p>Synthèse organique en laboratoire Déroulement expérimental d'une synthèse organique : étapes de transformation, de séparation, de purification et de caractérisation. Détermination du rendement.</p>	<p>Mettre en œuvre un protocole expérimental sur un exemple simple et représentatif d'une synthèse organique en laboratoire. Justifier et réaliser les différentes étapes de cette synthèse.</p>
<p>Modifications de groupe caractéristique : exemple des halogénoalcane Substitution nucléophile aliphatique : mécanismes limites S_N2 et S_N1; propriétés cinétiques et stéréochimiques. β-élimination; mécanisme limite E2, propriétés stéréochimiques, régiosélectivité.</p>	<p>Justifier le choix d'un mécanisme limite S_N2 ou S_N1 par des facteurs structuraux des réactifs et par des résultats expérimentaux sur la stéréochimie des produits ou sur la loi de vitesse de la réaction. Prévoir ou analyser la stéréosélectivité ou la stéréospécificité éventuelle d'une substitution nucléophile. Interpréter des différences de réactivité en termes de polarisabilité. Utiliser le postulat de Hammond pour interpréter l'influence de la stabilité du carbocation sur la vitesse d'une S_N1. Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelle d'une β-élimination sur un halogénoalcane acyclique. Interpréter la formation de produits indésirables par la compétition entre les réactions de substitution et d'élimination.</p>
<p>Construction du squelette carboné : synthèse et utilisation d'organomagnésiens mixtes Organomagnésiens mixtes : propriétés nucléophiles; préparation à partir des espèces halogénées; inversion de polarité (Umpolung) lors de l'insertion du magnésium; intérêt des organométalliques dans la construction d'une chaîne carbonée. Addition nucléophile, sur l'exemple des réactions entre un organomagnésien mixte et un aldéhyde, une cétone ou le dioxyde de carbone : mécanisme.</p>	<p>Déterminer le produit formé lors de la réaction d'un organomagnésien mixte sur un aldéhyde, une cétone ou le dioxyde de carbone et inversement, prévoir les réactifs utilisés lors de la synthèse magnésienne d'un alcool ou d'un acide carboxylique. Décrire et mettre en œuvre un protocole de préparation d'un organomagnésien mixte et de son utilisation pour créer une liaison carbone-carbone. Justifier les étapes et conditions expérimentales, y compris l'hydrolyse terminale.</p>

3. Structures microscopiques et propriétés physiques des solides

Les modèles de description microscopique des solides sont présentés à partir de l'observation de différents solides cristallisés que le professeur est libre de choisir et de la prise en compte des propriétés macroscopiques de ces solides. L'introduction du modèle du cristal parfait se fait sur l'exemple de la maille cubique à faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible ; l'ensemble des notions associées à cette première étude est réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution est alors fournie.

L'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites par ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (distances internucléaires et interatomiques, masse volumique, etc.). Ce chapitre constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans le tableau périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

Une réflexion sur les modèles conduisant à la détermination des différents types de rayons à partir des méthodes expérimentales d'analyse des structures des solides peut être proposée.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions entre les entités correspondantes dans un solide;
- effectuer des liens entre différents champs de connaissance;
- appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Modèle du cristal parfait Solides amorphes, cristallins, semi-cristallins, polycristallins ; variétés allotropiques. Description du modèle du cristal parfait ; population, coordination, compacité, masse volumique.</p>	<p>Illustrer l'influence des conditions expérimentales sur la formation de solides et de solides cristallins.</p> <p>Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la population, la coordination et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie.</p>
<p>Rayons métallique, covalent, de van der Waals ou ionique et évolution dans le tableau périodique.</p>	<p>Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. Citer l'ordre de grandeur de ces rayons.</p>
<p>Modèles d'empilement compact de sphères identiques. Maille conventionnelle CFC et ses sites interstitiels.</p>	<p>Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.</p> <p>Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement. Localiser et dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité.</p>
<p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<p>Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle.</p>
<p>Métaux et alliages Cohésion et propriétés physiques des métaux.</p>	<p>Positionner dans le tableau périodique et reconnaître métaux et non métaux. Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux.</p>
<p>Alliages de substitution et d'insertion.</p>	<p>Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs. Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.</p>

<p>Solides covalents et moléculaires Cohésion et propriétés physiques des solides covalents et moléculaires.</p>	<p>Identifier les liaisons covalentes, les interactions de van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée. Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants. Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies).</p>
<p>Solides ioniques Cohésion et propriétés physiques des solides ioniques. Rayon ionique.</p>	<p>Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle du solide ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques. Comparer le rayon d'un atome et ceux de ses ions. Associer la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion, dans une structure cubique de type AB fournie, à la valeur du paramètre de maille.</p>

Deuxième semestre

4. Transformations de la matière

4.1 Évolution d'un système et mécanisme réactionnel

La modélisation, au niveau microscopique, des transformations chimiques développe plus avant les mécanismes réactionnels et notamment les aspects cinétiques microscopiques et macroscopiques en introduisant les notions d'étape cinétiquement déterminante et d'approximation des états quasi-stationnaires pour des intermédiaires réactionnels. Des approches numériques sont privilégiées par rapport aux calculs analytiques pour illustrer ces notions, ainsi que celles de contrôles cinétique et thermodynamique.

Introduit expérimentalement, l'effet catalytique est modélisé, au niveau microscopique, par un nouveau mécanisme réactionnel concurrent présentant des étapes souvent plus nombreuses et plus rapides. L'étude de la catalyse enzymatique est illustrée par des exemples dans le domaine du vivant et du biomimétisme et permet de réinvestir les structures et interactions entre entités.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modélisation microscopique d'une transformation chimique Modélisation d'une transformation par deux actes élémentaires opposés, état d'équilibre d'un système.	Relier la constante thermodynamique d'équilibre aux constantes de vitesse dans le cas d'une transformation modélisée par deux actes élémentaires opposés.
Modélisation d'une transformation par un mécanisme constitué par plusieurs actes élémentaires successifs; étape cinétiquement déterminante, approximation de l'état quasi-stationnaire, équilibre rapidement établi, loi de vitesse associée.	Capacité numérique : établir un système d'équations différentielles et le résoudre numériquement afin de visualiser l'évolution temporelle des concentrations et de leurs dérivées dans le cas d'un mécanisme à deux actes élémentaires successifs. Mettre en évidence l'étape cinétiquement déterminante ou l'approximation de l'état quasi-stationnaire d'un intermédiaire réactionnel. Reconnaître, à partir d'informations fournies, l'étape cinétiquement déterminante d'un mécanisme ou les conditions d'utilisation de l'approximation de l'état quasi-stationnaire d'un intermédiaire réactionnel. Établir la loi de vitesse de consommation d'un réactif ou de formation d'un produit à partir d'un mécanisme réactionnel simple et d'informations fournies.
Contrôle cinétique, contrôle thermodynamique.	Reconnaître les paramètres qui favorisent la formation d'un produit dans le cas de deux réactions compétitives. Capacité numérique : établir un système d'équations différentielles et le résoudre numériquement, avec un langage de programmation, afin de visualiser l'évolution des concentrations au cours du temps pour mettre en évidence les situations de contrôle cinétique ou thermodynamique.
Catalyse Catalyse d'une transformation, intervention du catalyseur dans le mécanisme réactionnel, sélectivité.	Reconnaître un effet catalytique dans un mécanisme réactionnel ou sur un profil énergétique. Reconnaître un effet de sélectivité par action d'un catalyseur.
Catalyse enzymatique, site actif d'une enzyme, complexe enzyme-substrat.	Établir la loi de vitesse de consommation d'un réactif ou de formation d'un produit à partir d'un mécanisme de catalyse enzymatique fourni. Identifier, à partir d'informations structurales, les interactions mises en jeu entre le site actif d'une enzyme et son substrat et interpréter le rôle catalytique de l'enzyme.

4.2 Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques

Cette partie aborde l'application du premier principe de la thermodynamique à l'étude des transformations chimiques. Les enthalpies standard de réaction sont considérées comme indépendantes de la température. Les notions et contenus sont illustrés à travers des applications liées à la vie quotidienne (contenu calorique des aliments, PCI et PCS des carburants, etc.), à la recherche (apports des techniques calorimétriques modernes, etc.) ou au domaine industriel. Un prolongement est proposé dans le cadre de l'étude thermique au sein des réacteurs continus dans la partie portant sur les procédés industriels en seconde année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
État standard. Enthalpie standard de réaction. Loi de Hess. État standard de référence d'un élément, enthalpie standard de formation. Enthalpie standard de dissociation de liaison.	Déterminer une enthalpie standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques.
Effets thermiques lors d'une transformation monobare : <ul style="list-style-type: none">— transfert thermique associé à la transformation chimique monobare monotherme ;— variation de température lors d'une transformation monobare et adiabatique.	Prévoir le sens et calculer la valeur du transfert thermique entre un système, siège d'une transformation physico-chimique monobare et monotherme, et le milieu extérieur. Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation physico-chimique, monobare et adiabatique. Déterminer une enthalpie standard de réaction.

5. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie, dans le domaine du vivant et dans les procédés industriels. Un nombre considérable de développements technologiques et d'analyses environnementales (traitement des eaux, méthodes d'analyse, extraction d'ions métalliques des minerais, générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, etc.) repose sur des transformations modélisées par des réactions acide-base, de solubilisation-précipitation et d'oxydo-réduction en solution aqueuse dont la maîtrise est importante pour prévoir, interpréter et optimiser les phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est donc de présenter différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé de ces diagrammes seront toujours précisées.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements. Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- utiliser différents outils graphiques, numériques, analytiques ;
- repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

5.1 Réactions acide-base et de précipitation

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses, par une seule réaction. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réactions acide-base</p> <ul style="list-style-type: none"> — constante d'acidité K_a ; constante d'acidité des deux couples de l'eau à 298 K. — diagramme de prédominance, de distribution ; — exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et caractère – faible ou fort – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, du dioxyde de carbone aqueux, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ion carbonate, l'ammoniac ; — solutions tampons. <p>Réactions de dissolution ou de précipitation</p> <ul style="list-style-type: none"> — réaction de dissolution, constante de solubilité K_s ; — solubilité et condition de précipitation ; — domaine d'existence ; — facteurs influençant la solubilité. 	<p>Reconnaître une réaction acide-base ou une réaction de dissolution ou de précipitation à partir de son équation. Écrire l'équation de la réaction modélisant une transformation en solution aqueuse en tenant compte des caractéristiques du milieu réactionnel (nature des espèces chimiques en présence, pH) et des observations expérimentales.</p> <p>Utiliser des tables pour extraire les données thermodynamiques pertinentes pour étudier un système en solution aqueuse.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues.</p> <p>Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Retrouver les valeurs de constantes thermodynamiques d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement).</p> <p>Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité d'un solide en fonction d'une variable.</p> <p>Capacité numérique : tracer, à l'aide d'un langage de programmation, le diagramme de distribution des espèces d'un ou plusieurs couple(s) acide-base, ou d'espèces impliquées dans une réaction de précipitation.</p> <p>Mettre en œuvre une réaction acide-base et une réaction de précipitation pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.</p> <p>Illustrer un procédé de retraitement ou de recyclage ou de séparation en solution aqueuse.</p>

5.2 Réactions d'oxydo-réduction

L'analyse de transformations mettant en jeu des oxydants et réducteurs usuels et des piles permet d'aborder les différents concepts associés aux phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. La relation de Nernst (admise en première année) ainsi que la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard permettent de prévoir l'évolution des systèmes et le caractère favorisé des transformations.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices présentes, les acquis sur les réactions acido-basiques et de précipitation en solution aqueuse sont réinvestis.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH sont présentés puis superposés pour prévoir ou interpréter thermodynamiquement des transformations chimiques, la confrontation avec la réalité amenant à aborder éventuellement des blocages cinétiques en lien avec l'évolution temporelle des systèmes étudiée au premier semestre.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Oxydants et réducteurs, réactions d'oxydo-réduction</p> <p>Nombre d'oxydation.</p> <p>Exemples d'oxydants et de réducteurs minéraux usuels : nom et formule des ions thiosulfate, permanganate, hypochlorite, du dichlore, du peroxyde d'hydrogène, du dioxygène, du dihydrogène, des métaux.</p>	<p>Lier la position d'un élément dans le tableau périodique et le caractère oxydant ou réducteur du corps simple correspondant.</p> <p>Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique.</p> <p>Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple.</p>

<p>Pile, tension à vide, potentiel d'électrode, potentiel standard, formule de Nernst, électrodes de référence.</p>	<p>Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrode. Déterminer la capacité électrique d'une pile.</p> <p>Réaliser une pile et étudier son fonctionnement.</p>
<p>Diagrammes de prédominance ou d'existence. Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction. Dismutation et médiamutation.</p>	<p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples.</p> <p>Mettre en œuvre une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser une analyse quantitative en solution aqueuse.</p>
<p>Diagramme potentiel-pH Principe de construction, lecture et utilisation d'un diagramme potentiel-pH. Diagramme potentiel-pH de l'eau.</p>	<p>Associer les différents domaines d'un diagramme potentiel-pH fourni à des espèces chimiques données. Déterminer, par le calcul, la valeur de la pente d'une frontière d'un diagramme potentiel-pH. Justifier la position d'une frontière verticale dans un diagramme potentiel-pH. Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes potentiel-pH. Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau. Prévoir une éventuelle dismutation ou médiamutation en fonction du pH du milieu. Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques.</p> <p>Mettre en œuvre des réactions d'oxydo-réduction en s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.</p>

6. Réactivité, transformations en chimie organique et stratégie de synthèse

Les objectifs de cette deuxième partie de programme en chimie organique sont doubles :

- d'une part, réinvestir ou compléter les connaissances et compétences autour des interconversions entre groupes caractéristiques, notamment par des réactions d'oxydo-réduction et de modifications de chaînes;
- d'autre part, enrichir les apports concernant la synthèse d'espèces chimiques organiques en introduisant les notions de protection de groupes caractéristiques et d'activation in situ (protonation) ou par synthèse préalable d'une espèce plus réactive.

L'ensemble permet d'amener les étudiants à pouvoir conduire une véritable réflexion sur la stratégie de synthèse à travers l'analyse de la réactivité comparée des espèces chimiques et à interpréter la nature et l'ordre des étapes mises en œuvre dans le cas d'une synthèse multi-étapes. Pour ce qui concerne l'élaboration d'une synthèse multi-étapes par les étudiants eux-mêmes, elle peut se faire en autonomie à l'aide d'une banque de réactions (réactiothèque) fournie ou à l'aide des réactions qui figurent explicitement au programme. Les équations des réactions indiquées dans la colonne de gauche (substitutions nucléophiles, β -éliminations, additions nucléophiles) doivent être connues et seuls les mécanismes explicitement inscrits sont exigibles et doivent pouvoir être écrits sans information supplémentaire.

Si la construction du programme privilégie ici une approche liée à stratégie de synthèse, elle n'entrave évidemment pas la liberté pédagogique des enseignants dans le choix de leur présentation et de leur progression.

À travers les contenus et les capacités exigibles sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- analyser des problèmes de complexité croissante;
- identifier dans une situation complexe la partie utile au raisonnement;
- proposer une stratégie d'adaptation ou de contournement pour résoudre un problème.

6.1 Techniques spectroscopiques de caractérisation

La spectroscopie d'absorption UV-visible a déjà été mise en œuvre au cours du premier semestre pour suivre l'évolution d'un système chimique. Elle est enrichie par la spectroscopie IR utilisée pour identifier des liaisons ou groupes caractéristiques présents dans une entité chimique analysée. Les absorptions de ces différents rayonnements électromagnétiques sont associées à la nature des transitions entre niveaux d'énergie dans l'entité chimique et aux caractéristiques des liaisons.

À propos de la spectroscopie de RMN du proton, aucun développement sur son principe n'est attendu, seule l'analyse des spectres de RMN ^1H est à effectuer pour confirmer la structure d'entités chimiques données ou pour identifier des produits de réactions.

La spectrométrie de masse, dont l'aspect théorique est strictement limité au principe de fonctionnement général (ionisation, séparation dans un analyseur, détection), permet de varier les sources d'informations sur la structure des entités organiques. Le couplage du spectromètre de masse et d'un dispositif de chromatographie en phase gazeuse permet d'obtenir des analyses exploitables de manière qualitative.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Spectroscopies d'absorption UV-visible et infrarouge Nature des transitions associées aux spectroscopies UV-visible et infrarouge, domaine du spectre des ondes électromagnétiques correspondant. Transmittance, absorbance.	Relier la longueur d'onde du rayonnement absorbé à l'énergie de la transition associée. Relier la fréquence du rayonnement IR absorbé aux caractéristiques de la liaison dans le cadre du modèle classique de l'oscillateur harmonique. Identifier, à partir du spectre infrarouge et de tables de nombres d'onde de vibration, une liaison ou un groupe caractéristique dans une entité organique.
Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton Notions de déplacement chimique, de constante de couplage, d'intégration. Couplages du premier ordre $A_m X_p$ et $A_m M_p X_q$.	Interpréter ou prévoir l'allure d'un massif à partir de l'étude des couplages. Confirmer la structure d'une entité à partir de données spectroscopiques infrarouge et/ou de résonance magnétique nucléaire du proton, les tables de nombres d'onde caractéristiques ou de déplacements chimiques étant fournies. Déterminer la structure d'une entité à partir de données spectroscopiques et du contexte de formation de l'espèce chimique dans une synthèse organique. Valider la sélectivité d'une transformation à partir de données spectroscopiques. Déterminer à partir des intégrations les proportions de deux constituants d'un mélange.
Spectrométrie de masse Principe de la spectrométrie de masse : ionisation, séparation dans un analyseur, détection. Spectres de masse : pic de base, pic moléculaire, massif isotopique.	Utiliser un spectre de masse afin de déterminer la masse molaire d'une espèce chimique. Recueillir des informations sur des motifs structuraux d'une espèce chimique analysée, dans des cas simples, à l'aide d'un spectre de masse fourni et de documents sur l'ionisation effectuée ou sur les fragmentations observées. Identifier la présence d'isotopes.

6.2 Réactions d'oxydo-réduction en chimie organique

En synthèse organique, aucun oxydant ou réducteur n'est à connaître mis à part le tétrahydroborate de sodium. Pour autant, il est attendu que les exemples étudiés portent sur des transformations réelles pour lesquelles seront fournies les conditions expérimentales associées, ce afin de développer une bonne culture chimique chez les étudiants.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Niveau d'oxydation des espèces organiques Les groupes caractéristiques et leur niveau d'oxydation.</p>	<p>Identifier, le cas échéant, une conversion d'espèce organique comme un processus d'oxydation ou de réduction et associer les demi-équations électroniques correspondantes.</p>
<p>Un exemple d'interconversion entre groupes caractéristiques : du groupe hydroxyalkyle au groupe carbonyle et inversement Oxydation des alcools selon leur classe ; principe de l'oxydation contrôlée des alcools primaires.</p>	<p>Déterminer le ou les produits d'oxydation d'un alcool selon sa classe. Identifier le produit d'oxydation d'un alcool primaire à l'aide de données expérimentales ou spectroscopiques.</p>
<p>Réduction du groupe carbonyle des aldéhydes et cétones en alcools par action du tétrahydroborate de sodium : mécanisme réactionnel en modélisant l'ion tétrahydroborate comme un ion hydrure.</p>	<p>Analyser à l'aide de données expérimentales la chimio-sélectivité de réducteurs dans le cadre d'une stratégie de synthèse.</p>

6.3 Activation de groupes caractéristiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Activation nucléophile des alcools et phénols Formation d'alcoolates par réaction acide-base ou d'oxydo-réduction.</p>	<p>Comparer la nucléophilie d'alcools de différentes classes à l'aide d'arguments stériques. Comparer la nucléophilie d'un alcool et de sa base conjuguée. Choisir une base pour déprotoner un alcool ou un phénol à partir d'une échelle de pK_a.</p>
<p>Synthèse d'éther-oxyde par la méthode de Williamson ; mécanisme réactionnel.</p>	<p>Proposer une voie de synthèse d'un éther-oxyde dissymétrique. Interpréter la formation de produits indésirables par la compétition entre les réactions de substitution et d'élimination.</p>
<p>Activation électrophile des alcools Activation des alcools <i>in situ</i> par protonation : — déshydratation acido-catalysée d'un alcool tertiaire ; régiosélectivité et stéréosélectivité éventuelles, mécanisme limite E1 ; compétition substitution-élimination dans le cas des alcools secondaires et tertiaires ; — conversion d'un alcool en halogénoalcane par action d'une solution concentrée d'halogénure d'hydrogène, mécanismes limites.</p> <p>Formation et réactivité d'esters sulfoniques : — conversion d'un alcool en ester sulfonique ; — formation d'alcène par élimination sur un ester sulfonique, mécanisme ; — formation d'espèces chimiques par substitution nucléophile sur un ester sulfonique ; mécanisme.</p>	<p>Comparer les réactivités des liaisons carbone-hétéroatome dans le cas des halogénoalcane, des alcools, des esters sulfoniques et des ions alkyloxonium. Prévoir les produits pouvant se former lors de la déshydratation d'un alcool, indiquer le ou les produits majoritaires. Commenter dans une synthèse multi-étapes le choix d'une activation <i>in situ</i> par protonation ou par passage par un tosylate ou un mésylate d'alkyle.</p>

<p>Activation électrophile du groupe carbonyle Acétalisation des aldéhydes et des cétones : conditions expérimentales (APTS, appareil de Dean-Stark), mécanisme limite de l'acétalisation en milieu acide.</p>	<p>Expliquer qualitativement l'augmentation de l'électrophilie du groupe carbonyle par protonation.</p>
<p>Hémiacétalisation acido-catalysée du glucose, mécanisme limite.</p>	<p>Discuter la régiosélectivité de la réaction d'hémiacétalisation du glucose. Interpréter l'isomérisation du glucopyranose par le caractère renversable de l'hémiacétalisation.</p>

6.4 Protection de groupes caractéristiques et stratégie de synthèse

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Protection-déprotection Protection-déprotection du groupe carbonyle des aldéhydes et cétones par un diol; conditions expérimentales, mécanisme de l'hydrolyse acide. Protection-déprotection du groupe hydroxyle : utilisation d'une banque de réactions fournie.</p>	<p>Justifier la nécessité de protéger un groupe caractéristique dans une synthèse multi-étapes. Identifier les étapes de protection et de déprotection d'un groupe carbonyle, d'un groupe hydroxyle ou d'un diol dans une synthèse multi-étapes. Proposer ou justifier, à partir d'une banque de réactions fournie, une méthode adaptée de protection du groupe hydroxyle. Analyser une synthèse multi-étapes en termes de stratégie de synthèse : ordre des étapes, protection de groupes caractéristiques, étapes d'activation. Analyser les impacts environnementaux d'une stratégie de synthèse.</p>

Annexe 1 : matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec, le cas échéant, l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

- Verrerie usuelle de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, ...
- Verrerie usuelle de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression atmosphérique et sous pression réduite, appareil de Dean-Stark.
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Voltmètre et électrodes
- Ampèremètre
- Conductimètre et cellule de mesure
- Polarimètre
- Thermomètre
- Balance de précision
- Étuve

Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en chimie. La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de TPC1. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année; il sera complété dans le programme de seconde année. Les outils figurant dans le tableau n'ont pas tous vocation à être mis en œuvre en chimie.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
Équations algébriques	
Système linéaire de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas où $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.
Équation non linéaire.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.
Équations différentielles	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants	Identifier l'ordre. Mettre une équation différentielle du premier ou du second ordre sous forme canonique.

Équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre : « équation homogène ».
Autres équations différentielles du premier ordre.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et la représentation graphique de la solution correspondante.
Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$).
Dérivée. Notation $\frac{dx}{dt}$.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux; interpréter graphiquement.
Développements limités.	Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$, $\exp(x)$, $\ln(1+x)$ au voisinage de $x = 0$ et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$ au voisinage de $x = 0$.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Géométrie	
Vecteurs et systèmes de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser le système des coordonnées cartésiennes, cylindriques, sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole.
Longueurs, aires et volumes usuels.	Citer les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre, du volume d'un parallélépipède.
Barycentre d'un système de points.	Énoncer la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.
Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(x \pm \pi)$ et $\cos\left(x \pm \frac{\pi}{2}\right)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus; utiliser un formulaire dans les autres cas.

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python incluant l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques dans la formation des étudiants vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée et à mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique-chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que les capacités exigibles en fin de première année. Il sera complété dans le programme de seconde année.

Outils numériques	Capacités exigibles
Outils graphiques	
Représentation graphique d'un nuage de points	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour représenter un nuage de points et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer la courbe représentative d'une fonction et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Équations algébriques	
Résolution d'une équation algébrique ou d'une équation transcendante : méthode dichotomique.	Déterminer, en s'appuyant sur une représentation graphique, un intervalle adapté à la recherche numérique d'une racine par une méthode dichotomique. Écrire un programme mettant en œuvre une méthode dichotomique afin de résoudre une équation avec une précision donnée. Utiliser la fonction <code>bisect</code> de la bibliothèque <code>scipy.optimize</code> (sa spécification étant fournie).
Systèmes linéaires de n équations indépendantes à n inconnues.	Définir les matrices A et B à la représentation matricielle $AX = B$ du système à résoudre. Utiliser la fonction <code>solve</code> de la bibliothèque <code>numpy.linalg</code> (sa spécification étant fournie).
Intégration – dérivation	
Calcul approché du nombre dérivé d'une fonction en un point.	Utiliser un schéma numérique pour déterminer une valeur approchée du nombre dérivé d'une fonction en un point.
Équations différentielles	
Équations différentielles d'ordre 1.	Mettre œuvre la méthode d'Euler explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1 ou un système d'équations différentielles.
Probabilité - statistiques	
Variable aléatoire.	Utiliser les fonctions de base des bibliothèques <code>random</code> et/ou <code>numpy</code> (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction <code>hist</code> de la bibliothèque <code>matplotlib</code> (sa spécification étant fournie) pour représenter les résultats d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire. Déterminer la moyenne et l'écart-type d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire.
Régression linéaire.	Utiliser la fonction <code>polyfit</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données. Utiliser la fonction <code>random.normal</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour simuler un processus aléatoire.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie, physique et chimie (TPC)

Annexe 4

Programmes d'informatique

1^{ère} et 2^{nde} années

Table des matières

1	Programme du premier semestre	5
2	Programme du second semestre	6
2.1	Méthodes de programmation et analyse des algorithmes	6
2.2	Représentation des nombres	6
2.3	Bases des graphes	7
3	Programme du troisième semestre	8
3.1	Bases de données	8
3.2	Dictionnaires et algorithmes pour l'intelligence artificielle	9
3.3	Algorithmique numérique	9
A	Langage Python	10

Introduction au programme

Les objectifs du programme Le programme d'informatique de TSI et TPC s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il a pour objectif la formation de futurs ingénieures et ingénieurs, enseignantes et enseignants, chercheuses et chercheurs et avant tout des personnes informées, capables de gouverner leur vie professionnelle et citoyenne en pleine connaissance et maîtrise des techniques et des enjeux de l'informatique et en la nourrissant par les habitudes de la démarche scientifique. Le présent programme a pour ambition de poser les bases d'un enseignement cohérent et mesuré d'une science informatique encore jeune et dont les manifestations technologiques connaissent des cycles d'obsolescence rapide. On garde donc à l'esprit :

- de privilégier la présentation de concepts fondamentaux pérennes sans s'attacher outre mesure à la description de technologies, protocoles ou normes actuels;
- de donner aux futurs diplômées et diplômés les moyens de réussir dans un domaine en mutation rapide et dont les technologies qui en sont issues peuvent sauter brutalement d'un paradigme à un autre très différent;
- de préparer les étudiantes et étudiants à tout un panel de professions et de situations de la vie professionnelle qui les amène à remplir tour à tour une mission d'expertise, de création ou d'invention, de prescription de méthodes ou de techniques, de contrôle critique des choix opérés ou encore de décision en interaction avec des spécialistes;
- que les concepts à enseigner sont les mêmes dans toutes les filières mais que le professeur d'informatique de chaque classe peut adapter la façon de les transmettre et les exemples concrets sur lesquels il s'appuie au profil de ses élèves et aux autres enseignements qu'ils suivent.

Compétences visées Ce programme vise à développer les six grandes compétences suivantes :

analyser et modéliser un problème ou une situation, notamment en utilisant les objets conceptuels de l'informatique pertinents (table relationnelle, graphe, dictionnaire, etc.);

imaginer et concevoir une solution, décomposer en blocs, se ramener à des sous-problèmes simples et indépendants, adopter

une stratégie appropriée, décrire une démarche, un algorithme ou une structure de données permettant de résoudre le problème;

décrire et spécifier les caractéristiques d'un processus, les données d'un problème, ou celles manipulées par un algorithme ou une fonction;

mettre en œuvre une solution, par la traduction d'un algorithme ou d'une structure de données dans un langage de programmation ou un langage de requête;

justifier et critiquer une solution, que ce soit en démontrant un algorithme par une preuve mathématique ou en développant des processus d'évaluation, de contrôle, de validation d'un code que l'on a produit;

communiquer à l'écrit ou à l'oral, présenter des travaux informatiques, une problématique et sa solution; défendre ses choix; documenter sa production et son implémentation.

La pratique régulière de la résolution de problèmes par une approche algorithmique et des activités de programmation qui en résultent constitue un aspect essentiel de l'apprentissage de l'informatique. Les exemples ou les exercices d'application peuvent être choisis au sein de l'informatique elle-même ou en lien avec d'autres champs disciplinaires.

Sur les partis pris par le programme Ce programme impose aussi souvent que possible des choix de vocabulaire ou de notation de certaines notions. Les choix opérés ne présument pas la supériorité de l'option retenue. Ils ont été précisés dans l'unique but d'aligner les pratiques d'une classe à une autre et d'éviter l'introduction de longues définitions récapitulatives préliminaires à un exercice ou un problème. De même, ce programme nomme aussi souvent que possible l'un des algorithmes possibles parmi les classiques qui répondent à un problème donné. Là encore, le programme ne défend pas la prééminence d'un algorithme ou d'une méthode par rapport à un autre mais il invite à faire bien plutôt que beaucoup.

Sur les langages et la programmation L'enseignement du présent programme repose sur un langage de manipulation de données (SQL) ainsi que le langage de programmation Python, pour lequel une annexe liste de façon limitative les éléments qui sont exigibles des étudiants ainsi que ceux auxquels les étudiants sont

familiarisés et qui peuvent être attendus à condition qu'ils soient accompagnés d'une documentation. La poursuite de l'apprentissage du langage Python est vue en particulier par les étudiants pour adopter immédiatement une bonne discipline de programmation tout en se concentrant sur le noyau du langage plutôt que sur une API pléthorique.

Mode d'emploi Ce programme a été rédigé par semestre pour assurer une certaine homogénéité de la formation. Le premier semestre permet d'asseoir les bases de programmation vues au lycée et les concepts associés. **L'organisation de la progression au sein des deux premiers semestres relève de la responsabilité pédagogique de la professeure ou du professeur** et le tissage de liens entre les thèmes contribue à la valeur de son enseignement. Les notions étudiées lors d'un semestre précédent sont régulièrement revisitées tout au long des deux années d'enseignement.

1 Programme du premier semestre

Le programme du premier semestre poursuit les objectifs suivants :

- consolider l'apprentissage de la programmation en langage Python qui a été entrepris dans les classes du lycée;
- mettre en place un environnement de travail;
- mettre en place une discipline de programmation : spécification précise des fonctions et programmes, annotations et commentaires, jeux de tests;
- introduire les premiers éléments de complexité des algorithmes : on ne présente que l'estimation asymptotique du coût dans le cas le pire;
- introduire des outils de validation : variants et invariants.

Le tableau ci-dessous présente les thèmes qui sont abordés lors de ces séances, et, en colonne de droite, une liste, sans aucun caractère impératif, d'exemples d'activités qui peuvent être proposées aux étudiants. L'ordre de ces thèmes n'est pas impératif.

Aucune connaissance relative aux modules éventuellement rencontrés lors de ces séances n'est exigible des étudiants.

Thèmes	Exemples d'activité. Commentaires.
Recherche séquentielle dans un tableau unidimensionnel. Dictionnaire.	Recherche d'un élément. Recherche du maximum, du second maximum. Comptage des éléments d'un tableau à l'aide d'un dictionnaire. <i>Manipulations élémentaires d'un tableau unidimensionnel. Utilisation de dictionnaires en boîte noire. Notions de coût constant, de coût linéaire.</i>
Algorithmes opérant sur une structure séquentielle par boucles simples ou imbriquées.	Recherche d'un facteur (ou d'un mot) dans un texte. Calcul d'une intégrale par la formule de la moyenne ou par la méthode des trapèzes. Tri à bulles. <i>Notion de complexité quadratique. On propose des outils pour valider la correction de l'algorithme.</i>
Utilisation de modules, de bibliothèques.	Lecture d'un fichier de données simples. Calculs statistiques sur ces données. Représentation graphique (histogrammes, etc.).
Algorithmes dichotomiques.	Recherche dichotomique dans un tableau trié. Calcul d'une solution de l'équation $f(x) = 0$ sur $[a, b]$ quand $f(a).f(b) < 0$. <i>On met en évidence une accélération entre complexité linéaire d'un algorithme naïf et complexité logarithmique d'un algorithme dichotomique. On met en œuvre des jeux de tests, des outils de validation.</i>
Fonctions récursives.	Version récursive d'algorithmes dichotomiques. Fonctions produisant à l'aide de <code>print</code> successifs des figures alphanumériques. Dessins de fractales. <i>On évite de se cantonner à des fonctions mathématiques (factorielle, suites récurrentes). On peut montrer le phénomène de dépassement de la taille de la pile.</i>
Tableau de pixels et images.	Algorithmes de rotation de 90 degrés, de réduction ou d'agrandissement. Modification d'une image : flou, détection de contour, etc. <i>Les images servent de support à la présentation de manipulations de tableaux à deux dimensions.</i>
Tris.	Algorithmes quadratiques : tri par insertion, par sélection. Tri par partition-fusion. Tri par comptage. <i>On fait observer différentes caractéristiques (par exemple, stable ou non, en place ou non, comparatif ou non, etc).</i>

2 Programme du second semestre

2.1 Méthodes de programmation et analyse des algorithmes

Même si on ne prouve pas systématiquement tous les algorithmes, on dégage l'idée qu'un algorithme doit se prouver et que sa programmation doit se tester.

Notions	Commentaires
Instruction et expression. Effet de bord.	On peut signaler par exemple que le fait que l'affectation soit une instruction est un choix des concepteurs du langage Python et en expliquer les conséquences.
Spécification des données attendues en entrée, et fournies en sortie/retour.	On entraîne les étudiants à accompagner leurs programmes et leurs fonctions d'une spécification. Les signatures des fonctions sont toujours précisées.
Annotation d'un bloc d'instructions par une précondition, une postcondition, une propriété invariante.	Ces annotations se font à l'aide de commentaires.
Assertion.	L'utilisation d'assertions est encouragée par exemple pour valider des entrées. La levée d'une assertion entraîne l'arrêt du programme. Ni la définition ni le rattrapage des exceptions ne sont au programme.
Explication et justification des choix de conception ou programmation.	Les parties complexes de codes ou d'algorithmes font l'objet de commentaires qui l'éclairent en évitant la paraphrase. Le choix des collections employées (par exemple, liste ou dictionnaire) est un choix éclairé.
Terminaison. Variant. Invariant.	On montre sur plusieurs exemples que la terminaison peut se démontrer à l'aide d'un variant de boucle. Sur plusieurs exemples, on explicite, sans insister sur aucun formalisme, des invariants de boucles en vue de montrer la correction des algorithmes.
Jeu de tests associé à un programme.	Il n'est pas attendu de connaissances sur la génération automatique de jeux de tests; un étudiant doit savoir écrire un jeu de tests à la main, donnant à la fois des entrées et les sorties correspondantes attendues. On sensibilise, par des exemples, à la notion de partitionnement des domaines d'entrée et au test des limites.
Complexité.	On aborde la notion de complexité temporelle dans le pire cas en ordre de grandeur. On peut, sur des exemples, aborder la notion de complexité en espace.

2.2 Représentation des nombres

On présente sans formalisation théorique les enjeux de la représentation en mémoire des nombres. Ces notions permettent d'expliquer certaines difficultés rencontrées et précautions à prendre lors de la programmation ou de l'utilisation d'algorithmes de calcul numérique dans les disciplines qui y recourent.

Notions	Commentaires
Représentation des entiers positifs sur des mots de taille fixe.	La conversion d'une base à une autre n'est pas un objectif de formation.
Représentation des entiers signés sur des mots de taille fixe.	Complément à deux.
Entiers multi-précision de Python.	On les distingue des entiers de taille fixe sans détailler leur implémentation. On signale la difficulté à évaluer la complexité des opérations arithmétiques sur ces entiers.
Distinction entre nombres réels, décimaux et flottants.	On montre sur des exemples l'impossibilité de représenter certains nombres réels ou décimaux dans un mot machine

Représentation des flottants sur des mots de taille fixe. Notion de mantisse, d'exposant.	On signale la représentation de 0 mais on n'évoque pas les nombres dénormalisés, les infinis ni les NaN. Aucune connaissance liée à la norme IEEE-754 n'est au programme.
Précision des calculs en flottants.	On insiste sur les limites de précision dans le calcul avec des flottants, en particulier pour les comparaisons. On n'entre pas dans un comparatif des différents modes d'arrondi.

2.3 Bases des graphes

Il s'agit de définir le modèle des graphes, leurs représentations et leurs manipulations.

On s'efforce de mettre en avant des applications importantes et si possibles modernes : réseau de transport, graphe du web, réseaux sociaux, bio-informatique. On précise autant que possible la taille typique de tels graphes.

Notions	Commentaires
Vocabulaire des graphes.	Graphe orienté, graphe non orienté. Sommet (ou nœud); arc, arête. Boucle. Degré (entrant et sortant). Chemin d'un sommet à un autre. Cycle. Connexité dans les graphes non orientés. On présente l'implémentation des graphes à l'aide de listes d'adjacence (rassemblées par exemple dans une liste ou dans un dictionnaire) et de matrice d'adjacence ainsi que les différences en terme d'occupation mémoire. On n'évoque ni multi-arcs ni multi-arêtes.
Notations.	Graphe $G = (S, A)$, degrés $d(s)$ (pour un graphe non orienté), $d_+(s)$ et $d_-(s)$ (pour un graphe orienté).
Pondération d'un graphe. Étiquettes des arcs ou des arêtes d'un graphe.	On motive l'ajout d'information à un graphe par des exemples concrets.
Fonctions de manipulation.	Obtention du nombre de sommets, ajout/suppression/test d'existence d'un arc ou d'une arête, construction de la liste des voisins d'un sommet, etc. On présente l'importance de construire des fonctions de manipulation élémentaires en vue d'une programmation modulaire ainsi que l'impact du choix d'une représentation en terme de complexité temporelle.
Parcours d'un graphe.	On introduit à cette occasion les piles et les files; on souligne les problèmes d'efficacité posés par l'implémentation des files par les listes de Python et l'avantage d'utiliser un module dédié tel que <code>collections.deque</code> . Détection de la présence de cycles ou de la connexité d'un graphe non orienté.

3 Programme du troisième semestre

3.1 Bases de données

On se limite volontairement à une description applicative des bases de données en langage SQL. Il s'agit de permettre d'interroger une base présentant des données à travers plusieurs relations. On ne présente pas l'algèbre relationnelle ni le calcul relationnel.

Notions	Commentaires
Vocabulaire des bases de données : tables ou relations, attributs ou colonnes, domaine, schéma de tables, enregistrements ou lignes, types de données.	On présente ces concepts à travers de nombreux exemples. On s'en tient à une notion sommaire de domaine : entier, flottant, chaîne; aucune considération quant aux types des moteurs SQL n'est au programme. Aucune notion relative à la représentation des dates n'est au programme; en tant que de besoin on s'appuie sur des types numériques ou chaîne pour lesquels la relation d'ordre coïncide avec l'écoulement du temps. Toute notion relative aux collations est hors programme; en tant que de besoin on se place dans l'hypothèse que la relation d'ordre correspond à l'ordre lexicographique usuel. NULL est hors programme.
Clef primaire.	Une clef primaire n'est pas forcément associée à un unique attribut même si c'est le cas le plus fréquent. La notion d'index est hors programme. On présente la notion de clef étrangère.
Requêtes SELECT avec simple clause WHERE (sélection), projection, renommage AS. Utilisation des mots-clefs DISTINCT, LIMIT, OFFSET, ORDER BY.	Les opérateurs au programme sont +, -, *, / (on passe outre les subtilités liées à la division entière ou flottante), =, <>, <, <=, >, >=, AND, OR, NOT.
Opérateurs ensemblistes UNION, INTERSECT et EXCEPT, produit cartésien.	
Jointures internes T_1 JOIN T_2 ... JOIN T_n ON ϕ . Autojointure.	On présente les jointures en lien avec la notion de relations entre tables. On se limite aux équi-jointures : ϕ est une conjonction d'égalités. On fera le lien avec la notion de clef étrangère
Agrégation avec les fonctions MIN, MAX, SUM, AVG et COUNT, y compris avec GROUP BY.	Pour la mise en œuvre des agrégats, on s'en tient à la norme SQL99. On présente quelques exemples de requêtes imbriquées. On marque la différence entre WHERE et HAVING sur des exemples.
Mise en œuvre	
La création de tables et la suppression de tables au travers du langage SQL sont hors programme. La mise en œuvre effective se fait au travers d'un logiciel permettant d'interroger une base de données à l'aide de requêtes SQL. Récupérer le résultat d'une requête à partir d'un programme n'est pas un objectif. Même si aucun formalisme graphique précis n'est au programme, on peut décrire les entités et les associations qui les lient au travers de diagrammes sagittaux informels. Sont hors programme : la notion de modèle logique <i>vs</i> physique, les bases de données non relationnelles, les méthodes de modélisation de base, les fragments DDL, TCL et ACL du langage SQL, les transactions, l'optimisation de requêtes par l'algèbre relationnelle.	

3.2 Dictionnaires et algorithmes pour l'intelligence artificielle

Les dictionnaires sont utilisés en boîte noire dès la première année; les principes de leur fonctionnement sont présentés en deuxième année.

Cette partie permet aussi de revisiter les notions de programmation et de représentation de données par un graphe, qui sont vues en première année, en les appliquant à des enjeux contemporains.

Notions	Commentaires
Dictionnaires, clefs et valeurs.	On présente les principes du hachage, et les limitations qui en découlent sur le domaine des clefs utilisables.
Usage des dictionnaires en programmation Python.	Syntaxe pour l'écriture des dictionnaires. Parcours d'un dictionnaire.
Algorithme des k plus proches voisins avec distance euclidienne.	Matrice de confusion. Lien avec l'apprentissage supervisé.
Algorithme des k -moyennes.	Lien avec l'apprentissage non-supervisé. La démonstration de la convergence n'est pas au programme. On observe des convergences vers des minima locaux.
Jeux d'accessibilité à deux joueurs sur un graphe. Stratégie. Stratégie gagnante. Position gagnante.	On considère des jeux à deux joueurs (J_1 et J_2) modélisés par des graphes bipartis (l'ensemble des états contrôlés par J_1 et l'ensemble des états contrôlés par J_2). Il y a trois types d'états finals : les états gagnants pour J_1 , les états gagnants pour J_2 et les états de match nul. On ne considère que les stratégies sans mémoire.
Notion d'heuristique.	On présente la notion d'heuristique à partir d'exemples simples comme le problème du sac à dos.

Mise en œuvre

La connaissance dans le détail des algorithmes de cette section n'est pas un attendu du programme. Les étudiants acquièrent une familiarité avec les idées sous-jacentes qu'ils peuvent réinvestir dans des situations où les modélisations et les recommandations d'implémentation sont guidées, notamment dans leurs aspects arborescents.

3.3 Algorithmique numérique

Dans cette partie du programme, on présente des algorithmes numériques pour une approche pluri-disciplinaire.

On se concentre sur la bonne compréhension de leur fonctionnement et la mise en avant de leur limites.

Ces algorithmes seront appliqués à des problématiques concrètes étudiées dans d'autres disciplines. On veillera à faire programmer par les étudiants les algorithmes étudiés.

Notions	Commentaires
Méthode d'Euler	Résolution approchée d'équations différentielles ordinaires d'ordre 1 et 2. Illustration de l'impact du pas sur la qualité de la solution obtenue.
Méthode de Gauss avec recherche partielle du pivot.	Résolution des systèmes linéaires inversibles. Erreurs d'arrondis et problème de la comparaison à zéro. On aura recours à une conception modulaire pour présenter cet algorithme.
Interpolation polynomiale de Lagrange.	Interpolation par morceaux.

Mise en œuvre

La connaissance dans le détail des algorithmes de cette section n'est toujours pas un attendu du programme.

A Langage Python

Cette annexe liste limitativement les éléments du langage Python (version 3 ou supérieure) dont la connaissance est exigible des étudiants. Aucun concept sous-jacent n'est exigible au titre de la présente annexe.

Aucune connaissance sur un module particulier n'est exigible des étudiants.

Toute utilisation d'autres éléments du langage que ceux que liste cette annexe, ou d'une fonction d'un module, doit obligatoirement être accompagnée de la documentation utile, sans que puisse être attendue une quelconque maîtrise par les étudiants de ces éléments.

Traits généraux

- Typage dynamique : l'interpréteur détermine le type à la volée lors de l'exécution du code.
- Principe d'indentation.
- Portée lexicale : lorsqu'une expression fait référence à une variable à l'intérieur d'une fonction, Python cherche la valeur définie à l'intérieur de la fonction et à défaut la valeur dans l'espace global du module.
- Appel de fonction par valeur : l'exécution de $f(x)$ évalue d'abord x puis exécute f avec la valeur calculée.

Types de base

- Opérations sur les entiers (`int`) : `+`, `-`, `*`, `//`, `**`, `%` avec des opérandes positifs.
- Opérations sur les flottants (`float`) : `+`, `-`, `*`, `/`, `**`.
- Opérations sur les booléens (`bool`) : `not`, `or`, `and` (et leur caractère paresseux).
- Comparaisons `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`.

Types structurés

- Structures indicées immuables (chaînes, tuples) : `len`, accès par indice positif valide, concaténation `+`, répétition `*`, tranche.
- Listes : création par compréhension `[e for x in s]`, par `[e] * n`, par `append` successifs; `len`, accès par indice positif valide; concaténation `+`, extraction de tranche, copie (y compris son caractère superficiel); `pop` en dernière position.
- Dictionnaires : création, accès, insertion, `len`, `copy`.

Structures de contrôle

- Instruction d'affectation avec `=`. Dépaquetage de tuples.
- Instruction conditionnelle : `if`, `elif`, `else`.
- Boucle `while` (sans `else`). `break`, `return` dans un corps de boucle.
- Boucle `for` (sans `else`) et itération sur `range(a, b)`, une chaîne, un tuple, une liste, un dictionnaire au travers des méthodes `keys` et `items`.
- Définition d'une fonction `def f(p1, ..., pn), return`.

Divers

- Introduction d'un commentaire avec `#`.
- Utilisation simple de `print`, sans paramètre facultatif.
- Importation de modules avec `import module`, `import module as alias`, `from module import f, g, ...`
- Manipulation de fichiers texte (la documentation utile de ces fonctions doit être rappelée; tout problème relatif aux encodages est éludé) : `open`, `read`, `readline`, `readlines`, `split`, `write`, `close`.
- Assertion : `assert` (sans message d'erreur).

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Programmes de première et seconde années des classes préparatoires scientifiques de la voie Technologie et biologie (TB) : modification

NOR : ESRS2111618A

arrêté du 9-7-2021 - JO du 23-7-2021

MENJS - DGESCO - MESRI - DGESIP A1-2 - MOM

Vu Code de l'éducation, notamment articles D. 612-19 à D. 612-29 ; arrêtés du 10-2-1995 modifiés ; arrêté du 3-5-2005 modifié ; avis du Cneser du 8-6-2021 ; avis du CSE du 17-6-2021 ; avis du ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation du 8-7-2021

Article 1 - Les programmes de mathématiques, de sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées, de sciences de la vie et de la Terre, de technologie et de géographie de première et seconde années de la classe préparatoire scientifique Technologie et biologie (TB), annexés à l'arrêté du 3 mai 2005 susvisé, sont remplacés par les programmes de mathématiques, physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre, biotechnologies et géographie figurant respectivement aux annexes 1, 2, 3, 4 et 6 du présent arrêté.

Article 2 - Les programmes de première et seconde années d'informatique de la classe préparatoire scientifique Technologie et biologie (TB), fixés à l'article 3 de l'arrêté du 3 mai 2005 susvisé, sont remplacés par ceux figurant à l'annexe 5 du présent arrêté.

Article 3 - Les dispositions du présent arrêté prennent effet à compter de la rentrée de l'année scolaire 2021-2022 pour les classes de première année, et à compter de la rentrée de l'année scolaire 2022-2023 pour les classes de seconde année.

Article 4 - I. Après l'article 3 de l'arrêté du 3 mai 2005 susvisé, il est inséré un article 3-1 ainsi rédigé :
« Article 3-1 - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie. »

II. Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie.

Article 5 - Le directeur général de l'enseignement scolaire, la directrice générale des outre-mer et la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 9 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre des Outre-mer, et par délégation,
La directrice générale des outre-mer,
Sophie Brocas

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexe

↳ Programmes de la classe préparatoire scientifique Technologie et biologie (TB)



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et biologie (TB)

Annexe 1

Programmes de mathématiques



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de mathématiques de la classe TB 1^{ère} année

Programme de mathématiques TB1

Objectifs de formation

La place des Mathématiques dans la formation scientifique

L'objectif de l'enseignement des mathématiques en classe préparatoire TB est double.

Il contribue d'une part à l'approfondissement de la culture scientifique générale en donnant aux étudiants un accès à quelques domaines fondamentaux (algèbre linéaire, analyse, probabilités). La pratique du raisonnement mathématique concourt ici comme ailleurs à la formation de l'esprit d'un futur scientifique ; la rigueur du raisonnement, l'esprit critique, le contrôle et l'analyse des hypothèses, le sens de l'observation et celui de la déduction trouvent en mathématiques un champ d'action où ils seront cultivés de manière spécifique.

D'autre part, il fournit des représentations et un langage dont les autres disciplines scientifiques étudiées dans ces classes et au-delà sont demandeuses ou utilisatrices. De là l'importance d'une cohérence et d'une coordination aussi bonnes que possible entre les diverses disciplines : il importe d'éviter les redondances tout en soulignant les points communs, de limiter les divergences ou ambiguïtés dues à la diversité des points de vue possibles sur un même objet tout en enrichissant l'enseignement par cette même diversité.

La finalité est de former des personnes capables d'utiliser des outils mathématiques dans diverses situations issues du métier d'ingénieur.

Les travaux dirigés sont le moment privilégié de la mise en œuvre, et de la prise en main par les élèves des techniques classiques et bien délimitées inscrites dans le corps du programme. Cette maîtrise s'acquiert notamment grâce à des exercices variés. Le temps des travaux dirigés se prête également à l'expérimentation numérique, en lien avec l'enseignement d'informatique.

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions, notamment dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés (TIPE).

Le développement des compétences

L'enseignement des mathématiques en filière TB vise au développement de compétences utiles aux scientifiques, qu'ils soient ingénieurs, chercheurs ou enseignants, pour identifier les situations auxquelles ils sont confrontés, dégager les meilleures stratégies pour les résoudre, prendre avec un recul suffisant des décisions dans un contexte souvent complexe.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants leur permet de gérer leurs apprentissages de manière responsable en repérant points forts et points faibles. Ces compétences prennent tout leur sens dans le cadre de la résolution de problèmes, de leur modélisation ou formalisation jusqu'à la présentation des résultats en passant par la démarche de résolution proprement dite.

De manière spécifique, on peut distinguer les compétences suivantes :

S'engager dans une recherche, mettre en œuvre des stratégies	Il s'agit d'analyser un problème, de se poser des questions, d'expérimenter sur des exemples, de formuler des conjectures.
Modéliser	C'est traduire un phénomène en langage mathématique, élaborer des concepts et des outils lors d'une phase d'abstraction ou de conceptualisation.
Représenter, changer de registre	Il s'agit de choisir le registre (numérique, algébrique, géométrique) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, et d'être capable de passer d'un registre à un autre, d'un mode de représentation (souvent visuelle : courbes, graphes, arborescences, tableaux) à un autre.
Raisonner et argumenter	Cela consiste à effectuer des inférences (inductives et déductives), à conduire une démonstration, à confirmer ou infirmer une conjecture, et enfin à évaluer la pertinence d'un concept au regard du problème posé.
Calculer, manipuler des symboles et maîtriser le formalisme mathématique	C'est effectuer un calcul à la main ou à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel), organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, choisir des transformations et effectuer des simplifications, contrôler les résultats, mettre en œuvre des algorithmes, manipuler et exploiter des expressions symboliques, comprendre et utiliser le langage mathématique.
Communiquer à l'écrit et à l'oral	Il s'agit de comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, d'opérer la conversion entre le langage naturel et le langage symbolique formel, de rédiger une solution rigoureuse, de présenter et de défendre une production mathématique pour convaincre un interlocuteur ou un auditoire.

Mises en œuvre dans des situations et contextes spécifiques, les diverses compétences peuvent être déclinées en un certain nombre de capacités.

Première année

Préambule

Le programme de la filière TB se situe dans la continuité de ceux du lycée et des séries STL et STAV.

L'enseignement des mathématiques dans cette filière doit être principalement basé sur les applications, exercices, problèmes, en relation chaque fois que cela s'avère possible avec les enseignements de physique, de chimie, de biotechnologies et de biologie, tout en évitant les développements formels ou purement théoriques. Il importe de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemple, les probabilités permettent d'illustrer certains résultats d'analyse et justifient l'introduction du vocabulaire ensembliste.

C'est ainsi que le programme valorise les interprétations des concepts de l'analyse, de l'algèbre linéaire et des probabilités en termes de paramètres modélisant l'état et l'évolution de systèmes biologiques, physiques ou chimiques. Ces interprétations, conjointement avec les interprétations géométriques, viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire ou des probabilités. C'est pourquoi apparaît parfois, dans la colonne de commentaires, le symbole \rightleftharpoons pour signaler des possibilités d'interaction entre les mathématiques et les autres disciplines scientifiques.

La présentation de l'**algèbre linéaire** est faite par le biais du calcul : systèmes d'équations linéaires, calcul matriciel. Seule la présentation de l'espace vectoriel \mathbf{R}^n est envisagée.

Dans la partie du programme consacrée à l'**analyse**, le but est de mettre en place les méthodes courantes de travail sur les suites et surtout sur les fonctions. L'analyse est un outil pour les probabilités et pour les

autres sciences et permet de développer la rigueur. On s'attache principalement à développer l'aspect opératoire, tout en évitant les situations conduisant à une trop grande technicité calculatoire.

La partie relative aux **probabilités** vise à consolider et à développer la formation des étudiants au raisonnement probabiliste, initiée dès la classe de Troisième et poursuivie jusqu'en classe Terminale. L'accent est mis sur une prise en main élémentaire du langage de la théorie des ensembles, les techniques élémentaires de dénombrement et sur les espaces probabilisés finis. Tout ce qui concerne les variables aléatoires dont l'ensemble des valeurs est infini est traité en seconde année.

Le programme est organisé en deux semestres de volume sensiblement équivalent; en revanche, au sein de chaque semestre, aucun ordre particulier entre les chapitres ni même entre les paragraphes n'est imposé. L'ordre proposé dans le présent programme assure une bonne cohérence dans l'apparition des nouveaux concepts, mais il n'est pas le seul possible.

Enfin, les résultats mentionnés dans le programme seront admis ou démontrés selon les choix didactiques faits par le professeur; pour certains résultats, marqués comme « admis », la présentation d'une démonstration en classe est déconseillée.

Premier semestre

Outils et calculs

L'objectif de ce chapitre est de consolider et de compléter les acquis des classes antérieures afin que ces outils soient familiers aux étudiants.

Les ensembles **N**, **Z**, **R** sont supposés connus.

Contenus	Commentaires
a) Raisonnements Implication et équivalence. Raisonnements par récurrence et par l'absurde.	La familiarisation avec ces raisonnements est progressive et consolidée au fil des différents chapitres.
b) Calcul algébrique et numérique Calcul fractionnaire. Intervalles. Valeur absolue. Inégalité triangulaire. Exposants (entiers), racine carrée.	Il s'agit de consolider les acquis et d'exécuter un calcul littéral avec des fractions. On se limite à une simple description des différents types d'intervalles. Interprétation de la valeur absolue en termes de distance. L'utilisation de l'inégalité triangulaire doit rester modeste. On attend une maîtrise des formules $(xy)^n = x^n y^n, x^{n+m} = x^n x^m, (x^n)^m = x^{nm}, \left(\frac{x}{y}\right)^n = \frac{x^n}{y^n}$ $\sqrt{x^2} = x , \sqrt{xy} = \sqrt{x}\sqrt{y}, \sqrt{\frac{x}{y}} = \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{y}}$ ⇒ Au cours du travail sur les puissances, on peut faire un lien avec quelques unités employées en physique, biologie ou biotechnologies et avec les analyses dimensionnelles correspondantes.

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Identités remarquables.</p> <p>Développement et factorisation d'expressions algébriques. On montre des égalités et on manipule également des quotients simples.</p> <p>Manipulation des inégalités.</p> <p>Résolutions d'équations et d'inéquations du premier degré.</p> <p>Trinôme dans \mathbf{R}. Discriminant et racines réelles. Signe du trinôme et inéquations du second degré.</p>	<p>Les attendus se limitent aux formules suivantes dans \mathbf{R} :</p> $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$ $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$ <p>Il s'agit d'une simple reprise des règles de calcul algébrique sur les inégalités.</p> <p>Il s'agit d'une reprise de quelques sortes d'équations et inéquations abordées dans les classes antérieures.</p> <p>La résolution doit se limiter à des cas simples. La forme canonique, la somme ou le produit de racines ne sont pas des attendus du programme.</p>
<p>c) Sommations</p> <p>Notation Σ.</p> <p>Règles de calcul.</p>	<p>On précise qu'une somme ayant un ensemble d'indices vide est nulle.</p> <p>Linéarité, découpage (ou relation de Chasles), changement d'indices par translation. L'introduction du symbole Σ doit être progressive.</p>
<p>d) Suites usuelles</p> <p>Suites constantes, suites arithmétiques, suites géométriques.</p> <p>Somme de termes consécutifs d'une progression géométrique :</p> $\sum_{0 \leq k \leq n} q^k = \frac{1 - q^{n+1}}{1 - q}.$ <p>Sommes des n premiers entiers et des n premiers carrés.</p>	<p>Savoir montrer qu'une suite est constante, arithmétique ou géométrique. Calcul du n-ième terme. La connaissance des suites arithmético-géométriques n'est pas un attendu du programme (on se contente de les inclure dans les exemples d'études de suites récurrentes).</p> <p>La raison q est dans $\mathbf{R} \setminus \{1\}$.</p> <p>Calculs de sommes portant sur les suites arithmétiques et géométriques.</p>
<p>e) Factorielles et coefficients binomiaux</p> <p>Factorielle, notation $n!$.</p> <p>Coefficients binomiaux.</p> <p>Triangle de Pascal.</p> <p>Formule du binôme.</p>	<p>On adopte la définition suivante :</p> $\binom{n}{k} = \begin{cases} 0 & \text{si } k > n \\ \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)}{k!} = \frac{n!}{k!(n-k)!} & \text{sinon.} \end{cases}$ <p>La démonstration n'est pas exigible. On met en valeur les formules :</p> $\binom{n}{k} = \binom{n}{n-k}, \quad \binom{n}{k-1} + \binom{n}{k} = \binom{n+1}{k}$

Trigonométrie

Cette partie a pour objectif d'élargir les notions de cos, sin vues au collège et de généraliser ces notions en définissant le cosinus, sinus et la tangente d'un réel, ces fonctions étant largement utilisées en physique. Cette partie est un prérequis pour l'étude des nombres complexes. Les fonctions cosinus, sinus et tangente

seront ensuite ajoutées comme fonctions usuelles.

Contenus	Commentaires
<p>Cercle trigonométrique. Définitions des cosinus, sinus et tangente d'un réel.</p> <p>Périodicité, symétries. Cosinus, sinus et tangente de $-x$, $\pi \pm x$, de $\frac{\pi}{2} \pm x$.</p> <p>Formules d'addition et de duplication.</p>	<p>Les étudiants doivent savoir retrouver ces résultats en s'aidant du cercle trigonométrique.</p> $\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta) = 1$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) \mp \sin(\alpha)\sin(\beta)$ $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin(\alpha)\cos(\beta) \pm \cos(\alpha)\sin(\beta)$ $\cos(2\theta) = \cos^2(\theta) - \sin^2(\theta)$ $= 2\cos^2(\theta) - 1 = 1 - 2\sin^2(\theta)$ $\sin(2\theta) = 2\sin(\theta)\cos(\theta)$ <p>Les autres formules de trigonométrie ne sont pas des attendus du programme.</p> <p>\Leftrightarrow Transformation de l'expression $a\cos(\theta) + b\sin(\theta)$ en $r\cos(\theta + \varphi)$.</p>

Nombres complexes

Les nombres complexes sont introduits en raison de leur importance dans plusieurs domaines des mathématiques ; dans ce programme, ils se présentent notamment à propos des équations du second degré et des valeurs propres de matrices (en seconde année).

On s'appuiera largement sur la notion de plan complexe et les images géométriques correspondantes. L'introduction des nombres complexes dans ce programme n'a cependant pas pour objectif la résolution de problèmes purement géométriques.

Contenus	Commentaires
<p>a) Nombres complexes</p> <p>Représentation géométrique d'un nombre complexe ; nombres complexes conjugués ; affixe d'un point, d'un vecteur.</p> <p>Résolution des équations du second degré à coefficients réels.</p>	<p>La construction théorique du corps des complexes est hors programme.</p> <p>La résolution des équations du second degré à coefficients complexes est hors programme.</p>
<p>b) Module et argument d'un nombre complexe</p> <p>Définition du module d'un nombre complexe, module d'un produit, inégalité triangulaire.</p> <p>Nombres complexes de module 1 ; argument d'un nombre complexe non nul, notation $e^{i\theta}$.</p> <p>Relation $e^{i(\theta+\theta')} = e^{i\theta} \cdot e^{i\theta'}$, lien avec les formules de trigonométrie.</p> <p>Formules d'Euler : $\cos\theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2}$ et $\sin\theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$.</p>	<p>Les illustrations géométriques ont pour seul objectif l'aide à l'acquisition de ces connaissances.</p> <p>L'argument d'un nombre complexe est mis en lien avec l'angle polaire d'un vecteur.</p> <p>L'étude des racines n-ièmes d'un nombre complexe, y compris les racines n-ièmes de l'unité, est hors programme.</p>

Algèbre linéaire 1 – Systèmes d'équations linéaires

En première année, on n'étudie que les espaces vectoriels \mathbf{R}^n sur \mathbf{R} , où n est inférieur ou égal à 4, et des systèmes d'équations linéaires comportant au maximum quatre équations et quatre inconnues. Le cas particulier des systèmes à deux équations et deux inconnues, plus fréquemment rencontré dans d'autres disciplines, est mis en valeur et repris dans le chapitre suivant.

Contenus	Commentaires
Opérations élémentaires sur les lignes : elles transforment le système en un système équivalent.	Les opérations élémentaires sont : échanger deux équations, multiplier une équation par un scalaire non nul, ajouter à une équation une combinaison linéaire des autres. \Leftrightarrow Équilibrage de réactions chimiques (recherche de coefficients stœchiométriques).
Un système linéaire a zéro, une unique ou une infinité de solutions.	Ce fait peut être, à ce stade, suggéré par quelques exemples et sera justifié ultérieurement (méthode du pivot ou théorie du rang).
Réduction d'un système linéaire par la méthode du pivot de Gauss.	On définit à cette occasion le rang d'un système linéaire comme le nombre de pivots; on admet qu'il ne dépend pas de la manière de choisir les pivots.
Interprétations géométriques pertinentes pour un système linéaire à deux inconnues.	Dans le cas de deux inconnues, on interprète le système linéaire comme un problème d'intersection de droites affines. Aucune connaissance théorique sur ces questions n'est exigible.

Algèbre linéaire 2 – Matrices à coefficients dans C

Contenus	Commentaires
Matrices, matrices lignes, matrices colonnes. Matrice nulle. Opérations sur les matrices : addition, multiplication par un scalaire (réel), produit, transposition. Écriture matricielle d'un système d'équations linéaires. Matrices carrées : matrice unité (ou identité), matrice diagonale, matrice triangulaire, matrice inversible, matrice inverse.	En pratique, la recherche de l'inverse d'une matrice peut être effectuée par la résolution d'un système linéaire.
Inversibilité d'une matrice carrée 2×2 et expression de la matrice inverse lorsqu'elle existe. Application à l'existence et l'unicité de la solution d'un système linéaire $\begin{cases} ax + by = e \\ cx + dy = f \end{cases}$ lorsque $ad - bc \neq 0$.	On introduit la notation $\det(A) = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}$ sans aucun développement théorique. Le déterminant des matrices de taille supérieure à 2 est hors-programme.
Le rang d'une matrice A est égal au rang du système $AX = 0$.	On évitera toute théorie sur le rang.

Analyse 1 – Fonctions et applications

Le but de cette rubrique est de mettre en place les méthodes courantes de travail sur les fonctions numériques, illustrées par le recours à des fonctions tirées d'une gamme restreinte formée de fonctions « usuelles » (affines, homographiques ou polynomiales) qui interviennent fréquemment dans les applications. On privilégie une approche graphique avec pour but de développer le sens de l'observation et de l'utilisation des courbes représentatives.

Contenus	Commentaires
a) Généralités Notion générale de fonction d'un ensemble E dans un ensemble F .	On insistera sur la nécessité d'un concept général en envisageant des exemples variés issus de différents domaines.
Application, injection, surjection, bijection, application réciproque.	On fait remarquer que, dans le cadre des fonctions de \mathbf{R} dans \mathbf{R} , une bijection et sa réciproque ont des graphes symétriques l'un de l'autre par rapport à la première bissectrice.

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Composition des fonctions.</p> <p>Image d'une partie.</p>	<p>On étudie quelques exemples fournis par des fonctions de \mathbf{R} dans \mathbf{R} que l'on compose de diverses manières.</p> <p>La notion d'image réciproque d'une partie de l'ensemble d'arrivée n'est pas un attendu du programme.</p>
<p>b) Fonctions numériques</p> <p>Ensemble de définition.</p> <p>Combinaison linéaire, produit et quotient.</p> <p>Parité, imparité et périodicité.</p> <p>Monotonie.</p> <p>Fonctions minorées, majorées, bornées.</p> <p>Extremum, extremum local.</p> <p>Comparaison de fonctions numériques, positions relatives de courbes.</p>	<p>Sauf dans les cas simples, la recherche de l'ensemble de définition d'une fonction n'est pas un objectif du programme.</p> <p>On fait le lien avec les éléments de symétrie de la courbe représentative et on propose un domaine d'étude réduit selon les symétries et/ou les périodicités déterminées.</p> <p>On peut étudier le signe de la différence, et notamment, consolider les outils d'encadrement.</p>
<p>c) Fonctions usuelles</p> <p>Fonctions $x \mapsto x^n$ ($n \in \mathbf{Z}$), fonction racine carrée.</p> <p>Fonctions homographiques : définition, forme réduite, sens de variation.</p> <p>Fonctions sinus, cosinus et tangente.</p> <p>Fonctions exponentielles $x \mapsto a^x$ pour $a > 0$, propriétés algébriques. Fonction exponentielle $x \mapsto e^x$.</p> <p>Fonctions logarithme népérien et logarithme décimal, conversion. Propriétés algébriques.</p> <p>Fonctions puissance $x \mapsto x^\alpha$ pour $\alpha \in \mathbf{R}$.</p>	<p>Révision des acquis des classes antérieures. On met en valeur les courbes représentatives des fonctions de ce paragraphe.</p> <p>\Leftrightarrow Ces fonctions apparaissent, entre autres, en cinétique chimique et enzymatique. La mise sous forme réduite permet de trouver rapidement le sens de variation et (par la suite) les asymptotes, mais elle n'est pas en soi un attendu du programme.</p> <p>On met en valeur les courbes représentatives, parités et périodes de ces fonctions.</p> <p>Parmi les fonctions $x \mapsto a^x$, la fonction $x \mapsto e^x$ est celle dont la courbe a une tangente en 0 de pente 1.</p> <p>\Leftrightarrow Exemples de modèles exponentiels $x \mapsto e^{\lambda x}$ issus des autres disciplines (la variable x est alors pourvue d'une unité de mesure et la constante λ a aussi une unité).</p> <p>\Leftrightarrow Usage des logarithmes décimaux en pH-métrie.</p> <p>\Leftrightarrow Conversion de lois physiques ou chimiques, s'exprimant de manière multiplicative, en relations additives : migration de molécules en situation d'électrophorèse, évolution microbienne, loi d'action de masse, etc.</p> <p>On fait le lien entre les écritures a^x et $e^{\lambda x}$.</p>
<p>d) Fonctions polynomiales</p> <p><i>Les polynômes sont introduits à la fois comme outils de modélisation de phénomènes complexes et comme un domaine permettant un calcul de nature algébrique.</i></p> <p>Monômes.</p>	<p><i>On ne considère que des polynômes à coefficients réels. Les polynômes ne peuvent être le ressort principal d'une question posée au concours. Les polynômes sont exclusivement définis comme fonctions polynomiales de \mathbf{R} dans \mathbf{R}.</i></p> <p>On fait apparaître les polynômes comme combinaisons linéaires de monômes.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Fonctions affines.	Révision des acquis des classes antérieures : droites affines, coefficient directeur (ou pente). \Leftrightarrow Révision et mise en pratique de la régression linéaire.
Polynômes du second degré, factorisation sur \mathbf{R} .	\Leftrightarrow Application en pH-métrie (acides forts, bases fortes).
Opérations algébriques et composition sur les fonctions polynômes.	
Une combinaison linéaire de monômes de degrés distincts ne peut être nulle que si tous les coefficients sont nuls.	On montre que deux polynômes sont égaux si, et seulement si, ils ont les mêmes coefficients.
Degré, coefficients d'un polynôme. Polynôme unitaire.	
Polynôme dérivé.	On peut ici soit s'appuyer sur les acquis des classes antérieures, soit aborder la question de la dérivée de la fonction polynôme et des questions qui s'y rapportent dans le chapitre Analyse 2.
Racine simple et factorisation par $(x - a)$, racine multiple et factorisation par $(x - a)^2$.	On distingue le fait que a est racine simple ou multiple de P selon que $P'(a)$ est nul ou non; une approche graphique est recommandée. L'attendu concernant les racines se limite au cas où elles sont réelles. Le test sur les dérivées successives n'est pas au programme. L'ordre de multiplicité n'est pas au programme.

Analyse 2 – Études de fonctions

Le but de ce chapitre est de consolider et compléter les acquis des années antérieures concernant les calculs de limites et les règles de dérivation. Les résultats pourront être admis à ce stade, puis démontrés dans les chapitres Analyse 5 et Analyse 6.

Contenus	Commentaires
a) Calculs de limites	
Limite d'une fonction en un point, en $-\infty$, en $+\infty$.	À ce stade, on se contente d'une approche intuitive à partir d'illustrations numériques et graphiques, en lien avec ce qui a été fait au lycée.
Asymptotes parallèles aux axes.	La notion d'asymptote oblique n'est pas un attendu du programme.
Limites des fonctions usuelles au bord de leur ensemble de définition.	
Asymptotes des fonctions homographiques.	\Leftrightarrow En sciences expérimentales, interprétation de la présence d'une asymptote sur le tracé d'une courbe.
Règles opératoires sur les limites : combinaison linéaire, produit, quotient.	On se contente de calculer des limites dans des cas simples.
b) Calculs de dérivées	
Nombre dérivé, dérivabilité en un point.	Notations : $f'(a)$ et $\frac{df}{dx}(a)$.
Équation de la tangente en un point. Tangente verticale.	
Fonction dérivée. Opérations : combinaison linéaire, produit, quotient, composée.	Notations : f' et $\frac{df}{dx}$. \Leftrightarrow On fait le lien avec diverses situations issues d'autres disciplines où l'on dérive par rapport au temps : vitesse d'un point mobile, vitesse de réaction, cinétique enzymatique...
Dérivabilité et fonctions dérivées des fonctions $x \mapsto x^n$ ($n \in \mathbf{Z}$), racine carrée, cos, sin, tan, exp, ln et $x \mapsto x^\alpha$ ($\alpha \in \mathbf{R}$).	

Contenus (suite)	Commentaires
Définition de la dérivée seconde. Signe de la dérivée et sens de variation. Tableau de variation.	Cette définition prélude à l'étude des équations différentielles. On met en valeur les dérivées secondes des fonctions exp, sin et cos. On utilise l'interprétation graphique du nombre dérivé pour suggérer ce lien. On remarque que les fonctions constantes ont une dérivée nulle, et on admet la réciproque sur un intervalle. Les liens croisés entre tableaux de variation, tableaux de signes, tableaux de valeurs et courbes représentatives sont importants à développer.
c) Calculs des dérivées partielles d'une fonction de deux variables Dérivées partielles d'une fonction de deux variables.	On introduit les notations $\frac{\partial}{\partial x}$ et $\frac{\partial}{\partial y}$. \Rightarrow Le calcul des dérivées partielles est présenté en lien avec l'usage qui en est fait dans les autres disciplines : exemples de lois physiques s'exprimant avec des dérivées partielles premières (ou secondes, par extension) notamment en thermodynamique et à propos des gaz parfaits. Les règles de dérivation en chaîne ne sont pas au programme.
d) Calculs de primitives Définition d'une primitive d'une fonction sur un intervalle. Deux primitives d'une même fonction sur un intervalle différent d'une constante. Primitives des fonctions usuelles.	Primitives de $u'e^u$, $u'u^\alpha$, u'/u , u'/\sqrt{u} , $u' \sin u$ et $u' \cos u$.

Analyse 3 – Équations différentielles linéaires à coefficients constants

Contenus	Commentaires
a) Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants Équations du type : $y' + ay = 0$ où a est un nombre réel. Équations du type : $y' + ay = f(t)$ où a est un réel et f est une fonction usuelle.	On résout ces équations sur un intervalle. On donnera la forme d'une solution particulière dont l'étudiant aura à ajuster les coefficients. \Rightarrow Exemples issus de modèles relevant des sciences physiques, de la chimie et de la biologie : mouvement d'un point mobile, modèles d'évolution bactérienne, cinétique chimique et enzymatique.
b) Équations différentielles linéaires du second ordre à coefficients constants Équations du type : $y'' + ay' + by = 0$ où a et b sont des nombres réels. Équations du type : $y'' + ay' + by = f(t)$ où a et b sont réels. et f une fonction usuelle.	On résout ces équations sur un intervalle. On donnera la forme d'une solution particulière dont l'étudiant aura à ajuster les coefficients. \Rightarrow Le cas le plus fréquent dans les applications est celui d'un second membre de la forme $t \mapsto \sin(\omega t)$. On fournit à l'étudiant la forme d'une solution possible, du type $t \mapsto \lambda \sin(\omega t) + \mu \cos(\omega t)$ ou $t \mapsto \lambda t \cos(\omega t)$, il reste alors à déterminer la valeur de λ et de μ .

Contenus (suite)	Commentaires
Principe de superposition.	\Leftrightarrow Il s'agit de mettre en évidence la linéarité des « sorties » (la fonction y) par rapport aux « entrées » (la fonction f).

Probabilités 1 – Ensembles et dénombrement

Cette rubrique a pour but d'introduire le vocabulaire et les méthodes de base du dénombrement. Les différentes notions seront illustrées par des exemples issus des jeux, de la vie courante et des sciences. On évitera tout excès de formalisation dans les démonstrations.

Contenus	Commentaires
a) Vocabulaire de base Élément, appartenance, sous-ensemble ou partie. Inclusion, complémentaire. Intersection, réunion. Produit cartésien de n ensembles.	Ces notions, qui pourront avoir été abordées dans d'autres rubriques (par exemple lors des généralités sur les fonctions numériques), devront faire l'objet d'un développement modeste. Elles ne pourront constituer le thème principal d'aucune question d'écrit ou d'oral.
b) Dénombrement Cardinal, notation $\text{card}(E)$. Note : dans les définitions qui suivent, on suppose que $\text{card}(E) = n$. Cardinal d'une union disjointe. Formule $\text{card}(A \cup B) + \text{card}(A \cap B) = \text{card } A + \text{card } B$. Cardinal d'un produit cartésien. Un éléments de E^p est appelée une p -liste de E . Il y a n^p p -listes de E . Une p -liste est dite sans répétition lorsque ses éléments sont distincts deux à deux. Il y a $n(n-1) \cdots (n-p+1)$ p -listes sans répétition de E . Une liste de E contenant exactement une fois chaque élément de E est appelée une permutation de E . Il y a $n!$ permutations de E . Si $p \leq \text{card}(E)$, une p -combinaison de E est une partie de E à p éléments. Il y a $\binom{n}{p}$ p -combinaisons de E . Cardinal de l'ensemble des parties de E . Formule du binôme.	On définit le cardinal grâce à la notion intuitive de nombre d'éléments. C'est le nombre de façons de choisir successivement p objets parmi n , avec d'éventuelles répétitions. C'est le nombre de façons de choisir successivement p objets parmi n , sans répétition. C'est le nombre de façons de choisir successivement tous les objets d'un ensemble, sans répétition. C'est le nombre de façons de choisir simultanément p objets parmi n . On réinterprète la formule du binôme d'un point de vue combinatoire, et on constate que les coefficients binomiaux, vus dans le chapitre Outils et calculs, sont les nombres de p -combinaisons d'ensembles finis.

Second semestre

Analyse 4 – Suites réelles

Contenus	Commentaires
<p>a) Généralités</p> <p>Définition. Combinaison linéaire, produit et quotient. Suite majorée, suite minorée.</p> <p>Représentation graphique sous la forme d'un nuage de points.</p> <p>Monotonie.</p> <p>Suite définie par récurrence.</p>	<p>Les propriétés des suites seront à relier à celles vues pour les fonctions.</p> <p>On se sert de la caractérisation propre aux suites.</p> <p>Aucune méthodologie d'étude particulière n'est exigible. On pourra présenter quelques exemples de suites récurrentes d'ordre 2. L'étude des suites $u_{n+1} = f(u_n)$ pourra faire l'objet d'une activité, mais aucune connaissance générale n'est au programme. \Leftrightarrow Exemples de phénomènes d'évolution représentables par un modèle discret : croissance bactérienne, dynamique des populations.</p>
<p>b) Limites</p> <p>Suite convergente, suite divergente vers $-\infty$ et $+\infty$. Suite divergente.</p> <p>Opérations sur les limites.</p> <p>Limites et relation d'ordre.</p> <p>Théorème de comparaison, théorème d'encadrement dit « des gendarmes ».</p> <p>Théorème de la limite monotone : existence d'une limite finie ou infinie pour les suites monotones.</p>	<p>La définition d'une limite par (ϵ, N) doit être donnée en rapport avec le comportement graphique et verbalisée.</p> <p>Aucune des démonstrations relatives aux propriétés générales sur les limites n'est exigible.</p> <p>La définition des suites adjacentes n'est pas au programme.</p>
<p>c) Suites équivalentes</p> <p>Suites équivalentes, notation $u_n \sim v_n$.</p> <p>Symétrie. Transitivité. L'équivalence est compatible avec la multiplication, la division et l'élévation à une puissance constante.</p> <p>Utilisation des équivalents pour la recherche de limites.</p>	<p>Le développement sur les équivalents doit être modeste et se limiter aux suites dont le terme général ne s'annule pas.</p>

Analyse 5 – Limites et continuité

Contenus	Commentaires
<p>a) Limites</p> <p>Limite d'une fonction en un point.</p> <p>Limite à droite, limite à gauche. Limite en $-\infty$, limite en $+\infty$.</p> <p>Limite d'une combinaison linéaire, d'un produit, d'un quotient, d'une composée.</p> <p>Limite d'un polynôme ou d'une fraction rationnelle en l'infini.</p> <p>Limites et relation d'ordre.</p> <p>Théorème de comparaison, théorème d'encadrement dit « des gendarmes » pour les fonctions.</p> <p>Théorème des croissances comparées.</p>	<p>La définition d'une limite par (ϵ, α) doit être donnée en rapport avec le comportement graphique.</p> <p>On insiste sur le caractère local de la notion. On se limitera à des exemples simples.</p> <p>Il s'agit de comparer le comportement en 0 et en $\pm\infty$ des fonctions $x \mapsto \ln x$, $x \mapsto x^\alpha$ et $x \mapsto e^{\lambda x}$ (avec $\alpha \in \mathbf{R}$ et $\lambda > 0$).</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p>b) Notion de continuité Continuité en un point. Prolongement par continuité. Continuité sur un intervalle. Opérations et composition.</p> <p>Continuité sur un intervalle.</p>	<p>Les fonctions obtenues par opérations algébriques et composition à partir des fonctions usuelles sont continues sur leur domaine de définition.</p>
<p>c) Propriétés des fonctions continues sur un intervalle Théorème des valeurs intermédiaires.</p> <p>Toute fonction continue sur un segment est bornée et atteint ses bornes. Une fonction f continue et strictement monotone sur un intervalle I réalise une bijection de I sur l'intervalle $f(I)$. Propriétés de l'application réciproque. Fonctions $\sqrt[n]{}$.</p> <p>Fonction arctangente.</p>	<p>Seules les interprétations graphiques sont exigibles. \Leftrightarrow résoudre de manière approchée une équation de type $f(x) = 0$.</p> <p>La fonction $\sqrt[n]{}$ est définie et continue sur \mathbf{R} (respectivement sur \mathbf{R}_+) lorsque n est impair (respectivement n est pair).</p> <p>On présente et étudie brièvement la courbe représentative de la fonction arctan, obtenue par symétrie à partir de celle de la restriction de la tangente à $\left] -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right[$.</p>

Analyse 6 – Dérivation

Cette section s'appuie sur les notions de nombre dérivé et de fonction dérivée, introduites au premier semestre. L'aspect graphique (tangentes) est à souligner. Les fonctions envisagées doivent être supposées suffisamment régulières ; on évitera toute surenchère au niveau des hypothèses.

Contenus	Commentaires
<p>a) Dérivées Nombre dérivé et opérations : linéarité, produit, quotient et fonction composée. Fonction dérivée et opérations : linéarité, produit, quotient et fonction composée. Dérivée de l'application réciproque. Dérivées des fonctions $\sqrt[n]{}$, de la fonction arctan.</p> <p>Fonctions de classe \mathcal{C}^1.</p>	<p>On utilise la courbe représentative des fonctions puissance et tangente pour suggérer la dérivabilité des fonctions réciproques. La formule est obtenue par dérivation de la composée. Seule la définition est un attendu du programme ; elle prélude à l'étude de l'intégration.</p>
<p>b) Théorème des accroissements finis et applications Théorème des accroissements finis.</p> <p>Application à l'étude de la monotonie d'une fonction dérivable sur un intervalle.</p>	<p>La démonstration n'est pas exigible. L'inégalité des accroissements finis n'est pas exigible, celle-ci pouvant être trouvée à partir du théorème du même nom.</p> <p>Les liens croisés entre tableaux de variation, tableaux de signes, tableaux de valeurs et courbes représentatives demeurent importants à souligner.</p>

Analyse 7 – Calcul intégral

Contenus	Commentaires
<p>a) Notion d'intégrale</p> <p>Intégrale d'une fonction continue et positive f sur un segment $[a, b]$: il s'agit de l'aire sous la courbe. Elle est notée $\int_a^b f(t) dt$.</p> <p>Intégrale d'une fonction continue de signe quelconque.</p> <p>Extension de la définition au cas $b < a$.</p> <p>Valeur moyenne d'une fonction.</p>	<p>La notion d'aire est ici intuitive et ne doit pas soulever de question théorique. Les sommes de Riemann sont hors-programme.</p> <p>\Leftrightarrow Calcul de la valeur approchée d'une intégrale par la méthode des rectangles.</p> <p>Définition à partir de la partie positive et de la partie négative de la fonction.</p>
<p>b) Propriétés de l'intégrale</p> <p>Relation de Chasles, linéarité, positivité, croissance, majoration de la valeur absolue d'une intégrale.</p>	
<p>c) Théorème fondamental de l'analyse</p> <p>Si f est continue sur un intervalle I et si a est un élément de I alors la fonction F définie sur I par $F(x) = \int_a^x f(t) dt$ est l'unique primitive de f sur I s'annulant en a.</p> <p>Si F est une primitive de f sur I, pour tous a et b de I on a $\int_a^b f(t) dt = F(b) - F(a)$</p>	<p>Notation $\int_a^b f(t) dt = [F(t)]_a^b$.</p>
<p>d) Procédés d'intégration</p> <p>Intégration par parties.</p> <p>Intégration par changement de variable.</p>	<p>Au cours d'une épreuve, sauf dans les cas simples, la nécessité d'une intégration par parties sera indiquée.</p> <p>Au cours d'une épreuve, sauf dans les cas simples, le changement de variable sera donné.</p>

Algèbre linéaire 3 – Espace vectoriel \mathbf{R}^n ($n \leq 4$)

Contenus	Commentaires
<p>Combinaison linéaire d'une famille finie de vecteurs de \mathbf{R}^n.</p> <p>Sous-espaces vectoriels de \mathbf{R}^n.</p> <p>Sous-espace vectoriel engendré par une famille finie de vecteurs.</p> <p>Intersection de sous-espaces vectoriels de \mathbf{R}^n.</p> <p>Familles finies de vecteurs de \mathbf{R}^n : familles génératrices d'un sous-espace vectoriel de \mathbf{R}^n; dépendance, indépendance linéaire d'un nombre fini de vecteurs.</p> <p>Bases et dimension d'un sous espace vectoriel, coordonnées d'un vecteur dans une base, matrice colonne des coordonnées d'un vecteur dans une base.</p> <p>Base canonique de \mathbf{R}^n.</p> <p>Droite vectorielle, plan vectoriel.</p> <p>Rang d'une famille finie de vecteurs.</p>	<p>On admet le résultat : tous les sous-espaces vectoriels de \mathbf{R}^n (autres que le singleton nul) admettent une base, et elles ont toutes le même cardinal. On convient que l'espace nul est de dimension nulle.</p> <p>Le rang est relié à l'algorithme du pivot; on admet qu'il ne dépend pas de la manière de choisir les pivots.</p>

Algèbre linéaire 4 – Applications linéaires de \mathbf{R}^p dans \mathbf{R}^n

Contenus	Commentaires
<p>Applications linéaires, endomorphismes. Opérations : combinaison linéaire, composition. Noyau, ensemble image, rang d'une application linéaire.</p> <p>Détermination d'une application linéaire par l'image des vecteurs d'une base. Matrice d'une application linéaire dans des bases de \mathbf{R}^p et \mathbf{R}^n. Matrice d'une combinaison linéaire, de la composée de deux applications linéaires, de l'application linéaire réciproque.</p>	<p>On fait le lien avec les notions d'injection, de surjection et de bijection.</p> <p>L'application linéaire canoniquement associée à une matrice est utilisée sans justification théorique.</p>

Probabilités 2 – Concepts de base des probabilités

Contenus	Commentaires
<p>a) Vocabulaire Épreuve (expérience aléatoire). Univers. Notion d'événement. Événement certain, impossible.</p> <p>Événement élémentaire. Événements incompatibles, événement contraire. Système complet d'événements.</p>	<p>En première année on se limitera au cas où l'univers est fini et où l'algèbre des événements est égale à l'ensemble des parties de l'univers. \Leftrightarrow On peut en particulier s'appuyer sur des exemples issus de la génétique : code génétique et probabilités d'apparitions d'un triplet de codons donné, transmission d'allèle pour un gène, génétique des populations, etc.</p>
<p>b) Probabilité Définition. Espace probabilisé. Propriétés. Dans le cas d'un univers fini, caractérisation d'une probabilité par la donnée des probabilités des événements élémentaires. Cas de l'équiprobabilité (cas favorables, cas possibles).</p>	
<p>c) Probabilités conditionnelles Définition. Notations : $P(A/B)$ et $P_B(A)$. Propriétés. Théorème des probabilités composées. Formule des probabilités totales $P(B) = \sum_i P(B \cap A_i)$.</p> <p>Théorème de Bayes. Indépendance de deux événements. Événements mutuellement indépendants.</p>	<p>On fait observer que P_B est une autre probabilité, mais aucune théorie n'est à construire.</p> <p>Dans le cas où les $P(A_i)$ sont non nuls, interprétation en termes de probabilités conditionnelles; on valorise des représentations arborescentes ou en tableau.</p>

Probabilités 3 – Variables aléatoires sur un univers fini

Contenus	Commentaires
<p>Définition. Système complet constitué des événements $\{X = x\}$ pour $x \in X(\Omega)$. Loi de probabilité d'une variable discrète.</p>	<p>On se limite au cas où l'univers est fini, et par conséquent l'ensemble des valeurs prises est fini.</p> <p>Diagramme en bâtons.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Exemples fondamentaux de variables aléatoires : lois uniforme, de Bernoulli, binomiale.</p> <p>Définition de la fonction de répartition.</p> <p>Espérance mathématique : définition, positivité, linéarité.</p> <p>Théorème de transfert pour le calcul de l'espérance de $u(X)$.</p> <p>Variance et écart-type : définition.</p> <p>Formule $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$.</p>	<p>Ces exemples ont été introduits en classe de Première.</p> <p>Représentation graphique.</p> <p>On met en valeur la formule $E(aX + b) = aE(X) + b$. La linéarité dans le cas général est admise.</p> <p>On met en valeur la formule $V(aX + b) = a^2 V(X)$.</p>



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de mathématiques de la classe TB 2nde année

Programme de mathématiques TB2

Préambule

Objectif de la formation

En classe de TB2 l'objectif est, dans le cadre d'un approfondissement de la formation, d'amener l'étudiant à intégrer les différentes étapes permettant de résoudre un problème exprimable de façon mathématique. L'enjeu est la reformulation et la résolution de problèmes issus de contextes ou de réalités a priori non mathématiques (provenant souvent d'autres disciplines).

Ainsi sont mises en jeu diverses compétences. Certaines ont déjà été envisagées en première année (TB1), et sont consolidées en seconde année :

1. Engager une recherche, définir une stratégie.
2. Modéliser un phénomène à l'aide du langage mathématique.
3. Représenter, changer de registre.
4. Reasonner, démontrer, argumenter. . .
5. Calculer (symboliquement ou numériquement avec une calculatrice ou un ordinateur), maîtriser le formalisme mathématique.
6. Communiquer à l'écrit et à l'oral.

D'autres constituent des objectifs plus spécifiquement approfondis en seconde année, dans la perspective du concours :

- Identifier un problème sous différents aspects ;
- mobiliser des connaissances scientifiques pertinentes ;
- critiquer ou valider un modèle ou un résultat.

Buts visés

Le programme de mathématiques de TB2 approfondit celui de TB1, ce qui se traduit par les enjeux suivants.

- Consolider les acquis mathématiques de TB1, notamment en matière de calculs et raisonnement. Par souci de clarté, il a été choisi de numéroter de manière compatible les têtes de chapitre des programmes de TB1 et de TB2.
- Généraliser les concepts introduits en TB1 en augmentant la taille et la complexité des objets étudiés.
- Mettre un accent particulier sur la notion de modélisation, où se confrontent les mathématiques et les autres sciences.

Équilibre entre compétences

Les différentes compétences sont développées puis évaluées (au cours de l'année puis lors du concours) en veillant à leur équilibre. On prend garde en particulier à ne pas surdévelopper une compétence par rapport à une autre.

Les capacités en calcul par exemple (point 5 ci-dessus), lorsqu'elles sont propres aux mathématiques (comme la justification de la convergence d'une série ou d'une intégrale généralisée), restent relativement simples, l'objectif n'étant pas ici d'aboutir à une virtuosité technique poussée. On attend, en la matière, une

maîtrise solide des calculs, concepts et théorèmes mathématiques, dans des situations simples et ordinaires, sans pour autant négliger les compétences 1, 2, 3, 4 et 6.

Contenu

Probabilités

Les probabilités, abordées en première année (TB1) et étudiées selon différentes modalités depuis la classe de troisième, comportent plusieurs aspects.

- ▷ Un approfondissement des notions vues en TB1 : reprise des techniques élémentaires et des raisonnements vus en TB1, et développement de ceux-ci, motivant l'introduction d'outils comme les séries ou les intégrales généralisées. Le but n'est pas d'étudier ces objets pour eux-mêmes, ce qui amène à ne manipuler que des variables aléatoires à valeurs positives (une exception est faite de la loi normale).
- ▷ Une importante connexion avec la notion de modélisation : modélisation par des événements, des probabilités conditionnelles, des lois classiques.
- ▷ Une reprise des résultats présentés en classe terminale. Afin de faciliter le travail de l'étudiant dans l'assimilation des connaissances, on reprend ces résultats tels qu'ils sont formulés dans les programmes de classe terminale.

Algèbre linéaire

Dans une démarche d'extension typique des mathématiques, l'algèbre linéaire est étendue en abordant la notion générale d'espace vectoriel sur \mathbf{R} ou \mathbf{C} et la dimension finie est envisagée dans sa généralité (les espaces vectoriels présentés en cours pouvant être de dimension $n \geq 4$).

On commence par les applications linéaires avant d'aborder la notion générale de représentation d'un endomorphisme par une matrice dans une base quelconque, visant essentiellement la diagonalisation des matrices ou endomorphismes en dimension restreinte (4 au plus).

En géométrie euclidienne les notions de produit scalaire et de projection orthogonale préparent à l'analyse de données statistiques en grande dimension, qui pourra être abordée dans la poursuite d'études.

Analyse

L'analyse de TB1 est consolidée pendant l'année de TB2. De nouveaux éléments sont introduits (séries et intégrales impropres), qui pour la plupart trouvent leur cadre naturel dans le contexte des probabilités. Par ailleurs, les développements limités participent de la modélisation fonctionnelle et fournissent des exemples d'approximation. Enfin, une première approche des équations différentielles non linéaires permet d'enrichir les liens interdisciplinaires.

Mathématiques pratiques

Le calcul effectif se fait le plus souvent, aujourd'hui, au moyen d'outils de calcul (logiciel, langage de programmation ou calculatrice), ce qu'il est prévu d'évaluer dans l'oral du concours, où une place importante est faite au calcul numérique et aux représentations graphiques.

Comme en première année, les situations permettant de mettre en évidence des liens avec les autres enseignements scientifiques sont signalées par un symbole \Leftrightarrow . Ces questions sont susceptibles de fournir le cadre d'une épreuve écrite ou orale de mathématiques, mais aucune connaissance spécifique n'est exigible à leur sujet.

Programme de seconde année

La répartition en chapitres proposée ci-dessous est fournie à titre indicatif et ne constitue pas une progression figée ou obligatoire. Les impératifs pédagogiques liés à la préparation aux concours peuvent justifier une organisation différente, sous réserve de maintenir une structure cohérente.

Des temps de consolidation portant, sous la forme d'exercices, sur les acquis de TB1 ont été insérés avant certains chapitres de TB2. Ils permettent de réinvestir les notions abordées en première année. Ils ne doivent pas être pris dans un sens restrictif : des approches numériques, pouvant s'appuyer sur le programme d'informatique ou recourir à des outils logiciels ou des calculatrices peuvent tout aussi bien renforcer la maîtrise des concepts et de leurs applications.

Consolidation 1 – Nombres complexes et trigonométrie

Exercices et situations illustrant le programme de première année.

Consolidation 2 – Systèmes linéaires et matrices

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Algèbre linéaire 1, Algèbre linéaire 2).

Outils et calculs

Les compléments présentés dans ce chapitre sont essentiellement destinés aux probabilités discrètes.

Contenus	Commentaires
Reprise et extension des règles de calcul sur le symbole \sum .	Changements d'indices (translations et symétries), télescopes.
Sommes doubles du type $\sum_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq m}} a_{i,j}$.	Les attendus du programme concernant les sommes doubles se limitent au maniement des sommations du type indiqué.

Algèbre linéaire 5 – Espaces vectoriels de dimension finie

On reprend les notions vues en première année et on les étend à tout espace vectoriel sur le corps K (K étant égal à \mathbf{R} ou \mathbf{C}), de dimension finie. L'utilisation d'espaces vectoriels de dimension infinie n'est pas un attendu du programme.

Contenus	Commentaires
Structure d'espace vectoriel.	Les espaces vectoriels suivants doivent être vus à titre d'exemples : K^n , $\mathbf{R}_n[X]$ l'espace des fonctions polynômes de degré inférieur ou égal à n , $\mathcal{M}_{n,p}(K)$. On utilise la notation $\text{Vect}(x_1, x_2, \dots, x_k)$.
Sous-espaces vectoriels. Sous espace vectoriel engendré par une famille finie de vecteurs.	
Intersection de sous-espaces vectoriels.	On convient que l'espace nul est de dimension nulle.
Familles finies de vecteurs, familles génératrices d'un sous-espace vectoriel.	
Familles libres finies, familles liées finies.	
Bases finies d'un espace vectoriel.	
Un espace vectoriel est de dimension finie s'il admet une base finie ou s'il est réduit au singleton nul.	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Dans un espace vectoriel E non nul de dimension finie :</p> <ul style="list-style-type: none"> — toutes les bases de E ont le même cardinal, qu'on appelle la dimension de E; — si une famille de vecteurs de E est libre, elle a un cardinal inférieur ou égal à la dimension de E; — si une famille de vecteurs de E est génératrice, elle a un cardinal supérieur ou égal à la dimension de E; — si une famille de vecteurs de E a un cardinal égal à la dimension de E, elle est libre si et seulement si elle est génératrice. <p>Coordonnées d'un vecteur dans une base.</p> <p>Bases canoniques de K^n et $\mathbf{R}_n[X]$.</p> <p>Rang d'une famille finie de vecteurs.</p> <p>Si F est un sous-espace vectoriel de E, alors la dimension de F est inférieure ou égale à la dimension de E. Si les deux dimensions sont égales, alors $F = E$.</p>	<p>Compte tenu des objectifs pédagogiques, la plupart de ces énoncés doivent être admis, mais on peut montrer comment certains de ces résultats peuvent en impliquer d'autres.</p> <p>Matrice d'une famille de vecteurs dans une base. L'étude des matrices proprement dite est abordée plus loin (Algèbre linéaire 7).</p>

Algèbre linéaire 6 – Applications linéaires

Contenus	Commentaires
<p>a) Définition, opération, noyau et image</p> <p>Applications linéaires, endomorphismes, isomorphismes, automorphismes.</p> <p>Opérations : combinaison linéaire, composition, réciproque.</p> <p>Noyau, ensemble image, rang d'une application linéaire.</p>	<p>L'étude de $\mathcal{L}(E, F)$ en tant qu'espace vectoriel n'est pas un attendu du programme.</p> <p>On établit le lien entre le noyau et l'injectivité, le lien entre l'ensemble image et la surjectivité.</p>
<p>b) Application linéaire et dimension finie</p> <p>Théorème du rang : $\dim \text{Im } f + \dim \text{Ker } f = \dim E$.</p> <p>Caractérisation d'un isomorphisme : l'image d'une base de E est une base de F.</p>	<p>Relation admise.</p>

Algèbre linéaire 7 – Matrices à coefficients dans \mathbf{R} et \mathbf{C}

Contenus	Commentaires
<p>a) Représentation par des matrices</p> <p>Matrice représentative d'une famille de vecteurs dans une base.</p> <p>Matrice d'une application linéaire. Matrice d'un endomorphisme d'un espace vectoriel E, une base de E ayant été choisie.</p>	<p>On revoit la notion de matrice représentative d'une application linéaire de \mathbf{R}^p dans \mathbf{R}^n, et on l'étend à toute matrice d'une application linéaire entre deux espaces vectoriels de dimensions finies.</p>
<p>b) Changements de base</p> <p>Changement de base, matrices de passage.</p> <p>Effet d'un changement de base sur la matrice des coordonnées d'un vecteur, sur la matrice d'un endomorphisme.</p>	<p>On met en évidence l'inversibilité de la matrice de passage ainsi que la signification de l'inverse.</p>
<p>c) Rang d'une matrice</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
Formule $\text{rg}(A) = \text{rg}({}^t A)$. Lien entre l'inversibilité d'une matrice carrée et son rang.	Relation admise. On fait dès lors le lien entre les différentes notions de rang, vues à propos des systèmes, des familles de vecteurs, des matrices et des applications linéaires.
d) Noyau, image d'une matrice Interprétation d'une matrice carrée de taille n comme endomorphisme de K^n (muni de la base canonique).	Cette interprétation permet de parler d'image, noyau et de rang de la matrice en lien avec les mêmes notions pour les applications linéaires.

Algèbre linéaire 8 – Géométrie euclidienne dans \mathbf{R}^n

Ce chapitre est inséré dans l'étude de l'algèbre linéaire et propose une extension très modeste des notions de géométrie euclidienne de dimension n à laquelle il confère un aspect visuel et appliqué; il est aussi étudié pour son utilité en sciences physiques, chimiques, en biotechnologies et en probabilités avec la mise en place d'un résultat fondamental pour les applications, la projection orthogonale sur un sous-espace.

Contenus	Commentaires
a) Produit scalaire dans \mathbf{R}^n Produit scalaire usuel (ou canonique) dans \mathbf{R}^n . Norme euclidienne. Vecteurs orthogonaux. Bases orthonormales de \mathbf{R}^n .	On illustrera les notions en petite dimension. La preuve de l'inégalité triangulaire n'est pas exigible. Les cas d'égalité ne constituent pas un objectif du programme. On peut faire observer qu'une famille de vecteurs tous non nuls et deux à deux orthogonaux est libre. On souligne le fait que l'expression du produit scalaire canonique et de sa norme euclidienne sont indépendants de la base orthonormale choisie. La matrice de passage P de la base canonique à une base orthonormale vérifie ${}^t P P = I_n$.
b) Projection orthogonale Distance entre deux vecteurs. On appelle projection orthogonale sur un sous-espace F de \mathbf{R}^n un endomorphisme p de \mathbf{R}^n tel que : pour tout $x \in \mathbf{R}^n$, $p(x) \in F$ et pour tout $y \in F$, $p(x) - x$ est orthogonal à y . Existence et unicité de la projection orthogonale p sur un sous-espace de \mathbf{R}^n . Application : distance d'un vecteur à un sous-espace de \mathbf{R}^n .	On admet qu'il est possible de trouver une base orthonormale du sous-espace F . Écriture de la projection orthogonale dans une base orthonormale de F . Interprétation en tant que démarche d'optimisation ou de meilleure approximation; en exemple, on peut interpréter l'ajustement affine (régression linéaire) comme une projection sur un sous-espace de dimension 2.

Algèbre linéaire 9 – Valeurs propres et vecteurs propres

Contenus	Commentaires
a) Éléments propres Valeurs propres d'un endomorphisme d'un espace de dimension inférieure ou égale à 4.	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Valeurs propres et vecteurs propres d'une matrice carrée de dimension inférieure ou égale 4.</p> <p>Sous-espaces propres d'un endomorphisme ou d'une matrice. Une famille de vecteurs obtenue par juxtaposition de bases de sous-espaces propres associés à des valeurs propres distinctes est libre.</p>	<p>La recherche pratique des valeurs et vecteurs propres d'une matrice A conduit le plus souvent à l'étude d'un système linéaire homogène ou du rang de la matrice $A - \lambda I$. On rappelle à ce sujet que les déterminants de taille supérieure à 2 sont hors programme</p>
<p>b) Diagonalisation des matrices et des endomorphismes Endomorphisme diagonalisable, matrice diagonalisable.</p> <p>La somme des dimensions des sous-espaces propres est inférieure ou égale à la dimension de E.</p> <p>Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si la somme des dimensions de ses sous-espaces propres égale la dimension de E.</p> <p>Toute matrice symétrique réelle de taille inférieure ou égale à 4 est diagonalisable, la matrice de passage P vérifiant $P^{-1} = {}^t P$.</p>	<p>Il est ici commode de rappeler l'identification d'une matrice carrée à un endomorphisme de K^n, évitant les répétitions inutiles.</p> <p>\Leftrightarrow Exemples de calculs de puissances d'une matrice issus de situations itératives en biologie des populations, en probabilités.</p> <p>\Leftrightarrow Application à l'étude de certaines suites apparaissant dans des situations issues des probabilités, des sciences biologiques : suites définies par une récurrence linéaire du type $u_{n+1} = au_n + bu_{n-1}$ ($a, b \in \mathbf{R}$), ou suites récurrentes linéaires « croisées ».</p> <p>Résultat admis.</p> <p>On met en valeur les relations matricielles ${}^t P A P = D$ et ${}^t P P = I$. Le cas échéant, on observera que la base diagonalisante est orthonormée.</p>

Consolidation 3 – Fonctions et dérivées

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 1, Analyse 2, Analyse 5, Analyse 6).

Analyse 8 – Dérivation et développements limités

Ce chapitre élargit certains concepts vus en première année en introduisant les dérivées n -èmes et les développements limités à l'ordre n .

Les exercices de calcul de développements limités ont pour objet de faciliter l'assimilation des propriétés fondamentales et ne doivent pas être orientés vers la virtuosité calculatoire : sur les exemples numériques, on évitera tout développement limité au-delà de l'ordre 3.

Contenus	Commentaires
<p>a) Limites de fonctions et équivalents Fonctions équivalentes en un point ou à l'infini, notation $f \underset{a}{\sim} g$.</p> <p>Symétrie. Transitivité. L'équivalence est compatible avec la multiplication, la division et l'élévation à une puissance constante. Utilisation des équivalents pour la recherche de limites.</p> <p>Si la suite (u_n) tend vers a, et deux fonctions f et g sont définies et équivalentes au voisinage de a alors $f(u_n) \sim g(u_n)$.</p> <p>Si $u(x) \rightarrow b$ lorsque $x \rightarrow a$ et si $f \underset{b}{\sim} g$ alors $f \circ u \underset{a}{\sim} g \circ u$.</p>	<p>On se limite aux fonctions ne s'annulant pas sur un intervalle de la forme $]a, b[$ ou $]b, a[$.</p> <p>On ne formalise pas la notion de voisinage, on s'en tient à son interprétation intuitive.</p> <p>Le développement reste modeste et se limite aux fonctions qui ne s'annulent pas au voisinage du point de référence.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Équivalents en 0 des fonctions $x \mapsto \exp(x) - 1$, $x \mapsto \ln(1 + x)$, \sin , $x \mapsto 1 - \cos(x)$ et $x \mapsto (1 + x)^\alpha - 1$.	
b) Dérivées n-ièmes Fonction n fois dérivable en un point ou sur un intervalle, dérivée n -ième d'une fonction. Fonction de classe $\mathcal{C}^n, \mathcal{C}^\infty$.	On peut revoir à cette occasion plusieurs études de fonctions. La formule de Leibniz est hors-programme. \Rightarrow Lien avec la cinématique du point matériel : vitesse, accélération.
c) Développements limités au voisinage de 0. Définition de la notation $o(x^n)$ pour désigner des fonctions négligeables devant la fonction $x \mapsto x^n$, pour $n \in \mathbf{Z}$ et au voisinage de 0 ou de l'infini. Définition des développements limités en 0. Interprétation des développements limités d'ordre 1 et 2 (ou plus si nécessaire) en termes de position relative entre tangente et courbe. Opérations sur les développements limités : combinaison linéaire, produit. Primitivation d'un développement limité. Développements limités de $x \mapsto \frac{1}{1-x}$, $x \mapsto \ln(1 + x)$ et \exp . Formule de Taylor-Young : existence d'un développement limité à l'ordre n pour une fonction de classe \mathcal{C}^n . Développements limités usuels au voisinage de zéro des fonctions : \cos , \sin et $x \mapsto (1 + x)^\alpha$ où α est un réel.	On se ramène, aussi souvent que nécessaire, à la limite d'un quotient. Les problèmes de développement limité en un réel non nul ou en $\pm\infty$ sont ramenés en 0. L'étude des développements asymptotiques ne sont pas un attendu du programme. L'obtention d'un développement limité pour une fonction composée est présentée et exercée sur des exemples simples, comme $x \mapsto \frac{1}{1+x^2}$. Le second est obtenu par primitivation et le troisième par primitivations successives. La formule de Taylor-Young peut être admise, ou obtenue par primitivations successives dans le cadre d'une récurrence.

Consolidation 4 – Équations différentielles linéaires

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 3).

Analyse 9 – Équations différentielles

Ce chapitre consolide les équations différentielles vues en TB1, et présente deux exemples d'équations différentielles non linéaires autonomes.

Contenus	Commentaires
Exemple d'étude de l'équation différentielle non linéaire autonome : $y' + ky^2 = 0$.	On montre comment obtenir une expression des solutions sans se poser la question d'éventuelles annulations. La définition des équations autonomes est hors programme. Le changement de fonction inconnue peut être envisagé en cours, mais n'est pas un attendu du programme. \Rightarrow Réactions d'ordre 2 en cinétique chimique (on met en valeur, dans ce contexte particulier, la notion de conditions initiales).

Contenus (suite)	Commentaires
Exemple d'étude de l'équation logistique $y' = y(1 - y)$ dans le seul cas où $0 < y < 1$.	On pourra introduire la fonction auxiliaire $z = \frac{1}{y}$. \Rightarrow Ce modèle (dit logistique normalisé) trouve sa source en dynamique des populations. Discussion des stratégies r et K . \Rightarrow Méthode d'Euler pour les équations différentielles.

Consolidation 5 – Suites réelles

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 4).

Probabilités 4 – Concepts de base des probabilités

Ce chapitre a pour but de développer les variables aléatoires réelles vues en première année, et de compléter et consolider les techniques du calcul des probabilités vues en première année.

On ne soulèvera aucune difficulté théorique sur les notions introduites dans cette partie du programme où un bon nombre de résultats seront admis.

Les séries à termes positifs sont exclusivement introduites en vue du calcul des probabilités. Au cours d'une épreuve de mathématiques les séries ne pourront intervenir que dans le cadre probabiliste.

Les séries considérées seront à termes positifs.

Contenus	Commentaires
<p>a) Séries à termes positifs</p> <p>Définition, terme général, somme, somme partielle d'ordre n. Convergence et divergence d'une série.</p> <p>La somme $\sum_{k=0}^{+\infty} u_k$ est définie comme la limite, finie ou infinie, de la suite des sommes partielles. On a l'alternative : $\sum_{k=0}^{+\infty} u_k = +\infty$ ou $\sum_{k=0}^{+\infty} u_k < +\infty$.</p> <p>Propriétés de linéarité de la somme. Relations sur les sommes $\sum u_n + v_n = \sum(u_n + v_n)$ et $\sum \lambda u_n = \lambda \sum u_n$ pour $\lambda > 0$.</p> <p>Convergence et somme des séries géométriques et des séries de terme général nq^{n-1} (avec $0 < q < 1$); convergence des séries $n(n-1)q^{n-2}$ pour $0 < q < 1$, $\sum \frac{x^k}{k!}$ pour $x > 0$. Convergence de $\sum \frac{1}{n^2}$ et divergence de $\sum \frac{1}{n}$.</p> <p>Théorèmes de convergence pour deux séries à termes positifs u_n et v_n :</p> <ul style="list-style-type: none"> théorème de comparaison si $u_n \leq v_n$, si $u_n \sim v_n$, alors les séries $\sum u_n$ et $\sum v_n$ sont de même nature. 	<p>On convient d'utiliser le symbole $\sum u_n$ pour désigner la série (sans préjuger de sa convergence)</p> <p>Le symbole $+\infty$ ne peut être manipulé que dans le cadre des sommes de séries à termes positifs. Les règles de calcul sont déduites des propriétés des limites de suites (vues en première année).</p> <p>On relie les identités : $(+\infty) + a = +\infty$, $(+\infty) + (+\infty) = +\infty$, $\lambda \cdot (+\infty) = +\infty$ (pour $\lambda > 0$) avec les théorèmes correspondants sur les limites de suites.</p> <p>On admet la formule $\exp(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{k!}$.</p> <p>L'étude générale des séries de Riemann est hors programme.</p> <p>Tout autre critère de convergence est hors programme. Dans le premier cas, on majorera la somme de la série de gauche par celle de la série de droite si convergence il y a, et on envisagera la situation où la série de gauche diverge. Les résultats relatifs aux restes et sommes partielles sont hors programme.</p>
b) Généralités sur les probabilités	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Extension des définitions données en première année au cas où l'univers est un ensemble infini.</p> <p>Pour toute suite (A_n) d'événements deux à deux incompatibles, expression de $P(\cup A_n)$.</p> <p>Révision et extension à ce nouveau cadre des résultats de première année sur les probabilités et sur les probabilités conditionnelles.</p>	<p>On pourra signaler les problèmes qui peuvent survenir pour la définition de la probabilité d'une partie quelconque de l'univers mais la notion de tribu et les résultats sur la probabilité d'une réunion (respectivement une intersection) croissante (respectivement décroissante) d'événements sont hors programme.</p>

Probabilités 5 – Variables aléatoires discrètes positives

Contenus	Commentaires
<p>a) Définitions</p> <p>On étendra la définition vue en première année au cas où l'ensemble des valeurs prises est contenu dans l'ensemble des entiers positifs.</p> <p>Loi de probabilité d'une variable aléatoire discrète.</p> <p>Fonction de répartition. Croissance et limite en $+\infty$.</p> <p>Détermination de la loi de la variable aléatoire à partir de la fonction de répartition.</p>	<p>On indiquera que la limitation portant sur le signe pourra être levée, dans un cadre théorique plus vaste, une fois en école d'ingénieur ou en L3.</p> <p>Diagramme en bâtons.</p> <p>Représentation graphique.</p> <p>Rien n'est exigible concernant la loi du maximum ou du minimum de deux variables aléatoires.</p>
<p>b) Espérance</p> <p>Espérance d'une variable aléatoire discrète positive.</p> <p>Théorème de transfert : expression de l'espérance de $u(X)$, où $u(X)$ est elle aussi une variable aléatoire discrète positive.</p> <p>Linéarité de l'espérance : $E(X + \lambda Y) = E(X) + \lambda E(Y)$</p> <p>Variance et écart-type.</p>	<p>Ce résultat est admis.</p> <p>Résultat admis et limité au cas où $X + \lambda Y$, X et Y sont des variables aléatoires discrètes positives qui possèdent une espérance.</p> <p>La formule de König-Huygens $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$ doit être connue.</p>
<p>c) Expériences et variables aléatoires indépendantes</p> <p>Expression de l'indépendance de deux variables aléatoires discrètes dont on connaît les lois.</p> <p>Espérance du produit de deux variables aléatoires indépendantes.</p> <p>Variance de la somme de deux variables aléatoires indépendantes.</p>	<p>L'indépendance mutuelle de plus de deux variables aléatoires peut être mentionnée mais n'est pas un attendu du programme.</p> <p>Résultat admis.</p>
<p>d) Lois classiques</p> <p>Présentation des lois classiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> — loi certaine, — loi uniforme discrète, — loi de Bernoulli, — loi de Poisson. 	<p>Exception faite de la loi de Poisson, les étudiants devront savoir reconnaître les situations classiques de modélisation pour ces lois.</p> <p>L'espérance et la variance des lois certaine, de Bernoulli et de Poisson doivent être connues, ainsi que l'espérance de la loi uniforme.</p>
<p>e) Schéma de Bernoulli et conséquences</p> <p>Formalisme du schéma de Bernoulli.</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
Présentation des lois suivantes dans le cadre d'un schéma de Bernoulli : <ul style="list-style-type: none"> — loi binomiale, — loi géométrique. Somme de deux variables binomiales indépendantes de même paramètre réel p .	Les étudiants devront savoir reconnaître les situations classiques de modélisation pour ces lois. L'espérance et la variance de ces lois doivent être connues. La loi hypergéométrique ne constitue pas un attendu du programme.

Consolidation 6 – Primitives et intégrales

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 7).

Probabilités 6 – Variables aléatoires à densité

L'intégrale généralisée (ou impropre) est exclusivement introduite en vue du calcul des probabilités. Au cours d'une épreuve de mathématiques les intégrales généralisées et de fonctions continues par morceaux ne pourront intervenir que dans un cadre probabiliste.

Contenus	Commentaires
a) Fonctions continues par morceaux Définition d'une fonction continue par morceaux sur \mathbf{R} . Généralisation de la notion d'intégrale aux fonctions continues par morceaux. Propriétés. Soit f une fonction continue par morceaux sur \mathbf{R} et soit a un réel, étude des propriétés de la fonction F définie sur \mathbf{R} par : $F(x) = \int_a^x f(t) dt$. Croissance dans le cas où f est positive, continuité et dérivabilité.	Les fonctions considérées n'ont qu'un nombre fini de discontinuités (et admettent des limites finies à droite et à gauche en tout point). On évitera les développements théoriques pour se consacrer aux calculs pratiques. On pourra admettre la plus grande partie des adaptations aux fonctions continues par morceaux des résultats mis en place pour les fonctions continues. Résultats admis.
b) Définition de l'intégrale généralisée (ou impropre) en une borne infinie Théorème de la limite monotone pour les fonctions. Définition de l'intégrale d'une fonction positive continue par morceaux sur \mathbf{R} , sur un intervalle de la forme $] -\infty, a]$, $[a, +\infty[$, $] -\infty, +\infty[$. Convergence et divergence. Utilisation d'une primitive. L'intégrale de Gauss $\int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$ converge et vaut $\sqrt{2\pi}$.	On souligne l'importance du théorème de la limite monotone pour démontrer une convergence. On convient que $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt$ (resp. $\int_a^{+\infty} f(t) dt$, $\int_{-\infty}^a f(t) dt$), ou bien est fini, ou bien vaut $+\infty$. Interprétation de ces quantités en termes d'aire. L'exemple fourni par les intégrales de Riemann sur $[1, +\infty[$ de $x \mapsto \frac{1}{x^\alpha}$ est choisi comme illustration, en particulier pour $\alpha = 1$ et $\alpha = 2$. Résultat admis.
c) Propriétés Relation de Chasles. Linéarité. Adaptation de la formule d'intégration par parties.	On souligne la nécessité de confirmer la convergence de tous les termes apparaissant dans une telle formule.

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Adaptation de la formule de changement de variable pour les intégrales généralisées.</p> <p>Théorèmes de convergence pour deux fonctions positives f et g :</p> <ul style="list-style-type: none"> • théorème par comparaison si $f \leq g$, • si $f(x) \underset{x \rightarrow b}{\sim} g(x)$, alors les intégrales généralisées en b $\int_a^b f$ et $\int_a^b g$ sont de même nature. 	<p>Si la fonction φ est de classe \mathcal{C}^1 et strictement monotone sur un intervalle d'extrémités a et b ayant les limites $\alpha = \lim_a \varphi$ et $\beta = \lim_b \varphi$ et si f est continue sur l'intervalle d'extrémités α et β, alors les intégrales $\int_a^b f(x)dx$ et $\int_a^b f(\varphi(t))\varphi'(t)dt$ convergent ou divergent simultanément, et ont la même valeur lorsqu'elles convergent.</p> <p>Résultats admis. Tout autre critère de convergence est hors programme.</p> <p>b désigne ici une borne infinie.</p>
<p>d) Généralités sur les variables aléatoires positives à densité</p> <p>Densité de probabilité. Une fonction de densité est une fonction définie sur \mathbf{R}, continue par morceaux, positive, dont l'intégrale généralisée converge et vaut 1.</p> <p>Variable aléatoire positive admettant une densité.</p> <p>Fonction de répartition : expression sous la forme d'une intégrale, croissance, limite en $+\infty$.</p> <p>Indépendance de deux variables aléatoires à densité.</p> <p>Sur des exemples simples, recherche de la loi de la variable positive $Y = u(X)$, X ayant une densité connue et u étant une fonction usuelle.</p> <p>Espérance, variance et écart-type de variables aléatoires positives à densité.</p> <p>Formule de König-Huygens.</p> <p>Théorème de transfert pour le calcul de l'espérance de $u(X)$, où u est une fonction usuelle.</p>	<p>On indiquera que la limitation portant sur le signe pourra être levée, dans un cadre théorique plus vaste, une fois en école d'ingénieur ou en L3.</p> <p>L'indépendance de X et Y est exprimée par rapport aux événements $(X \in I)$ et $(Y \in J)$, où I et J sont des intervalles.</p> <p>On peut prendre comme exemples $Y = X^2$, $Y = aX + b$, etc. Démontrer qu'une variable admet une densité n'est pas un objectif du programme.</p> <p>On fait une analogie avec le cas discret.</p> <p>Résultat admis par analogie avec le cas discret. Ce résultat est admis.</p>
<p>e) Loïs classiques</p> <p>Étude des lois classiques : loi uniforme, loi exponentielle, loi normale $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$.</p> <p>Espérances de ces lois.</p>	<p>Transformation pour se ramener à la loi normale centrée réduite.</p> <p>La propriété d'invariance temporelle de la loi exponentielle n'est pas un attendu du programme.</p> <p>\Leftrightarrow Simulation des lois uniforme, exponentielle, normale.</p> <p>\Leftrightarrow Exemples de phénomènes naturels pouvant être modélisés par des lois uniformes, exponentielles, normales.</p> <p>L'espérance d'une variable aléatoire uniforme et l'espérance d'une variable suivant une loi normale peuvent faire apparaître des intégrales de fonctions non positive ; on leur donne un sens au moyen de découpages. Les espérances des lois mentionnées doivent être connues.</p>

Probabilités 7 – Couples de variables aléatoires discrètes

On se limite ici aux couples de variables aléatoires dont l'une des variables au moins est finie et prend au plus quatre valeurs.

Contenus	Commentaires
Notation (X, Y) . Loi conjointe, lois marginales. Lois marginales. Lois conditionnelles. Définition de la covariance, formule de König-Huygens $\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$. Variance de $X + Y$.	La loi de la somme de deux variables aléatoires n'est pas un attendu du programme. Interprétation de la notion d'indépendance. La loi du produit de deux variables aléatoires n'est pas un attendu du programme. On remarquera qu'en cas d'indépendance, $\text{Cov}(X, Y) = 0$, mais que la réciproque peut être fausse.

Probabilités 8 – Comportements asymptotiques et prise de décision

Ce chapitre met en place un contexte d'étude de phénomènes limites, amenant à l'étude en situation de quelques résultats simples de statistique inférentielle; les liens avec les autres chapitres sont évidemment à souligner.

Contenus	Commentaires
a) Comportements asymptotiques Inégalités de Markov et de Bienaymé-Tchebychev pour des variables aléatoires positives. Loi faible des grands nombres. Théorème central limite : si $(X_n)_{n \geq 1}$ est une suite de variables aléatoires indépendantes de même loi, admettant une espérance μ et une variance σ^2 , alors pour de grandes valeurs de n , la moyenne empirique centrée réduite suit approximativement une loi normale centrée réduite. Cas de la loi binomiale : théorème de Moivre-Laplace.	Théorème admis. La moyenne empirique centrée réduite est définie par $M_n^* = \frac{M_n - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$, où M_n est la moyenne empirique définie par $M_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k$. Aucune propriété de M_n n'est exigible. \Rightarrow On illustre numériquement cette approximation.
b) Introduction aux tests Test de conformité à la moyenne.	On traitera le cas particulier d'une proportion par majoration de l'écart-type. Les notions de risque α et β , de puissance, ne sont pas au programme. \Rightarrow En lien avec l'informatique, mécanisme et simulation de tests statistiques.

Consolidation 7 – Calculs de dérivées partielles

Exercices et situations illustrant le programme de première année.

Analyse 10 – Notions sur les fonctions réelles de plusieurs variables réelles

Ce chapitre, déjà abordé sous le seul angle de la dérivation partielle en première année, met en place, très simplement, le vocabulaire et la problématique des fonctions de plusieurs variables. En Mathématiques, on se limite aux fonctions de deux variables (suffisamment lisses) tout en faisant observer qu'il n'y a pas plus de difficulté à aborder des phénomènes à trois variables.

Contenus	Commentaires
a) Notion de fonction de plusieurs variables et de dérivées partielles Définition d'une fonction de \mathbf{R}^2 dans \mathbf{R} .	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Fonction partielle par rapport à une variable.</p> <p>Dérivée partielle par rapport à une variable</p>	<p>\Leftrightarrow Notion de coupe sur un milieu (tissu vivant, terrain).</p> <p>Les règles de dérivation en chaîne ne sont pas au programme.</p>
<p>b) Extrémums d'une fonction de plusieurs variables définie sur \mathbb{R}^2</p> <p>Notion d'extrémum local.</p> <p>Notion de point critique.</p> <p>Un point où une fonction f présente un extrémum local et admet des dérivées partielles est critique.</p>	<p>La localité de l'extrémum est exprimée à l'aide des rectangles.</p>



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et biologie (TB)

Annexe 2

Programmes de physique-chimie



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de physique-chimie de la classe TB 1^{ère} année

Programme de physique-chimie — TB1

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de TB1 constitue un ensemble cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques qui préparent les étudiants à la deuxième année de classe préparatoire et, au-delà, à un cursus d'ingénieur, de vétérinaire, de chercheur ou d'enseignant. L'enseignement de la physique et de la chimie vise à développer les compétences de chaque étudiant, déjà travaillées durant le cycle terminal de la voie technologique du lycée, inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de leur enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

L'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place essentielle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation, et permet l'acquisition de compétences aisément transférables dans d'autres champs que le champ disciplinaire de la physique et de la chimie.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des modèles, des concepts et des théories. Le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle exige bien souvent une utilisation maîtrisée des mathématiques dont Galilée, fondateur de la physique expérimentale, soulignait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. De façon complémentaire, les sciences numériques offrent aujourd'hui aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser des connaissances et des capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre s'appuie sur des problématiques concrètes qui mobilisent aussi les capacités expérimentales spécifiques, également exigibles, identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». La formation expérimentale doit reposer sur un apprentissage progressif et structuré de l'ensemble des capacités attendues, tout au long des deux années de classe préparatoire TB.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est articulée autour de quatre thèmes : « **thème C – constitution et transformations de la matière** », « **thème E – énergie : conversions et transferts** », « **thème M – mouvements et interactions** » et « **thème T – phénomènes de transport** ». La présentation en deux colonnes « notions et contenus » et, en regard, « capacités exigibles » met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Certains items de cette seconde partie, identifiés en caractères gras dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux

pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants; l'annexe dédiée à cette composante en précise les objectifs et les attendus en termes de contenus comme de capacités exigibles. Des thèmes d'étude communs avec les sciences de la vie et de la Terre et avec les biotechnologies sont identifiés et peuvent se prêter à une approche pédagogique concertée entre enseignements, porteuse de sens et qui, par des éclairages complémentaires, ne peut que renforcer l'assimilation de ces connaissances par les étudiants.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin d'année en TB1.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression pour chacun des deux semestres; celle-ci relève de la liberté pédagogique du professeur.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Chaque compétence est illustrée par un ensemble de capacités associées qui permettent d'en préciser le contour sans pour autant constituer une liste exhaustive. Certaines peuvent parfois relever de plusieurs compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les différentes compétences doivent être acquises à l'issue des deux années de formation en classes préparatoires. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétences	Exemples de capacités associées
S'approprier et problématiser	<ul style="list-style-type: none"> — Rechercher, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée. — Conduire l'observation d'un phénomène à différentes échelles spatiales et temporelles. — Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...) — Énoncer ou dégager une problématique scientifique en prenant en compte ses différents aspects (technique, scientifique, sociétal). — Représenter la situation par un schéma modèle. — Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. — Relier le problème à une situation modèle connue. — Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> — Formuler des hypothèses. — Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. — Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. — Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques ou chimiques. — Estimer des ordres de grandeur. — Proposer des analogies. — Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. — Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de plusieurs documents.

Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> — Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. — Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photographie. — Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. — Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. — Construire des représentations graphiques à partir de données. — Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. — Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> — Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. — Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document ou dans de la bibliographie scientifique, à ses connaissances. — Discuter de la recevabilité d'une hypothèse, d'une information. — Analyser les résultats de manière critique. — Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...). — Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> — À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> ◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. ◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. ◦ appuyer son propos sur des supports appropriés. ◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.). ◦ citer l'origine des sources utilisées. — Écouter, confronter son point de vue.

Pour atteindre le plein niveau de maîtrise de ces compétences et de ces capacités, les étudiants doivent progressivement développer, dans les différentes activités proposées par le professeur, leur **autonomie**, leur **esprit d'initiative** et leur **esprit critique**. La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la poursuite d'études scientifiques, à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, des questions liées à la recherche scientifique actuelle, des enjeux de citoyenneté comme l'engagement, la responsabilité individuelle et collective, la sécurité pour soi et autrui, ou des enjeux environnementaux et climatiques, en particulier le réchauffement climatique, notamment par application des principes du développement durable.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, le professeur organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes réels, en particulier caractéristiques du monde du vivant, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports

d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;

- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie est articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques, sciences de la vie et de la Terre, biotechnologies, mathématiques et informatique.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, le professeur veillera soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- caractériser et valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Première partie

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants. Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur formation en première année de classe préparatoire TB. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie. Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans une annexe du présent programme.

1 Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-après constituent des objectifs de formation de la première année TB1. Leur apprentissage est néanmoins poursuivi et consolidé pendant la seconde année de formation en TB2. Sur le thème des mesures et incertitudes, l'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans le cas des incertitudes-types composées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertaince. Incertaince-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertainces-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une relation fournie, l'incertitude-type d'une grandeur qui s'exprime en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, par une relation du type somme, différence, produit ou quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire – simulation de Monte-Carlo – permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés.

2 Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales générales que les étudiants doivent acquérir durant les séances de travaux pratiques en première année de classe préparatoire TB. Le travail des capacités présentées ci-dessous et leur consolidation se poursuivent en seconde année.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « Capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

2.1 Mesures de grandeurs physiques

Les activités expérimentales doivent développer, tout au long de la formation des étudiants, la capacité à mettre en œuvre un dispositif de mesure d'une grandeur physique, à choisir le matériel adapté et à l'utiliser de façon autonome, éventuellement à l'aide d'une notice succincte.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Grandeurs physiques diverses Mesure de volume, masse, pH, conductance et conductivité, indice de réfraction, absorbance et transmittance.	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Distinguer les instruments de verrerie In et Ex. Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de composition connue avec le matériel approprié. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Utiliser un appareil de mesure spécifique en s'aidant d'une notice. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.
Mécanique Visualisation et décomposition d'un mouvement.	Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.
Mesure d'une accélération.	Mettre en œuvre un accéléromètre, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.
Mesure d'une action mécanique.	Utiliser un dynamomètre.
Thermodynamique Mesure d'une pression.	Mettre en œuvre un capteur de pression, en identifiant son caractère différentiel ou absolu.
Repérage d'une température.	Mettre en œuvre un capteur de température, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur. Mettre en œuvre un capteur infrarouge. Choisir le capteur en fonction de ses caractéristiques (linéarité, sensibilité, gamme de fonctionnement, temps de réponse), et du type de mesures à effectuer.
Bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.

2.2 Synthèses chimiques

La pleine maîtrise des différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses chimiques, qui sont présentées ci-après, et les fondements théoriques de ces techniques en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées, sont exigibles des étudiants en fin de formation. Pour ce faire, les étudiants sont progressivement invités à proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Transformation chimique	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.

Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel. Suivi de l'évolution de la transformation.	Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat. Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur. Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux. Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
Séparation et purification	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'une espèce chimique, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures.
Séparation de deux liquides non miscibles.	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase.
Séparation de deux espèces chimiques dissoutes dans une phase liquide.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Séparation d'un soluté du solvant.	Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif.
Séparation d'un liquide et d'un solide.	Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.
Lavage d'un solide.	Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide.	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.
Séchage d'un solide.	Sécher un solide dans une étuve. Estimer, par des mesures de masse, l'efficacité du séchage.
Séchage d'un liquide.	Utiliser un desséchant solide et estimer correctement, par l'observation, la quantité à utiliser.

2.3 Analyses qualitatives et quantitatives

La maîtrise de différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives destinées à caractériser une espèce chimique, à en estimer la pureté ou à la doser, est elle aussi développée tout au long de la formation. La mobilisation récurrente des capacités présentées amène progressivement les étudiants à prendre les initiatives adaptées pour proposer, de façon autonome, un protocole de mesure de concentrations ou de quantités de matière, ou une méthode de caractérisation d'une espèce chimique tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Caractérisation d'une espèce chimique et contrôle de sa pureté	Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.

Chromatographies sur couche mince.	<p>Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour la caractérisation d'une espèce chimique et le suivi d'une transformation.</p> <p>Interpréter l'ordre d'élution des différentes espèces chimiques en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant.</p>
Détermination expérimentale de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique.	<p>Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques.</p> <p>Repérer une température de fusion.</p> <p>Mesurer un indice de réfraction.</p> <p>Mesurer une absorbance.</p> <p>Déterminer un coefficient d'absorption molaire en spectroscopie UV-visible.</p> <p>Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts.</p> <p>Comparer les caractéristiques d'une espèce chimique synthétisée avec celles de l'espèce chimique commerciale.</p> <p>À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.</p>
Dosages par étalonnage	<p>Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage.</p> <p>Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-visible.</p>
<p>Dosages par titrage</p> <p>Titrages directs, indirects.</p> <p>Équivalence.</p> <p>Titrages simples, successifs, simultanés.</p> <p>Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.</p>	<p>Identifier et exploiter la réaction support du titrage (repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé).</p> <p>Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect.</p> <p>Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage dans le cas d'un titrage acido-basique.</p>
Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	<p>Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de distribution et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.</p>
<p>Suivi cinétique de transformations chimiques</p> <p>Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique.</p> <p>Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement.</p> <p>Régulation de température.</p>	<p>Choisir une méthode de suivi prenant en compte la facilité de mise en œuvre, les propriétés des espèces chimiques étudiées, la durée de la transformation estimée ou fournie.</p> <p>Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction.</p>

3 Prévention du risque au laboratoire

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans tous les domaines recensés ci-après permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques lorsqu'ils évoluent au laboratoire de physique ou de chimie. Il importe en particulier que les étudiants prennent conscience du risque lié à la manipulation, au stockage et au rejet des espèces chimiques. Futurs ingénieurs, vétérinaires, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Prévention des risques au laboratoire Règles de sécurité au laboratoire.	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
Risque électrique.	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
Risque optique.	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
Risques liés à la pression et à la température.	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
Risque chimique. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H), conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Deuxième partie

Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

Premier semestre	
Thème C – constitution et transformations de la matière	10
C.1 Constitution et cohésion de la matière à l'échelle des entités chimiques	10
C.2 Transformations chimiques : évolution d'un système vers un état final - applications aux réactions acide-base	12
Thème M – mouvements et interactions	14
M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point	14
M.2 Lois de Newton	15
Thème T – phénomènes de transport	16
T.1 Transport de particules chargées dans un champ électrostatique uniforme	16
Second semestre	
Thème C – constitution et transformations de la matière	17
C.3 Constitution de la matière : relation entre structure des entités chimiques et propriétés	17
C.4 Transformations chimiques : évolution d'un système vers un état final - applications aux réactions d'oxydo-réduction	17
C.5 Transformations de la matière : évolution temporelle d'un système	18
C.6 Transformations de la matière en chimie organique	19
Thème E – énergie : conversions et transferts	21
E.1 Description d'un système à l'équilibre thermodynamique	22
E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique	22
E.3 Statique des fluides	23

Premier semestre

Thème C – constitution et transformations de la matière

C.1 Constitution et cohésion de la matière à l'échelle des entités chimiques

Dans cette partie, sont abordées la constitution et la cohésion de la matière à l'échelle des entités chimiques (atomes, ions, molécules). L'objectif principal est d'envisager les différents niveaux d'étude pour parvenir à la description et à la représentation spatiale d'une entité puis, au second semestre, la description des propriétés physico-chimiques associées.

C.1.1 Constitution et cohésion au sein des atomes

L'étude de la structure de l'atome est l'occasion d'aborder les ordres de grandeur caractéristiques (distances, énergies). La configuration électronique des atomes à l'état fondamental est systématiquement fournie. Elle permet d'éclairer la construction du tableau périodique, outil central pour le chimiste : similitude des propriétés au sein d'une famille chimique, détermination du nombre d'électrons de valence d'un atome ou d'un ion monoatomique, comparaison des propriétés d'électronégativité ou de polarisabilité de deux atomes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Constitution de l'atome. Spectre de raies atomiques et quantification des niveaux énergétiques électroniques.	Relier longueurs d'onde d'émission ou d'absorption et diagramme de niveaux d'énergie électroniques. Citer les ordres de grandeur des énergies d'ionisation et des distances caractéristiques dans l'atome.
Classification périodique et configuration électronique : électrons de cœur, électrons de valence.	Déduire de la configuration électronique fournie d'un atome dans son état fondamental sa position dans la classification périodique et la charge des ions monoatomiques usuels de cet élément.
Lien entre propriétés atomiques et tableau périodique : électronégativité, polarisabilité.	Comparer les électronégativités et les polarisabilités de deux atomes à partir des positions des éléments associés dans le tableau périodique.

C.1.2 Cohésion au sein d'entités polyatomiques : molécules et ions

La structure électronique des entités polyatomiques est abordée grâce aux modèles de Lewis et VSEPR, l'utilisation de ce dernier étant limitée aux cas les plus courants, en lien avec les structures des entités classiques de la chimie organique. La polarité d'une entité est reliée à sa géométrie et aux propriétés des atomes qui la constituent.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèles de la liaison covalente Modèle de Lewis de la liaison covalente localisée. Longueur et énergie de la liaison covalente. Représentation de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Hypervalence. Modèle de la liaison covalente délocalisée : mésomérie.	Citer les ordres de grandeur de longueurs et d'énergies de liaisons covalentes. Établir une ou des représentations de Lewis pertinentes pour une molécule ou un ion polyatomique. Identifier les enchaînements donnant lieu à une délocalisation électronique dans une entité et représenter les formules mésomères limites d'une entité chimique. Mettre en évidence une éventuelle délocalisation électronique à partir de données sur les longueurs de liaison.
Géométrie et polarité des entités chimiques Géométrie d'une molécule ou d'un ion polyatomique; modèle VSEPR. Représentation de Cram. Liaison polarisée, moment dipolaire, entité polaire.	Prévoir et interpréter les structures de type AX_n avec $n \leq 4$ et AX_pE_q avec $p + q = 3$ ou 4 . Interpréter des écarts entre les prévisions du modèle VSEPR et des données structurales. Prévoir l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent d'une entité chimique et représenter, le cas échéant, la direction et le sens du moment dipolaire. Déduire de l'électroneutralité de la matière la stœchiométrie d'un solide ionique.

C.1.3 Constitution et caractérisation spectroscopique d'entités chimiques organiques

Des familles fonctionnelles en chimie organique sont d'abord présentées et la structure des entités validée par l'exploitation de spectres UV-Visible, IR et RMN ^1H sans qu'aucun développement théorique sur ces techniques ne soit abordé. En lien avec les programmes de sciences de la vie et de la Terre et de biotechnologies, le modèle de Lewis permet d'introduire les notions d'isomérisation de configuration et de conformation. Les ordres de grandeur des énergies de liaison et des barrières conformationnelles permettent de sensibiliser à la solidité et à la flexibilité des édifices polyatomiques. À ce stade, il n'y a pas d'attentes en termes de nomenclature IUPAC, cette dernière étant étudiée progressivement lors de l'étude des transformations chimiques organiques. Des approches communes avec les enseignants de sciences de la vie et de la Terre et de biotechnologies sont ici encouragées afin de fournir aux étudiants des exemples d'utilisation des méthodes de spectroscopie d'absorption en biochimie quantitative. D'autre part, la présentation des familles d'entités chimiques organiques peut servir d'introduction à l'étude des familles d'entités chimiques du vivant, abordées dans le cadre des enseignements de sciences de la vie de la Terre et de biotechnologies : oses, acides gras, triglycérides, phosphoglycérides, acides aminés, peptides, protéines, nucléosides, nucléotides, acides nucléiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Familles d'entités chimiques organiques Familles fonctionnelles en chimie organique : amine, amide, cétone, aldéhyde, alcool, thiol, ester, acide carboxylique, hémiacétal et acétal, anhydride phosphorique.	Reconnaître les groupes caractéristiques et nommer les familles fonctionnelles présentes dans la représentation d'une entité chimique organique.
Spectroscopies d'absorption UV-visible et infrarouge Nature des transitions associées aux spectroscopies UV-visible et infrarouge, domaine du spectre des ondes électromagnétiques correspondant. Transmittance, absorbance.	Relier la longueur d'onde du rayonnement absorbé à la nature et à l'énergie de la transition associée. Identifier, à partir du spectre infrarouge et de tables de nombres d'onde de vibration, une liaison ou un groupe caractéristique dans une entité chimique organique.
Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton	

Exploitation de spectres RMN ^1H . Déplacement chimique, intégration. Multiplicité d'un signal : couplages du premier ordre $A_m X_p$.	Confirmer ou attribuer la structure d'une entité chimique à partir de données spectroscopiques infrarouge ou de résonance magnétique nucléaire du proton et de tables de nombres d'onde ou de déplacements chimiques caractéristiques.
Isomérisation en chimie organique Isomérisation de constitution : isomérisation de chaîne, isomérisation de famille fonctionnelle. Représentation de Newman. Stéréoisomérisation de conformation en série aliphatique non cyclique ; ordre de grandeur de la barrière conformationnelle. Chiralité. Stéréoisomérisation de configuration : descripteurs stéréochimiques R, S, Z, E , énantiomérisation, diastéréoisomérisation.	Déterminer la relation d'isomérisation entre deux isomères de constitution. Comparer la stabilité de plusieurs conformations. Déterminer si une entité est chirale. Attribuer un descripteur stéréochimique à un centre stéréogène. Déterminer la relation d'isomérisation entre deux stéréoisomères. Représenter une entité chimique organique à partir de son nom, en tenant compte de la donnée d'éventuelles informations stéréochimiques. Interpréter l'importance de la structure spatiale par des exemples pris dans le domaine du vivant.

C.2 Transformations chimiques : évolution d'un système vers un état final - applications aux réactions acide-base

L'objectif de cette partie est d'amener les étudiants à mobiliser de manière autonome les notions et modèles pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Il convient que les problématiques abordées, les illustrations et les applications prennent largement appui sur des transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, en milieu industriel ou dans le monde du vivant. À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- décrire un système physico-chimique en utilisant un vocabulaire scientifique précis ;
- effectuer une distinction entre le monde des objets et des phénomènes (systèmes physico-chimiques, transformations chimiques) et celui des modèles (réaction chimique comme modèle d'une transformation au niveau macroscopique) ;
- proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence ;
- confronter les prévisions d'un modèle avec des résultats expérimentaux ;
- traduire, en langage de programmation, les démarches mises en œuvre pour déterminer l'état final d'un système.

C.2.1 Prévoir l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique

L'étude quantitative de l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique, est réalisée à partir d'une modélisation par une seule réaction chimique, symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Il s'agit de prévoir le sens d'évolution de systèmes, homogènes ou hétérogènes, et de déterminer leur composition dans l'état final.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Système physico-chimique Espèce physico-chimique. Mélange : concentration en quantité de matière, fraction molaire, pression partielle.	Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système. Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
Bilan de matière d'une transformation Modélisation d'une transformation par une réaction chimique. Équation de réaction ; avancement, taux d'avancement, caractère total ou non d'une transformation.	Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique à partir de données expérimentales. Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans l'état final à partir de données expérimentales.

<p>Évolution d'un système Activité, quotient de réaction.</p> <p>Constante thermodynamique d'équilibre K°.</p> <p>Critère d'évolution.</p>	<p>Exprimer un quotient de réaction à partir d'une équation de réaction.</p> <p>Associer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre au caractère thermodynamiquement favorable ou défavorable d'une réaction.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques d'équilibre sont connues.</p> <p>Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système physico-chimique.</p>
<p>Composition à l'état final État d'équilibre chimique d'un système, transformation totale.</p>	<p>Déterminer la composition du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique d'un système et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Capacité numérique : Déterminer, à l'aide d'un langage de programmation, le taux d'avancement final d'une transformation modélisée par une réaction unique.</p> <p>Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre et tester l'influence de différents paramètres sur la composition finale d'un système.</p>

C.2.2 Applications aux transformations modélisées par des réactions acide-base

Les notions et les méthodes introduites dans la partie précédente sont réinvesties pour l'étude de transformations modélisées par des réactions acide-base. À cette occasion, des outils graphiques (diagrammes de prédominance et de distribution des espèces) sont introduits pour exploiter un résultat d'analyse par électrophorèse, pour faciliter la modélisation d'une transformation, pour valider la détermination d'une composition à l'état final ou pour interpréter une courbe de suivi de titrage acido-basique.

La détermination analytique de la composition à l'état final est limitée à des transformations modélisées par une unique réaction chimique. La détermination de l'état final d'un système peut permettre d'accéder à une valeur de pH final qui, confrontée à une mesure expérimentale de pH , permet de valider ou non le modèle de réaction choisie. Aucune formule de calcul de pH n'est exigible. L'étude théorique des titrages acido-basiques n'est pas exigible, les courbes de suivi pH -métriques et conductimétriques étant analysées au moyen de diagrammes de prédominance et/ou de distribution des espèces.

En vue de faciliter l'appropriation des modèles proposés, le professeur utilise, et met à disposition des étudiants, des simulations obtenues à l'aide d'un logiciel ou d'un langage de programmation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Couple acide-base. Constante d'acidité K_a d'un couple, constantes d'acidité des deux couples acide-base de l'eau.</p>	<p>Reconnaître un couple acide-base. Écrire l'équation de la réaction associée à la constante d'acidité d'un couple donné.</p>
<p>pH, diagramme de prédominance, diagramme de distribution. Application aux acides aminés, point isoélectrique.</p>	<p>Tracer le diagramme de prédominance d'un ou plusieurs couple(s) acide-base. Extraire les valeurs de constantes d'acidité de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance. Capacité numérique : tracer, à l'aide d'un langage de programmation, le diagramme de distribution des espèces d'un ou plusieurs couple(s) acide-base, les expressions des fractions molaires en fonction du pH étant fournies, et déterminer la valeur du point isoélectrique d'un acide aminé.</p>
<p>Réaction acide-base; relation entre la constante thermodynamique d'équilibre et les constantes d'acidité des couples mis en jeu.</p>	<p>Reconnaître une réaction acide-base à partir de son équation. Écrire l'équation de la réaction acide-base modélisant une transformation en solution aqueuse et déterminer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre.</p>

Mise en solution et réaction d'un acide ou d'une base dans l'eau, modèle des acides et bases forts, des acides et bases faibles. Exemples usuels d'acides et de bases : nom, formule et caractère – faible ou fort – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, éthanoïque, du dioxyde de carbone aqueux, de la soude, la potasse, l'ion hydrogéné-carbonate, l'ion carbonate, l'ammoniac.	Identifier le caractère fort ou faible d'un acide ou d'une base à partir d'informations fournies (pH d'une solution de concentration donnée, espèces présentes dans l'état final, constante d'acidité K_a). Citer l'influence de la constante d'acidité K_a et de la concentration de l'acide ou de la base sur le taux d'avancement de la réaction d'un acide ou d'une base avec l'eau. Relier la dissolution du dioxyde de carbone en solution aqueuse aux effets associés (physiologie, environnement).
Composition d'un système à l'état final.	Déterminer la composition du système dans l'état final pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique, en simplifiant éventuellement les calculs à l'aide d'hypothèses adaptées. Mettre en œuvre une réaction acide-base pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.
Solutions tampons.	Citer les propriétés d'une solution tampon et les relier à sa composition. Citer des couples acide-base jouant un rôle de tampon dans des systèmes biologiques et géologiques.

Thème M – mouvements et interactions

M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point

Dans cette partie sont introduits les concepts fondamentaux et les outils nécessaires à la description du mouvement d'un point matériel. Le système des coordonnées cartésiennes est le seul exigible des étudiants. Il convient de les former progressivement à la maîtrise des projections et dérivations de vecteurs ainsi qu'avec l'algébrisation des grandeurs dans un contexte relevant de la physique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Repérage dans l'espace et dans le temps Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement.	Choisir un référentiel adapté à la description du mouvement étudié.
Cinématique du point Description du mouvement d'un système matériel par celui d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Système des coordonnées cartésiennes.	Exprimer, à partir d'un schéma, le déplacement élémentaire et en déduire géométriquement les composantes du vecteur vitesse en coordonnées cartésiennes. Établir les expressions des composantes des vecteurs position, déplacement élémentaire, vitesse et accélération en coordonnées cartésiennes.
Mouvement rectiligne uniformément accéléré.	Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré.
Mouvement de vecteur accélération constant.	Établir l'expression de la vitesse et de la position en fonction du temps. Déterminer la vitesse en une position donnée. Obtenir l'équation de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.

M.2 Lois de Newton

Cette partie permet tout d'abord d'enrichir la culture scientifique des étudiants par une introduction des concepts fondamentaux de la dynamique newtonienne, dans le seul cadre des référentiels galiléens. Il s'agit également de construire progressivement les compétences des étudiants relatives à la modélisation du mouvement d'un système dans le cadre de la mécanique classique, qu'il s'agisse des étapes de bilan des actions mécaniques, de représentation de la situation étudiée par un schéma adapté, de projection de la deuxième loi de Newton dans la base des coordonnées cartésiennes ou de résolution des équations du mouvement. L'étude du mouvement d'un point matériel dans le champ de pesanteur uniforme constitue le cadre privilégié pour consolider les compétences précitées. L'introduction du modèle de force de frottement linéaire en vitesse permet d'enrichir l'étude du mouvement d'un point matériel, de faire émerger la notion de vitesse limite, et de confronter les étudiants aux limites de validité du modèle utilisé, et ainsi de donner toute leur importance aux étapes de modélisation et de validation d'un modèle. Une capacité numérique est introduite à cette occasion afin de compléter la résolution analytique des équations du mouvement en présence de frottements fluides. Cette partie aborde, en guise de conclusion, l'aspect énergétique du mouvement d'un point matériel et la notion de conservation de l'énergie dont on souligne le caractère fondamental et transversal en physique-chimie.

M.2.1 Lois de Newton

Notions et contenus	Capacités exigibles
Première loi de Newton, principe d'inertie. Référentiel galiléen.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens. Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.
Modélisation d'une action mécanique par une force. Troisième loi de Newton.	Établir un bilan des actions mécaniques s'exerçant sur un système modélisé par un point matériel et en rendre compte en représentant les forces associées sur un schéma adapté.
Deuxième loi de Newton. Équilibre d'un point matériel. Mouvement d'un point matériel soumis à un ensemble de forces de résultante nulle.	Déduire la trajectoire à partir des forces appliquées au point matériel, et maîtriser également la démarche inverse.
Mouvement d'un point matériel soumis à une force constante Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme.	Établir et exploiter les équations horaires du mouvement. Établir l'équation de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Modèle d'une force de frottement fluide linéaire en vitesse. Vitesse limite.	Déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement. Exploiter une équation différentielle du mouvement sans la résoudre analytiquement, par exemple : mise en évidence d'une vitesse limite, d'un temps caractéristique, utilisation des résultats obtenus par résolution numérique, etc. Capacité numérique : résoudre numériquement, à l'aide de la méthode d'Euler par utilisation d'un tableur ou d'un langage de programmation, l'équation différentielle du mouvement d'un point matériel dans le champ de pesanteur uniforme et soumis à une force de frottement fluide linéaire ou quadratique en vitesse. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.

M.2.2 Travail et énergie

Notions et contenus	Capacités exigibles
Travail d'une force constante et uniforme. Énergie cinétique, énergie potentielle, énergie mécanique.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force. Distinguer une force conservative d'une force non conservative. Citer l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur dans le cas d'un champ de pesanteur uniforme.
Théorème de l'énergie cinétique.	Exploiter le théorème de l'énergie cinétique. Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans le cas d'une force constante et uniforme conservative.

Thème T – phénomènes de transport

T.1 Transport de particules chargées dans un champ électrostatique uniforme

Cette partie est traitée dans le prolongement de la partie M.2.1. L'objectif essentiel est de présenter un modèle simple de mobilité électrophorétique, en relation avec l'enseignement de biotechnologies. Le champ électrostatique uniforme créé par deux armatures planes soumises à une différence de potentiel stationnaire est introduit sans démonstration, en négligeant tout effet de bord, dans une approche descriptive du modèle. L'interaction de la particule chargée avec le milieu est décrite par une force de frottement linéaire en vitesse. L'expression de la mobilité électrophorétique en fonction de la charge de la particule et du coefficient de frottement hydrodynamique est exigible des étudiants. Cette partie se conclut par le calcul de l'intensité électrique associée au courant de particules chargées : l'occasion est donnée de définir l'intensité d'un courant électrique et de procéder pour la première fois à l'écriture d'un bilan de particules, en prenant en compte l'algébrisation des différentes grandeurs.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Champ électrique Modèle du champ électrostatique uniforme créé par deux armatures chargées, planes, sans effets de bord, soumises à une différence de potentiel.	Exprimer la norme du vecteur champ électrostatique en fonction de la différence de potentiel et de la distance entre les deux armatures. Orienter le vecteur champ électrostatique dans le sens des potentiels décroissants.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme Charge électrique. Force électrique. Vitesse limite d'une particule chargée soumise à un champ électrostatique uniforme.	Exprimer la force électrique s'exerçant sur une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme. Écrire l'équation différentielle du mouvement d'une particule chargée soumise à un champ électrostatique uniforme et à l'action du milieu, modélisée par une force de frottement fluide linéaire en vitesse. Exprimer la vitesse limite de la particule chargée en fonction du champ électrostatique. Interpréter l'orientation relative de la vitesse limite de la particule chargée et du champ électrostatique.
Mobilité électrophorétique Mobilité électrophorétique. Courant électrophorétique.	Exprimer la vitesse limite d'une particule chargée en fonction du champ électrostatique et de la mobilité électrophorétique. Commenter qualitativement l'influence de la taille d'une particule et de sa charge électrique sur sa mobilité électrophorétique. Définir l'intensité du courant électrophorétique. Établir un bilan de la charge électrique algébrique qui traverse une surface plane dans un sens donné pendant une durée donnée.

Second semestre

Thème C – constitution et transformations de la matière

C.3 Constitution de la matière : relation entre structure des entités chimiques et propriétés

L'étude des interactions entre entités chimiques a pour objectif d'interpréter, de prévoir ou de comparer des propriétés physiques : miscibilité, solubilité, formation de micelles et d'émulsions. Le recours à des illustrations et applications dans la vie courante, au niveau du laboratoire (choix de solvant pour les synthèses et les extractions, interprétation des chromatogrammes sur couche mince) et dans le domaine du vivant (structures secondaire et tertiaire des protéines, cohésion inter-brins dans l'ADN) est fortement encouragé. Les situations retenues permettront de sensibiliser les étudiants à la différence d'ordres de grandeur des énergies mises en jeu dans une liaison covalente et dans une interaction entre entités chimiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Polarisabilité d'une entité polyatomique.	Comparer qualitativement le caractère polarisable de deux entités chimiques polyatomiques.
Interactions de van der Waals. Liaisons hydrogène (interactions par pont hydrogène). Interactions ion-ion et ion-dipôle.	Citer les ordres de grandeur des énergies mises en jeu dans les liaisons covalentes, liaisons hydrogène, interactions de van der Waals et interactions ion-ion. Prévoir, à partir de leur nature et leur structure, les interactions entre entités chimiques, notamment celles intervenant dans la chimie du vivant (acides gras, acides nucléiques, acides aminés).
Mise en solution d'une espèce chimique ionique ou moléculaire. Application à l'extraction liquide-liquide.	Interpréter la miscibilité ou la non-miscibilité de deux solvants. Interpréter la solubilité d'une espèce chimique moléculaire ou ionique dans un solvant donné. Interpréter le choix d'un solvant lors d'une extraction liquide-liquide.
Chromatographie sur couche mince	Interpréter les différences de rapports frontaux de deux espèces chimiques lors d'une chromatographie sur couche mince.
Amphiphilie, espèces chimiques amphiphiles, micelles, structure schématique des membranes cellulaires. Émulsions.	Prévoir le caractère amphiphile d'une entité à partir de sa structure et interpréter sa solubilité dans un solvant. Interpréter la structure d'une association d'entités amphiphiles (micelle, bicouche, membrane cellulaire). Citer des exemples d'émulsions de la vie courante. Décrire la structure d'une émulsion en distinguant phase dispersée et phase continue. Interpréter les propriétés détergentes ou émulsifiantes des espèces chimiques amphiphiles.

C.4 Transformations chimiques : évolution d'un système vers un état final - applications aux réactions d'oxydo-réduction

Les transformations modélisées par des réactions d'oxydo-réduction sont abordées par analogie avec celles modélisées par des réactions acide-base. L'étude des piles permet d'introduire la notion de potentiel d'électrode, dont la relation de Nernst, admise, permet de calculer la valeur à l'équilibre. La détermination analytique de la composition à l'état final est limitée à des transformations modélisées par une unique réaction chimique. La relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard est admise. La notion de nombre d'oxydation permet de réinvestir le tableau périodique et de comparer des états d'oxydation du carbone et du soufre dans les familles fonctionnelles rencontrées en chimie organique ou dans des systèmes biologiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs, nombre d'oxydation. Couple oxydant-réducteur. Exemples d'oxydants et de réducteurs minéraux usuels : nom et formule des ions thiosulfate, du permanganate, de l'hypochlorite, du dichlore, du peroxyde d'hydrogène, du dioxygène, du dihydrogène, des métaux. Application au pont disulfure et à la chaîne d'oxydation des alcools.	Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Ajuster la demi-équation électronique associée à un couple oxydant-réducteur.
Pile, tension à vide, potentiel d'électrode, potentiel standard, relation de Nernst. Réactions électrochimiques aux électrodes.	Modéliser le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrode. Réaliser une pile et étudier son fonctionnement. Mettre en évidence l'influence des concentrations sur le potentiel d'électrode.
Réaction d'oxydo-réduction. Constante thermodynamique d'équilibre. Dismutation et médiamutation.	Identifier une réaction d'oxydo-réduction à partir de son équation. Écrire l'équation de la réaction d'oxydo-réduction modélisant une transformation en solution aqueuse et calculer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre. Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples mis en jeu.
Composition d'un système à l'état final.	Extraire les données thermodynamiques pertinentes de tables pour étudier un système en solution aqueuse. Déterminer la composition du système dans l'état final pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique, en simplifiant éventuellement les calculs à l'aide d'une hypothèse adaptée. Mettre en œuvre une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.
Influence du pH sur les propriétés d'oxydo-réduction ; potentiel standard apparent en biologie.	Relier le pouvoir oxydant ou réducteur d'un couple à son potentiel standard apparent.

C.5 Transformations de la matière : évolution temporelle d'un système

C.5.1 Modélisation macroscopique : lois de vitesse et loi d'Arrhenius

L'étude de l'évolution temporelle d'un système chimique permet de mettre en évidence expérimentalement les facteurs cinétiques concentration et température, et de les mettre en œuvre en stratégie de synthèse et d'analyse. Cette étude est l'occasion d'introduire les premières modélisations macroscopiques d'évolution des concentrations avec des lois de vitesse d'ordre simple et d'influence de la température avec la loi d'Arrhenius. Les déterminations d'ordre global ou apparent mettent en œuvre exclusivement la méthode intégrale et peuvent s'effectuer à l'aide de tableurs ou d'un langage de programmation pour l'exploitation des mesures dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Vitesses volumiques de consommation d'un réactif et de formation d'un produit. Vitesse volumique de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique (supposée sans accumulation d'intermédiaires). Temps de demi-réaction d'une transformation totale ou non totale.	Relier la vitesse volumique de réaction à la vitesse volumique de consommation d'un réactif ou de formation d'un produit. Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation et à partir de données expérimentales, tracer l'évolution temporelle d'une concentration et d'une vitesse volumique de réaction, puis tester qualitativement une relation donnée entre ces grandeurs.

Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent. Loi empirique d'Arrhenius et énergie d'activation.	Exprimer la loi de vitesse dans le cas d'une réaction chimique admettant un ordre, en se limitant strictement à des cas d'ordre 0, 1 ou 2 pour un unique réactif, ou se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques. Déterminer un temps de demi-réaction à partir d'une loi de vitesse. Déterminer un ordre de réaction à l'aide de la méthode intégrale. Déterminer la valeur de la constante cinétique à une température donnée. Établir une loi de vitesse, déterminer des ordres partiels, la constante de vitesse et l'énergie d'activation à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.
Facteurs cinétiques (concentration et température) en stratégie de synthèse et d'analyse : dilution, chauffage, reflux, trempe.	Reconnaître, dans un protocole, des opérations visant à augmenter ou à diminuer une vitesse de réaction.

C.5.2 Modélisation microscopique : mécanismes réactionnels et lois de vitesse dans des cas simples

La modélisation, au niveau microscopique, d'une transformation chimique s'appuie sur les mécanismes réactionnels. L'obtention d'une loi de vitesse à partir d'un mécanisme réactionnel est limitée aux cas présentant une étape cinétiquement déterminante et permettant d'appliquer l'approximation du pré-équilibre rapide. En vue de faciliter l'appropriation de la modélisation cinétique d'un équilibre chimique, le professeur utilise, et met à disposition des étudiants, des simulations obtenues à l'aide d'un logiciel ou d'un langage de programmation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modélisation microscopique d'une transformation : mécanisme réactionnel, actes élémentaires, intermédiaires réactionnels. Molécularité d'un acte élémentaire et loi de van't Hoff. Profil réactionnel.	Retrouver l'équation de la réaction modélisant la transformation à partir d'un mécanisme réactionnel par stades. Écrire la loi de vitesse d'un acte élémentaire. Distinguer un intermédiaire réactionnel d'un complexe activé sur un profil réactionnel.
Traitement cinétique d'un mécanisme : approximation de l'étape cinétiquement déterminante, approximation du pré-équilibre rapide.	Exprimer en termes de concentrations l'égalité des vitesses à l'équilibre dans le cas d'une transformation modélisée par deux actes élémentaires opposés. Reconnaître, à partir d'informations fournies, les conditions d'utilisation de l'approximation de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'approximation du pré-équilibre rapide et établir la loi de vitesse de réaction à partir d'un mécanisme réactionnel. Confronter le résultat à la loi de vitesse expérimentale.

C.6 Transformations de la matière en chimie organique

Afin d'introduire de manière progressive les concepts et modes de raisonnement en chimie organique, le programme de première année se concentre sur des transformations ne faisant pas intervenir d'activation de groupes fonctionnels. D'autre part, les caractéristiques stéréochimiques des réactions ne sont exigibles qu'en deuxième année. L'utilisation d'une banque de réactions permet d'enrichir les activités proposées et d'utiliser des transformations dont la connaissance n'est pas attendue des étudiants pour l'élaboration de stratégies de synthèse multi-étapes.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- interpréter les transformations chimiques étudiées dans une synthèse à partir de la réactivité des espèces chimiques organiques mises en jeu;

- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer le choix d'un mécanisme réactionnel en synthèse organique ;
- acquérir des connaissances et compétences autour des interconversions entre groupes caractéristiques et des modifications de chaînes carbonées ;
- analyser des problèmes de complexité croissante ;
- identifier, dans une situation complexe, la partie utile au raisonnement ;
- proposer une stratégie d'adaptation ou de contournement pour résoudre un problème.

C.6.1 Transformations : du macroscopique au microscopique

L'objectif de cette partie est de familiariser les étudiants avec les raisonnements de la synthèse organique. Des exemples de synthèses totales ou de biosynthèses d'espèces chimiques dans le domaine du vivant peuvent servir de support pour identifier des modifications de groupes caractéristiques et/ou de chaîne carbonée. Les techniques de spectroscopie, présentées au premier semestre, permettent d'appuyer l'introduction des notions de chimiosélectivité et régiosélectivité. La partie « constitution de la matière » est également réinvestie pour établir les propriétés nucléophiles et électrophiles des entités chimiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Du macroscopique... Modification de groupes caractéristiques. Modification de la chaîne carbonée (allongement ou coupure). Types de réactions en chimie organique : addition, substitution, élimination, oxydation, réduction. Utilisation d'une banque de réactions.	Identifier le rôle (modification de la chaîne carbonée et/ou de groupes caractéristiques) d'une étape d'une synthèse organique multi-étapes. Identifier la nature d'une réaction en chimie organique.
Chimiosélectivité, régiosélectivité.	Utiliser une banque de réactions pour proposer une synthèse multi-étapes d'une espèce chimique organique. Identifier, à l'aide d'une banque de réactions ou de données fournies, une situation de régiosélectivité ou de chimiosélectivité. Proposer une méthode spectroscopique (UV-visible, infrarouge ou RMN ¹ H) pour suivre l'évolution d'une transformation chimique ou mettre en évidence une éventuelle sélectivité.
...au microscopique Nucléophile, électrophile. Espèces chimiques classiquement utilisées comme électrophiles : halogénoalcanes, aldéhydes, cétones, esters, carbocations. Espèces chimiques classiquement utilisées comme nucléophiles : organomagnésiens mixtes, amines, alcool, eau, ions hydroxyde, hydrure, alcoolate, carbanions.	Prévoir les sites potentiellement électrophiles et/ou nucléophiles d'une entité chimique à partir de son schéma de Lewis et éventuellement l'écriture de formules mésomères.
Symbolisme de la flèche courbe.	Compléter un mécanisme réactionnel fourni avec des flèches courbes. Identifier le rôle de nucléophile ou d'électrophile joué par une entité chimique dans un acte élémentaire.

C.6.2 Exemples de réactions usuelles en synthèse organique

L'approche mécanistique est ici privilégiée à l'approche fonctionnelle pour favoriser le raisonnement et la transférabilité dans des situations analogues et pour commencer à engager la réflexion sur les stratégies de synthèse. Les seules transformations et les seuls mécanismes réactionnels exigibles sont indiqués dans la colonne "Notions et contenus". Pour ces transformations, il est attendu des étudiants qu'ils soient en mesure de proposer, en autonomie, une équation de réaction, ainsi que la structure du(des) produit(s) attendu(s) à partir de réactifs fournis, et inversement, des réactifs à mettre en œuvre pour synthétiser un produit souhaité. L'utilisation d'une banque de réactions permet d'enrichir les activités proposées en procédant par analogie de propriétés et d'utiliser des activations de groupes caractéristiques, sans justifier théoriquement l'augmentation de la réactivité constatée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Addition électrophile sur une double liaison C = C Conversion d'un dérivé éthylénique en halogénoalcane (hydrohalogénéation par voie ionique) ou en alcool (hydratation), mécanismes, régiosélectivité. Stabilisation d'un carbocation par effets électroniques.</p>	<p>Expliciter la réactivité des dérivés éthyléniques. Tracer le profil énergétique de l'hydrohalogénéation pour identifier l'étape cinétiquement déterminante et proposer une loi de vitesse. Comparer la stabilité de deux carbocations. Prévoir ou justifier la régiosélectivité de l'addition électrophile sur un dérivé éthylénique.</p>
<p>Substitution nucléophile aliphatique Mécanismes modèles limites S_N1 et S_N2. Lois de vitesse associées. Application à la conversion d'halogénoalcane.</p>	<p>Justifier des différences de réactivité en termes de polarisabilité. Justifier le choix d'un mécanisme limite, S_N1 ou S_N2, par des arguments structuraux ou à partir d'informations cinétiques. Utiliser une banque de réactions pour proposer une modification de groupe partant dans le but d'en améliorer l'aptitude nucléofuge.</p>
<p>Addition nucléophile Organomagnésiens mixtes : préparation à partir des halogénoalcane, inversion de polarité par insertion d'un atome de magnésium, intérêt d'un carbone nucléophile pour l'allongement de la chaîne carbonée.</p> <p>Allongement de chaîne carbonée : addition d'organomagnésien mixte sur les aldéhydes, les cétones et le dioxyde de carbone, mécanismes simplifiés. Modification de groupes caractéristiques : action d'hydrure sur les espèces carbonyles, mécanisme simplifié faisant intervenir un ion hydrure.</p>	<p>Relier le caractère nucléophile d'un organomagnésien mixte à sa structure. Justifier le choix d'un solvant d'une synthèse d'organomagnésien mixte.</p> <p>Proposer une méthode pour allonger une chaîne carbonée.</p>
<p>Addition nucléophile suivie d'élimination Conversion d'un acide carboxylique en chlorure d'acyle. Formation d'ester et d'amide à partir de chlorure d'acyle, mécanismes. Hydrolyse basique d'ester, mécanisme.</p>	<p>Justifier l'utilisation d'une base non nucléophile lors de la formation d'un ester ou d'un amide à partir d'un chlorure d'acyle. Utiliser un diagramme de prédominance pour justifier l'obtention d'un ion carboxylate par hydrolyse basique d'un ester.</p> <p>Mettre en œuvre la synthèse, la purification et la caractérisation d'une espèce organique.</p>

Thème E – énergie : conversions et transferts

Cette partie propose en introduction une présentation de différents états de la matière. La description d'un état d'équilibre thermodynamique d'un système à l'aide d'un jeu réduit de variables d'état s'appuie sur les modèles usuels du gaz parfait et de la phase condensée indilatable et incompressible, dont les limites sont cependant mentionnées par comparaison avec les propriétés physiques de systèmes réels.

Le premier principe de la thermodynamique est ensuite énoncé et permet d'établir les premiers bilans énergétiques, dont la formulation rigoureuse constitue un des objectifs de formation privilégiés. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant, dès que possible, sur des dispositifs expérimentaux qui permettent leur acquisition progressive et authentique.

On utilise les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a désigne la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

E.1 Description d'un système à l'équilibre thermodynamique

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Les états de la matière États solide, liquide et gazeux. État condensé, état fluide. Les échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique de description de la matière. État d'équilibre thermodynamique et variables d'état.</p>	<p>Définir et caractériser les différents états de la matière.</p> <p>Présenter les paramètres usuellement utilisés pour la description d'un système thermodynamique : pression, température, volume, densité volumique de particules, masse volumique. Effectuer des conversions d'unités usuelles de pression (pascal, bar et millimètre de mercure). Associer qualitativement la température et la pression aux propriétés physiques du système à l'échelle microscopique.</p>
<p>Gaz parfait Modèle du gaz parfait. Masse volumique, température, pression.</p> <p>Équation d'état du gaz parfait.</p>	<p>Présenter succinctement, dans un diagramme d'Amagat, les isothermes d'un gaz réel. Définir le gaz parfait comme un modèle limite du gaz réel à basse pression ou basse densité volumique. Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz.</p>
<p>Mélange idéal de gaz parfaits. Pression partielle. Loi de Dalton.</p>	<p>Donner la définition de la pression partielle. Exploiter la loi de Dalton.</p>
<p>Énergie interne du gaz parfait. Capacité thermique à volume constant d'un gaz considéré comme parfait.</p>	<p>Exprimer la variation de l'énergie interne d'un gaz parfait en fonction de la variation de température, la capacité thermique à volume constant étant donnée.</p>
<p>Phase condensée indilatable et incompressible Modèle de la phase condensée indilatable et incompressible.</p> <p>Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée indilatable et incompressible.</p>	<p>Exprimer la variation de l'énergie interne d'une phase condensée incompressible et indilatable en fonction de la variation de température, la capacité thermique à volume constant étant donnée.</p>
<p>Description d'un corps pur en équilibre diphasé Corps pur en équilibre diphasé. Diagramme de phases (P, T), point critique, point triple. Cas particulier de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v), pression de vapeur saturante, titre en vapeur.</p>	<p>Analyser un diagramme de phases expérimental (P, T) et nommer les différents changements de phase. Positionner les différents états physiques d'un corps pur dans les diagrammes (P, T) et (P, v).</p>

E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique

Cette partie, centrée sur le premier principe de la thermodynamique, aborde les bilans d'énergie. Les relations entre variables d'état thermodynamiques considérées dans cette partie se limitent exclusivement à celles qui relèvent du modèle du gaz parfait ou du modèle de la phase condensée indilatable et incompressible. La loi de Laplace qui caractérise l'évolution adiabatique et réversible d'un gaz parfait n'est pas exigible, pas plus que ses conditions de validité. Elle peut néanmoins être utilisée à condition d'être fournie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Transformations thermodynamiques Transformation thermodynamique d'un système. Transformations isochore, isobare et monobare. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.</p>	<p>Identifier et définir un système ouvert, fermé ou isolé. Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur au système pour déterminer l'état d'équilibre final.</p>
<p>Premier principe de la thermodynamique. Bilans d'énergie. Premier principe de la thermodynamique.</p>	<p>Citer les différentes contributions microscopiques et macroscopiques à l'énergie d'un système. Exploiter les propriétés d'extensivité et de fonction d'état de l'énergie interne.</p>
<p>Travail et transfert thermique Travail des forces de pression pour une évolution isochore ou monobare. Transfert thermique. Transformation adiabatique.</p> <hr/> <p>Puissance thermique proportionnelle à l'écart des températures du système étudié et du milieu extérieur au système.</p> <p>Modélisation de l'évolution de la température d'un système lors d'une transformation isochore au contact d'un thermostat.</p>	<p>Exploiter le premier principe de la thermodynamique pour une évolution adiabatique ou isochore ou monobare. Associer les signes du travail et du transfert thermique aux sens effectifs des transferts énergétiques.</p> <hr/> <p>Interpréter qualitativement le signe de la puissance thermique reçue par le système en fonction du signe de l'écart des températures du système étudié et du milieu extérieur au système.</p> <p>Effectuer un bilan d'énergie pour un système qui reçoit une puissance thermique proportionnelle à l'écart des températures du système étudié et du milieu extérieur au système, lors d'une transformation isochore : établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la température du système. Identifier dans l'équation différentielle l'expression du temps caractéristique de l'évolution de la température.</p>
<p>Fonction d'état enthalpie Fonction d'état enthalpie ; capacité thermique à pression constante d'un gaz parfait et d'une phase condensée.</p> <hr/> <p>Enthalpie massique de changement d'état. Variation d'enthalpie associée à un changement d'état.</p>	<p>Exprimer le premier principe de la thermodynamique sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final. Exploiter les propriétés d'extensivité et de fonction d'état de l'enthalpie. Exprimer la variation d'enthalpie d'un gaz parfait ou d'une phase condensée indilatable et incompressible en fonction de la variation de température, la capacité thermique à pression constante étant donnée. Citer la valeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.</p> <hr/> <p>Réaliser un bilan énergétique en prenant en compte des changements d'état. Commenter qualitativement le signe de la variation d'enthalpie associée au changement d'état d'un corps pur. Citer les ordres de grandeur de l'enthalpie massique de fusion et de vaporisation de l'eau.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie massique de changement d'état, etc.).</p>

E.3 Statique des fluides

Cette partie s'organise en deux sous-parties. L'établissement de la relation fondamentale de la statique des fluides donne l'occasion de mettre en œuvre un raisonnement à l'échelle locale de la particule de fluide. Il convient d'insister sur le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage, sans développement calculatoire excessif. La notion de gradient d'un champ

scalaire est hors programme. L'expression de la poussée d'Archimède est énoncée sans démonstration ; il convient cependant d'en expliciter clairement et simplement l'origine. Enfin vient l'étude de la stratification verticale de l'atmosphère et des océans terrestres, à partir de modèles simples.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Pression dans un fluide au repos Forces volumiques, forces surfaciques. Résultante de forces de pression sur une surface.</p>	<p>Citer des exemples de forces surfaciques ou volumiques. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Déterminer l'expression ou la valeur de la résultante des forces de pression sur une surface plane.</p>
<p>Statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme.</p>	<p>Établir la relation $\frac{dP}{dz} = \pm \rho g$.</p>
<p>Poussée d'Archimède.</p>	<p>Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède.</p>
<p>Équilibre hydrostatique dans le champ de pesanteur terrestre Modèle de l'atmosphère isotherme. Échelle de hauteur caractéristique de variation de la pression.</p>	<p>Établir l'expression de la pression en fonction de l'altitude dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait. Citer la valeur de la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer.</p>
<p>Stratification verticale des océans.</p>	<p>Établir l'expression de la pression avec la profondeur dans le cas d'un fluide incompressible.</p>

Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit cependant obligatoirement s'accompagner d'une présentation guidée suffisamment détaillée.

1. Au laboratoire de physique

- Dynamomètre
- Accéléromètre
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique
- Thermomètre, thermocouple, capteur infra-rouge
- Calorimètre

2. Au laboratoire de chimie

- Verrerie usuelle de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Verrerie usuelle de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression atmosphérique et sous pression réduite
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Voltmètre et électrodes
- Conductimètre et cellule de mesure
- Polarimètre
- Thermomètre
- Balance de précision
- Étuve

Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie. La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de l'année de TB1. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin d'année. Il est complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité sont traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression analytique des solutions dans le seul cas où $n = p = 2$.
Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions.
Équations différentielles	

Équations différentielles à coefficients constants	Identifier l'ordre. Mettre une équation différentielle du premier ordre sous forme canonique.
Équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants de la forme : $y' + ay = b$.	Trouver la solution de l'équation sans second membre (équation homogène). Déterminer une solution particulière de l'équation compte tenu du second membre. Trouver la solution de l'équation correspondant à des conditions initiales données.
Autres équations différentielles du premier ordre.	Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables.
Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$).
Dérivée. Notation $\frac{dx}{dt}$.	Calculer la fonction dérivée des fonctions usuelles à une seule variable réelle $x \rightarrow x^a$, $x \rightarrow \exp(x)$, $x \rightarrow \ln(x)$, $x \rightarrow \cos(x)$, $x \rightarrow \sin(x)$, $x \rightarrow \tan(x)$, etc. Calculer la fonction dérivée d'une somme, d'un produit, d'un quotient de fonctions, d'une fonction composée.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.
Représentation graphique d'une fonction.	Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Géométrie	
Vecteurs et systèmes de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser le système des coordonnées cartésiennes.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Utiliser leur effet sur l'orientation de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite.
Longueurs, aires et volumes usuels.	Citer les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(x \pm \pi)$ et $\cos(x \pm \pi/2)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python incluant l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques dans la formation des étudiants vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est, par ailleurs, toujours recommandée et à mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique-chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que les capacités exigibles à la fin de l'année en TB1. Ces capacités sont consolidées en seconde année pour atteindre une pleine maîtrise en fin de formation. La documentation des bibliothèques mentionnées ci-après est systématiquement fournie aux étudiants.

Outils numériques	Capacités exigibles
Outils graphiques	
Représentation graphique d'un nuage de points	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour représenter un nuage de points et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer la courbe représentative d'une fonction et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Équations différentielles	
Équations différentielles du premier ordre.	Écrire un programme mettant en œuvre la méthode d'Euler explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1.
Probabilités - statistiques	
Variable aléatoire.	Utiliser les fonctions de base des bibliothèques <code>random</code> et/ou <code>numpy</code> (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction <code>hist</code> de la bibliothèque <code>matplotlib.pyplot</code> (sa spécification étant fournie) pour représenter les résultats d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire. Déterminer la moyenne et l'écart-type d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire.
Traitement de données numériques	
Régression linéaire.	Utiliser la fonction <code>polyfit</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Programme de physique-chimie de la classe TB 2nde année

Programme de physique-chimie — TB2

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de TB2 s'inscrit dans la continuité du programme de physique-chimie de première année, avec lequel il forme un ensemble cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques qui préparent les étudiants à leur poursuite d'études supérieures dans un cursus d'ingénieur, de vétérinaire, de chercheur ou d'enseignant. L'enseignement de la physique et de la chimie vise à développer les compétences de chaque étudiant, déjà travaillées durant le cycle terminal de la voie technologique du lycée, inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de leur enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

L'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place essentielle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation, et permet l'acquisition de compétences aisément transférables dans d'autres champs que le champ disciplinaire de la physique et de la chimie.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des modèles, des concepts et des théories. Le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle exige bien souvent une utilisation maîtrisée des mathématiques dont Galilée, fondateur de la physique expérimentale, soulignait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. De façon complémentaire, les sciences numériques offrent aujourd'hui aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser des connaissances et des capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser. Leur mise en œuvre s'appuie sur des problématiques concrètes qui mobilisent aussi les capacités expérimentales spécifiques, également exigibles, identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». La formation expérimentale doit reposer sur un apprentissage progressif et structuré de l'ensemble des capacités attendues, tout au long des deux années de classe préparatoire TB.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est articulée autour de quatre thèmes : « **thème C – constitution et transformations de la matière** », « **thème E – énergie : conversions et transferts** », « **thème M – mouvements et interactions** » et « **thème T – phénomènes de transport** ». La présentation en deux colonnes « notions et contenus » et, en regard, « capacités exigibles » met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Certains items de cette seconde partie, identifiés en caractères gras dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent

être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants; l'annexe dédiée à cette composante en précise les objectifs et les attendus en termes de contenus comme de capacités exigibles. Des thèmes d'étude communs avec les sciences de la vie et de la Terre et avec les biotechnologies sont identifiés et peuvent se prêter à une approche pédagogique concertée entre enseignements, porteuse de sens et qui, par des éclairages complémentaires, ne peut que renforcer l'assimilation de ces connaissances par les étudiants.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin d'année en TB2.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression particulière; celle-ci relève de la liberté pédagogique du professeur.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Chaque compétence est illustrée par un ensemble de capacités associées qui permettent d'en préciser le contour sans pour autant constituer une liste exhaustive. Certaines peuvent parfois relever de plusieurs compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les différentes compétences doivent être acquises à l'issue des deux années de formation en classes préparatoires. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétences	Exemples de capacités associées
S'approprier et problématiser	<ul style="list-style-type: none"> — Rechercher, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée. — Conduire l'observation d'un phénomène à différentes échelles spatiales et temporelles. — Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...) — Énoncer ou dégager une problématique scientifique en prenant en compte ses différents aspects (technique, scientifique, sociétal). — Représenter la situation par un schéma modèle. — Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. — Relier le problème à une situation modèle connue. — Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> — Formuler des hypothèses. — Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. — Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. — Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle, des lois physiques ou chimiques. — Estimer des ordres de grandeur. — Proposer des analogies. — Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. — Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de plusieurs documents.

Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> — Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. — Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photographie. — Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. — Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. — Construire des représentations graphiques à partir de données. — Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. — Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> — Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. — Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document ou dans de la bibliographie scientifique, à ses connaissances. — Discuter de la recevabilité d'une hypothèse, d'une information. — Analyser les résultats de manière critique. — Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...). — Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> — À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> ◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. ◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. ◦ appuyer son propos sur des supports appropriés. ◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.). ◦ citer l'origine des sources utilisées. — Écouter, confronter son point de vue.

Pour atteindre le plein niveau de maîtrise de ces compétences et de ces capacités, les étudiants doivent progressivement développer, dans les différentes activités proposées par le professeur, leur **autonomie**, leur **esprit d'initiative** et leur **esprit critique**. La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la poursuite d'études scientifiques, à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, des questions liées à la recherche scientifique actuelle, des enjeux de citoyenneté comme l'engagement, la responsabilité individuelle et collective, la sécurité pour soi et autrui, ou des enjeux environnementaux et climatiques, en particulier le réchauffement climatique, notamment par application des principes du développement durable.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, le professeur organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes réels, en particulier caractéristiques du monde du vivant, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports

d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;

- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie est articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques, sciences de la vie et de la Terre, biotechnologies, mathématiques et informatique.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, le professeur veillera soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- caractériser et valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Première partie

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants en fin de formation en classes préparatoires TB. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans une annexe du présent programme.

1 Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-après sont développées tout au long de la formation en classe préparatoire TB. Sur le thème des mesures et incertitudes, l'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans le cas des incertitudes-types composées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertaince. Incertaince-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertainces-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une relation fournie, l'incertaince-type d'une grandeur qui s'exprime en fonction d'autres grandeurs, dont les incertainces-types sont connues, par une relation du type somme, différence, produit ou quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertaince-type composée. Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire – simulation de Monte-Carlo – permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.

Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, simuler un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation de Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

2 Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales générales que les étudiants doivent acquérir durant les séances de travaux pratiques à l'issue des deux années de formation en classe préparatoire TB.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « Capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

2.1 Mesures de grandeurs physiques

Les activités expérimentales doivent développer, tout au long de la formation des étudiants, la capacité à mettre en œuvre un dispositif de mesure d'une grandeur physique, à choisir le matériel adapté et à l'utiliser de façon autonome, éventuellement à l'aide d'une notice succincte.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Grandeurs physiques diverses Mesure de volume, masse, pH, conductance et conductivité, indice de réfraction, absorbance et transmittance.	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Distinguer les instruments de verrerie In et Ex. Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de composition connue avec le matériel approprié. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Utiliser un appareil de mesure spécifique en s'aidant d'une notice. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.
Mécanique Visualisation et décomposition d'un mouvement.	Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié. En déduire la vitesse et l'accélération.
Mesure d'une accélération.	Mettre en œuvre un accéléromètre, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.
Mesure d'une action mécanique.	Utiliser un dynamomètre.
Thermodynamique Mesure d'une pression.	Mettre en œuvre un capteur de pression, en identifiant son caractère différentiel ou absolu.

Repérage d'une température.	Mettre en œuvre un capteur de température, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur. Mettre en œuvre un capteur infrarouge. Choisir le capteur en fonction de ses caractéristiques (linéarité, sensibilité, gamme de fonctionnement, temps de réponse), et du type de mesures à effectuer.
Bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.

2.2 Synthèses chimiques

La pleine maîtrise des différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses chimiques, qui sont présentées ci-après, et les fondements théoriques de ces techniques en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées, sont exigibles des étudiants en fin de formation. Pour ce faire, les étudiants sont progressivement invités à proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Transformation chimique	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.
Transformations à chaud, à froid, à température ambiante.	Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt.
Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel.	Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte.
Suivi de l'évolution de la transformation.	Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat. Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur. Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux. Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
Séparation et purification	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'une espèce chimique, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures.
Séparation de deux liquides non miscibles.	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase.
Séparation de deux espèces chimiques dissoutes dans une phase liquide.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Séparation d'un soluté du solvant.	Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif.
Séparation d'un liquide et d'un solide.	Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.
Lavage d'un solide.	Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide.	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.
Séchage d'un solide.	Sécher un solide dans une étuve. Estimer, par des mesures de masse, l'efficacité du séchage.
Séchage d'un liquide.	Utiliser un desséchant solide et estimer correctement, par l'observation, la quantité à utiliser.

2.3 Analyses qualitatives et quantitatives

La maîtrise de différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives destinées à caractériser une espèce chimique, à en estimer la pureté ou à la doser, est elle aussi développée tout au long de la formation. La mobilisation récurrente des capacités présentées amène progressivement les étudiants à prendre les initiatives adaptées pour proposer, de façon autonome, un protocole de mesure de concentrations ou de quantités de matière, ou une méthode de caractérisation d'une espèce chimique tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Caractérisation d'une espèce chimique et contrôle de sa pureté	Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.
Chromatographies sur couche mince.	Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour la caractérisation d'une espèce chimique et le suivi d'une transformation. Interpréter l'ordre d'élution des différentes espèces chimiques en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant.
Détermination expérimentale de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique.	Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques. Repérer une température de fusion. Mesurer un indice de réfraction. Mesurer une absorbance. Déterminer un coefficient d'absorption molaire en spectroscopie UV-visible. Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'une espèce chimique synthétisée avec celles de l'espèce chimique commerciale. À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.
Dosages par étalonnage	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-visible.
Dosages par titrage Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.	Identifier et exploiter la réaction support du titrage (repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage dans le cas d'un titrage acido-basique.
Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de distribution et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.
Suivi cinétique de transformations chimiques Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de température.	Choisir une méthode de suivi prenant en compte la facilité de mise en œuvre, les propriétés des espèces chimiques étudiées, la durée de la transformation estimée ou fournie. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction.

3 Prévention du risque au laboratoire

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans tous les domaines recensés ci-après permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques lorsqu'ils évoluent au laboratoire de physique ou de chimie. Il importe en particulier que les étudiants prennent conscience du risque lié à la manipulation, au stockage et au rejet des espèces chimiques. Futurs ingénieurs, vétérinaires, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Prévention des risques au laboratoire Règles de sécurité au laboratoire.	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
Risque électrique.	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
Risque optique.	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
Risques liés à la pression et à la température.	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
Risque chimique. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H), conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Deuxième partie

Contenus thématiques

Thème E – énergie : conversions et transferts	9
E.4 Second principe de la thermodynamique	9
E.5 Description des systèmes fermés de composition variable	9
E.6 Application des principes de la thermodynamique à l'étude des transformations physico-chimiques . . .	10
E.7 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire	11
E.8 Machines thermiques	11
Thème C – constitution et transformations de la matière	12
C.7 Caractérisation spectroscopique d'entités chimiques organiques	12
C.8 Transformations de la matière : évolution temporelle d'un système, catalyse et catalyseurs	13
C.9 Transformations de la matière en solution aqueuse	13
C.10 Transformations de la matière en chimie organique	14
Thème M – mouvements et interactions	17
M.3 Modèle de l'oscillateur harmonique	17
M.4 Fluides en écoulement	18
Thème T – phénomènes de transport	20
T.2 Transport de matière diffusif	20
T.3 Conduction thermique	20

Thème E – énergie : conversions et transferts

E.4 Second principe de la thermodynamique

L'étude du second principe de la thermodynamique s'inscrit dans la continuité du programme de thermodynamique de première année. La fonction d'état entropie est systématiquement donnée et sa construction n'est pas une capacité visée. La notion d'irréversibilité d'une transformation est associée à la création d'entropie. Le critère d'évolution qui en découle est mis en perspective dans le cadre des transformations des systèmes physico-chimiques de composition variable.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Nécessité d'un principe d'évolution, irréversibilité d'une transformation.	Discuter de l'insuffisance du premier principe de la thermodynamique en s'appuyant sur un exemple et citer quelques causes d'irréversibilité d'une transformation.
Fonction d'état entropie; entropie massique et entropie molaire. Entropie d'un gaz parfait, d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Exploiter l'expression fournie de la variation d'entropie entre deux états d'équilibre thermodynamique d'un gaz parfait ou d'une phase condensée indilatable et incompressible.
Second principe de la thermodynamique pour un système fermé. Entropie échangée, entropie créée, bilan d'entropie.	Formuler un bilan d'entropie. Exploiter les propriétés d'extensivité et de fonction d'état de l'entropie. Associer la création d'entropie au caractère réversible ou irréversible de la transformation.

E.5 Description des systèmes fermés de composition variable

L'étude de l'évolution d'un système physico-chimique, débutée en première année, est complétée par l'introduction de la fonction d'état enthalpie libre. Les potentiels chimiques qui en dérivent ne font pas l'objet de développement théorique, mais sont mis en oeuvre pour justifier le sens d'un transfert de matière (corps pur sous deux phases, osmose). On adopte pour les potentiels chimiques, l'expression générale suivante, faisant référence aux activités a_i introduites en première année :

$$\mu_i(T, P, \text{composition}) = \mu_i^{\text{réf}}(T, P) + RT \ln(a_i)$$

L'établissement de cette relation est strictement hors programme et aucun calcul différentiel ne peut être exigé des étudiants.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Enthalpie libre. Activité d'un constituant physico-chimique, potentiel chimique.	Interpréter en termes d'enthalpie libre une évolution ou un équilibre d'un système physico-chimique dans des conditions isothermes et isobares. Exprimer et utiliser l'activité et le potentiel chimique d'un constituant à l'état pur, dans un mélange idéal ou dans une solution infiniment diluée.
Condition d'équilibre thermodynamique d'un corps pur sous deux phases. Osmose, pression osmotique, loi de van't Hoff.	Utiliser le potentiel chimique pour prévoir l'évolution d'un système contenant un corps pur sous deux phases. Traduire la condition d'équilibre thermodynamique par une égalité de potentiels chimiques. Interpréter un transport de matière à l'aide du potentiel chimique (partage entre deux solvants, diffusion membranaire, processus osmotique, etc.). Exploiter la loi de van't Hoff, son expression étant fournie.

E.6 Application des principes de la thermodynamique à l'étude des transformations physico-chimiques

Dans cette partie, seules des transformations physico-chimiques monobares sont envisagées. Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, on se limite strictement au cas où les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température (approximation d'Ellingham). Les grandeurs standard de réaction permettent la détermination de la constante thermodynamique d'équilibre introduite en première année. La notion d'affinité chimique n'est pas utilisée. Le sens d'évolution spontanée d'un système hors d'équilibre, à température et pression fixées, est déterminé par le signe de l'enthalpie libre de réaction, donnée par la relation :

$$\Delta_r G(T, P, \text{composition}) = \Delta_r G^\circ(T) + RT \ln(Q_r)$$

L'établissement de cette relation est strictement hors programme et aucun calcul différentiel ne peut être exigé des étudiants. Enfin, le critère d'évolution est réinvesti dans l'étude des perturbations d'un système à l'équilibre chimique en vue d'interpréter des déplacements ou ruptures d'équilibre dans les contextes des solutions aqueuses, de la chimie de synthèse, des sciences du vivant, de l'environnement et du climat. Enfin, la relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard d'oxydoréduction, utilisée dans le contexte des sciences du vivant, permet de prévoir le caractère favorable ou défavorable d'une réaction d'oxydoréduction.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Application du premier principe État standard. Enthalpie standard de réaction, enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément chimique, loi de Hess. Effets thermiques en réacteur monobare : — transfert thermique associé à une transformation chimique en réacteur monobare isotherme; — variation de température en réacteur adiabatique monobare.	Déterminer l'enthalpie standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques. Interpréter le signe de l'enthalpie standard de réaction. Calculer la valeur du transfert thermique entre le système physico-chimique et le milieu extérieur lors d'une transformation physico-chimique monobare et isotherme. Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation physico-chimique supposée monobare et adiabatique.
Application du second principe Entropie standard de réaction, entropie molaire standard. Enthalpie libre de réaction, enthalpie libre standard de réaction, constante thermodynamique d'équilibre et relation de van't Hoff dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.	Prévoir ou interpréter le signe de l'entropie standard de réaction. Calculer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à partir de grandeurs standard de réaction. Interpréter sa valeur pour identifier le caractère favorable ou défavorable d'une réaction. Modéliser l'évolution de la constante thermodynamique d'équilibre avec la température dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.

Critère d'évolution, critère d'équilibre dans le cas d'un système chimique modélisée par une seule réaction à T et P constantes.	Relier l'enthalpie libre de réaction à la constante thermodynamique d'équilibre et au quotient de réaction. Identifier, en comparant le quotient de réaction et la constante thermodynamique d'équilibre, si le système se trouve dans une situation d'équilibre chimique ou hors équilibre chimique. En cas d'évolution, prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système. Déterminer la valeur d'une grandeur standard de réaction.
Perturbation d'un système à l'équilibre chimique.	Reconnaître si une grandeur intensive est ou non un facteur d'équilibre. Comparer le quotient de réaction et la constante thermodynamique d'équilibre pour interpréter l'effet de la variation d'un paramètre d'influence sur un système initialement à l'équilibre chimique.
Application aux transformations modélisées par des réactions d'oxydo-réduction Relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard d'oxydo-réduction des couples impliqués.	Prévoir le caractère favorable ou défavorable d'une réaction d'oxydo-réduction par comparaison des potentiels standard des couples impliqués.

E.7 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire

La partie « **E.7 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire** » s'appuie sur les compétences développées par les étudiants dans la voie technologique du lycée. Il s'agit ici d'introduire les outils théoriques nécessaires à la description des systèmes hydrauliques sur le plan énergétique. Le premier principe de la thermodynamique est appliqué à l'étude de l'écoulement stationnaire d'un fluide dans un système hydraulique. Sa démonstration permet non seulement de comprendre pourquoi la fonction d'état enthalpie intervient mais aussi d'insister sur le fait que les différentes variations sont calculées entre l'entrée et la sortie du système. Pour autant, cette démonstration n'est pas exigible des étudiants.

L'introduction relative à la conservation de la masse est commune à la partie **M.4.1** du présent programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Bilan de masse. Débit de masse. Conservation du débit de masse pour un écoulement stationnaire.	Établir et exploiter un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert ou fermé adapté.
Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire Premier principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire dans un système muni d'une seule entrée et d'une seule sortie. Travail utile et transfert thermique massiques.	Exploiter le premier principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire, en termes de grandeurs massiques, notamment pour l'étude d'un détendeur, d'un compresseur, d'une turbine, d'un échangeur thermique.
Diagramme (P, h) d'un fluide réel.	Associer un point du diagramme (P, h) à l'état thermodynamique d'un fluide. Décrire qualitativement ou quantitativement l'état thermodynamique d'un fluide repéré par un point du diagramme (P, h) .

E.8 Machines thermiques

La partie « **E.8 Machines thermiques** » se limite à la modélisation du fonctionnement d'une machine thermique par une évolution cyclique ditherme. Elle s'inscrit dans le prolongement de la section précédente où sont étudiés, sur le plan énergétique, quelques dispositifs constitutifs de machines thermiques réelles. Elle offre l'occasion de mettre en œuvre les deux principes de la thermodynamique dans la modélisation d'une machine thermique réelle par une machine thermique idéalisée ditherme. Le recours au diagramme (P, h) d'un fluide réel permet d'étudier des situations concrètes, de se libérer de calculs excessifs et de s'interroger sur les limites des modèles de fluides idéalisés. La formulation du second

principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire dans un système muni d'une seule entrée et d'une seule sortie n'est pas exigible des étudiants. Les diagrammes (T, s) sont hors-programme. La distinction des machines thermiques motrices et réceptrices, ainsi que le sens associé des transferts énergétiques, constitue un des objectifs principaux de formation visé, au même titre que la capacité à modéliser une machine thermique réelle par une machine idéalisée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Application du premier et du second principe de la thermodynamique aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, limitations.	<p>Décrire le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.</p> <p>Analyser un dispositif réel et le modéliser par une machine cyclique ditherme.</p> <p>Représenter l'évolution thermodynamique cyclique du fluide dans un diagramme de Clapeyron, de Watt ou (P, h).</p> <p>Définir un rendement ou une efficacité, et le ou la relier aux énergies reçues par le fluide au cours d'un cycle.</p> <p>Établir l'expression d'un rendement ou d'une efficacité optimale pour un cycle ditherme réversible. Comparer un rendement ou une efficacité à sa valeur optimale.</p> <p>Étudier des propriétés des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes (P, h).</p> <p>Expliquer le principe de la cogénération.</p>

Thème C – constitution et transformations de la matière

C.7 Caractérisation spectroscopique d'entités chimiques organiques

La caractérisation des entités chimiques organiques, illustrée en première année à travers les techniques de spectroscopies moléculaires UV-visible, infrarouge et de RMN, est complétée en deuxième année par la fluorimétrie et la spectrométrie de masse. Ces techniques permettent de diversifier les sources d'information sur la structure des entités chimiques organiques. Aucun développement théorique ou technologique sur ces techniques n'est attendu.

Le professeur veille à illustrer cette partie en faisant appel à des applications authentiques (révélation UV en chromatographie sur couche mince, détection de contrefaçon, imagerie cellulaire, protéines fluorescentes, analyses chimiques et biologiques, etc.)

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Fluorimétrie</p> <p>Absorption et émission de photons, transition entre niveaux d'énergie électroniques et vibrationnels.</p> <p>Existence de différentes voies de désexcitation radiatives et non radiatives, durée de vie de l'état excité, constante de vie radiative.</p> <p>Espèce chimique fluorophore, fluorescence, déplacement de Stokes, coefficient d'absorption molaire et rendement quantique de fluorescence.</p>	<p>Associer un domaine spectral de rayonnement électromagnétique à la nature d'une transition entre niveaux d'énergie électroniques, vibrationnels ou rotationnels.</p> <p>Interpréter la différence d'énergie entre photons absorbés et photons émis.</p> <p>Identifier, par comparaison, un spectre d'absorption et un spectre d'émission d'une espèce chimique fluorophore.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante de vie radiative à partir de données expérimentales d'intensité de fluorescence en fonction du temps.</p>
<p>Spectrométrie de masse</p> <p>Principe de la spectrométrie de masse : ionisation, séparation dans un analyseur, détection.</p> <p>Spectres de masse : pic de base, pic moléculaire, massif isotopique.</p>	<p>Utiliser un spectre de masse afin de déterminer la masse molaire d'une espèce chimique.</p> <p>Recueillir des informations sur les motifs structuraux d'une espèce chimique, dans des cas simples, à l'aide d'un spectre de masse fourni et de documents sur l'ionisation effectuée ou sur les fragmentations observées.</p> <p>Identifier la présence d'isotopes.</p>

C.8 Transformations de la matière : évolution temporelle d'un système, catalyse et catalyseurs

Introduit expérimentalement, l'effet catalytique est modélisé, au niveau microscopique, par un mécanisme réactionnel concurrent présentant des étapes plus nombreuses et plus faciles. L'étude des mécanismes réactionnels, limitée en première année aux exemples présentant une étape cinétiquement déterminante ou un équilibre rapidement établi, est poursuivie en deuxième année pour aborder les processus catalytiques. L'approximation de l'état quasi-stationnaire n'est pas abordée.

Abondamment décrite dans l'enseignement de biotechnologies, l'étude de la catalyse enzymatique est enrichie par l'établissement de la loi de vitesse dans le cadre du modèle de Michaelis-Menten. Seul le mécanisme sans inhibiteur est exigible, les autres mécanismes peuvent être abordés mais leurs étapes et caractéristiques doivent être fournies en vue d'établir la loi de vitesse. Des illustrations prises dans le domaine du vivant et des biotechnologies permettent de réinvestir les structures et interactions entre entités chimiques.

Cette partie est l'occasion de sensibiliser les étudiants à l'intérêt de la catalyse dans un contexte de synthèse chimique avec un impact environnemental plus limité (réduction du chauffage, de la durée de la transformation, de la quantité de sous-produits formés grâce à l'intervention d'un catalyseur spécifique).

Notions et contenus	Capacités exigibles
Catalyse d'une transformation, catalyseur.	Citer les propriétés d'un catalyseur et identifier un catalyseur d'une transformation à l'aide de données expérimentales.
Intervention du catalyseur dans le mécanisme réactionnel.	Reconnaître un catalyseur dans un mécanisme réactionnel. Mettre en évidence un effet catalytique par comparaison de profils réactionnels sans et avec catalyseur.
Catalyse enzymatique, site actif d'une enzyme, complexe enzyme-substrat. Modèles de Michaelis-Menten avec et sans inhibiteur.	Établir la loi de vitesse de formation d'un produit dans le cadre du modèle de Michaelis-Menten avec pré-équilibre rapide, les mécanismes réactionnels avec inhibiteurs étant fournis.

C.9 Transformations de la matière en solution aqueuse

L'étude des transformations en solution aqueuse a été abordée en première année pour des transformations modélisées par des réactions acide-base et des réactions d'oxydo-réduction. En seconde année, ces modélisations sont enrichies par les réactions de complexation et de précipitation. Les situations de contextualisation de ces réactions sont nombreuses : traitement de solutions (résines échangeuses d'ions, précipitation sélective, etc.), analyses chimique et biochimique, chimie du vivant (respiration, photosynthèse, etc.).

Les diagrammes de prédominance et de distribution d'espèces chimiques constituent un outil privilégié pour prévoir et interpréter des transformations.

Certaines capacités développées lors de l'étude des transformations de la matière en solution aqueuse sont mises en exergue afin de souligner leur caractère transversal.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Transformation chimique en solution aqueuse modélisée par une seule réaction chimique.</p>	<p>Extraire la valeur d'une constante thermodynamique d'équilibre à partir d'un diagramme de prédominance ou d'existence.</p> <p>Extraire les données thermodynamiques pertinentes de tables pour étudier un système en solution aqueuse.</p> <p>Utiliser des diagrammes de prédominance ou d'existence pour identifier des espèces incompatibles ou prévoir la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Écrire l'équation de la réaction modélisant une transformation en solution aqueuse et déterminer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre.</p> <p>Déterminer la composition du système dans l'état final pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique, en simplifiant éventuellement les calculs à l'aide d'hypothèses adaptées.</p> <p>Prévoir le sens d'évolution d'un système chimique, initialement à l'équilibre, à la suite d'une perturbation par comparaison du quotient de réaction et de la constante thermodynamique d'équilibre.</p> <p>Confronter les prévisions thermodynamiques à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques ou de modélisation inappropriée.</p>
<p>Transformations modélisées par des réactions de complexation-décomplexation</p> <p>Atome ou ion central, ligand, complexe, indice de coordination.</p> <p>Constante de formation globale d'un complexe.</p> <p>Perturbation d'un système comportant un complexe : ajout d'acide, compétition entre centres métalliques, compétition entre ligands.</p>	<p>Citer des exemples de complexes intervenant dans le domaine des sciences du vivant.</p> <p>Analyser l'effet d'un ajout d'acide, de ligand ou de centre métallique sur la composition d'une solution contenant un complexe.</p>
<p>Transformations modélisées par des réactions de précipitation-solubilisation</p> <p>Mise en solution d'un solide ionique : produit de solubilité.</p> <p>Condition de précipitation d'un solide ionique : diagramme d'existence.</p> <p>Solubilité et paramètres d'influence de la solubilité : température, effet d'ion commun, pH, complexation.</p>	<p>Citer des exemples de précipités intervenant dans le domaine du vivant ou de la géologie.</p> <p>Prévoir, à partir de données thermodynamiques et de conditions opératoires, l'état de saturation ou de non saturation en solide ionique d'une solution aqueuse.</p> <p>Prévoir qualitativement l'évolution de la solubilité suite à l'introduction d'un ion commun, d'un ligand ou d'une modification du pH.</p> <p>Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, déterminer les conditions optimales pour séparer deux ions par précipitation sélective.</p> <p>Mettre en œuvre des réactions de complexation, de précipitation, d'oxydo-réduction et acide-base pour effectuer des analyses quantitatives ou des traitements d'une solution.</p>

C.10 Transformations de la matière en chimie organique

Cette partie s'inscrit dans la continuité de la partie correspondante du programme de physique-chimie de TB1 et poursuit les objectifs suivants :

- s'approprier les stratégies de synthèse organique en complétant l'étude des méthodes de conversion de groupes caractéristiques et de création de liaison carbone-carbone;
- consolider et compléter les connaissances des mécanismes fondamentaux, notamment en présence d'étapes d'activation.

L'approche retenue privilégie donc l'aspect mécanistique et la stratégie de synthèse à l'approche fonctionnelle, mais l'enseignant dispose de sa liberté pédagogique pour construire la progression de son choix. Le cours et les activités s'appuient le plus souvent possible sur des exemples issus de la chimie du vivant, de la chimie fine et de la chimie industrielle, et permettent une sensibilisation aux principes d'une chimie respectueuse de l'environnement.

D'autre part, les caractéristiques stéréochimiques des transformations viennent enrichir l'étude des transformations en chimie organique.

À travers les capacités et contenus exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront par la suite être réinvesties, consolidées et valorisées, parmi lesquelles :

- interpréter les transformations chimiques étudiées dans une synthèse à partir de la réactivité des espèces chimiques organiques mises en jeu, réactivité déduite de la structure et des propriétés des entités chimiques qui les composent;
- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour choisir un mécanisme réactionnel en synthèse organique;
- analyser des problèmes de complexité croissante;
- identifier dans une situation complexe la partie utile au raisonnement;
- proposer une stratégie d'adaptation ou de contournement pour résoudre un problème.

C.10.1 Notions et capacités transversales développées lors de l'étude des transformations en chimie organique

Dans le prolongement des compétences générales présentées ci-dessus, l'étude des transformations en chimie organique s'appuie sur les notions et capacités transversales suivantes, qui pourront être introduites progressivement en fonction des choix pédagogiques opérés. L'utilisation d'une banque de réactions permet d'enrichir les activités proposées en procédant par analogie de propriétés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réaction acide-base en chimie organique Échelle de pK_a généralisée. Exemples d'acides et de bases utilisés en chimie organique. Ordre de grandeur des pK_a des couples acido-basiques : acide carboxylique / carboxylate, alkyloxonium / alcool, alcool / alcoolate, phénol / phénolate, ammonium / amine, amine / amidure, carbonyle / énolate, alcane / composé organométallique.</p>	<p>Choisir une base adaptée à la déprotonation quantitative d'une espèce chimique organique.</p>
<p>Banque de réactions en chimie organique</p>	<p>Utiliser une banque de réactions fournie pour compléter une séquence réactionnelle, proposer des conditions expérimentales ou déterminer la structure d'espèces chimiques organiques.</p> <p>Mettre en œuvre la synthèse, l'isolement, la purification et la caractérisation d'une espèce chimique organique.</p>

C.10.2 Activation de la réactivité

L'étude amorcée en première année est enrichie de mécanismes réactionnels faisant apparaître des étapes d'activation de groupe caractéristique.

Les seules transformations et les seuls mécanismes réactionnels exigibles sont indiqués dans la colonne "Notions et contenus". Pour ces transformations, il est attendu des étudiants qu'ils soient en mesure de proposer, en autonomie, une équation de réaction, ainsi que la structure du(des) produit(s) attendu(s) à partir de réactifs fournis, et inversement, des réactifs à mettre en œuvre pour synthétiser un produit souhaité et, le cas échéant, d'écrire le mécanisme réactionnel.

Activation de l'aptitude nucléofuge

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Substitution nucléophile aliphatique Conversion d'un alcool en halogénoalcane par action d'une solution concentrée d'halogénure d'hydrogène, mécanismes limites.</p>	<p>Comparer les réactivités des liaisons carbone-oxygène dans le cas des alcools et des ions alkyloxoniums. Commenter, dans une synthèse multi-étapes, le choix de l'activation d'un alcool par protonation.</p>

β-élimination Déshydratation acido-catalysée d'un alcool, mécanisme limite E1.	Prévoir ou interpréter la régiosélectivité d'une β -élimination en milieu acide sur un alcool.
---	--

Activation du caractère électrophile

Notions et contenus	Capacités exigibles
Addition nucléophile Activation électrophile du groupe carbonyle. Acétalisation des aldéhydes et des cétones : conditions expérimentales, mécanisme. Hémiacétalisation acido-catalysée du glucose.	Proposer et justifier les conditions expérimentales permettant la préparation d'un acétal. Justifier la formation d'espèces cycliques, glucopyranose et glucofuranose, à partir du glucose en milieu biologique.
Addition nucléophile suivie d'élimination Synthèse des esters par activation du groupe carboxyle <i>in situ</i> par protonation : conditions expérimentales, mécanisme. Hydrolyse acide des esters et des amides : conditions expérimentales, mécanismes.	Proposer et justifier les conditions expérimentales permettant la préparation d'un ester ou l'hydrolyse acide d'un ester ou d'un amide.

Activation du caractère nucléophile

Notions et contenus	Capacités exigibles
Substitution nucléophile aliphatique Activation nucléophile des alcools et phénols : formation d'alcoolates par réaction acido-basique. Synthèse d'éther-oxydes par la méthode de Williamson, mécanisme. Formation d'ions énolate : acidité en position α d'un groupe carbonyle. Équilibre céto-énolique. C-alkylation en position α d'un groupe carbonyle de cétone : mécanisme limite S_N2 . Généralisation aux espèces chimiques possédant un atome d'hydrogène en position α d'un groupe mésomère-attracteur.	Proposer une voie de synthèse d'un éther-oxyde dissymétrique. Justifier l'acidité d'une espèce chimique énolisable. Justifier la restriction de la C-alkylation aux cétones énolisables.
Addition nucléophile Aldolisation, mécanisme. Crotonisation en présence d'une base, mécanisme limite E1cb, régiosélectivité.	Interpréter la formation de plusieurs produits par la compétition entre énolates dans le cas d'une aldolisation non dirigée. Justifier la régiosélectivité de la crotonisation en présence d'une base.

C.10.3 Initiation à la stratégie de synthèse

Cette partie vise à permettre aux étudiants d'analyser des stratégies de synthèse multi-étapes (réactivité des espèces chimiques utilisées, nature et ordre des étapes mises en œuvre, utilisation d'une activation de fonction ou d'une séquence protection/déprotection de groupe fonctionnel).

D'autre part, une réflexion est engagée sur les caractéristiques stéréochimiques des transformations en chimie organique. L'élaboration d'une courte synthèse multi-étapes par les étudiants peut se faire en autonomie à l'aide d'une banque de réactions fournie, à l'aide des réactions exigibles qui figurent au programme des deux années de TB ou à partir de raisonnements procédant par analogies de structure et de réactivité. Les étudiants sont amenés à questionner l'impact environnemental de certaines voies de synthèse totale au laboratoire (choix des réactifs, solvants, durée de chauffage,

catalyse).

Notions et contenus	Capacités exigibles
Initiation à la stéréochimie dynamique des réactions Activité optique. Loi de Biot, mélange racémique. Stéréosélectivité, stéréospécificité. Caractéristiques stéréochimiques des réactions d'addition et de substitution.	Relier la valeur du pouvoir rotatoire à la composition d'un mélange de stéréoisomères. Justifier la cohérence d'un mécanisme réactionnel à l'échelle microscopique, avec des données stéréochimiques obtenues à l'échelle macroscopique. Représenter les stéréoisomères attendus lors d'une réaction d'addition ou de substitution. Justifier la formation de deux diastéréoisomères du glucopyranose en milieu biologique.
Protection-déprotection Protection-déprotection du groupe acide carboxylique par estérification; conditions expérimentales. Protection-déprotection du groupe carbonyle ou d'un diol par acétalisation; conditions expérimentales. Protection-déprotection du groupe hydroxyle : synthèse et hydrolyse d'esters, synthèse d'éther-oxydes. Protection-déprotection du groupe amino : synthèse et hydrolyse d'amides.	Justifier la nécessité de protéger un groupe caractéristique dans une synthèse multi-étapes, une banque de réaction étant fournie le cas échéant. Identifier les étapes de protection et de déprotection d'un groupe carbonyle, d'un groupe carboxyle, d'un groupe amino, d'un groupe hydroxyle ou d'un diol dans une synthèse multi-étapes.
Synthèse multi-étapes Modifications de groupes caractéristiques et de chaînes carbonées. Rendement, optimisation, prise en compte de l'impact environnemental.	Analyser une synthèse multi-étapes fournie en termes de stratégie de synthèse : ordre des étapes, activation, protection de groupes caractéristiques, rendement, sélectivité. Proposer ou justifier, éventuellement en s'appuyant sur une banque de réactions fournie, une méthode de modifications de groupes caractéristiques ou de chaînes carbonées adaptée à une synthèse multi-étapes. Concevoir une stratégie de synthèse simple en tenant compte des impacts environnementaux.

Thème M – mouvements et interactions

M.3 Modèle de l'oscillateur harmonique

M.3.1 Oscillateur harmonique mécanique en régime libre

Cette partie est consacrée à la présentation du modèle de l'oscillateur harmonique. Le système masse-ressort, en l'absence de frottement, constitue le système modèle sur lequel s'appuie cette introduction. Les étudiants doivent en particulier être en capacité d'établir, de résoudre l'équation différentielle des oscillations du système masse-ressort autour d'une position d'équilibre stable et d'identifier la pulsation propre du système. Le régime sinusoïdal forcé et le phénomène de résonance sont mis en évidence par une approche expérimentale.

La mise en contexte de cette présentation, par exemple dans le cadre de la chimie et de la vibration des liaisons intramoléculaires, permet de donner du relief à cette étude et d'en faciliter l'appropriation par les étudiants.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Oscillateur harmonique Système modèle masse-ressort en l'absence de frottement. Force de rappel élastique. Pulsation propre.</p>	<p>Exprimer la force de rappel élastique exercée par un ressort en une de ses extrémités en fonction de sa raideur et de son allongement algébrique. Interpréter l'orientation de cette force en fonction du signe de l'allongement algébrique du ressort. Établir l'équation différentielle qui caractérise le régime libre du dispositif masse-ressort en l'absence de frottement; la résoudre compte tenu des conditions initiales. Définir un oscillateur harmonique en s'appuyant sur l'exemple du système masse-ressort en l'absence de frottement. Identifier l'expression de la pulsation propre dans l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique. Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation. Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant de mesurer la période propre d'un oscillateur mécanique et étudier l'influence de paramètres physiques pertinents sur la période propre. Capacité numérique : résoudre, à l'aide d'un langage de programmation, l'équation différentielle du régime libre du système masse-ressort soumis à une force de frottement fluide et illustrer qualitativement l'influence du frottement sur l'amortissement des oscillations du système.</p>
<p>Énergie potentielle élastique du système masse-ressort. Conservation de l'énergie mécanique du système en l'absence de frottement.</p>	<p>Citer l'expression de l'énergie potentielle élastique en fonction de la raideur et de l'allongement algébrique du ressort. Établir un bilan énergétique pour le système masse-ressort en l'absence de frottement : conservation de l'énergie mécanique, conversions périodiques et réciproques des énergies cinétique et potentielle.</p>
<p>Oscillateur harmonique en régime sinusoïdal forcé Système masse-ressort soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.</p>	<p>Résoudre analytiquement l'équation différentielle du mouvement d'un système masse-ressort en régime sinusoïdal forcé en l'absence de frottement et mettre en évidence les insuffisances du modèle. Mettre en œuvre un dispositif expérimental visant à étudier un phénomène de résonance d'un oscillateur mécanique et à caractériser l'influence de l'amortissement sur la résonance.</p>

M.4 Fluides en écoulement

Cette partie introduit d'abord les éléments essentiels à la description cinématique d'un fluide en écoulement.

L'écoulement d'un fluide réel est introduit par l'analyse de la mise en mouvement d'une couche de fluide sous l'effet d'une force de cisaillement dans la géométrie de l'écoulement de Couette plan. La loi de Newton pour la viscosité est énoncée dans ce cas simple et permet d'introduire la notion de viscosité dynamique, illustrée par des ordres de grandeur caractéristiques. L'adhérence d'un fluide réel à une paroi solide est affirmée en tant que réalité expérimentale. L'étude de l'écoulement stationnaire d'un fluide réel à travers une conduite cylindrique offre l'occasion de définir le nombre de Reynolds. Il est présenté comme le nombre sans dimension qui pilote la transition d'un régime d'écoulement laminaire vers un régime d'écoulement turbulent. La généralisation de cette propriété est admise.

L'étude énergétique de l'écoulement d'un fluide s'appuie sur la relation de Bernoulli généralisée (incluant, le cas échéant, des termes de gain et de perte d'énergie mécanique par unité de volume) pour l'écoulement stationnaire d'un fluide incompressible à travers un système hydraulique. Sa formulation et sa démonstration ne sont pas exigibles des étudiants. L'énergie cinétique par unité de volume est écrite en faisant intervenir la vitesse débitante même si le profil de vitesse d'écoulement n'est pas uniforme sur une section de l'écoulement. La notion de charge est introduite. Aucune expression de perte de charge n'est exigible des étudiants. Le cas du modèle du fluide parfait est évoqué.

L'utilisation d'opérateurs d'analyse vectorielle et la mobilisation d'équations aux dérivées partielles sont absolument proscrites dans l'étude de la dynamique des fluides.

De façon générale, l'étude des fluides en écoulement doit s'appuyer sur des situations concrètes et motivantes (comme l'analyse de la circulation sanguine par exemple).

M.4.1 Description d'un fluide en écoulement

Les notions de débit de masse et de conservation de la masse sont communes avec la partie « **E.7 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire** » et introduites dans cette partie ou dans la partie **E.7** selon la progression suivie par le professeur.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Description d'un fluide en écoulement Particule de fluide. Champ eulérien des vitesses. Ligne de courant, tube de courant. Écoulement stationnaire.</p>	<p>Décrire, en utilisant le vocabulaire adapté, l'écoulement d'un fluide. Interpréter un document (photographie ou vidéo d'un écoulement, schéma, simulation) et identifier quelques caractéristiques de l'écoulement (stationnarité, lignes de courant, profil de vitesse).</p>
<p>Débit de masse, débit de volume.</p>	<p>Calculer un débit de masse ou de volume.</p>
<p>Bilan de masse. Conservation du débit de masse pour un écoulement stationnaire.</p>	<p>Établir et exploiter un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert ou fermé adapté.</p>

M.4.2 Dynamique des fluides

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Modèles d'écoulement stationnaire d'un fluide réel Mise en mouvement d'une couche de fluide réel sous l'effet d'une force de cisaillement. Loi de Newton pour la viscosité. Adhérence d'un fluide réel à une paroi solide. Viscosité dynamique.</p>	<p>Interpréter, en termes de viscosité, la mise en mouvement d'un fluide réel sous l'effet d'un cisaillement plan dans la géométrie de l'écoulement de Couette plan. Citer l'ordre de grandeur de la viscosité dynamique de l'eau.</p>
<p>Écoulement de Poiseuille d'un fluide newtonien dans une conduite cylindrique. Loi de Poiseuille. Vitesse débitante.</p>	<p>Associer le sens de l'écoulement au signe de la différence de pression appliquée. Établir l'expression du débit de volume à partir du profil de vitesse parabolique donné. Exprimer la vitesse débitante à partir de la loi de Poiseuille fournie.</p>
<p>Nombre de Reynolds. Notion d'écoulement laminaire ou turbulent.</p>	<p>Calculer un ordre de grandeur de la valeur du nombre de Reynolds pour l'écoulement et l'interpréter compte tenu d'une valeur fournie du nombre de Reynolds critique.</p>
<p>Bilan énergétique pour l'écoulement stationnaire d'un fluide considéré comme incompressible Relation de Bernoulli généralisée pour l'écoulement stationnaire d'un fluide considéré comme incompressible dans un système hydraulique muni d'une seule entrée et d'une seule sortie. Charge définie comme la somme des énergies potentielle et cinétique par unité de volume et de la pression. Conservation de la charge dans le cas de l'écoulement d'un fluide parfait considéré comme incompressible dans un système hydraulique en l'absence d'élément moteur. Charge hydraulique.</p>	<p>Exploiter la relation de Bernoulli généralisée, fournie, en procédant, le cas échéant, à la simplification de termes négligeables. Interpréter la relation de Bernoulli en termes de charge. Étudier la circulation d'un fluide dans une canalisation sous l'effet de la gravité et/ou d'une pompe à partir d'informations fournies (les expressions d'éventuelles pertes de charge ne sont pas exigibles).</p>
<p>Effet Venturi. Application à la mesure d'un débit de volume.</p>	<p>Exprimer la charge hydraulique sous la forme d'une hauteur équivalente d'eau en équilibre hydrostatique dans le champ de pesanteur terrestre. Décrire le principe de l'effet Venturi. Établir la relation donnant le débit de volume dans un tube de Venturi.</p>

Tube de Pitot. Application à la mesure d'une vitesse d'écoulement.	Décrire le principe du tube de Pitot. Établir la relation donnant la vitesse d'écoulement du fluide.
	Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant de mesurer un débit de volume ou de masse, ou une vitesse débitante.

Thème T – phénomènes de transport

Cette partie est consacrée à la présentation du transport de matière diffusif et de la conduction thermique, avec une approche symétrique. L'étude de chacun de ces deux phénomènes de transport se fait sans formalisme vectoriel : le vecteur densité de courant de particules ou d'énergie est explicitement hors programme. Les lois phénoménologiques de Fick et de Fourier sont énoncées sous forme intégrale : l'expression du flux correspondant est donnée en fonction de la dérivée de la température par rapport à une seule coordonnée spatiale et d'une surface adaptée à la géométrie considérée. Afin d'éviter toute dérive calculatoire, toute situation où le champ de température dépend du temps est exclue. L'objectif principal de formation visé consiste en l'écriture de bilans de particules ou d'énergie en régime stationnaire. Pour introduire ces notions, le professeur s'appuie sur des situations concrètes et motivantes pour les étudiants. L'étude de la conduction thermique entre deux systèmes de températures différentes permet de donner une assise théorique à la puissance thermique proportionnelle à leur écart de température, vue en première année. La notion de résistance ou de conductance thermique n'est cependant pas exigible des étudiants.

T.2 Transport de matière diffusif

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle phénoménologique de transport de matière Flux convectif et flux diffusif de particules.	Distinguer un transport de matière diffusif d'un transport convectif.
Loi phénoménologique de Fick donnant le flux diffusif en fonction de la dérivée de la densité volumique de particules par rapport à une seule coordonnée spatiale, à travers une surface plane, cylindrique ou sphérique, adaptée à la géométrie considérée.	Discuter des dépendances du flux de particules à travers une membrane en fonction de ses paramètres géométriques (épaisseur et surface de la membrane) et physiques (nature du milieu) en lien avec des applications biologiques.
Bilan de particules en régime stationnaire.	Établir un bilan de particules, éventuellement en présence de sources internes. Exploiter la conservation du flux de particules en régime stationnaire et en l'absence de sources internes.

T.3 Conduction thermique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle phénoménologique de la conduction thermique Loi phénoménologique de Fourier donnant le flux thermique en fonction de la dérivée de la température par rapport à une seule coordonnée spatiale, à travers une surface plane, cylindrique ou sphérique, adaptée à la géométrie considérée. Conductivité thermique.	Discuter des dépendances du flux thermique à travers une paroi en fonction de ses paramètres géométriques (épaisseur et surface de la paroi) et physiques (conductivité thermique du milieu). Citer l'ordre de grandeur de la conductivité thermique de l'air, de l'eau et d'un métal, à température et pression ambiantes.
Bilan d'énergie en régime stationnaire.	Établir un bilan d'énergie, éventuellement en présence de sources internes. Exploiter la conservation du flux thermique en régime stationnaire et en l'absence de sources internes.

Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit cependant obligatoirement s'accompagner d'une présentation guidée suffisamment détaillée.

1. Au laboratoire de physique

- Dynamomètre
- Accéléromètre
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique
- Thermomètre, thermocouple, capteur infra-rouge
- Calorimètre

2. Au laboratoire de chimie

- Verrerie usuelle de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Verrerie usuelle de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression atmosphérique et sous pression réduite
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Voltmètre et électrodes
- Conductimètre et cellule de mesure
- Polarimètre
- Thermomètre
- Balance de précision
- Étuve

Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie. La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de l'année de TB1. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin d'année. Il est complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité sont traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression analytique des solutions dans le seul cas où $n = p = 2$.
Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions.

Équations différentielles	
Équations différentielles à coefficients constants	Identifier l'ordre. Mettre une équation différentielle du premier ordre sous forme canonique.
Équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants de la forme : $y' + ay = b$.	Exprimer la solution de l'équation sans second membre (équation homogène). Déterminer une solution particulière de l'équation compte tenu du second membre. Exprimer la solution de l'équation correspondant à des conditions initiales données.
Autres équations différentielles du premier ordre.	Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables.
Équation différentielle linéaire du deuxième ordre à coefficients constants de la forme : $y'' + \omega_0^2 y = b$.	Exprimer la solution de l'équation sans second membre (équation homogène). Déterminer une solution particulière de l'équation compte tenu du second membre. Établir l'expression de la solution compte tenu de conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Équation différentielle linéaire du deuxième ordre à coefficients constants de la forme : $y'' + \omega_0^2 y = A \cos(\omega t + \varphi)$.	Établir l'expression de la solution en régime établi (solution particulière).
Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^\alpha$).
Dérivée. Notation $\frac{dx}{dt}$.	Calculer la fonction dérivée des fonctions usuelles à une seule variable réelle $x \rightarrow x^\alpha$, $x \rightarrow \exp(x)$, $x \rightarrow \ln(x)$, $x \rightarrow \cos(x)$, $x \rightarrow \sin(x)$, $x \rightarrow \tan(x)$, etc. Calculer la fonction dérivée d'une somme, d'un produit, d'un quotient de fonctions, d'une fonction composée.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.
Représentation graphique d'une fonction.	Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Géométrie	
Vecteurs et systèmes de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser le système des coordonnées cartésiennes.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Utiliser leur effet sur l'orientation de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite et d'un cercle.
Longueurs, aires et volumes usuels.	Citer les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés.

Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(x \pm \pi)$ et $\cos(x \pm \pi/2)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus; utiliser un formulaire dans les autres cas.
---------------------------------------	--

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python incluant l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques dans la formation des étudiants vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est, par ailleurs, toujours recommandée et à mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique-chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que les capacités exigibles à la fin de l'année en TB1. Ces capacités sont consolidées en seconde année pour atteindre une pleine maîtrise en fin de formation. La documentation des bibliothèques mentionnées ci-après est systématiquement fournie aux étudiants.

Outils numériques	Capacités exigibles
Outils graphiques	
Représentation graphique d'un nuage de points	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour représenter un nuage de points et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer la courbe représentative d'une fonction et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Équations différentielles	
Équations différentielles du premier ordre.	Écrire un programme mettant en œuvre la méthode d'Euler explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1.
Équations différentielles du second ordre.	Transformer une équation différentielle d'ordre 2 en un système différentiel de deux équations d'ordre 1. Utiliser la fonction <code>odeint</code> de la bibliothèque <code>scipy.integrate</code> (sa spécification étant fournie).
Probabilités - statistiques	
Variable aléatoire.	Utiliser les fonctions de base des bibliothèques <code>random</code> et/ou <code>numpy</code> (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction <code>hist</code> de la bibliothèque <code>matplotlib.pyplot</code> (sa spécification étant fournie) pour représenter les résultats d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire. Déterminer la moyenne et l'écart-type d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire.
Traitement de données numériques	
Régression linéaire.	Utiliser la fonction <code>polyfit</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et biologie (TB)

Annexe 3

Programmes de sciences de la vie et de la

Terre

1^{ère} et 2^{nde} années

PROGRAMME DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

PRÉAMBULE COMMUN AUX PROGRAMMES DE BIOTECHNOLOGIES ET DE SVT

La mise en œuvre des programmes de Biotechnologies et de sciences de la vie et de la Terre (SVT) doit permettre aux futurs ingénieurs, vétérinaires, chercheurs et enseignants de se constituer une culture scientifique et technologique solide dans le domaine des sciences du vivant et aux interfaces avec les sciences de la Terre.

Ces programmes, avec ceux des autres disciplines scientifiques, visent à développer chez les étudiants « la connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée » (Commission des Titres d'Ingénieur). Les connaissances et les compétences travaillées au lycée sont nécessairement approfondies et développées en classe préparatoire, afin d'élaborer un panorama scientifique et technologique actualisé et de permettre ensuite un développement plus spécialisé, en rapport avec la formation choisie en école. Pour cela, ces deux programmes ont été élaborés par des groupes de travail intégrant des professeurs des écoles nationales vétérinaires, écoles d'ingénieurs et écoles normales supérieures aux côtés d'enseignants des classes concernées. Ils sont destinés aux professeurs de TB et à leurs étudiants, mais également aux professeurs de lycée, comme aux interrogateurs de concours et aux enseignants des écoles.

À l'issue de la formation, les étudiants issus de TB disposent des bases scientifiques et technologiques solides dans tous les champs nécessaires pour répondre aux enjeux-clefs du XXI^e siècle : changement climatique, préservation de la biodiversité et des écosystèmes, alimentation de qualité pour tous, santé dans une logique *One Health*, gestion des ressources naturelles, gestion durable des sols, transition énergétique, bioéthique, etc.

La complémentarité des enseignements des Biotechnologies et des SVT

Les enseignements de Biotechnologies et de SVT sont complémentaires dans l'étude d'objets et de phénomènes communs. Les liens entre ces deux programmes sont nombreux. Afin de donner du sens aux apprentissages et de construire une progression conceptuelle cohérente, une coordination est indispensable entre les enseignants de Biochimie - Génie Biologique (BGB) et de SVT au service de la compréhension des concepts par les étudiants. Il est en effet essentiel d'aider les étudiants à articuler les apports des deux disciplines et de ne pas laisser à leur charge la mise en cohérence des savoirs construits en Biotechnologies et en SVT. Le programme a été élaboré pour faciliter le repérage de la complémentarité des enseignements et les liens sont précisés pour chaque thème d'étude au sein des programmes de Biotechnologies et de SVT. Des phénomènes biologiques sont étudiés conjointement mais avec des regards différents, comme l'illustrent les quatre exemples suivants, parmi de nombreux liens existants.

- Le métabolisme est étudié dans ses processus biochimiques à l'échelle cellulaire et moléculaire en Biotechnologies. La compréhension fondamentale de ces mécanismes est mise au service d'applications biotechnologiques comme l'identification bactérienne, le choix de milieu de culture et

le génie fermentaire. En SVT, le métabolisme est envisagé dans un cadre physiologique. Il s'agit alors, à partir du bilan global des voies métaboliques étudiées en amont en Biotechnologies ou approfondies en aval, de comprendre notamment l'importance du stockage de molécules de réserve et de leur mobilisation dans le fonctionnement de la plante à différentes échelles temporelles ainsi que dans le fonctionnement de la cellule musculaire.

- En génétique, les Biotechnologies se focalisent sur le modèle bactérien dans une visée technologique : amplification génique, hybridation moléculaire, séquençage et génie génétique. Les SVT envisagent le modèle eucaryote afin de comprendre l'expression, le maintien et la diversification génétique et remobiliser ces concepts dans plusieurs thèmes de SVT tels que le développement des animaux et des plantes ou l'évolution biologique.
- Les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote sont étudiés en Biotechnologies sous l'angle du rôle des microorganismes et des processus métaboliques responsables des flux de carbone ou d'azote d'origine biologique. Les SVT traitent quant à elles la dimension systémique des cycles en intégrant les différents réservoirs et les flux d'origine géologique afin d'appréhender les différentes échelles spatiales et temporelles ainsi que la place des actions anthropiques dans la modification des cycles.
- La systématique des microorganismes est étudiée de façon complémentaire par les deux disciplines. Les Biotechnologies permettent d'identifier les différents types de microorganismes à l'aide de la classification alors que les SVT les positionnent dans l'arbre du vivant et élaborent des scénarios évolutifs sur la base d'analyses phylogénétiques.

Ces différences d'approche et de points de vue visent à favoriser le développement conceptuel ainsi que l'appropriation des finalités propres à chaque discipline et à éviter toute dissonance préjudiciable à la compréhension des étudiants.

La contribution des Biotechnologies et des SVT au développement de compétences

• Compétences scientifiques et technologiques

Les Biotechnologies et les SVT contribuent au développement de compétences scientifiques et technologiques. Des formes d'enseignement interdisciplinaire développées au laboratoire, dans le cadre de travaux pratiques, et sur le terrain, permettent aux étudiants de mettre en œuvre des compétences spécifiques aux deux disciplines au service de la résolution de problématique sur des objets scientifiques communs. Chaque équipe pédagogique définit les activités permettant aux étudiants de développer ces compétences, chaque fois que possible par une approche interdisciplinaire. Les compétences disciplinaires spécifiques, scientifiques et technologiques, sont présentées dans chaque programme.

Les Biotechnologies et les SVT contribuent avec les autres enseignements de TB au développement de compétences transversales, linguistiques et préprofessionnelles.

• Compétences transversales et linguistiques

Le développement de compétences transversales et linguistiques atteste d'une autonomie de travail et d'analyse, d'une capacité d'engagement dans des projets collectifs, d'une capacité de distance critique et d'une communication aisée, que ce soit par les outils mobilisés ou l'expression personnelle en français et dans au moins une langue vivante étrangère.

- Adopter un comportement éthique, déontologique et responsable.
- Coopérer et collaborer dans le cadre d'activités ou de démarches de projet, dans et hors la classe.
- Se mettre en recul d'une situation, s'autoévaluer et se remettre en question pour apprendre.

- Utiliser les outils numériques de référence et les règles de sécurité informatique pour acquérir, traiter, produire et diffuser de l'information ainsi que communiquer.
- Se servir aisément de la compréhension et de l'expression écrites et orales dans au moins une langue vivante étrangère.

• **Compétences préprofessionnelles**

La formation est aussi l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la construction de leur projet de poursuite d'étude. La rencontre avec des professionnels, comme avec les grandes écoles est un levier de développement des compétences préprofessionnelles. Les TIPE participent au développement de ces compétences.

- Identifier les différents champs professionnels et les parcours permettant d'y accéder.
- Identifier les enjeux et contraintes des champs professionnels.
- Caractériser et valoriser ses compétences scientifiques, techniques et psychosociales (sociales, cognitives et émotionnelles) en fonction d'un contexte.

PRÉAMBULE SPÉCIFIQUE AU PROGRAMME DE SVT

Contenus et organisation des programmes

Le programme de SVT des classes de TB se structure en trois grandes thématiques : sciences de la vie, sciences de la Terre et biogéosciences (domaine se situant à l'interface entre sciences de la vie et sciences de la Terre).

• **En sciences de la vie**, le programme explore différentes échelles d'étude pour les premières parties : échelle des organismes, échelle cellulaire et moléculaire, échelle des écosystèmes. Plusieurs grandes catégories de problématiques sous-tendent les contenus : la relation organisation / fonctionnement, parfois étudiée en relation avec le milieu, les interrelations entre les éléments spécialisés des systèmes qui en assurent l'intégration du fonctionnement et l'origine évolutive des structures et des processus biologiques issus d'une histoire qui s'ancre dans un temps long. L'étude du métabolisme cellulaire permet de comprendre le fonctionnement énergétique à l'échelle cellulaire et son intégration à l'échelle de l'organisme. La nature et la transmission de l'information génétique chez les Eucaryotes est envisagée à différentes échelles temporelles : le temps court de l'expression génétique et de son contrôle, le temps plus long de la transmission de l'information génétique entre générations et de ses conséquences sur la dynamique populationnelle, le temps de l'évolution. Le programme pose ensuite un regard fonctionnel sur le vivant, par l'étude de la reproduction des êtres vivants, des processus développementaux impliqués dans l'ontogenèse des Vertébrés. L'étude de la circulation sanguine apporte un regard intégratif sur une grande fonction de l'organisme animal et sert d'appui à la compréhension des mécanismes impliqués dans les communications intercellulaires. La partie « populations et écosystèmes » envisage les différentes échelles allant de l'organisme à la biosphère et le regroupement des organismes en populations et en communautés où existent divers types de relations interspécifiques. Une fois mise en place la notion d'écosystème, il s'agit d'en étudier la structure, le fonctionnement et la dynamique, remobilisés en ensuite en biogéosciences. La diversité du vivant varie au cours du temps : elle est le résultat d'une histoire évolutive et est en devenir permanent. Il s'agit ici de comprendre les mécanismes de l'évolution. Enfin, l'étude de la phylogénie permet de comprendre les principes et les méthodes de la construction d'arbres phylogénétiques, utiles à l'élaboration de scénarios évolutifs.

- **En sciences de la Terre**, le programme introduit des problématiques géologiques en utilisant deux approches complémentaires : pétrographique et cartographique, à partir de l'étude de la carte de la France au 1/1000.000. Une vue d'ensemble des grands ensembles géologiques de la France métropolitaine est d'abord construite avant de préciser l'étude des roches sédimentaires, formées à la surface de la Terre. L'importance des mécanismes biologiques y est soulignée comme l'intérêt des archives sédimentaires pour comprendre l'histoire de la Terre.

- **En biogéosciences**, le programme met en exergue les grands enjeux scientifiques et sociétaux du XXI^e siècle, le plus souvent des sujets se situant aux interfaces disciplinaires. Leur étude s'appuie sur des convergences entre sciences de la vie et sciences de la Terre, se matérialisant dans certains domaines de recherche actuels. Les grands cycles biogéochimiques, le sol et le climat de la Terre sont des thèmes indispensables à la formation de base d'un futur ingénieur, vétérinaire, chercheur ou décideur par la vision systémique et interdisciplinaire qu'ils apportent. Ces trois thèmes permettent aux étudiants de bâtir une compréhension scientifique de systèmes complexes aux différentes échelles de temps et d'espace et d'interroger l'interaction entre les activités humaines et les phénomènes naturels. La partie sur le sol présente cette mince pellicule à l'interface entre la lithosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère, construite en interaction avec les êtres vivants. Les sols sont pourvoyeurs de services écosystémiques, en particulier de services d'approvisionnement liés à la production alimentaire et constituent une ressource actuellement menacée. La compréhension de leur organisation fonctionnelle implique une approche plurielle mobilisant différents champs disciplinaires. La partie sur les grands cycles biogéochimiques permet de comprendre les grandes caractéristiques du cycle biogéochimique d'un élément et d'envisager les spécificités des cycles du carbone et de l'azote. Elle est remobilisée pour comprendre la place du cycle du carbone et de l'azote dans le climat de la Terre. Enfin, la partie sur le climat de la Terre débute par la compréhension de l'organisation et de la dynamique des enveloppes fluides (océan et atmosphère) qui constituent des acteurs clés du système climatique. Les changements climatiques sont l'occasion de mettre en lien variabilité climatique et reconstitution des paléoenvironnements. Enfin, les conséquences sur la biodiversité des variations climatiques actuelles, d'origine anthropique, sont envisagées.

Le tableau suivant présente l'organisation du programme et sa répartition sur les deux années.

Thématiques et parties	TB 1	TB 2
Thématique « Sciences de la vie » (SV)		
SV-A L'organisme vivant en lien avec son environnement	x	
SV-B Interactions entre les organismes et leur milieu de vie	x	x
SV-C La cellule dans son environnement	x	x
SV-D Génomique structurale et fonctionnelle	x	
SV-E Reproduction	x	
SV-F Mécanismes du développement chez les Vertébrés		x
SV-G Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme		x
SV-H Populations et écosystèmes		x
SV-I Évolution et phylogénie	x	x
Thématique « Biogéosciences » (BG)		
BG-A Les grands cycles biogéochimiques		x
BG-B Les sols	x	
BG-C Le climat de la Terre		x
Thématique « Sciences de la Terre » (ST)		
ST-A Grands ensembles géologiques de la France métropolitaine	x	
ST-B Le phénomène sédimentaire	x	

Les enseignants sont libres d'organiser leur progression sur les deux semestres d'une année mais plusieurs parties nécessitent une bonne articulation au sein de l'équipe pédagogique. La rubrique de liens facilite le repérage de ces articulations interdisciplinaires.

Chacune de ces trois thématiques est organisée en parties qui traitent des grandes questions scientifiques du programme. Un chapeau succinct en résume le contenu, en présente l'état d'esprit et les objectifs. Après chaque titre de partie ou de sous-partie, la position en première et/ou deuxième année est indiquée.

Le programme est présenté dans un tableau dont la colonne de gauche comprend l'énoncé des savoirs visés. Son contenu ne constitue pas un résumé des savoirs à construire mais désigne les éléments attendus de la formation des étudiants. Ces contenus (faits, modèles, concepts) constituent une base de connaissances indispensables et doivent pouvoir être exposés par l'étudiant de façon concise et argumentée, en particulier dans le cadre d'épreuves de synthèse. Ils servent aussi de cadres de référence pour analyser, interpréter, discuter des objets ou des documents portant sur des éléments non directement mentionnés dans le programme, mais présentés de telle façon qu'ils permettent une réflexion scientifique rigoureuse, en particulier dans le cadre d'épreuve sur documents.

La colonne de droite identifie les capacités exigibles des étudiants à l'issue de leur formation. Les capacités surlignées en bleu sont celles qui peuvent être plus particulièrement abordées lors des séances de travaux pratiques ou lors des activités de terrain sans que cela ne soit exclusif à ces séances. L'intégration dans un même tableau des concepts et des capacités développés donne une vision d'ensemble du thème correspondant, tout en permettant aux enseignants d'exercer pleinement leur liberté pédagogique et en ouvrant le champ des possibles. Par ailleurs, une rubrique « Précisions et limites » indique :

- des précisions sur les contenus attendus ;
- l'identification éventuelle d'un exemple à utiliser. Cependant, le fait qu'un exemple soit désigné ne constitue pas une incitation à réaliser une monographie pointilleuse. Le niveau d'exigence est limité à ce qui peut servir la construction ou l'illustration des concepts visés ;
- des limites concernant les savoirs ou les capacités à construire avec les étudiants.

Ensuite, une autre rubrique liste les liens avec d'autres parties du programme ou avec l'enseignement d'autres disciplines, en particulier les Biotechnologies. Ces indications invitent à des mises en relations fortes, afin d'aider les étudiants à percevoir la cohérence de leur formation et d'appréhender au mieux les réseaux conceptuels mobilisables, notamment d'une année à l'autre. Elle aide les étudiants à percevoir les grands concepts clefs des SVT et les problématiques essentielles qui constituent des fils rouges indispensables, au-delà de la présentation linéaire obligée d'un programme.

En fin de chaque thématique, un tableau synthétise l'ensemble des séances de travaux pratiques, afin d'en préciser le nombre et de situer leur apport à la construction des connaissances et des compétences. En permettant de présenter une diversité d'objets, sans pour autant requérir la mémorisation de ce qui n'est pas clairement posé comme exigible, les travaux pratiques sont des moments privilégiés d'élargissement et doivent contribuer à ne pas enfermer les représentations dans un cadre conceptuel trop étroit et dogmatique.

La mise en œuvre du programme de SVT repose ainsi sur des cours mais aussi sur des travaux pratiques et des activités de terrain qui construisent de façon complémentaire des connaissances et des compétences. Les travaux d'initiative personnelle encadrés (TIPE) complètent la formation en amenant les étudiants à conduire par eux-mêmes une démarche scientifique mobilisant différentes disciplines.

Dans la mise en œuvre de ce programme, les professeurs gardent la liberté d'organiser leur enseignement comme ils le souhaitent, dans la limite du découpage sur les deux années et en tenant compte de la formation antérieure des étudiants (filière STL, avec spécialité Biochimie-biologie-biotechnologie ou spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire ou filière STAV).

Les enseignants ont une latitude certaine dans le choix de l'organisation de leur enseignement, de leurs méthodes, de leur progression globale, mais aussi dans le choix de leurs problématiques. Cependant, dans le cadre de cette liberté pédagogique, les professeurs gagneront à organiser leur enseignement suivant deux grands principes directeurs :

- la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : les apprentissages seront d'autant plus efficaces que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, à la participation et à l'autonomie des étudiants. La détermination et l'étude des problématiques, alliées à un temps approprié d'échanges, favorisent cette mise en activité.
- la mise en contexte des connaissances et des capacités travaillées : les SVT et les problématiques associées se prêtent de façon privilégiée à une mise en perspective de leur enseignement avec l'histoire des sociétés, des sciences et des techniques ainsi que des questions d'actualité. Les enseignants de SVT sont ainsi conduits naturellement à mettre leur enseignement « en culture » pour rendre leur démarche plus naturelle et motivante auprès des étudiants.

La nature des savoirs scientifiques et leur élaboration

Un enjeu important de l'enseignement des sciences est de permettre aux étudiants d'accéder à la nature des savoirs scientifiques et de comprendre la façon dont ils sont élaborés. Les étudiants doivent être en mesure, à l'issue de leur formation, de distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion de ce qui constitue un savoir scientifique. À travers les enseignements de SVT, en collaboration avec la physique-chimie et les biotechnologies, et lors des TIPE, les étudiants sont invités à comprendre que les savoirs scientifiques se construisent par un travail collectif au sein de communautés scientifiques et sont validés par les pairs (*peer-review*). Les théories et les modèles scientifiques sont élaborés en relation avec des observations et des expériences et ont des conséquences testables. Tout savoir scientifique est donc par nature rectifiable, provisoire et réfutable. Et donc, *in fine*, les étudiants doivent pouvoir remettre en question leurs connaissances au regard de données nouvelles pour proposer de nouveaux modèles explicatifs, de même qu'un ingénieur, un vétérinaire, un chercheur ou un décideur doit d'être capable de remettre en question ses propres certitudes pour répondre aux défis qui lui seront donnés et de pouvoir ainsi innover.

Cette formation épistémologique peut être envisagée par l'histoire des idées, des modèles et des théories en SVT et s'appuyer, par exemple, sur l'analyse de la structure d'une publication scientifique.

Activités et recherches de terrain

Organisées chaque année, les activités de terrain contribuent à la construction des savoirs. Elles peuvent aussi constituer des moments de réinvestissement dans des contextes différents et de travail interdisciplinaire, en particulier avec les Biotechnologies. Le travail de laboratoire et le travail de terrain sont complémentaires et traduisent la double dimension des SVT, à la fois science expérimentale et science naturaliste, donnant toute sa place à l'observation. Le terrain permet une approche de la complexité des objets ainsi que des phénomènes biologiques et géologiques aux différentes échelles, dont celles des paysages, des affleurements géologiques et des écosystèmes, impossibles à appréhender dans le cadre exclusif de la classe. Le terrain est un lieu privilégié de mise en relation entre un modèle explicatif et des données empiriques (observations, mesures, etc.). Les faits de terrain ne sont pas « donnés » mais construits au regard d'une problématique scientifique et

instrumentés par des méthodes et des techniques, donnant à voir une partie du réel. C'est une des différences entre le travail de terrain et le travail que l'on peut mener en classe à partir de données qui ont déjà été acquises et traitées pour l'analyse. Sur le terrain, les objets biologiques et géologiques ne parlent pas d'eux-mêmes : il faut déterminer quoi observer, quoi mesurer, quoi échantillonner selon un objectif donné. Cette dimension de recherche sur le terrain développe l'autonomie des étudiants.

Les activités de terrain permettent d'étudier des objets et des structures biologiques et géologiques situés à distance de l'établissement (écosystèmes, sols, etc.). D'autres activités peuvent se dérouler dans l'enceinte de l'établissement ou à proximité, telles que l'étude de la biodiversité, par exemple dans le cadre de programmes de sciences participatives.

Les activités de terrain sont également l'occasion de rencontrer des professionnels, de visiter des exploitations agricoles, des entreprises et des écoles afin de participer à la construction du projet de poursuite d'études des étudiants et de leurs compétences préprofessionnelles.

Le tableau suivant présente le potentiel des activités et recherches de terrain à travailler en TB 1 et TB 2. Elles ne sont pas toutes exigibles mais présentent l'apport du terrain à la formation des étudiants, que les enseignants sont libres d'exploiter.

Activités et recherches de terrain
<ul style="list-style-type: none">• S'orienter sur le terrain et se localiser sur une carte (topographique, géologique, de végétation, pédologique).• Analyser un paysage : identifier et caractériser des unités dans le paysage, incluant la description des groupements végétaux, du substratum géologique, de la topographie et des usages par l'être humain ; déterminer les liens de causalité qui unissent ces différentes composantes ; expliquer la dynamique des unités paysagères, souvent liée à leur usage présent ou passé.• Déterminer les espèces principales dans un écosystème.• Collecter des données et les confronter à des bases de données pour les vérifier, les enrichir, les mettre en relation (identification d'espèces, nature de roches, ...).• Proposer un protocole de caractérisation des paramètres abiotiques locaux et saisir des données de terrain (température ; hygrométrie ; luminosité ; vitesse du vent...) en les confrontant à des données météorologiques moyennes sur un temps long afin de caractériser le biotope d'un écosystème.• Mettre en œuvre un protocole d'étude de la biodiversité sur le terrain adapté aux groupes biologiques étudiés (méthode des quadrats, transect, pièges, écoutes...) incluant une réflexion sur l'exhaustivité et la représentativité de l'échantillonnage (aire minimale, courbe de saturation) pour répondre à un problème scientifique.• Estimer l'abondance et la densité d'une population, la richesse spécifique d'un écosystème par une étude de terrain.• Réaliser une étude pédologique sur le terrain (profil d'un sol brun et caractérisation des horizons – couleur, texture, pH...-, étude de la litière et du type d'humus, observation de la faune du sol et de ses manifestations). Synthétiser les observations en lien avec la roche-mère, la végétation, la topographie et le climat.• Caractériser certains aspects du fonctionnement d'un écosystème à partir d'observations de terrain (traces, nids, restes alimentaires, relations parasitaires ou symbiotiques, etc.) qui témoignent d'interactions entre les composants biotiques du système.• Rendre compte d'observations de terrain sous différentes formes (photographie, film, croquis ou dessin, carte, texte, réalité augmentée).• Observer, décrire, identifier des objets géologiques à différentes échelles (roche, affleurement et paysage) lors d'une étude de terrain.

- Reconstituer, analyser et représenter les objets dans les trois dimensions de l'espace lors d'une étude de terrain.
- Intégrer des données de terrain dans un système d'information géographique (SIG).
- Passer de la réalité complexe du terrain à des représentations simplifiées correspondant à des hypothèses explicatives.
- Mettre en relation des données de terrain avec un modèle pour l'infirmier, le conforter ou en dégager les limites.

Les compétences attendues

Les compétences sont définies ici comme des aptitudes à mobiliser des ressources pour accomplir une tâche dans une famille de situations et faire face à une situation complexe ou inédite. À l'instar du référentiel européen relatif aux compétences clés¹, les ressources internes à l'individu mobilisables dans le cadre de la mise en jeu d'une compétence sont un ensemble de connaissances, de capacités (ou aptitudes ou savoir-faire) et d'attitudes (ou savoir-être), dans le cadre duquel :

- les connaissances sont constituées des faits, chiffres, concepts, théories et idées qui sont déjà établis et viennent étayer la compréhension d'un certain domaine ou thème ;
- les aptitudes sont définies comme la capacité d'exécuter des processus et d'utiliser les connaissances existantes pour parvenir à des résultats ;
- les attitudes décrivent les dispositions et mentalités permettant d'agir ou de réagir face à des idées, des personnes ou des situations.

En s'appuyant sur les compétences acquises dans l'enseignement secondaire, l'enseignement de classe préparatoire constitue une étape vers le renforcement des compétences déjà travaillées et l'acquisition de nouvelles compétences qui seront développées dans les écoles².

Les compétences à travailler en classe préparatoire sont organisées en trois grands blocs de compétences³ : les compétences de la démarche scientifique (ou compétences disciplinaires), les compétences préprofessionnelles puis les compétences transversales et linguistiques. Elles sont destinées à être travaillées dans le cadre des différents types d'enseignement (cours, interrogations orales, TP, activités de terrain et TIPE), chaque professeur étant libre du choix des supports, des moments, des lieux et de la progressivité propices à cette composante de la formation. L'expression large de ces compétences tient compte des attentes exprimées par des grandes écoles recrutant sur la filière TB.

- **Compétences de la démarche scientifique**

Chaque champ de compétences est illustré par un ensemble de compétences et de capacités associées qui permet d'en préciser le contour, sans pour autant constituer une liste exhaustive. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une

¹ Recommandation du Conseil du 22 mai 2018 relative aux compétences clés pour l'éducation et la formation tout au long de la vie.

² À titre d'exemples : référentiel national pour le diplôme vétérinaire ([décembre 2017](#)), compétences de l'ingénieur ([référentiel](#) de la commission des titres d'ingénieur CTI, 2016)

³ L'organisation des compétences en trois blocs est partagée avec le référentiel de licence (2015) :

<https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid61532/les-referentiels-de-competences-en-licence.html>

activité. Dans leur grande majorité, elles sont communes à celles qui sont mises en œuvre dans d'autres enseignements scientifiques comme ceux de physique et de chimie ou de Biotechnologies.

Les compétences doivent être acquises à l'issue des deux années de formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation. Pour atteindre le plein niveau de maîtrise de ces compétences et de ces capacités, les étudiants doivent progressivement développer, dans les différentes activités proposées par le professeur, leur autonomie, leur esprit d'initiative et leur esprit critique.

Champs de compétences	Exemple de compétences et de capacités associées
S'approprier et problématiser	<ul style="list-style-type: none"> — Rechercher, collecter, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée. — Conduire l'observation d'un objet ou d'un phénomène à différentes échelles spatiales et temporelles. — Exploiter la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, ...) — Énoncer ou dégager une problématique scientifique en prenant en compte ses différents aspects (technique, scientifique, sociétal). — Représenter la situation par un schéma modèle. — Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. — Relier le problème à une situation modèle connue. — Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> — Formuler des hypothèses. — Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. — Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. — Choisir, concevoir, justifier un protocole expérimental ou d'observation, un modèle ou des lois physiques. — Estimer des ordres de grandeur. — Proposer des analogies — Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. — Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> — Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. — Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une situation réelle, d'une photo, d'une vidéo. — Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure, un objet biologique ou géologique. — Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant les règles de sécurité et d'éthique. — Construire des représentations graphiques à partir de données. — Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. — Évaluer des ordres de grandeur. — Conduire une analyse dimensionnelle.

Valider	<ul style="list-style-type: none"> — Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. — Discuter de l'exhaustivité ou de la représentativité d'un échantillonnage. — Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document ou dans de la bibliographie scientifique, à ses connaissances. — Discuter de la recevabilité d'une hypothèse. — Analyser les résultats de manière critique. — Repérer les points faibles d'une argumentation (incohérence, contradiction, partialité, incomplétude, ...). — Proposer des améliorations de la démarche, de l'expérience ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> — À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> ◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée, cohérente et argumentée. ◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. ◦ appuyer son propos sur des supports appropriés ◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.). ◦ citer l'origine des sources utilisées. — Écouter, confronter son point de vue.

Les compétences transversales, linguistiques et préprofessionnelles sont présentées dans le préambule commun aux programmes de Biotechnologies et de SVT.

Les méthodes et les techniques (mises en œuvre au laboratoire et sur le terrain)

Le tableau suivant présente les méthodes et les techniques de SVT à mettre en œuvre durant les deux années de formation de TB. Ce tableau est à croiser avec les objets d'étude du programme. Les éléments exposés sont mobilisables dans les épreuves de SVT des concours (écrites, pratiques et orales), précisées par les notices descriptives de chaque concours.

<p>Biologie moléculaire et cellulaire</p> <p>Spécifiquement pour ces techniques qui recouvrent les méthodes vues en Biotechnologies, seule l'exploitation des résultats est attendue et exigible en SVT, les principes des méthodes et leur mise en œuvre ne sont pas présentées à nouveau en SVT.</p>
<p>Interpréter le résultat de croisements chez les organismes diploïdes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - gènes indépendants ou liés ; - allèles récessifs, dominants ou codominants ; - identification des brassages génétiques. <p>Exploiter des méthodes d'étude de l'organisation des génomes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - exploitation d'une électrophorèse d'ADN ; - réalisation et exploitation d'une comparaison de séquences à l'aide de logiciels ; - exploitation de données utilisant la méthode du Southern blot. <p>Exploiter des données utilisant des méthodes d'étude de l'expression des génomes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - transgénèse, mutagenèse dirigée et aléatoire ; - northern blot, hybridation <i>in situ</i>, utilisation de gène rapporteur, western blot, puce à ADN, PCR et RTPCR. <p>Exploiter des données utilisant des méthodes d'étude des protéines :</p> <ul style="list-style-type: none"> - profil d'hydrophatie, western blot, immunomarquage, électrophorèse en conditions natives et dénaturantes ; - exploiter le suivi d'une réaction enzymatique et ses paramètres cinétiques.

<p>Exploiter des données permettant l'étude de communications intercellulaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ablation et greffe de groupes de cellules, application de facteurs diffusibles ; - enregistrements de patch-clamp, mesures de potentiel de membrane, mesure de conductance.
Microscopie
<p>Réaliser une préparation de microscopie optique, y compris des coupes à main levée, avec ou sans coloration. Mettre en œuvre un protocole de coloration adaptée à la problématique biologique. Utiliser le colorant adapté pour mettre en évidence un tissu ou des molécules.</p> <p>Réaliser une observation en microscopie optique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - objectifs et grossissement, intensité lumineuse, diaphragme, mise au point, utilisation de l'huile à immersion. <p>Déterminer un ordre de grandeur ou la taille d'un objet à partir d'une échelle ou d'un grossissement. Identifier une technique de microscopie.</p> <p>Exploiter des clichés de microscopie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - optique, électronique, à fluorescence.
Étude morpho-anatomique
<p>Réaliser une dissection florale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - prélèvement de pièces et observation avec les outils adaptés ; - présentation des pièces florales afin de faire ressortir leur nombre, leur position relative et les soudures éventuelles. <p>Réaliser une dissection animale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mise en valeur d'un organe et de ses liens anatomiques avec d'autres organes, en les dégagant des structures les masquant ; - orientation de l'animal et positionnement des légendes ; - prélèvement de parties d'appareils ou d'organes et observation avec les outils les plus adaptés.
Étude cartographique
<p>Utiliser une carte géologique, associée à un corpus documentaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identification des principaux ensembles géologiques de la carte de France au millionième ; - reconstitution d'une histoire géologique ; - reconstitution d'un paléoenvironnement, à partir de données sédimentaires ; - identification de ressources géologiques d'origine sédimentaire.
Géochimie et géophysique
<p>Exploiter des données sur l'altération des roches, notamment à l'aide du diagramme de Goldschmidt. Exploiter des données de granulométrie à l'aide du diagramme de Hjulström.</p> <p>Déterminer les caractéristiques physico-chimiques d'un sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> - détermination de la granulométrie d'un sol, mesure de la porosité du sol ; - mesure du pH du sol, mise en évidence des constituants de l'humus, mise en évidence de la capacité d'échange cationique (CEC) par l'utilisation d'éosine et de bleu de méthylène. <p>Exploiter des données géochimiques permettant de caractériser le climat : $\delta^{18}\text{O}$.</p>
Étude d'un objet dans son environnement
<p>S'orienter et se localiser sur le terrain et sur une carte.</p> <p>Analyser un paysage ou un affleurement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identification et caractérisation des unités biologiques et écologiques, des usages anthropiques et des liens entre ces unités ; - description de l'affleurement, mise en relation des différentes composantes identifiées et de leur relation à différentes échelles ; - interprétation par confrontation des observations et de leur analyse à des modèles ou des données. <p>Collecter des données sur le terrain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identification d'espèces, de roches, mesure de paramètres du biotope ; - mise en œuvre de protocole d'étude de la biodiversité ; - réalisation d'une étude pédologique d'un sol. <p>Exploiter des données de terrain à différentes échelles pour élaborer un modèle explicatif cohérent ou les relier à un modèle afin de l'infirmar, le conforter ou en dégager les limites.</p>

Identification et classification
<p>Utiliser diverses clefs de détermination (dont des flores) et des outils numériques de détermination pour identifier un échantillon d'origine biologique ou géologique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - sélection des critères et des caractéristiques de l'objet les plus pertinentes pour son identification ; - choix de l'outil de détermination le plus adapté. <p>Identifier une roche à partir d'un échantillon macroscopique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - roches magmatiques : basaltes, granites ; - roches métamorphiques : gneiss ; - roches sédimentaires : calcaires, conglomérats, grès, argilites, marnes, halite, gypse-anhydrite, bauxite ; <p>Identifier à l'œil nu des minéraux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - feldspaths (plagioclases et orthose), quartz, micas (biotite et muscovite) ; <p>Identifier de manière argumentée le stade de développement embryonnaire d'un Amphibien.</p> <p>Identifier de manière argumentée un organe, un tissu ou un type cellulaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - bactérie, cellule musculaire striée squelettique, cardiomyocyte, cellule du parenchyme palissadique, entérocytes ; neurone ; - artère, capillaire, veine, muscle strié ; - tissu épithélial et conjonctif ; - épiderme, rhizoderme, xylème I et II (bois), phloème I et II (liber), parenchymes, collenchyme, sclérenchyme, méristèmes, suber, phelloderme. <p>Exploiter des données morpho-anatomiques ou moléculaires pour positionner un organisme dans un arbre phylogénétique ou construire une phylogénie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - construction d'une matrice taxons-caractères ; - polarisation de caractères ; - construction d'arbres phylogénétiques et application du principe de parcimonie.
Utilisation des outils numériques
<p>Utiliser un tableur informatique : exploitation graphique des données (construire un histogramme, tracer une corrélation entre deux variables, tracer une droite de régression linéaire...), réaliser des calculs.</p> <p>Utiliser un logiciel de modélisation : choix des paramètres pour répondre au problème posé.</p> <p>Utiliser une base de données.</p> <p>Exploiter les données d'un système d'information géographique (SIG).</p>
Présentation des résultats
<p>Réaliser un dessin d'observation avec les conventions usuelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - fidélité, sélection des structures pertinentes, légendes, titre, échelle, orientations. <p>Réaliser un schéma avec figurés conventionnels (les figurés restant à la disposition des étudiants).</p> <p>Réaliser un diagramme et/ou une formule florale.</p> <p>Représenter des pyramides de productions, de biomasse.</p> <p>Représenter les données sous forme graphique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choix des axes, échelle pertinente, titre, unités. <p>Présenter de manière pertinente un objet biologique (coupe, prélèvement et montage, annotation, présentation comparative, schéma, dessin, échelle).</p> <p>Présenter sous une forme pertinente des observations de terrain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - photographie géolocalisée, film, dessin, schéma, texte, carte.

THÉMATIQUE « SCIENCES DE LA VIE »

SV-A L'organisme vivant en lien avec son environnement (TB1)	
<p>Cette partie vise à présenter l'organisation du vivant (appareils, organes, tissus, ...) et les grandes fonctions qui lui sont associées ainsi que des interrelations entre ces organismes et leur environnement. Le concept d'organisme pluricellulaire est abordé à partir de deux exemples : un Vertébré phytophage Bovidé, la vache, et une Angiosperme Fabacée.</p>	
Savoirs visés	Capacités exigibles
SV-A-1 Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé	
<p>Les vaches appartiennent au groupe des Métazoaires et à la famille des Bovidés.</p> <p>Les différents appareils de l'organisme sont reliés aux fonctions de nutrition, reproduction et relation.</p> <p>Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie.</p> <p>La compartimentation de l'appareil digestif permet l'ingestion d'aliments (hétérotrophie), suivie par leur simplification en nutriments et leur absorption ou par leur égestion.</p> <p>Le microbiote du rumen par son action participe à la production de nutriments utilisés par la vache.</p> <p>Les nutriments sont distribués dans l'ensemble de l'organisme par l'appareil circulatoire et entrent ainsi dans le métabolisme cellulaire.</p> <p>L'appareil respiratoire assure les échanges gazeux liés au métabolisme énergétique aérobie.</p> <p>L'appareil excréteur élimine les déchets azotés et contribue à l'équilibre hydrominéral de l'organisme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une vache au sein d'une classification phylogénétique des Métazoaires. - Mettre en relation l'organisation structurale et fonctionnelle de différents appareils et l'adaptation de l'organisme au milieu aérien. - Construire un schéma fonctionnel synthétique des appareils impliqués dans la fonction de nutrition. - Argumenter la complémentarité, la coopération et la coordination fonctionnelles des différents appareils.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>Les caractéristiques anatomo-physiologiques liées à l'adaptation au milieu aérien sont présentées succinctement pour les appareils respiratoire, excréteur, reproducteur et pour des organes liés à la fonction de relation.</i></p> <p><i>La composition et contribution du microbiote de la vache est limitée à celui du rumen et de l'intestin.</i></p>	
<p>L'appareil reproducteur est le lieu de production des gamètes (méiose et différenciation) et de sécrétion d'hormones. C'est également le lieu de la fécondation et de la gestation dans l'organisme maternel.</p> <p>La reproduction sexuée est un processus conservatoire et diversificateur. Elle génère des individus qui sont de la même espèce que les parents, mais dont la diversité permet la sélection.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Repérer au cours de la reproduction sexuée les moments et les modalités de diversification des génotypes.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>La diversité des modalités de sélection est présentée à travers deux exemples seulement.</i></p> <p><i>L'existence d'un contrôle hormonal de la reproduction est seulement mentionnée pour la production des gamètes et la gestation.</i></p>	
<p>L'organisme est en interaction avec son environnement biotique et abiotique.</p> <p>La vache est incluse dans différents systèmes de relations intraspécifiques et interspécifiques (dont les relations avec l'être humain responsable de la domestication des animaux d'élevage).</p> <p>Les relations interspécifiques avec les microorganismes définissent l'organisme comme un holobionte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Différencier et illustrer les différents types de relations interspécifiques impliquant la vache.

<p>La survie individuelle des organismes dépend de leur perception du milieu et de leur capacité de réaction et/ou de leurs systèmes de protection.</p> <p>Les informations perçues par les récepteurs sensoriels sont intégrées au niveau du système nerveux central qui élabore des réponses. Le déplacement de l'animal suite à la perception d'un stimulus met en jeu son squelette et les muscles striés associés.</p> <p>Le tégument joue un rôle d'isolant thermique et de barrière contre les pathogènes et les parasites.</p> <p>Face aux variations d'origine interne ou externe, les interrelations entre fonctions permettent une réponse de l'organisme.</p> <p>Une boucle de régulation permet le retour à une valeur de consigne d'un paramètre physiologique suite à sa variation et grâce à l'intervention de différents effecteurs.</p>	<p>- Identifier les principales étapes menant de la perception d'une variation de paramètre physico-chimique du milieu à la mobilité de l'organisme.</p>
<p>Précisions et limites : <i>Aucune description d'aire sensorielle spécialisée n'est exigible.</i> <i>On remobilise le concept de boucle de régulation de la glycémie abordé au lycée.</i></p>	
<p>Le fonctionnement de tous les Métazoaires repose sur les mêmes grandes fonctions réalisées par des structures similaires ou non suivant les taxons.</p> <p>Des structures réalisant la même fonction dans deux organismes différents peuvent être homologues ou convergentes.</p> <p>Des convergences marquent l'adaptation des organismes à leur milieu et leur mode de vie.</p>	<p>- Réaliser l'observation morphologique et la dissection :</p> <ul style="list-style-type: none"> • d'un Vertébré Mammifère Rongeur (la souris) ; • d'un Vertébré Téléostéen ; • d'un Arthropode Hexapode (le criquet) ; • d'un Mollusque Bivalve (la moule). <p>- Utiliser des caractéristiques morphologiques et anatomiques pour déterminer la position systématique de l'animal.</p> <p>- Mettre en lien les structures morphologiques et anatomiques observées sur les animaux disséqués avec les fonctions de relation, nutrition (s.l.) et reproduction.</p> <p>- Comparer l'organisation morphologique et anatomique des différents Métazoaires étudiés.</p> <p>- Identifier des organes homologues ou convergents.</p> <p>- Identifier sur des coupes histologiques et légèrer sur des clichés de microscopie électronique les principaux tissus des appareils respiratoire, digestif et du tégument.</p> <p>- Formuler des hypothèses concernant les adaptations morpho-anatomiques au milieu de vie.</p>
<p>Précisions et limites : <i>On se limite aux fonctions dont les structures associées sont observables en travaux pratiques.</i> <i>Pour les dissections de Métazoaires citées, seuls sont au programme les appareils suivants :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Souris : appareils cardiovasculaire, respiratoire, digestif, uro-génital.</i> • <i>Vertébré Téléostéen : appareils digestifs, cardiorespiratoire et reproducteur.</i> • <i>Arthropode Hexapode : appareils digestif (pièces buccales incluses) et respiratoire (système trachéen).</i> • <i>Mollusque Bivalve : appareils respiratoire et reproducteur.</i> <p><i>À l'échelle microscopique, l'étude de l'adaptation au milieu et au mode de vie est centrée sur l'appareil respiratoire et le tégument. Pour l'appareil digestif, seules les coupes histologiques de l'intestin de Mammifère sont au programme.</i></p>	
<p>Liens : Organisation fonctionnelle des appareils respiratoires et relation au milieu (SV-B-1) Organisation fonctionnelle de l'intestin de Mammifère (SV-C-1) Approvisionnement en matière organique des organismes hétérotrophes (SV-C-4) Catabolisme des nutriments (SV-C-4)</p>	

<p>Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-D-4) Gamétogenèse et fécondation chez les Mammifères (SV-E-3) Relations structure – fonction des organes de l'appareil cardio-vasculaire (SV-G-1) Boucle de régulation (pression artérielle) et adaptation à l'exercice physique (SV-G-1) Modalités des communications intercellulaires (SV-G-2) Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-H-2-2) Interactions trophiques dans les écosystèmes (SV-H-2-3) Utilisation de l'arbre phylogénétique des Eucaryotes (SV-I-2-2)</p>	
<p>SV-A-2 Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée</p>	
<p>Les Fabacées appartiennent au groupe des Embryophytes. Différents organes et tissus participent aux fonctions de nutrition, de relation et de reproduction. Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie. L'appareil végétatif grandit de façon indéfinie à partir de méristèmes. Les vastes surfaces d'échanges avec l'environnement permettent à la plante de prélever la matière minérale et de convertir l'énergie lumineuse en énergie potentielle chimique nécessaire à la production de matière organique (autotrophie). Les organes « sources » coopèrent avec les organes « puits ».</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une Fabacée au sein d'une classification phylogénétique d'Embryophytes. - À partir d'observations en classe et sur le terrain, distinguer les différents organes de l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur d'une Angiosperme. - Mettre en relation l'organisation structurale et fonctionnelle des différents appareils et l'adaptation de l'organisme au milieu aérien. - Caractériser le développement de l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur des Angiospermes au cours du cycle biologique et argumenter le caractère d'organe « source » ou d'organe « puits ». - Construire un schéma fonctionnel synthétique de la plante.
<p>L'organisme est en interactions multiples avec son environnement abiotique et biotique. Les facteurs anisotropes du milieu orientent la croissance de l'appareil végétatif. Les rythmes saisonniers conditionnent les différentes étapes du cycle de reproduction (floraison, pollinisation, fructification, vie ralentie des graines). La plante est impliquée dans différents systèmes de relations intra et interspécifiques. La symbiose Fabacée et bactérie <i>Rhizobium</i>, fixatrice d'azote dans les nodosités, augmente la biomasse de la Fabacée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des résultats expérimentaux montrant le lien entre les anisotropies du milieu et les tropismes dans le cadre du gravitropisme. - Placer sur un cycle de reproduction les paramètres du milieu exerçant une influence et/ou un contrôle prédominant sur une étape de la vie de la plante. - Illustrer les principales relations interspécifiques entre une Angiosperme et des organismes de son milieu.
<p>Précisions et limites : <i>Le fonctionnement détaillé des méristèmes est vu dans la partie SV-B-3. À ce stade on se limite à localiser les méristèmes. Les mécanismes cellulaires et moléculaires des tropismes ne sont pas exigibles.</i></p>	
<p>Les végétaux sont des producteurs primaires et constituent des ressources alimentaires à la base des réseaux trophiques. Leur importance dans les agroécosystèmes conduit à une sélection par l'être humain en relation avec la diversification des usages.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Illustrer différents usages des Fabacées (engrais vert, alimentation).
<p>Liens : Nutrition des Angiospermes en lien avec le milieu (SV-B-2) Développement de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur des Angiospermes (SV-B-3) Organisation fonctionnelle d'une feuille d'Angiosperme (SV-B-1) Interaction entre un organisme pluricellulaire eucaryote et un microorganisme (SV-C-1) Approvisionnement en matière organique des organismes autotrophes (SV-C-4) Devenir de la matière organique (SV-C-4) Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-D-4) Reproduction sexuée des Embryophytes (SV-G-1) Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-H-2-2) Utilisation de l'arbre phylogénétique des Eucaryotes (SV-I-2) Différentes formes d'azote et cycle de l'azote (BG-A-2) Les sols (BG-B) Activités de terrain</p>	

SV-B Interactions entre les organismes et leur milieu de vie (TB 1 et 2)

L'étude de la respiration chez les Métazoaires et l'étude de la nutrition et du développement post-embryonnaire chez les Angiospermes sont l'occasion de présenter les interactions étroites entre les organismes et leur environnement, biotique et abiotique, et de caractériser des adaptations anatomiques, morphologiques ou physiologiques, observables à différentes échelles.

La fonction de respiration permet d'envisager les échanges gazeux entre l'organisme et son milieu de vie en relation avec les besoins physiologiques. Dans des milieux de vie comparables, on identifie des homologies et des convergences dans l'organisation des différentes structures.

L'analyse du fonctionnement et du développement d'un Angiosperme se construit autour de plusieurs problématiques.

L'organisme fixé, vivant à l'interface entre sol et atmosphère, puise ses ressources dans ces deux environnements assurant ainsi sa nutrition. Des corrélations trophiques et hormonales au sein de l'organisme assurent le fonctionnement intégré du végétal, en relation avec le rythme saisonnier en régions tempérées.

Les spécificités du développement végétatif et reproducteur des Angiospermes, en particulier la plasticité phénotypique, sont également à mettre en relation avec leur mode de vie fixée et l'intégration de signaux environnementaux. Certaines de ces adaptations rendent compte de convergence ou de régression évolutive entre les taxons.

Savoirs visés

Capacités exigibles

SV-B-1 La respiration : une fonction en interaction directe avec le milieu (TB1)

Les échanges respiratoires des Métazoaires sont réalisés au niveau de surfaces d'échange (spécialisées ou non), en lien avec les contraintes du milieu de vie.

Les surfaces respiratoires spécialisées sont relativement étendues, fines, et en lien avec des dispositifs de renouvellement des fluides.

Les échanges de gaz respiratoires s'opèrent par diffusion simple, suivant la loi de Fick.

Dans le même milieu, pour des organisations différentes, des convergences fonctionnelles sont liées aux contraintes physico-chimiques du milieu de vie (aquatique ou aérien).

La convection externe et la convection interne des fluides maintiennent les différences de pression partielle à travers l'échangeur. L'efficacité de l'extraction de dioxygène varie suivant les milieux et les taxons.

- À partir des dissections de Mammifère (la souris), de Téléostéen, d'Hexapode (le criquet) et de Mollusque Bivalve (la moule) :

- dégager les grands traits de l'organisation des surfaces d'échanges respiratoires ;
- relier les structures observables avec les modalités de renouvellement des fluides de part et d'autre des surfaces respiratoires observées ;
- mettre en relation l'organisation des surfaces observées et les paramètres du milieu ;
- repérer les homologies et les convergences dans l'organisation de ces différentes structures.

- À partir de l'observation de préparations microscopiques ou de clichés d'histologie : identifier les caractéristiques structurales, à toutes les échelles, qui optimisent les échanges gazeux dans ces structures respiratoires.

Précisions et limites :

Les séances de TP « organisation fonctionnelle des Métazoaires » permettent d'envisager l'étude pratique de la fonction respiratoire. Les mécanismes de contrôle de la ventilation ne sont pas au programme.

L'hémoglobine est une molécule de transport des gaz respiratoires qui est présente dans les hématies de Mammifère.

La quantité de transporteurs limite la quantité de dioxygène transportée et l'activité de l'organisme.

La modulation de la quantité de gaz échangés passe essentiellement par des variations contrôlées de la convection.

- Relier les propriétés de coopérativité de l'hémoglobine à ses capacités de fixation ou de relargage du dioxygène suivant les conditions locales.
- Exploiter la courbe de saturation de l'hémoglobine et la mettre en lien avec les conditions physiologiques régnant dans les poumons et les autres tissus.
- Expliquer l'action de différents paramètres sur le relargage tissulaire et la prise en charge pulmonaire du dioxygène par l'hémoglobine : teneur du sang en CO₂, teneur en 2,3 BPG des hématies, pH sanguin et température. Les relier aux conditions physiologiques.

Précisions et limites :

La seule molécule étudiée pour le transport de dioxygène est l'hémoglobine de Mammifère. Les mécanismes de l'érythropoïèse et de son contrôle sont hors programme.

<p>Liens : Appareil respiratoire d'un Bovidé (SV-A-1) Échanges membranaires des gaz respiratoires (SV-C-3) Biotechnologies : Cinétique des enzymes allostériques (2.2.5)</p>	
<p>SV-B-2 Nutrition des Angiospermes en lien avec le milieu (TB1)</p>	
<p>SV-B-2-1 Absorption d'eau et d'ions dans le milieu de vie</p>	
<p>La plante prélève la solution du sol par une absorption racinaire sélective d'eau et d'ions minéraux mettant en action des échanges transmembranaires passifs ou actifs. Cette absorption s'effectue soit directement à partir de la solution du sol par des poils absorbants soit, le plus souvent, grâce au fonctionnement de mycorhizes. Les mycètes impliqués dans ces associations symbiotiques augmentent la surface d'absorption mais assurent aussi une protection physico-chimique contre les pathogènes. L'absorption de l'eau suit les différences de potentiel hydrique dans la racine. Il existe une voie de circulation symplasmique et apoplasmique. L'absorption d'eau et d'ions est à l'origine de la sève brute qui circule dans le xylème. L'évapotranspiration foliaire et la poussée racinaire constituent deux moteurs complémentaires d'ascension de la sève brute.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en lien les caractéristiques cellulaires des poils absorbants avec leur rôle. - Caractériser les différentes modalités des échanges transmembranaires permettant l'absorption de la solution du sol. - Estimer le sens et l'intensité des flux d'eau et d'ions à partir de valeurs de potentiel hydrique et de potentiel électrochimique. - Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques (colorées au carmino-vert ou bleu coton-lactique) pour : <ul style="list-style-type: none"> • identifier les caractéristiques structurales des ectomycorhizes ; • repérer les différents tissus traversés par la solution hydrominérale dans une racine ; • identifier les tissus conducteurs dans des coupes transversales et/ou longitudinales de racine, de tige et de limbe de feuille. - Identifier dans une coupe d'organe végétatif d'Angiosperme les principaux tissus et relier leur structure avec leur fonction.
<p>Précisions et limites : <i>L'étude anatomique se base sur des coupes transversales de limbe de feuille et des coupes transversales et longitudinales de tiges et racines.</i> <i>La reconnaissance des tissus sur les coupes microscopiques colorées au carmino-vert concerne : les parenchymes (chlorophyllien et de réserve), le xylème, le phloème, l'épiderme, le rhizoderme, l'endoderme, le sclérenchyme, le collenchyme et les méristèmes.</i> <i>L'identification des organes et de la position systématique à partir de préparations microscopiques s'appuie sur une clef de détermination simple.</i> <i>Seul le fonctionnement général d'une mycorhize est à connaître, aucun mécanisme moléculaire n'est exigible.</i> <i>L'étude anatomique se poursuit en TB 2 lors de séances portant sur le développement et les adaptations au milieu de vie.</i></p>	
<p>SV-B-2-2 Échanges gazeux avec le milieu de vie</p>	
<p>Les stomates permettent un flux d'eau par transpiration, qui met en mouvement la sève brute dans le xylème, tout en permettant les échanges de CO₂ et O₂ entre l'atmosphère externe et l'atmosphère interne du végétal. L'ouverture des stomates est contrôlée par différents facteurs du milieu : elle joue à la fois sur l'équilibre hydrique du végétal et sur son métabolisme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques de limbe de feuille pour : <ul style="list-style-type: none"> • identifier les espaces de circulation des gaz (stomates, chambres sous-stomatiques et méats/lacunes) ; • relier la localisation et la répartition des stomates avec l'orientation de la feuille. - Expliquer le lien entre l'ouverture des stomates et la montée de la sève brute.
<p>Précisions et limites : <i>Les mécanismes moléculaires du contrôle de l'ouverture des stomates sont hors programme.</i> <i>Les mécanismes de couplage avec la circulation de la sève élaborée sont hors programme.</i></p>	
<p>SV-B-2-3 Distribution des assimilats photosynthétiques au sein du végétal</p>	
<p>Les photosynthétats produits dans les organes sources sont distribués dans les organes puits via la sève élaborée. Les organes de réserve sont des organes puits/sources qui accumulent la matière organique. Les réserves</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques de limbe de feuille (colorées au carmino-vert) pour : <ul style="list-style-type: none"> • identifier le phloème dans des coupes transversales et/ou longitudinales de racine, de tige et de limbe de feuille ;

<p>sont accumulées/mobilisées avec une périodicité variable, quotidienne et/ou saisonnière.</p> <p>Au sein des nodosités développées dans l'appareil racinaire de Fabacée, des bactéries symbiotiques utilisant les assimilats de la plante sont capables d'utiliser le diazote et de le réduire en ammonium. Les cellules racinaires contenant les bactéroïdes produisent des molécules organiques azotées exportées dans le xylème.</p> <p>La formation de nodosités dépend de la fertilité du sol.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • identifier les structures de réserve d'un organe végétatif au choix à l'échelle de l'organe, de la cellule, des molécules ; • mettre en évidence des réserves amylacées ; <p>- Formuler des hypothèses sur le moment et les modalités de mobilisation des réserves.</p> <p>- En prenant appui sur des coupes de nodosité, présenter l'organisation fonctionnelle de celle-ci.</p> <p>- Exploiter des données expérimentales afin d'identifier des mécanismes de contrôle de développement de nodosités suivant les teneurs en nitrates et ammonium dans le sol.</p>
<p>Précisions et limites : <i>Les mécanismes de charge du phloème sont hors programme.</i></p>	
<p>Liens : Organisation générale fonctionnelle d'une Fabacée (SV-A-2) Organisation fonctionnelle d'une feuille d'Angiosperme (SV-C-1) Interaction entre un organisme pluricellulaire eucaryote et un microorganisme (SV-C-1) Transferts transmembranaires de l'eau et des solutés (SV-C-3) Oses, saccharose et amidon (SV-C-4) Approvisionnement en matière organique des organismes autotrophes (SV-C-4) Devenir de la matière organique (SV-C-4) Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-J-2-2) Solution du sol (BG-B-1) Cycles biogéochimiques de l'azote et du carbone (BG-A-1 et BG-A-2) Biotechnologies : le monde microbien, unité et diversité (3.1) Activités de terrain</p>	
<p>SV-B-3 Le développement post-embryonnaire des Angiospermes : adaptations et plasticité phénotypique (TB 2)</p>	
<p>SV-B-3-1 Développement végétatif à l'interface sol/air</p>	
<p>Les zones apicales comprennent des zones de division (mérèse) et de croissance cellulaire (auxèse). Elles contribuent à édifier l'axe racine-tige feuillée.</p> <p>Le méristème apical caulinaire est organogène et histogène. Son fonctionnement cyclique et itératif assure une croissance indéfinie de l'axe aérien. L'axe aérien est ainsi formé par une succession de phytomères. Le méristème apical caulinaire détermine aussi la position des différents organes aériens.</p> <p>Les cellules issues de la zone méristématique subissent généralement une croissance importante : l'auxèse. Cette dernière est contrôlée par l'auxine, une phytohormone. Elle provoque l'augmentation de la plasticité pariétale par acidification et l'accroissement du volume cellulaire par osmose.</p> <p>Dans un second temps, l'auxine contrôle la mise en place de nouveaux composants pariétaux.</p> <p>Les voies de différenciation cellulaire génèrent une diversité de tissus en affectant le contenu cytoplasmique et la structure pariétale des cellules. Les méristèmes secondaires se forment au sein des structures primaires.</p> <p>Le cambium produit des tissus secondaires (bois et liber) épaississant l'organe dans lequel ils se développent.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les zones de croissance apicales d'une Angiosperme à l'échelle de l'organisme, des organes et des tissus. - Relier le fonctionnement du méristème apical caulinaire, avec le développement indéfini de la tige feuillée. - Estimer sur un rameau le nombre d'unités de végétation. - Exploiter des données expérimentales montrant le mode d'action à l'échelle cellulaire de l'auxine. - Comparer une cellule méristématique et une cellule différenciée (élément conducteur de xylème). - Réaliser des coupes transversales colorées de tiges et de racines avec des structures secondaires et identifier les différents tissus secondaires (bois, liber, suber, phelloderme).
<p>Précisions et limites : <i>Aucune donnée sur le contrôle du fonctionnement du méristème apical caulinaire n'est exigible.</i></p>	

La voie de transduction de l'auxine et les mécanismes moléculaires de son transport ne sont pas au programme. Aucun mécanisme de différenciation cellulaire n'est étudié. On se limite à constater la diversité des cellules observables sur une coupe anatomique.

SV-B-3-2 Développement de l'appareil reproducteur

Le développement reproductif met en place la fleur par transition du méristème apical caulinaire en méristème reproducteur, inflorescentiel ou floral.
Le développement floral est notamment contrôlé par des gènes impliqués dans des activations en cascade. L'identité des organes floraux est déterminée par la combinaison d'expression de gènes homéotiques (modèle ABCDE).

- Exploiter des données afin de déterminer le caractère homéotique de certains gènes contrôlant l'identité des organes floraux.

Précisions et limites :

Seul le modèle ABCDE chez Arabidopsis thaliana est présenté. La nomenclature des gènes impliqués n'est pas exigible.

SV-B-3-3 Adaptations et plasticité phénotypique

Les Angiospermes présentent des caractéristiques adaptatives en relation avec leur vie fixée en milieu terrestre.
Certaines de ces adaptations témoignent de convergences évolutives entre taxons phylogénétiquement éloignés ou de régression évolutive.
D'autres variations morphologiques, anatomiques et physiologiques au sein d'une même espèce sont sous la dépendance de facteurs du milieu au cours de leur développement. On parle d'accommodation.
Des facteurs abiotiques tels que les variations météorologiques au cours d'une année et entre les années influencent le développement végétatif (exemple de la production saisonnière du bois) et/ou reproducteur (exemple de la floraison).
Des facteurs biotiques tels que des bactéries ou des mycètes influent sur le développement de la plante (formation de nodosités ou de mycorhizes), et participent à la nutrition d'un organisme à vie fixée. Un dialogue moléculaire entre la plante et un autre organisme permet la formation d'une structure chimérique impliquée dans la nutrition.

- Mettre en relation les modifications morpho-anatomiques observées sur des végétaux vivant en milieu sec (sclérophytes et malacophytes) ou aquatique avec les contraintes spécifiques liées aux conditions de milieu.
- Discuter, à partir d'exemples, des convergences ou des régressions évolutives liées à des caractéristiques morpho-anatomiques.
- Différencier adaptation et accommodation à partir d'exemples à partir d'exemples.
- Mettre en relation le développement indéfini de l'appareil végétatif des Angiospermes avec un mécanisme d'accommodation : exemple des feuilles d'ombre et de lumière
- Identifier le bois de printemps et le bois d'été formant les cernes du bois à l'échelle macroscopique et/ou microscopique
- Exploiter des données pour montrer l'influence de la température (vernalisation) et de la lumière (photopériodisme) sur l'induction florale.
- Présenter un modèle de contrôle épigénétique impliquant le gène FLC reliant les facteurs abiotiques et la floraison (organes percepteurs, relais hormonaux, gènes impliqués).

Précisions et limites :

L'existence d'hormones intervenant dans la floraison est simplement mentionnée sans aucune modalité d'action exigible. Aucun développement des mécanismes moléculaires de formation des mycorhizes et des nodosités n'est attendu.

Liens :

Développement végétatif et cycle de reproduction en milieu aérien ; interactions d'une plante avec son environnement abiotique (tropismes) et biotique (nodosité, mycorhize) (SV-A-2)
Organisation anatomique et histologique des organes végétatifs (SV-B-2)
Spécialisation des matrices extracellulaires (SV-C-1)
Cycle cellulaire, mitose (SV-D1-2)
Organisation et fonction de la fleur (SV-E-1)
Modalités d'action des hormones chez les animaux (SV-G-2)
Notion d'adaptation (SV-K-1) et notion de convergences et de régressions évolutives (SV-K-2)
Adaptation au changement climatique (BG-C-3)

SV-C La cellule dans son environnement (TB 1)

La cellule est l'unité structurale et fonctionnelle du vivant. L'objectif est de présenter les grands traits de l'organisation d'une cellule (membranes, compartiments cellulaires, cytosquelette) et de la matrice extracellulaire qui l'entoure, en envisageant leurs aspects dynamiques afin de faire émerger les grandes lignes de leur fonctionnement.

L'organisation fonctionnelle des cellules est abordée avec un nombre limité d'exemples, préférentiellement l'entérocyte de Mammifères, la cellule du parenchyme palissadique d'une Angiosperme et une bactérie Gram - (*Escherichia coli*, *Rhizobium sp.*). L'objectif n'est pas de réaliser une monographie à partir de chaque exemple proposé mais de les utiliser comme support pour illustrer le concept de cellule tout en montrant une diversité d'organisation et de fonctionnement, sans toutefois chercher l'exhaustivité des particularités de chaque type cellulaire.

Le métabolisme est envisagé à l'échelle cellulaire chez les Eucaryotes en remobilisant les différentes voies métaboliques vues à l'échelle moléculaire chez les microorganismes en Biotechnologies. Aucun mécanisme moléculaire n'est attendu dans le programme de SVT, l'accent étant mis sur l'intégration dans un cadre physiologique des différentes voies à l'échelle de la cellule et de l'organisme chez les Eucaryotes. Ce chapitre sera également l'occasion de remobiliser les différents types trophiques vus en Biotechnologies et revus par ailleurs dans le programme (en écologie et dans l'étude des cycles biogéochimiques et du fonctionnement des sols).

Cette vision d'ensemble est complétée par la partie génomique structurale et fonctionnelle (SV-D). Ces deux parties s'appuient sur les fondamentaux de biochimie abordés en Biotechnologies dans les parties biochimie des protéines (1.1), enzymologie et génie enzymatique (2.2), biologie moléculaire des acides nucléiques (4.1). *In fine*, cet ensemble offre une vision intégrée de l'organisation fonctionnelle de la cellule dans son « milieu », qu'il s'agisse d'un organisme unicellulaire ou pluricellulaire.

Savoirs visés

Capacités exigibles

SV-C-1 Les cellules au sein d'un organisme

L'état pluricellulaire peut être décrit à différentes échelles : tissu, organe, appareil et individu. Différentes techniques de microscopie (optique, à épifluorescence et électronique -MEB et MET-) permettent d'étudier l'organisation des cellules et des tissus.

- Illustrer les différentes échelles en utilisant l'entérocyte et la cellule du parenchyme palissadique.
- Comparer les techniques de microscopie (types d'objets observés, taille des structures observées, domaines d'application).
- Évaluer les dimensions d'une structure observée à partir de la connaissance de l'ordre de grandeur de quelques objets biologiques courants (divers types cellulaires).
- Exploiter une coupe d'intestin de Mammifère et une coupe transversale de feuille d'Angiosperme pour identifier les principaux types de tissus et préciser les relations structure-fonction.

Précisions et limites :

Les principes généraux et les objectifs des techniques de microscopie attendues sont à connaître. La technique de microscopie confocale et ses dérivés ne sont pas à connaître.

Le détail du traitement des échantillons pour la microscopie n'est pas à mémoriser.

Les ordres de grandeur à connaître se limitent aux types cellulaires étudiés dans les différentes parties du programme.

Les jonctions et les interactions cellule-matrice assurent la cohésion et participent à la communication entre cellules animales. Pour les Angiospermes, ces fonctions sont assurées par la paroi et les plasmodesmes. Les matrices extracellulaires présentent une structure en réseau dont l'organisation et la composition varient en fonction des organismes et des tissus. La paroi des cellules végétales est formée de cellulose, hemicellulose et de pectines.

- Identifier les principaux types de jonctions intercellulaires sur des clichés de microscopie électronique.
- Schématiser l'organisation moléculaire en réseau des matrices extracellulaires animales d'un tissu conjonctif et d'un tissu épithélial et celle d'une paroi pectocellulosique.
- Relier l'organisation en polymère, la structure tridimensionnelle et les propriétés physico-chimiques des macromolécules glucidiques à leurs fonctions de structure.
- Relier la structure fibrillaire du collagène à ses propriétés mécaniques.

<p>Les matrices extracellulaires animales sont formées de collagène, de glycosaminoglycanes, de protéoglycanes et de protéines multi-adhérentes (fibronectine ou laminine).</p> <p>Les matrices extracellulaires peuvent être rigidifiées notamment par une imprégnation de lignine ou de substances minérales.</p>	
<p>Précisions et limites : <i>On limite les matrices extracellulaires animales au cas des Mammifères et les matrices extracellulaires végétales à la paroi pectocellulosique (primaire et secondaire) des Angiospermes. Pour les processus de synthèse des constituants des matrices extracellulaires, on se limite à la cellulose de la paroi végétale.</i> <i>Les représentations attendues permettent de montrer l'organisation fonctionnelle.</i> <i>Pour les raisonnements, les formules de la cellulose, des pectines et des GAG sont fournies aux étudiants.</i></p>	
<p>Certaines cellules d'un organisme pluricellulaire eucaryote interagissent (échanges de matière et d'information) avec d'autres organismes.</p>	<p>- Identifier les partenaires d'une association interspécifique impliquant des microorganismes par observation microscopique (microbiote intestinal, nodosité).</p>
<p>Précisions et limites : <i>On se limite à l'exemple du contact entre E. coli et l'épithélium intestinal et au cas des microorganismes de la rhizosphère (Rhizobium).</i></p>	
<p>Liens : Vue d'ensemble sur un organisme animal et végétal et sur les organismes unicellulaires (SV-A) Diversité des tissus animaux et végétaux (SV-B et SV-F) Organisation du cytosquelette (SV-C-2) Modalités de la communication intercellulaire (SV-G-2) Les sols (BG-B) Biotechnologies : structure des protéines (1.1.1) ; les biomolécules, des substrats d'intérêt (2.1) ; Interactions protéine-ligand (1.3.1)</p>	
<p>SV-C-2 Organisation fonctionnelle de la cellule</p>	
<p>La cellule eucaryote est compartimentée, ce qui entraîne une régionalisation des fonctions et une coopération des compartiments dans le fonctionnement cellulaire.</p> <p>Le support de l'information génétique est présent dans plusieurs compartiments cellulaires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Discuter des intérêts et contraintes de la compartimentation dans le fonctionnement cellulaire. - Illustrer la diversité structurale et fonctionnelle des compartiments sur l'exemple de l'entérocyte et de la cellule du parenchyme palissadique. - Évaluer les dimensions d'une structure observée à partir de la connaissance de l'ordre de grandeur de quelques objets biologiques courants (membranes, organites...). - À l'aide de différentes techniques microscopiques, reconnaître les ultrastructures cellulaires eucaryotes : noyau, membranes, mitochondrie, chloroplaste, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, lysosome, vésicules de sécrétion, eu/hétérochromatine, nucléole. - Réaliser des colorations afin de mettre en évidence différentes structures cellulaires au microscope optique.
<p>La cellule bactérienne contient un chromosome unique circulaire et éventuellement des plasmides. Elle est délimitée par une ou deux membranes et une paroi de peptidoglycanes. Son cytoplasme est souvent peu compartimenté.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Schématiser l'ultrastructure d'une bactérie. - Comparer l'organisation eucaryote et procaryote - À l'aide de techniques de microscopie, reconnaître les principales caractéristiques ultrastructurales d'une bactérie.
<p>Précisions et limites : <i>Les colorations usuelles réalisées en TB sont : coloration carmino-vert de mirande, rouge neutre, bleu coton lactique, vert de méthyle, pyronine, lugol. Le principe de la coloration est connu mais le protocole n'est pas à mémoriser. Pour les peptidoglycanes, le détail des monomères est hors programme.</i></p>	

<i>Pour comparer l'organisation eucaryote et bactérienne, les acquis de Biotechnologies sont remobilisés.</i>	
<p>Les cellules possèdent un squelette interne dynamique : le cytosquelette.</p> <p>Chez les cellules eucaryotes, il est constitué de trois catégories de structures protéiques fibrillaires : les microfilaments d'actine, les microtubules de tubuline et les filaments intermédiaires.</p> <p>Le cytosquelette des bactéries présente des protéines homologues à celui des cellules eucaryotes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Relier la structure du cytosquelette à ses propriétés mécaniques. - Illustrer les rôles du cytosquelette sur l'exemple de l'entérocyte et de la cellule du parenchyme palissadique (par exemple : association aux jonctions, structuration de l'enveloppe nucléaire, structuration des microvillosités, flux vésiculaires, cyclose des chloroplastes).
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>Seul le cytosquelette d'une cellule eucaryote est présenté avec le détail des structures moléculaires.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Organisation des jonctions intercellulaires (SV-C-1)</p> <p>Flux vésiculaires (SV-C-3)</p> <p>Divisions cellulaires (SV-D-1-2)</p> <p>Cytosquelette et croissance du tube pollinique (SV-E-1)</p> <p>Organisation fonctionnelle du cytosquelette du spermatozoïde (SV-E-3)</p> <p>Migration cellulaire au cours du développement animal (SV-F)</p> <p>Organisation fonctionnelle d'un neurone (SV-G-2)</p>	
<p>Les cellules sont traversées par des flux de matière, d'énergie et d'information.</p> <p>Chez les Eucaryotes, une partie de ces flux transite par la membrane plasmique ou les systèmes endomembranaires. Ceci met en évidence la coopération fonctionnelle entre les compartiments.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Argumenter l'existence de trois types de flux à l'aide des exemples de l'entérocyte, de la cellule du parenchyme palissadique et de <i>E. coli</i>. - Illustrer la coopération fonctionnelle entre les compartiments.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>On mentionne les différents flux, les modalités précises sont développées dans la partie SV-C-3.</i></p>	
<p>SV-C-3 Membranes et échanges membranaires</p>	
<p>Les membranes cellulaires sont des associations non covalentes de protéines et de lipides, parfois glycosylés, assemblés en bicouches.</p> <p>Les lipides membranaires sont des lipides amphiphiles (phospholipide, glycolipide, cholestérol).</p> <p>Les protéines membranaires peuvent être transmembranaires ou associées à la surface.</p> <p>Les propriétés de fluidité, de perméabilité sélective, de spécificité reposent sur l'organisation de la membrane.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Argumenter le modèle de mosaïque fluide à l'aide de résultats expérimentaux. - Décrire la structure et reconnaître les groupements hydrophobes et hydrophiles d'un phospholipide, d'un glycolipide et du cholestérol. - Interpréter un profil d'hydropathie de protéines membranaires. - Relier la fluidité membranaire à la composition de la membrane.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>Les représentations attendues permettent de montrer l'organisation fonctionnelle. Pour les raisonnements, un formulaire regroupant les formules des principaux constituants (acide gras saturé, acide gras insaturé, glycérol, choline, sérine, éthanolamine, cholestérol) est fourni aux étudiants.</i></p> <p><i>Les techniques d'étude des protéines sont remobilisées à partir des acquis de Biotechnologies.</i></p>	
<p>L'eau, les solutés neutres ou chargés et les gaz dissous peuvent traverser les membranes.</p> <p>La perméabilité de la membrane vis-à-vis d'une substance chimique dépend de ses propriétés physico-chimiques et de celles de la substance considérée.</p> <p>Ces échanges transmembranaires sont régis par les différences de potentiel électro-chimique.</p> <p>Les flux de solutés s'effectuent dans le sens des potentiels électro-chimiques décroissants par transport</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Relier la perméabilité membranaire à la composition de la membrane. - Exploiter la notion de potentiel électrochimique pour déterminer le caractère spontané ou non d'un échange. - Exploiter la relation de Nernst pour déterminer le potentiel d'équilibre d'un ion. - Exploiter la loi de Fick pour expliquer les caractéristiques cinétiques de certains échanges transmembranaires.

<p>passif simple ou facilité ou dans le sens inverse par transport actif primaire ou secondaire (couplages énergétiques).</p> <p>Les flux transmembranaires sont une fonction linéaire (diffusion simple) ou une fonction présentant un plateau de saturation (échange assisté par un transporteur) de la concentration en molécule transportée.</p> <p>Des flux transmembranaires d'ions sont à l'origine d'un potentiel électrique appelé potentiel de membrane.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter la notion de potentiel hydrique pour déterminer le sens des flux d'eau. - Relier les caractéristiques des protéines membranaires (canal, transporteur) aux modalités d'échange. - Relier les échanges présentés à leurs fonctions biologiques. - Relier l'inégale répartition des ions et les flux transmembranaires à l'existence d'un potentiel de membrane.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>Les échanges sont étudiés sur l'exemple de l'entérocyte (exemples préconisés : transporteur GLUT, Na⁺/K⁺ ATPase, symport Na⁺/glucose de type SGLT, aquaporine). L'existence de protéines membranaires chez une cellule bactérienne est mentionnée. Pour les cellules végétales, on s'appuie sur des échanges transmembranaires impliqués dans l'absorption racinaire (SV-B-2-1).</i></p> <p><i>Le potentiel de membrane est étudié à partir d'une cellule non excitable, les cellules excitables sont abordées dans la partie communication (SV-G-2).</i></p>	
<p>Des transferts de matière entre les compartiments et avec le milieu extracellulaire (endocytose et exocytose) sont réalisés par l'intermédiaire de vésicules.</p> <p>Le bourgeonnement et la fusion des vésicules reposent sur les propriétés des membranes et l'implication des protéines.</p> <p>Le transport et le guidage des vésicules mettent en jeu le cytosquelette.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Relier les échanges présentés à leurs fonctions biologiques.
<p>Liens :</p> <p>Echanges membranaires et nutrition des Angiospermes (SV-B-2)</p> <p>Auxine et développement de l'appareil végétatif des Angiospermes (SV-B-3-1)</p> <p>Intégration physiologique du métabolisme cellulaire (SV-C-4)</p> <p>Communications intercellulaires (SV-G-2)</p> <p>Biotechnologies : biochimie des protéines (1.1) ; les lipides (2.1.2) ; interaction protéine-ligand (1.3.1)</p>	
<p>SV-C-4 Intégration physiologique du métabolisme cellulaire (TB2)</p>	
<p>L'approvisionnement des cellules en matière organique se fait, soit par prélèvement dans leur environnement (hétérotrophie), soit par prélèvement de matière minérale suivie de sa réduction (autotrophie).</p> <p>Le prélèvement de matière implique des échanges transmembranaires que ce soit au niveau des cellules constituant les surfaces d'échange avec le milieu extérieur ou au niveau des cellules consommatrices.</p> <p>Au sein d'un organisme pluricellulaire, un fluide circulant assure généralement le transport des molécules entre les différentes cellules.</p> <p>Dans les cellules, aussi bien autotrophes qu'hétérotrophes, la matière organique a trois devenir : elle peut (1) être stockée transitoirement ou à long terme pour constituer des réserves (glucidiques ou lipidiques) ou être exportée, (2) servir à la biosynthèse de nouvelles molécules organiques (anabolisme), ou (3) entrer dans différentes voies cataboliques desquelles la cellule tire son énergie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser une étude expérimentale de l'intégration physiologique du métabolisme (sur un modèle au choix). - Argumenter l'approvisionnement des cellules autotrophes au carbone, en H₂O et en CO₂. - Argumenter l'approvisionnement des cellules hétérotrophes au carbone en matière organique.

Précisions et limites :

En ce qui concerne l'approvisionnement en matière minérale ou organique, aucune connaissance supplémentaire en dehors de celles abordées dans le cours sur les échanges transmembranaires, sur l'organisme végétal angiosperme et sur l'organisme animal n'est exigible.

Les différents devenir de la matière organique dans une cellule sont illustrés dans les blocs suivants chez une cellule animale (la cellule musculaire striée squelettique) et une cellule autotrophe d'Angiosperme, aucun autre exemple n'est exigible.

La cellule musculaire striée squelettique est capable d'utiliser ses réserves de glycogène ou du glucose sanguin pour synthétiser l'ATP dont elle a besoin. L'ATP est utilisée par la myosine pour le couplage chimio-mécanique à l'origine de la contraction musculaire.

Le glucose absorbé par la cellule musculaire peut être stocké sous forme de glycogène dans le cytosol. Il s'agit d'une voie anabolique.

Le catabolisme du glycogène produit du glucose-1-phosphate et fait intervenir une enzyme allostérique, la glycogène phosphorylase. L'ATP et l'AMP sont des effecteurs allostériques de la glycogène phosphorylase. Le stockage ou le déstockage des réserves glucidiques dépend donc de voies métaboliques antagonistes.

Le catabolisme du glucose peut se réaliser via deux grandes voies, la voie fermentaire lactique et la voie oxydative.

Au cours d'un exercice musculaire, les différentes réserves énergétiques de la cellule musculaire sont utilisées séquentiellement. Les voies anaérobies alactiques de régénération de l'ATP par la myokinase ou la créatine kinase sont les premières à être mobilisées, avant la voie fermentaire lactique et la voie oxydative.

- Réaliser des colorations de tissus afin d'identifier différentes réserves cellulaires au microscope optique.
- Relier les propriétés structurales des molécules énergétiques à leur rôle dans la mise en réserve ou la circulation.
- Argumenter le comportement allostérique de la glycogène phosphorylase sur la base de sa courbe $V_i = f([S]_0)$
- Expliquer l'intérêt physiologique du contrôle allostérique de la glycogène phosphorylase par la balance ATP/AMP.
- Représenter les flux glucidiques au sein d'une cellule musculaire.
- Localiser les différentes voies métaboliques au sein de la cellule musculaire.
- Comparer le rendement de la voie fermentaire lactique et de la voie oxydative du catabolisme du glucose.
- Relier l'activité de la cellule musculaire aux voies cataboliques utilisées.
- Décrire le retour aux conditions initiales (de repos) après un exercice musculaire en lien avec la dette en O_2 .

Précisions et limites :

On s'appuie sur le métabolisme microbien vu en Biotechnologies, l'accent est mis sur l'intégration du métabolisme eucaryote à l'échelle cellulaire et physiologique. Les différentes voies métaboliques ne sont pas détaillées à nouveau en SVT, seuls les bilans vus en Biotechnologies sont utilisés.

Le détail de la contraction musculaire n'est pas étudié (troponine-tropomyosine, couplage excitation-contraction sont hors-programme). On mentionne le couplage chimio-mécanique sans le détailler.

Aucun mécanisme enzymatique lié au stockage ou au déstockage des réserves glucidiques à l'exception de la glycogène phosphorylase n'est attendu. On se limite à citer leur existence, leur nature et leur localisation.

Les propriétés des protéines allostériques sont vues en Biotechnologies, seule leur importance dans le contrôle des voies métaboliques est ici abordée. Le nombre de Hill n'est pas au programme. Le détail des mécanismes enzymatiques contrôlant la phosphorylation de la glycogène phosphorylase n'est pas exigible.

Les connaissances de première année sur la mitochondrie sont remobilisées au service de la compréhension des relations structure-fonction au sein de l'organite.

La cellule chlorophyllienne fonctionne selon plusieurs modes :

(1) L'énergie lumineuse est utilisée pour produire de la matière organique.

Dans le chloroplaste, au cours du cycle de Calvin, le CO_2 est réduit en matière organique glucidique (trioses phosphates) grâce aux produits de la phase photochimique (ATP et pouvoir réducteur).

- Distinguer les types trophiques des cellules d'un organisme végétal.
- Localiser les différentes voies métaboliques au sein de la cellule végétale chlorophyllienne.

<p>Le jour, ces glucides sont soit exportés vers le cytosol, transformés en saccharose chez les Angiospermes ou catabolisés pour la synthèse d'ATP, soit stockés transitoirement sous forme d'amidon au sein du chloroplaste. La photosynthèse est également impliquée dans les voies de biosynthèse d'autres molécules organiques et est à la base de l'autotrophie.</p> <p>(2) L'amidon sera déstocké massivement la nuit sous forme de glucose, utilisé par les voies cataboliques de la cellule elle-même, ou exporté sous forme de saccharose dans le reste de la plante.</p> <p>Des réserves énergétiques à plus long terme peuvent être constituées sous forme d'amidon dans les amyloplastes des organes de réserve ou sous forme de triglycérides dans des gouttelettes lipidiques cytoplasmiques de cellules de différents tissus (graines oléagineuses des Angiospermes).</p> <p>Le stockage et déstockage de ces réserves en fonction des conditions saisonnières mobilise les mêmes voies métaboliques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Représenter les flux glucidiques au sein d'une cellule végétale chlorophyllienne (en fonction des conditions lumineuses). - Relier les propriétés structurales des molécules énergétiques à leur rôle dans la mise en réserve ou la circulation - Mettre en évidence les réserves amylicées et lipidiques ainsi que leur localisation dans des organes de réserve végétatifs ou graines/fruits secs.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>Les différentes voies métaboliques vues en Biotechnologies ne sont pas redétaillées, seuls les bilans sont utilisés. On s'appuie sur le métabolisme microbien vu en Biotechnologies, l'accent est mis sur l'intégration du métabolisme eucaryote à l'échelle cellulaire et physiologique.</i></p> <p><i>Les connaissances de première année sur le chloroplaste sont remobilisées au service de la compréhension des relations structure-fonction au sein de l'organite.</i></p> <p><i>Aucun mécanisme enzymatique lié au stockage ou au déstockage des réserves glucidiques ou lipidiques n'est attendu. On se limite à citer leur existence, leur nature et leur localisation.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Approvisionnement en matière à l'échelle de l'organisme (SV-A-1 & SV-A-2)</p> <p>Nutrition d'un organisme végétal (SV-B-2)</p> <p>Échanges transmembranaires (SV-C-3)</p> <p>Expression génétique, traduction, adressage (SV-D-2)</p> <p>La cellule musculaire (SV-F-2)</p> <p>La circulation sanguine (SV-G-1)</p> <p>Membrane et réception de messagers chimiques (SV-G-2)</p> <p>Biotechnologies : Les biomolécules, des substrats d'intérêt (2.1) ; Les enzymes, des biomolécules présentant une activité catalytique (2.2) ; allostérie (2.2.5)</p>	

SV-D Génomique structurale et fonctionnelle (TB 1 et TB 2)

L'expression des génomes et son contrôle s'appuient uniquement sur des exemples eucaryotes et permettent de discuter du concept de gène. La présentation de la transmission des génomes au cours des divisions cellulaires permet de rappeler et comparer les principales caractéristiques des divisions mitotique et méiotique. Elles sont mises en lien avec leurs implications dans les processus de développement et de reproduction qui sont abordés par ailleurs dans le programme. Les processus de diversification des génomes sont l'occasion de comprendre la diversité génétique observée à l'échelle des populations et à l'échelle des espèces. Les mécanismes de maintien ou de réduction de la diversité génétique produite, soit par des tris sélectifs, soit par des processus aléatoires, sont abordés dans la partie sur l'évolution. La présentation des génomes eucaryotes et de leur organisation est l'occasion de préciser les points communs et les différences avec les génomes des bactéries. Enfin, cette partie est l'occasion de remobiliser quelques techniques couramment utilisées au laboratoire pour étudier les génomes et leur expression.

Savoirs visés

Capacités exigibles

SV-D-1 Génome des cellules, transmission de l'information génétique (TB 1)

SV-D-1-1 Organisation des génomes

L'ensemble des molécules d'ADN contenues dans une cellule et l'information qu'elles portent, constitue son génome.
L'étude des génomes passe par une panoplie de techniques dites de biologie moléculaire.
Les techniques de séquençage permettent de déterminer la séquence d'un fragment d'ADN puis de proche en proche la séquence des génomes.
L'utilisation d'outils bioinformatiques permet d'identifier les différents types de séquences codantes et non codantes.

- Analyser et exploiter les résultats d'une électrophorèse d'ADN.
- Interpréter l'organisation des génomes à partir des résultats de séquençage.
- Exploiter les données de séquençage pour réaliser des alignements de séquences et comparer les séquences.

Précisions et limites :

Les principes généraux et les objectifs des différentes techniques évoquées sont à connaître mais les protocoles ne sont pas à mémoriser. Les acquis de Biotechnologies sur le séquençage sont remobilisés.

Pour le séquençage, on se limite à l'exploitation des résultats.

La maîtrise d'un logiciel d'alignement de séquences n'est pas exigible (la fiche technique du logiciel est fournie).

Chez les Eucaryotes, on distingue le génome nucléaire et le génome des organites. Le génome nucléaire est constitué de chromosomes linéaires.
L'ADN nucléaire des Eucaryotes est associé à des protéines dont des histones, constituant la chromatine. Il existe différents niveaux de condensation de la chromatine.
Le génome nucléaire des Eucaryotes comporte une part importante de séquences non codantes aux rôles divers. La majorité de ces séquences est répétée. Les gènes eucaryotes sont généralement morcelés.
Chez les bactéries, le génome à localisation cytoplasmique est constitué d'un chromosome circulaire et éventuellement de plasmides. Le génome des bactéries est constitué presque exclusivement de

- Estimer la proportion de séquences codantes et non codantes dans les génomes des Eucaryotes.

- Comparer l'organisation des génomes eucaryotes avec les génomes des bactéries.

régions codantes. Certaines sont associées à des régions régulatrices communes qui forment des opérons.	
<p>Précisions et limites : <i>Pour les génomes bactériens, on se limite à mentionner la présence de protéines structurales associées à l'ADN, sans détailler l'organisation moléculaire des chromosomes.</i> <i>La connaissance des génomes est remobilisée dans l'étude de l'évolution.</i></p>	
<p>Liens : Biotechnologies : séquençages (4.4) ; techniques de séparation de molécules par électrophorèse (5.2)</p>	
<p>SV-D-1-2 La transmission de l'information génétique au cours des divisions cellulaires chez les Eucaryotes</p>	
<p>Chez les Eucaryotes, le matériel génétique est dupliqué au cours de la phase S interphasique qui précède toute division cellulaire. La réplication semi-conservative de l'ADN est assurée par des ADN polymérases. C'est un processus avec un faible taux d'erreur qui assure la conservation globale de l'information génétique.</p>	<p>- Expliquer le principe de polymérisation des nucléotides par l'ADN polymérase.</p>
<p>Précisions et limites : <i>La diversité des ADN polymérases n'est pas attendue. Aucun détail sur la fourche de réplication n'est au programme.</i> <i>Aucune protéine du système de réplication autre que l'ADN polymérase n'est à présenter.</i> <i>Les mécanismes de correction des erreurs et de réparation de l'ADN ne sont pas au programme. En revanche, l'ordre de grandeur du taux d'erreur de la réplication est indiqué.</i></p>	
<p>Le cycle cellulaire des cellules eucaryotes comprend une interphase et une mitose. Le matériel génétique est dupliqué pendant la phase S (réplication). Le matériel génétique est réparti équitablement entre les 2 cellules filles au cours de la phase M (mitose). Le cycle cellulaire est contrôlé. Le passage d'une étape à une autre est sous le contrôle de signaux extracellulaires et de facteurs internes notamment liés à l'intégrité de l'information génétique.</p>	<p>- Estimer l'ordre de grandeur de la durée des différentes phases d'un cycle cellulaire à partir de résultats expérimentaux. - Interpréter des résultats mettant en évidence un contrôle du cycle cellulaire.</p>
<p>Précisions et limites : <i>Aucun mécanisme moléculaire n'est attendu : on signale seulement l'existence de points de contrôle dont le franchissement autorise la poursuite du cycle, sans aucun détail.</i></p>	
<p>Les chromosomes répliqués, à 2 chromatides, se condensent progressivement au cours des prophases de mitose et de méiose I.</p>	<p>- Représenter la structure d'un chromosome métaphasique (centromère, télomère, kinétochore).</p>
<p>Précisions et limites : <i>Aucun détail moléculaire n'est attendu.</i></p>	
<p>Le processus mitotique assure une égale répartition des chromosomes entre les deux cellules-filles grâce à l'intervention de protéines (notamment du cytosquelette). La cytokinèse permet la séparation des deux cellules-filles.</p>	<p>- Expliquer comment le processus mitotique, et en particulier le fonctionnement du fuseau achromatique, permet l'égale répartition des chromosomes, donc de l'information génétique. - Illustrer le processus de cytokinèse chez les Métazoaires et les Embryophytes.</p>

	- À l'aide de différentes techniques microscopiques, repérer les différentes phases de la mitose, l'organisation des chromosomes et du fuseau de division.
Précisions et limites : <i>On considère uniquement la mitose de cellules pour lesquelles la division cellulaire suit la division nucléaire. On se limite aux mécanismes de base et à l'existence du fuseau achromatique. Des molécules comme les cohésines et les séparases par exemple ne sont pas exigibles.</i>	
La méiose est une série de deux divisions successives précédée par une interphase. Elle permet de passer d'une phase diploïde à une phase haploïde. C'est une des étapes de la formation des gamètes et des méiospores chez les organismes à reproduction sexuée.	- Expliquer comment le processus méiotique permet d'aboutir à 4 cellules-filles haploïdes à partir d'une cellule-mère diploïde. - Représenter schématiquement les caractéristiques cytologiques et chromosomiques de la méiose. - À l'aide de différentes techniques microscopiques, repérer les différentes phases de la méiose, l'organisation des chromosomes et du fuseau de division.
Liens : Organisation de la cellule bactérienne et eucaryote (SV-C-2) Brassages génétiques en méiose (SV-D-4) Formation des gamètes, des méiospores et des gamétophytes (SV-E) Diversité génétique comme base de diversité du vivant (SV-I) Biotechnologies : structure des acides nucléiques (4.1.1) ; les techniques de séquençage de l'ADN (4.4.1) ; amplification <i>in vitro</i> des séquences nucléotidiques (4.3)	
SV-D-2 L'expression du génome (TB 1)	
La transcription de l'ADN en ARN est assurée par des ARN polymérases. Elle se déroule en trois étapes (initiation, élongation, terminaison) et génère plusieurs types d'ARN : ARNm, ARNt, ARNr et petits ARN. La transcription est initiée au niveau d'un promoteur reconnu par un complexe d'initiation et modulée positivement ou négativement par des facteurs de transcription. Un gène est une unité de transcription avec ses séquences régulatrices, c'est-à-dire une séquence d'ADN nécessaire à la synthèse d'un ARN. Il peut posséder ou non une phase de lecture ouverte permettant la synthèse d'un polypeptide.	- Expliquer le principe de polymérisation d'un ARN par l'ARN polymérase. - Représenter schématiquement la structure d'un gène eucaryote avec l'ensemble de ses caractéristiques. - Discuter le concept de gène.
Précisions et limites : <i>Le processus de transcription est étudié à partir de l'exemple de la polymérisation des ARN messagers chez les Eucaryotes. La nomenclature de tous les facteurs protéiques impliqués dans le complexe d'initiation ainsi que l'organisation détaillée du promoteur ne sont pas à mémoriser. On mentionne l'existence de signaux indiquant la fin de la transcription chez les Eucaryotes. On limite la présentation des petits ARN aux ARNi.</i>	
Chez les Eucaryotes, les ARN messagers subissent une maturation (excision-épissage s'ils sont morcelés, ajout d'une coiffe en 5', polyadénylation en 3') dans le noyau avant d'être exportés vers le cytosol.	- Expliquer l'importance des processus co- et post-transcriptionnels dans la diversification et le contrôle de la demi-vie des transcrits.

<p>Des mécanismes comme l'épissage alternatif, produisent des ARNm différents pour une même unité de transcription. L'ensemble des ARN transcrits et maturés constitue le transcriptome cellulaire.</p>	
<p>Précisions et limites : <i>Le détail des mécanismes moléculaires des phénomènes de maturation et d'exportation hors du noyau n'est pas exigible. On ne traite pas de l'édition ou de la polyadénylation alternative.</i></p>	
<p>Dans le cytosol, les ARNm matures sont traduits en polypeptides. La traduction repose sur la coopération fonctionnelle entre différentes classes d'ARN au sein des ribosomes. Elle comprend une phase d'initiation, d'élongation et de terminaison. La correspondance entre un codon et un acide aminé est assurée par les ARNt suivant le code génétique. Les amino-acyl ARNt synthétases assurent la fidélité de la correspondance acide aminé/codon sur l'ARNt. La transpeptidation est catalysée par un ARNr (ribozyme) de la grande sous-unité du ribosome. La machinerie de traduction assure la conversion de l'information codée dans la séquence nucléotidique en séquence d'acides aminés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expliquer l'importance des interactions entre ARN au cours des différentes étapes de la traduction - Relier la structure des différents ARN à leurs rôles dans l'expression de l'information génétique.
<p>Précisions et limites : <i>Les expériences ayant conduit à l'élucidation du code génétique et la terminologie des facteurs protéiques intervenant dans la traduction peuvent être étudiées mais ne sont pas à mémoriser.</i></p>	
<p>Chez les Eucaryotes, la traduction est réalisée dans le cytosol et dans les organites semi-autonomes. La protéine synthétisée ou en cours de synthèse peut être adressée à un compartiment particulier grâce à une séquence signal et une machinerie d'adressage en interaction avec le système de traduction.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Relier le phénomène d'adressage à la spécialisation des compartiments.
<p>Précisions et limites : <i>On se limite au mécanisme simplifié de translocation co-traductionnelle dans le réticulum endoplasmique.</i></p>	
<p>L'acquisition de la structure tridimensionnelle d'une protéine (repliement) peut être assistée par des protéines chaperonnes. Une protéine peut subir des modifications post-traductionnelles.</p>	
<p>Précisions et limites : <i>Pour les modifications post-traductionnelles, on se limite aux exemples de clivage, glycosylation et phosphorylation. Les techniques d'étude des protéines sont remobilisées à partir de ce qui est vu en Biotechnologie.</i></p>	
<p>Liens : Compartimentation des cellules spécialisées (SV-C-2) Flux de matière et d'information dans une cellule eucaryote (SV-C-2) Biotechnologies : structure des protéines (1.2.1) ; structure des acides nucléiques (4.1.1)</p>	

SV-D-3 Le contrôle de l'expression du génome (TB 1)

Des modifications de l'environnement cellulaire ou des signaux internes à la cellule influencent l'expression du génome. Ces diverses influences conduisent à des phénotypes variés.

Chez les Eucaryotes, l'ensemble des contrôles transcriptionnels, post-transcriptionnels et post-traductionnels expliquent la diversité des transcriptomes et des protéomes.

La diversité des ARN et protéines produits à un instant donné est à l'origine du phénotype des cellules et des organismes.

Des modifications expérimentales par mutagenèse aléatoire ou ciblée ou transgenèse permettent d'étudier les liens entre génotype et phénotype.

Les transcriptomes et protéomes peuvent être étudiés à l'aide de sondes nucléotidiques et d'anticorps spécifiques respectivement.

- Analyser et Interpréter des résultats expérimentaux issus des principales méthodes d'étude du transcriptome et du protéome, le principe de la méthode étant fourni.

- Analyser des résultats issus d'expériences utilisant des organismes génétiquement modifiés

- Analyser et interpréter des résultats expérimentaux utilisant les techniques de Southern blot, northern blot, western blot, hybridation *in-situ* ou de puce à ADN.

- Identifier et justifier les témoins de charge des blots.

Précisions et limites :

Le principe des différentes techniques expérimentales évoquées est à connaître. La mise en œuvre pratique n'est pas exigible en SVT mais est réalisée et approfondie en biotechnologies.

Concernant les puces à ADN, seule une analyse qualitative est requise, aucune méthode d'analyse informatique n'est exigible.

Le contrôle de l'initiation de la transcription est la principale voie de contrôle de l'expression génétique.

Le contrôle de la transcription repose sur des interactions entre des séquences régulatrices et des facteurs de transcription ou de remodelage de la chromatine.

Les facteurs de transcription interagissent spécifiquement avec des séquences d'ADN et des protéines.

Le niveau de transcription est influencé par l'état de méthylation des bases de l'ADN et les modifications de la chromatine.

La probabilité d'initiation de la transcription dépend de la combinaison de tous les acteurs précités.

Les modifications de la chromatine constituent une information transmissible et sont à la base du contrôle épigénétique. Ces modifications transmissibles constituent l'épigénome.

- Relier le contrôle de l'expression génétique à la différenciation et la spécialisation cellulaire.

- Illustrer, à partir de l'exemple du gène *FLC*, le lien entre conditions climatiques, état de condensation de la chromatine et expression génétique.

Précisions et limites :

*Le contrôle de la transcription est étudié à partir de l'exemple de la polymérisation des ARN messagers chez les Eucaryotes. Concernant les facteurs de transcription, on se limite au motif bHLH en lien avec les facteurs myogéniques, réinvesti en TB 2. Le contrôle épigénétique est abordé uniquement à partir de l'exemple du contrôle de l'expression du gène *FLC* chez *A. thaliana* qui sera repris en TB 2.*

L'interférence ARN est un mécanisme de contrôle post-transcriptionnel majeur.

Précisions et limites :

On présente les grandes étapes de l'interférence ARN sans aucun détail moléculaire : appariement de l'ARN interférent à l'ARNm cible, inhibition de la traduction de l'ARNm ou activation d'une endonucléase qui hydrolyse l'ARNm.

Liens :

Contrôle de l'expression des gènes dans la floraison (SV-B-3-2)
 Contrôle de l'expression des gènes au cours du développement embryonnaire (SV-F-2)
 Changements climatiques et leurs conséquences sur la biodiversité (BG-C-3)
 Biotechnologies : clonage d'une séquence nucléotidique (4.5.1) ; interactions entre molécules, notion d'affinité et de spécificité (1.3)

SV-D-4 La diversification des génomes (TB 1)**SV-D-4-1 Diversité des mutations et diversification des génomes**

La séquence des génomes est modifiée de manière aléatoire :

- par des erreurs de réplication non réparées
- par des lésions de l'ADN non réparées dont la fréquence est augmentée par des agents mutagènes.

Certaines mutations modifient la structure des chromosomes (délétions, inversions, duplication, translocation) ou affectent leur nombre (polyploidie, aneuploidie).
 Les mutations géniques et chromosomiques sont source de nouveaux gènes et allèles.

- Relier les mutations de la séquence nucléotidique à leurs conséquences phénotypiques.

- Analyser un caryotype et repérer les anomalies chromosomiques.

Précisions et limites :

*Un seul exemple de lésion de l'ADN est traité (désamination, dépurination ou dimères de thymine).
 Les mécanismes de réparation sont hors-programme.*

SV-D-4-2 Brassage génétique et diversification des génomes

La sexualité modifie les génomes en brassant les allèles.
 Chez les Eucaryotes, la méiose contribue à la diversification des génomes.
 En unissant des génomes haploïdes, la fécondation crée de nouvelles combinaisons alléliques diploïdes.
 Les mécanismes favorisant l'allogamie augmentent la diversité des combinaisons alléliques.

- Relier les principaux événements cytogénétiques de la méiose avec leurs conséquences sur le brassage allélique.

- Argumenter les processus de brassage génétique en s'appuyant sur le principe de quelques croisements simples mais différant par deux couples d'allèles pris chez les organismes diploïdes.

- Comparer les conséquences génétiques de l'autogamie et de l'allogamie.

- À partir de l'étude de différents croisements (lien partie « Reproduction ») :

- identifier les caractères indépendants ou liés des gènes ;
- déterminer les caractères récessif, dominant ou codominant des allèles ;
- montrer la diversité génétique créée ;
- illustrer des pratiques de sélection agronomique sur un exemple.

Précisions et limites :

Ni la nomenclature des différentes étapes de la prophase I de méiose ni les mécanismes moléculaires de la recombinaison homologe de la méiose ne sont au programme.

Pour illustrer l'allogamie, un exemple de séparation des sexes dans l'espace et un exemple d'auto-incompatibilité gamétophytique sont traités. Les calculs de distance génétique sont hors programme.

<p>Les hybridations interspécifiques sont une autre source de diversification des génomes.</p> <p>Chez les Bactéries (et dans une moindre mesure chez les Eucaryotes), des modifications du génome sont possibles par transferts horizontaux de matériel génétique.</p>	
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>On se limite à une seule modalité de transfert horizontal de gènes chez les bactéries, sans aucun détail moléculaire. Les transferts horizontaux de gènes (de type transformation) utilisés en génie génétique sont traités en biotechnologies.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Diversification des génomes et sélection de Bovidé ou Fabacée (SV-A-1 et 2)</p> <p>Transmission de l'information génétique (SV-D-1-2)</p> <p>Modalités de la reproduction sexuée (SV-E-1 et SV-E-3)</p> <p>Transmission des allèles dans les populations (SV-I-1)</p> <p>Vision évolutive de la biodiversité, apports des transferts horizontaux (SV-I-1)</p> <p>Biotechnologies : structure des acides nucléiques (4.1.1) ; le monde microbien : unité et diversité (3.1)</p>	

<p>SV-E Reproduction (TB 1)</p>	
<p>La reproduction permet la multiplication des individus. L'étude de la reproduction sexuée chez les Angiospermes et les Mammifères est l'occasion de présenter des cycles de développement comprenant méiose et fécondation. La comparaison avec la reproduction asexuée permet de montrer que, selon les mécanismes, la reproduction participe plus ou moins à la diversification des individus et à l'évolution biologique. En climat tempéré, les cycles de reproduction présentent un lien avec les saisons.</p>	
<p>Savoirs visés</p>	<p>Capacités exigibles</p>
<p>SV-E-1 La reproduction sexuée chez les Angiospermes</p>	
<p>Chez les Angiospermes, la méiose produit des méiospores, qui ne sont pas disséminées. Elles réalisent mitoses et différenciation au sein des pièces fertiles de la fleur qui constitue l'appareil reproducteur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en relation les différentes pièces florales et leur rôle dans la reproduction. - Réaliser une dissection florale et établir le diagramme floral et la formule florale correspondants. - En classe et sur le terrain, utiliser une flore et/ou un outil numérique de détermination pour identifier le genre d'une fleur. - Sélectionner la flore la plus appropriée pour répondre au problème posé. - Réaliser et/ou interpréter des coupes d'anthères à différents stades, ainsi que des coupes d'ovaires et d'ovules. - À l'aide de techniques de microscopie optique et électronique : <ul style="list-style-type: none"> • analyser l'organisation des grains de pollen et des sacs embryonnaires ; • identifier le degré de maturité des structures reproductrices (anthères).
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>La description des modalités cellulaires et moléculaires des étapes qui conduisent d'une cellule mère des spores au grain de pollen ou au sac embryonnaire ne sont pas au programme. Cependant l'existence de mitoses de la méiospore haploïde permet de définir le concept de génération gamétophytique et de distinguer ainsi gamètes et gamétophyte. L'introduction de ce concept permet de distinguer le cycle à une seule génération des Métazoaires du cycle à plusieurs générations des végétaux.</i></p>	

<p><i>La connaissance des différents types de placentation des ovaires et des différents types d'ovules n'est pas au programme. Les classifications phylogénétiques et les caractères associés ne sont pas à connaître.</i></p>	
<p>La fécondation interne siphonogame des Angiospermes, est précédée d'une pollinisation le plus souvent entomogame ou anémogame. La siphonogamie est assurée par une croissance apicale orientée du tube pollinique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en lien les deux principaux types de pollinisation (anémogame et entomogame) et les caractères des fleurs et des grains de pollen associés. - Émettre des hypothèses sur le mode de pollinisation à l'aide des structures observées suite à une dissection florale et/ou un montage de grains de pollen. - À partir d'observations conjointes de fleurs et d'insectes, identifier des exemples de coadaptation. - Analyser des résultats expérimentaux mettant en évidence des coévolutions entre fleurs et insectes.
<p>Précisions et limites : <i>Un seul exemple de fleur est à mémoriser pour chaque type de pollinisation (anémogame et entomogame). Les mécanismes généraux de la croissance apicale du tube pollinique sont présentés (turgescence, exocytose apicale, guidage, chimiotactisme) mais aucun détail moléculaire n'est à mémoriser.</i></p>	
<p>La double fécondation, spécificité des Angiospermes, conduit à la transformation du sac embryonnaire en embryon principal et albumen, de l'ovule en graine et de la fleur en fruit. Le fruit constitue la principale synapomorphie des Angiospermes. La double fécondation est précédée d'une phase de tri des grains de pollen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expliquer comment le système d'auto-incompatibilité réalise un tri des grains de pollen.
<p>Précisions et limites : <i>Les étapes de la transformation de l'ovule en graine et de la fleur en fruit ne sont pas au programme. Les mécanismes moléculaires de l'auto-incompatibilité gamétophytique ne sont pas au programme.</i></p>	
<p>Chez les Angiospermes, le nouvel individu est disséminé à l'aide de la graine et/ou du fruit. La dormance des graines est un mécanisme permettant de corrélérer le cycle de développement aux saisons.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les propriétés d'un organe de dissémination (graine/fruit) à celles d'un organe de dispersion (grain de pollen). - Illustrer la diversité des modalités de dissémination à l'aide de quelques exemples de fruits. - À partir d'observation de fruits et de graines, en classe et sur le terrain : <ul style="list-style-type: none"> • dégager les grands traits de l'organisation de fruits et mettre en lien avec les fonctions de protection, et de dissémination des graines ; • distinguer un fruit d'une graine ; • distinguer : fruit charnu (baie et drupe), fruit sec déhiscent (gousse, follicule, silique) et fruit sec indéhiscent (caryopse et akène), au sein de fruits simples ou de fruits multiples.
<p>Précisions et limites : <i>On se limite à la distinction graine albuminée-graine exalbuminée. L'identification des fruits se base sur une clef de détermination fournie. La diversité des modalités de dissémination est abordée à travers l'anémochorie, l'endozoochorie et l'épizoochorie, avec un seul exemple à mémoriser pour chaque modalité. Seul le mécanisme d'autoincompatibilité gamétophytique est présenté. Les mécanismes d'entrée et de levée de dormance ne sont pas au programme.</i></p>	
<p>Liens : Distinction appareil végétatif-appareil floral reproducteur. Rythme saisonnier et étapes du cycle de reproduction (SV-A-2) Développement de l'appareil reproducteur des angiospermes (SV-B-3-2) Les cellules au sein d'un organisme (SV-C-1) Organisation fonctionnelle de la cellule (SV-C-2) Membranes et échanges membranaires (SV-C-3) Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-D-4-2)</p>	

Diversité des relations interspécifiques et conséquences sur la structure de l'écosystème (SV-H-2-2) Activités de terrain	
SV-E-2 La reproduction asexuée chez les Angiospermes	
<p>La reproduction asexuée d'individus se réalise à partir d'un plant mère, sans intervention de méiose ni de fécondation.</p> <p>Dans des conditions favorables, la reproduction asexuée repose sur des divisions mitotiques et conduit à une multiplication importante d'individus. Ces individus conservent le même génome parental aux mutations près mais peuvent présenter une variabilité phénotypique.</p> <p>La capacité de néoformer ou de régénérer des organes repose sur les propriétés de l'appareil végétatif (ramification et dans certains cas, mise en réserve) et la plasticité des cellules végétales (capacité de dédifférenciation et totipotence).</p> <p>La reproduction asexuée contribue à la dissémination des Angiospermes. Ce mode de reproduction a des conséquences biologiques et écologiques au sein des populations.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Illustrer différentes modalités naturelles de multiplication végétative à partir d'organes non spécialisés (marcottage) ou par néoformation d'organes spécialisés (stolons, tubercules, bulbilles). - À partir d'observations d'échantillons complets, de dissections et de prélèvements judicieux : <ul style="list-style-type: none"> • déterminer la nature de l'organe de multiplication végétative ; • discuter de ses capacités de dissémination et de ses modalités de multiplication.
Précisions et limites : <i>La détermination raisonnée des organes de multiplication végétative et de leurs modalités de multiplication se limite aux cas suivants sans multiplier les exemples : marcottage naturel ; formation de stolons, tubercules, et bulbilles.</i>	
Liens : Distribution des assimilats photosynthétiques au sein du végétal (SV-B-2-3) Développement végétatif à l'interface sol/air (SV-B-3-1) Transmission de l'information génétique au cours des divisions cellulaires chez les Eucaryotes (SV-D-1-2) Les populations et leur démographie (SV-H-1)	
SV-E-3 La reproduction sexuée des Mammifères	
<p>La reproduction sexuée des Mammifères fait intervenir une seule génération comme chez tous les Métazoaires. Les gamètes sont produits au sein de gonades par méiose et différenciation (gamétogénèse).</p> <p>La production des spermatozoïdes est continue, alors que celle des ovocytes est cyclique.</p> <p>La reproduction sexuée implique une phase de rapprochement des gamètes.</p> <p>La fécondation s'accompagne d'un tri allélique qui influe sur les processus de diversification.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Relier l'organisation des gamètes à leurs rôles complémentaires dans la fécondation. - À partir de l'observation de coupes histologiques et d'électronographies : <ul style="list-style-type: none"> • interpréter l'organisation des gonades en lien avec leurs fonctions ; • repérer les cellules reproductrices. - Mettre en relation les modalités de reproduction sexuée (fécondation, nombre de gamètes) avec les contraintes du milieu de vie (physiques et biologiques).
Précisions et limites : <i>La connaissance des étapes de la gamétogénèse se limite à ce qui est nécessaire pour interpréter des coupes histologiques.</i>	
<p>La fécondation repose sur la reconnaissance intraspécifique entre la membrane plasmique du spermatozoïde et la zone pellucide ovocytaire. Cette étape mène à la réaction acrosomique, à la fusion des gamètes puis à l'amphimixie. Elle s'accompagne de processus limitant la polyspermie.</p> <p>La formation du zygote restaure le caryotype de l'espèce. Le zygote possède une combinaison allélique unique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les apports des deux gamètes à la formation du zygote. - Analyser quelques croisements chez les Mammifères pour identifier les caractères indépendants ou liés des gènes et déterminer les caractères récessif, dominant ou codominant des allèles. - Évaluer la diversité génétique créée après un croisement.

Les pratiques de sélection agronomique exploitent les données génomiques connues des espèces domestiquées.	
<p>Précisions et limites : <i>Seul le processus de reconnaissance entre la zone pellucide et le spermatozoïde est détaillé au niveau moléculaire en lien avec le caractère intraspécifique de la fécondation.</i> <i>La comparaison de la reproduction d'un Mammifère réalisant une parade nuptiale, à celle de la moule, est l'occasion de discuter des modalités de reproduction sexuée en milieu aérien et aquatique.</i> <i>La sélection agronomique est illustrée à partir d'un seul exemple.</i></p>	
<p>Liens : Fonction de reproduction d'un Bovidé (SV-A-1) Organisation fonctionnelle de la cellule (SV-C-2) Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-D-4-2)</p>	

<p>SV-F Le développement embryonnaire chez les Vertébrés (TB 2)</p>	
<p>Les mécanismes du développement sont à l'origine de l'édification des organismes pluricellulaires. L'objectif de cette partie est d'étudier la mise en place de l'organisation fonctionnelle des Vertébrés à partir de l'analyse du développement embryonnaire de quelques espèces modèles privilégiées. Une insistance particulière est portée sur les mécanismes à l'échelle cellulaire afin de réinvestir des processus étudiés dans d'autres parties du programme.</p>	
Savoirs visés	Capacités exigibles
<p>SV-F-1 Les étapes du développement embryonnaire chez les Vertébrés</p>	
<p>Le développement embryonnaire animal débute à la fécondation et s'achève lors de l'éclosion ou de la naissance. Plusieurs étapes successives conduisent à la formation d'un organisme présentant les caractéristiques morphologiques et anatomiques de son espèce :</p> <ul style="list-style-type: none"> • segmentation • gastrulation • neurulation • organogenèse. <p>Ces différentes étapes mettent en jeu des processus cellulaires tels que la prolifération (mitose), les changements de forme et la mobilité de cellules ou d'ensemble de cellules, la différenciation et la mort cellulaire programmée. Des dispositifs moléculaires dynamiques sont le support des mécanismes cellulaires : matrice extracellulaire, molécules d'adhérence, cytosquelette, protéines de signalisation et facteurs de transcription.</p> <p>Trois feuillettes cellulaires primordiales (ectoderme, mésoderme, endoderme) sont mis en place au cours de la gastrulation. Ces feuillettes génèrent tous les tissus somatiques de l'organisme. La différenciation des cellules est précédée de leur détermination.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier sur des embryons <i>in toto</i> et des coupes, les différents stades de développement embryonnaire. - Établir la correspondance entre les différentes étapes du développement embryonnaire et la mise en place des caractéristiques morpho-anatomiques : état pluricellulaire, symétrie, axes de polarités, territorialisation des organes et des appareils etc. - Exploiter des données de marquage pour <ul style="list-style-type: none"> • définir le concept de lignage cellulaire ; • caractériser les mouvements cellulaires au cours de la gastrulation. - Exploiter des résultats expérimentaux pour : <ul style="list-style-type: none"> • illustrer l'importance des déterminants maternels dans les étapes précoces du développement embryonnaire (cas de la rotation corticale et de l'acquisition de la polarité dorso-ventrale) ; • argumenter les rôles du cytosquelette et de la matrice extracellulaire dans différents processus cellulaires du développement ; • discuter de la détermination des cellules à différents stades du développement embryonnaire.
<p>Précisions et limites : <i>L'analyse des différentes étapes du développement embryonnaire est conduite à partir du modèle amphibien.</i> <i>Le concept d'induction n'est pas exigible. Concernant les déterminants maternels, on se limite à l'exemple du rôle dorsalisant de la β-caténine (facteur de transcription). L'existence de protéines de signalisation est mentionnée, sans exemple exigible.</i></p>	

SV-F-2 Différenciation d'un type cellulaire : la cellule musculaire striée squelettique

Le membre chirodien est constitué de nombreux tissus qui assurent en particulier le soutien et la mobilité de l'organisme.

Les cellules musculaires (ou myocytes) striées squelettiques forment des muscles insérés sur les os par des tendons, innervés par des motoneurones et irrigués par le système sanguin. La cellule musculaire est plurinucléée et organisée par des myofibrilles formées par la répétition de sarcomères qui sont les unités contractiles. Un couplage chimio-mécanique entre les filaments d'actine et de myosine assure la contraction. Cette dernière est dépendante d'un flux calcique déclenché par un potentiel d'action.

Les cellules musculaires striées squelettiques des membres sont issues de la différenciation de cellules souches provenant des somites et donnant naissance à des précurseurs (les myoblastes). La différenciation cellulaire est un processus séquentiel ; elle implique l'arrêt de la prolifération cellulaire. La maturation terminale est dépendante de leur innervation par des motoneurones.

La détermination puis la différenciation des cellules musculaires reposent sur l'expression séquentielle de facteurs de transcription spécifiques contrôlée par des rétroactions entre les facteurs de transcription et des signaux paracrines.

- Réaliser une préparation microscopique de muscle strié squelettique coloré ou non.
- Identifier des cellules musculaires striées squelettiques en microscopies optique et électronique.
- Illustrer la notion de cellule différenciée à l'aide de l'étude de la cellule musculaire striée squelettique.

- Analyser des données pour argumenter le rôle de gènes dans la différenciation des cellules musculaires striées squelettiques.

Précisions et limites :

Les modalités du couplage excitation-contraction ne sont pas exigibles.

On se limite à mentionner l'existence de facteurs paracrines sans détailler les voies de signalisation.

On se limite à présenter la famille des gènes codant des facteurs myogéniques et leur rôle dans la différenciation des cellules musculaires striées squelettiques.

Pour cette partie, on peut utiliser des données issues de l'étude de différents modèles vertébrés.

L'analyse de la différenciation de cellule musculaire striée squelettique est fondée sur des données issues des techniques suivantes dont les principes doivent être connus : hybridation in situ, immunocytochimie, northern blot, western blot, étude d'animaux génétiquement modifiés, expression de gènes rapporteurs.

Liens :

Organisation fonctionnelle des vertébrés tétrapodes (SV-A-1)

Organisation des cellules eucaryotes et relation entre organisation cellulaire et fonction (SV-C-1, SV-C-2).

Contrôle de l'expression génétique par des facteurs de transcription (SV-D-3).

Complémentarité des gamètes, modalités de la fécondation chez les Mammifères (SV-E-3)

Modalités de communications intercellulaires - notion de paracrine (SV-G-2)

SV-G Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme (TB2)

Le fonctionnement d'un organisme pluricellulaire repose sur la coopération entre différents tissus, organes et appareils. La coordination des différentes structures est fondée sur des communications entre cellules par le biais de messagers chimiques ou de signaux électriques. Les modalités et les exemples de communication intercellulaire abordés sont choisis parmi les contrôles développés dans les différentes parties du programme.

Dans cette partie, l'intégration d'une fonction à l'échelle d'un organisme est conduite à partir de l'exemple de la fonction circulatoire chez les Mammifères. L'étude de la circulation sanguine systémique est l'occasion de développer les principes d'une régulation et d'une adaptation physiologique à partir de l'étude de la pression artérielle.

Savoirs visés

Capacités exigibles

SV-G-1 Intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme : la circulation sanguine chez les Mammifères

La circulation sanguine est un système de distribution à haut débit du sang (plasma et éléments figurés). Le système circulatoire sanguin des Mammifères est organisé par deux circulations en série : circulation systémique et circulation pulmonaire.

Les artères, réservoir de pression, distribuent le sang aux réseaux de capillaires.

Les capillaires constituent une très importante surface d'échanges entre le sang et le milieu interstitiel selon trois grandes modalités : transports transmembranaires, transcytose et filtration-réabsorption. Les veines collectent le sang et constituent un réservoir de volume. La pression artérielle moyenne est la résultante de paramètres circulatoires (débit et résistance vasculaire) dépendants des activités cardiaque et vasculaire.

- Caractériser l'organisation histologique et anatomique des différents vaisseaux de l'organisme à l'aide de préparations microscopiques et d'électronographies.

- Relier les caractéristiques des vaisseaux sanguins à leurs propriétés fonctionnelles (débit, vitesse et pression sanguins, résistance vasculaire, compliance).

- Expliquer l'importance fonctionnelle de l'organisation en dérivation de la circulation systémique.

- Représenter les échanges capillaires par filtration-réabsorption selon le schéma de Starling et discuter de leur importance pour l'homéostasie du milieu intérieur.

- Utiliser la loi de Hagen-Poiseuille pour modéliser les relations entre pression et débit sanguins à l'échelle d'un vaisseau et à l'échelle de la circulation systémique (en incluant un paramètre de résistance périphérique totale)

- Définir la relation entre pression artérielle moyenne et pression artérielle différentielle.

Précisions et limites :

L'étude histologique et anatomique porte sur les artères musculaires, artérioles, veines musculaires et capillaires continus.

La présence de cellules dans le sang est citée sans développement.

Le cœur est un muscle à rôle de pompe qui met le sang sous pression ; il est à l'origine du débit sanguin global. Le cœur présente un fonctionnement cyclique caractérisé par une succession de systoles et de diastoles.

Le cœur présente un automatisme de fonctionnement, conséquence des propriétés du tissu nodal. Ce dernier a la capacité de générer, de façon cyclique, des potentiels d'action. Ces derniers sont propagés au sein du tissu de conduction et génèrent des potentiels d'action dans le tissu musculaire cardiaque. Ceux-ci provoquent la contraction du cœur selon la séquence caractéristique du cycle cardiaque.

- Sur un cœur de Mammifère :

- ◆ identifier les différentes cavités et valvules ;
- ◆ reconnaître les vaisseaux en connexion avec les cavités cardiaques ;
- ◆ expliquer la circulation unidirectionnelle du sang à partir de l'analyse des dispositifs anatomiques.

- À partir d'une préparation microscopique, présenter l'organisation fonctionnelle du tissu myocardique contractile.

- Relier les étapes du cycle cardiaque au rôle de pompe du cœur.

- Mettre en relation débit cardiaque, fréquence cardiaque et volume d'éjection systolique.

- Relier la localisation des structures impliquées dans l'automatisme et les vitesses de propagation de l'excitation cardiaque avec la séquence de contraction.

	- Relier les caractéristiques du potentiel d'action des cellules du nœud sinusal aux variations de conductances ioniques constatées.
Précisions et limites : <i>L'étude des potentiels d'action est limitée à celui généré par le nœud sinusal. La technique d'électrocardiographie n'est pas exigible. Le couplage excitation/contraction des cardiomyocytes n'est pas au programme.</i>	
La pression artérielle moyenne est maintenue dans une gamme de valeurs restreinte, variable selon les individus et les conditions, par des mécanismes de régulation. Le baroréflexe rectifie les écarts à la valeur de consigne de la pression artérielle mesurée à partir de récepteurs. Les centres intégrateurs, situés dans le système nerveux central, modifient l'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires. Les informations transitent par les nerfs sympathiques et parasympathiques du système nerveux autonome.	- Analyser des résultats expérimentaux afin d'identifier la nature et le rôle des différentes composantes de la boucle de régulation du baroréflexe. - Expliquer les mécanismes du contrôle de la fréquence cardiaque jusqu'à l'échelle cellulaire et moléculaire.
Précisions et limites : <i>Dans le cadre du baroréflexe, on ne discute que des barorécepteurs de haute pression. On se limite à présenter les voies centripètes et centrifuges du système nerveux autonome sans détailler les centres intégrateurs du système nerveux central et les relais ganglionnaires. Pour les contrôles autres que celui de la fréquence cardiaque, les voies de transduction à l'échelle cellulaire ne sont pas au programme.</i>	
Dans le cas de l'adaptation à l'effort physique, les débits globaux et locaux sont modifiés par des changements d'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires. Les changements d'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires sont le produit de contrôles nerveux, hormonaux et paracrines. Des récepteurs vasculaires et musculaires informent les centres intégrateurs de l'état physiologique de l'organisme au cours de l'effort. Les boucles de contrôle forment ainsi des réseaux interconnectés modifiant l'activité des effecteurs en fonction de la situation.	- Mettre en relation les variations des différents paramètres circulatoires au cours d'un effort physique (pression artérielle moyenne, résistance périphérique, débit cardiaque, débits sanguins dans les différents organes). - Justifier la notion d'adaptation physiologique à partir de l'analyse des conséquences des modifications du débit global et local sur la pression artérielle. - Identifier les composantes des systèmes de contrôle globaux et locaux impliqués dans l'adaptation à l'effort physique. - Caractériser différentes périodes de contrôles : au début de la période d'effort, pendant l'effort puis à la fin de la période d'effort.
Précisions et limites : <i>Le contrôle local est limité aux facteurs de l'hyperhémie active et au monoxyde d'azote.</i>	
Liens : Fonctions de nutrition d'un organisme animal, boucle de régulation (SV-A-1) Organisation fonctionnelle de l'appareil respiratoire pulmonaire, relations entre convections externe et interne, rôle de l'hémoglobine dans le sang (SV-B-1) Comparaison avec la circulation des sèves chez les Angiospermes (SV-B-2) Jonctions intercellulaires (SV-C-1) Echanges transmembranaires et origine du potentiel de membrane (SV-C-3) Organisation fonctionnelle de la cellule musculaire striée squelettique (SV-F-2)	
SV-G-2 Communications intercellulaires chez les animaux	
Il existe différentes modalités de communications (nerveuse, endocrine, paracrine) complémentaires et en interaction assurant la coordination des fonctions de l'organisme. Le mode d'action des messagers chimiques (neurotransmetteurs, hormones, facteurs paracrines) sur les cellules cibles requiert l'interaction avec un récepteur spécifique. Les réponses cellulaires sont distinctes selon la compétence de la cellule cible (récepteurs, voies de signalisations activées, contrôle de	- Comparer les modalités de communication : nature des messagers, codage du message, voies de transfert de l'information, vitesse de transfert et décodage. - Illustrer la diversité des voies de transduction et/ou de réponses possibles pour un même messager chimique, l'acétyl-choline. - Présenter une voie de transduction comprenant un relai intracellulaire avec un second messager (ex. : voie des protéines G et de l'AMPc).

<p>l'expression génétique). L'extinction du signal est souvent liée à la dégradation des messagers. Les étapes de transduction intracellulaires permettent l'amplification de la réponse cellulaire aux messagers extracellulaires.</p>	<p>- Illustrer à l'aide d'un exemple un mécanisme de dégradation de messenger chimique et son importance physiologique.</p>
<p>Précisions et limites : <i>On s'appuie sur des exemples développés dans d'autres parties du programme : différenciation de la cellule musculaire striée, contrôle de l'activité cardiaque, contrôle de la vasomotricité, interactions paracrines au cours du développement embryonnaire.</i></p>	
<p>Les cellules excitables sont caractérisées par leur capacité à générer un potentiel d'action. Le potentiel d'action neuronal s'explique par les variations de conductance de canaux sensibles à la tension (voltage-dépendant). Le message nerveux est codé en fréquence de potentiels d'action.</p> <p>Dans les neurones, le potentiel d'action se propage de façon unidirectionnelle et régénérative le long de l'axone.</p> <p>Le diamètre des fibres affecte leur conductivité et donc la vitesse de propagation des potentiels d'action, de même que la présence d'une gaine de myéline.</p> <p>La synapse transmet l'information d'une cellule excitable à une autre. La synapse chimique implique l'exocytose de neurotransmetteurs dans une concentration déterminée par la fréquence de potentiels d'action du message nerveux. Les neurotransmetteurs se lient à des récepteurs ligands-dépendants provoquant une variation de potentiel transmembranaire de la cellule cible.</p> <p>Dans certaines cellules, ces variations de potentiel transmembranaire conduisent à la genèse de potentiels d'action post-synaptiques.</p> <p>La diversité des potentiels d'action est liée aux propriétés des canaux impliqués (spécificité ionique, contrôle de l'ouverture et de la fermeture).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractériser les différentes phases du potentiel d'action neuronal. - Relier la variation du potentiel membranaire aux modifications de conductances provoquées par les canaux ioniques. - Exploiter des enregistrements de patch-clamp pour argumenter un modèle moléculaire de fonctionnement d'un canal voltage-dépendant. - Expliquer, dans un fonctionnement synaptique, les caractéristiques du transfert d'information : nature du signal, nature du codage, extinction du signal. - Relier sur un exemple le fonctionnement des récepteurs ligands-dépendants aux caractéristiques fonctionnelles des protéines membranaires (site, allostérie, hydropathie et localisation...). - Expliquer les modalités de genèse d'un potentiel d'action post-synaptique à partir de l'exemple du potentiel d'action musculaire. - Comparer le potentiel d'action neuronal (motoneurone) et le potentiel d'action des cellules pacemaker du nœud sinusal : phases, durées, séquences de variations de conductance.
<p>Précisions et limites : <i>Le potentiel d'action du motoneurone et la synapse neuromusculaire servent de support à la présentation des concepts à étudier. Le principe de la technique du patch-clamp est présenté mais l'explication des différents montages permettant de mesurer les courants ioniques transmembranaires n'est pas exigible. On présente la production du potentiel d'action musculaire à la suite de la stimulation de la cellule par un motoneurone. Les autres mécanismes de production de potentiels post-synaptiques et leur intégration ne sont pas au programme.</i></p>	
<p>Le message hormonal est délivré par une cellule endocrine à la suite d'une stimulation. Les hormones transitent par le sang en de très faibles concentrations. Les cellules cibles expriment les récepteurs spécifiques et les éléments de la voie de signalisation conduisant à une réponse biologique.</p>	
<p>Précisions et Limites : <i>On s'appuie sur des exemples développés dans d'autres parties du programme : contrôles de l'activité cardiaque et de la vasomotricité.</i></p>	
<p>Liens : Relations entre fonctions au sein d'un organisme animal (SV-A-1) Rôles des messagers chimiques dans le développement végétatif ou reproducteur des Angiospermes (SV-B-3) Échanges transmembranaires et origine du potentiel de membrane, cytosoles (SV-C-3) Modalités de contrôle de l'expression des génomes (SV-D-3) Rôles des facteurs paracrines dans le développement du membre (SV-F-2) et la différenciation de la cellule musculaire striée (SV-F-3) Contrôles de l'activité cardiaque et contrôles de la vasomotricité (SV-G-1)</p>	

SV-H Populations et écosystèmes (TB 2)

Dans cette partie, les populations sont appréhendées sous l'angle de la dynamique des populations. L'aspect évolutif est développé dans la partie évolution et phylogénie. Le concept d'écosystème est abordé à partir de l'exemple de la prairie pâturée en zone tempérée, exemple qui sera complété, pour certains aspects, par celui de l'écosystème forestier tempéré. L'exemple de la pâture permet de définir l'organisation d'un écosystème et de montrer son fonctionnement, tout en prenant en compte l'importance des interventions humaines (« agroécosystème »). Cette partie met en place un canevas général d'analyse de la structure et du fonctionnement des écosystèmes et s'appuie sur la partie « sols » (étudiée en première année) et des exemples d'organismes présents dans ces écosystèmes et vus ailleurs dans le programme. Les concepts d'écologie sont également mobilisés dans les parties de biogéosciences (les grands cycles biogéochimiques, le sol et le climat de la Terre).

Savoirs visés

Capacités exigibles

SV-H-1 Les populations et leur démographie

Les organismes sont regroupés en populations dont les effectifs varient au cours du temps, selon les paramètres démographiques.
L'effectif d'une population fluctue sous l'effet de facteurs variés dont les facteurs du biotope et les facteurs intrinsèques à la population.
La capacité biotique correspond à l'effectif maximal que peut soutenir un milieu.
La variation d'effectif d'une population peut être approchée par des modèles mathématiques simples : croissance exponentielle et croissance logistique.
Une métapopulation correspond à un ensemble de populations connectées. Les migrations font varier les effectifs des populations.
Les relations interspécifiques sont également responsables de variations des effectifs des populations.

- Analyser des données de variations d'effectifs de populations sous l'effet de facteurs indépendants de la densité (facteurs du biotope), et dépendants de la densité (cas de la densité-dépendance avec compétition intraspécifique).
- Modéliser les variations d'effectifs dans le cas d'une croissance exponentielle et d'une croissance logistique (modélisation numérique) et discuter des limites de ces modèles.
- Discuter dans le cadre du modèle logistique des stratégies démographiques r et K .
- Analyser les effets des relations interspécifiques sur les effectifs des populations dans le cas de la prédation et les modéliser (modèle de Lotka-Volterra).

Précisions et limites :

Les stratégies démographiques r et K sont présentées comme les produits d'une sélection exercée par l'environnement (on peut parler également de sélection r et sélection K) sur les caractères impliqués dans la démographie des populations. Un lien pourra être fait avec les paramètres de la croissance bactérienne. Le taux de croissance bactérienne μ , γ est préféré à r pour son utilité dans le cadre des Biotechnologies et de l'industrie ; l'évolution de μ au cours d'un suivi de croissance bactérienne est comparable à l'évolution de r dans le cadre de la densité dépendance.

Les modèles à mémoriser sont ceux de la croissance exponentielle et de la croissance logistique. Le formalisme mathématique du modèle de prédation de Lotka-Volterra n'est pas à mémoriser.

Liens :

Reproduction des organismes et effectifs des populations (SV-E)
Relations interspécifiques (SV-H- 2-2)
Dynamique des écosystèmes (SV-H-2-4)
Valeur sélective ; forces évolutives (SV-I-1)
Activités de terrain
Mathématiques – informatique
Biotechnologie : croissance des microorganismes (3.3.3) ; Les enzymes, des biomolécules présentant une activité catalytique (2.2)

SV-H-2 Les écosystèmes : structure, fonctionnement et dynamique

SV-H-2-1 Organisation des écosystèmes

L'écosystème est un ensemble circonscrit par un observateur/expérimentateur.
La biocénose et le biotope sont les composants de l'écosystème.

- Présenter la notion de richesse spécifique à partir de l'exemple de la prairie pâturée.
- Présenter la notion de groupe fonctionnel dans le cas des végétaux de la prairie.

<p>La biocénose comprend l'ensemble des populations des différentes espèces, y compris microbiennes. Elle comporte une diversité intraspécifique, une diversité interspécifique et une diversité de groupes fonctionnels. La richesse spécifique est une mesure du nombre d'espèces. Il existe des indices de biodiversité tenant compte de l'abondance et de l'équitabilité des différentes espèces. Les organismes ingénieurs sont des espèces qui construisent le milieu et / ou modifient l'habitat pour d'autres espèces. La distribution spatiale des composants de l'écosystème détermine sa structure.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole d'étude de la diversité spécifique sur le terrain adapté aux groupes biologiques étudiés incluant une réflexion sur l'exhaustivité et la représentativité de l'échantillonnage (aire minimale, courbe de saturation). - Caractériser une structuration spatiale de l'écosystème sur le terrain (cas de la structuration verticale dans l'écosystème forestier).
<p>Précisions et limites : <i>Aucune formule d'indices de biodiversité n'est exigible : elles sont fournies aux étudiants pour calculer ces indices et interpréter les valeurs des indices dans un contexte donné.</i> <i>Les activités de terrain gagneront à croiser Biotechnologies et SVT.</i></p>	
<p>Liens : Biodiversité dans les sols (BG-B-1) Stratégies r et K (SV-H-1) Diversité génétique (SV-D-1) Biodiversité des sols (BG-B-1-1) Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3) Activités de terrain</p>	
<p>SV-H-2-2 – Diversité des relations interspécifiques et conséquences sur la structure de l'écosystème</p>	
<p>Au sein de l'écosystème, les espèces entretiennent entre elles des relations variées qui affectent la valeur sélective (<i>fitness</i>) des organismes et la structure de leur population : mutualisme, parasitisme / prédation / phytophagie, compétition, commensalisme, amensalisme. La typologie des relations interspécifiques présente des cas limites qui, pour un couple d'espèce donné, peuvent dépendre du stade et du contexte écologique. Ces relations interspécifiques modifient la niche écologique potentielle en une niche écologique réalisée. Les espèces clefs de voûtes sont celles dont la disparition conduit à des modifications importantes de la structure des écosystèmes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Discuter de la catégorisation des relations interspécifiques et de leurs limites. - Caractériser des interactions parasitaires, compétitives ou mutualistes. - Analyser sur le terrain et/ou en TP le réseau des diverses relations interspécifiques centré sur un organisme (l'arbre) : épiphytes (dont lichens), parasites, phytophages, organismes mutualistes (dont symbiotiques), compétiteurs. - Décrire et relier les interactions interspécifiques à la dynamique d'une population et à la délimitation de sa niche écologique réalisée à partir de sa niche écologique potentielle (en particulier dans le cas de l'effet Janzen-Connell sur la végétation). - Expliquer le rôle des bovins, espèce clef de voûte, dans l'entretien d'un milieu ouvert prairial.
<p>Précisions et limites : <i>Les relations interspécifiques sont soutenues par un seul exemple à chaque fois vu ailleurs dans le programme.</i> <i>La symbiose est envisagée comme un cas de relation mutualiste. Dans une définition basée sur la valeur sélective, la prédation (s.l.) et le parasitisme sont (selon les auteurs) des cas particuliers l'un de l'autre.</i></p>	
<p>Liens : Regards sur un organisme Métazoaire : un bovidé (SV-A-1) Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée (SV-A-2) Implications des nodosités fixatrices d'azote et mycorhizes dans la nutrition des Angiospermes (SV-B-2) Importance des relations mutualistes dans la pollinisation et la dissémination chez les angiospermes (SV-G-1) Effectif des populations (SV-H-1) Interactions trophiques (SV-H-2-3) Biodiversité fonctionnelle des sols (BG-B-1-1) Activités de terrain Biotechnologies : microorganismes chimiotrophes et phototrophes autotrophes (3.2.2 & 3.2.3) ; écologie microbienne (3.2.4)</p>	

SV-H-2-3 Fonctionnement des écosystèmes	
<p>Les interactions trophiques constituent des chaînes trophiques où les producteurs primaires et les consommateurs constituent des niveaux trophiques. Tous les consommateurs (y compris microbiens) effectuent une décomposition et une minéralisation. La production primaire est réalisée par les organismes photolithotrophes et chimiolithotrophes. Le fonctionnement des chaînes trophiques peut être représenté quantitativement par des pyramides (biomasse et énergie).</p> <p>Dans le système herbe-vache, la symbiose avec les micro-organismes et l'utilisation croisée des déchets des partenaires augmentent le rendement entre échelons trophiques.</p> <p>Les chaînes trophiques se structurent en réseaux trophiques.</p> <p>Au sein des réseaux trophiques, il existe des régulations des effectifs de leurs maillons de façon descendante (<i>top-down</i>) ou ascendante (<i>bottom-up</i>).</p> <p>La productivité définie comme la production divisée par la biomasse du producteur, varie selon l'écosystème.</p> <p>Le fonctionnement de ces réseaux contribue au recyclage de la biomasse.</p> <p>L'écosystème est un système ouvert. Le fonctionnement de l'écosystème repose sur un flux de matière et d'énergie (issue du Soleil ou de réactions chimiques).</p> <p>Des processus biologiques réalisent à l'échelle de l'écosystème des fonctions écologiques dont l'humanité tire bénéfice (notion de services écosystémiques).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractériser, pour chaque niveau trophique, la production de biomasse et comparer, pour chaque niveau, les productions (primaire, secondaire, etc.) et les rendements (pertes associées aux transferts entre niveaux trophiques). - Discuter de la place de la vache (un ruminant) dans les pyramides de production (en biomasse et énergie). - Comparer les productivités dans les cas de la pâture et de la forêt. - Montrer l'influence de paramètres abiotiques sur la production primaire (cas des paramètres climatiques et influence des fertilisants dans les sols exclusivement). - Discuter le rôle des décomposeurs et des chimiolithotrophes (cas de la nitrification) dans le recyclage des ressources minérales. - Estimer le flux d'énergie dans un écosystème. - Relier la production primaire et l'utilisation de l'énergie issue du Soleil (phototrophie) ou de réactions chimiques (chimiolithotrophie). - Établir un bilan quantitatif (matière et énergie) des exportations / importations d'une pâture les informations étant fournies.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>Les notions de décomposition et minéralisation déjà présentées dans la partie sur les sols (BG-B) sont ici réinvesties au service de la notion de recyclage.</i></p> <p><i>Les ordres de grandeur des importations et des exportations, des productions, sont discutés sans être exigibles.</i></p> <p><i>La notion de service écosystémique déjà présentée dans la partie « Les Sols » (en TB1) au travers de deux exemples est élargie sans qu'il soit nécessaire de retenir de nouveaux exemples</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Regards sur un organisme Métazoaire : un bovidé (SV-A-1)</p> <p>Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée (SV-A-2)</p> <p>Types trophiques des organismes unicellulaires (SV-A-3)</p> <p>Biodiversité fonctionnelle dans les sols (BG-B-1-1)</p> <p>Les enjeux de la gestion des sols (BG-B-2)</p> <p>Cycle du C (BG-A-1) ; cycle de l'azote (BG-A-2)</p> <p>Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)</p> <p>Biotechnologies : écologie microbienne (3.2.4)</p>	
SV-H-2-4 Dynamique des écosystèmes	
<p>Les écosystèmes sont des systèmes dynamiques dans leur structure et leur fonctionnement.</p> <p>Des perturbations abiotiques ou biotiques (dont les perturbations anthropiques) peuvent faire évoluer leur structure et leur fonctionnement.</p> <p>La stabilité d'un écosystème est définie par sa résistance et sa résilience.</p> <p>La résistance d'un écosystème est sa capacité à maintenir son état initial suite à une perturbation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Illustrer la notion de perturbation (fréquence, intensité). - Montrer, à partir de bilans qualitatifs et quantitatifs fournis, que des perturbations d'origine biotique ou abiotique peuvent modifier la structure et le fonctionnement de l'écosystème. - Expliquer le rôle de la facilitation écologique et de la compétition interspécifique dans une dynamique de végétation sur l'exemple de l'éclaircissement dans la transition vers la forêt (climax).

<p>La résilience d'un écosystème est sa capacité à revenir à son état initial après avoir subi une perturbation.</p> <p>Des successions écologiques sont observables après des perturbations.</p> <p>La gestion des écosystèmes nécessite d'intégrer leurs dynamiques suite à des perturbations.</p>	
<p>Précisions et limites :</p> <p>Aucun exemple de gestion d'un écosystème n'est à mémoriser.</p> <p>Le climax est un état d'équilibre dynamique vers lequel tend spontanément un écosystème, qui peut varier sur le long terme.</p> <p>L'étude des successions écologiques est l'occasion de réinvestir et prolonger des notions abordées dans la partie « les sols » : la pédogénèse accompagne la succession des peuplements végétaux ; des microorganismes du sol sont impliqués dans des processus de facilitation écologique.</p>	
<p>Liens :</p> <p>Effectif des populations (SV-H-1)</p> <p>Le sol, un ensemble dynamique (BG-B-1-3)</p> <p>Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)</p> <p>Biotechnologies : écologie microbienne (3.2.4)</p>	

<p>SV-I Évolution et phylogénie (TB 1 et TB 2)</p>	
<p>La diversité du vivant est le résultat d'une histoire évolutive et est en devenir permanent. Il s'agit ici de comprendre les mécanismes de l'évolution, à la lumière de la théorie synthétique de l'évolution, qui expliquent l'origine de la diversité génétique au sein des populations et des espèces, mais aussi la diversité des espèces.</p> <p>Le regroupement des organismes selon leur degré de parenté conduit à la production de classifications phylogénétiques. La phylogénie permet de proposer des scénarios évolutifs qu'il s'agisse de l'histoire des taxons ou de l'histoire de caractères au sein de plusieurs taxons. En première année, l'objectif est de savoir lire et interpréter des arbres phylogénétiques. En seconde année, l'objectif est de comprendre les principes d'établissement des phylogénies et de construire des scénarios évolutifs à l'échelle de l'arbre du vivant. Cette partie permet aussi aux étudiants de prendre du recul sur l'évolution biologique, qui constitue un fil rouge des programmes, et qui vise à dépasser des obstacles épistémologiques. Il s'agit notamment de dépasser une pensée finaliste en mobilisant un raisonnement sélectif darwinien et en laissant sa place au hasard. On évite aussi toute forme de fixisme (il n'y a ni fossile vivant, ni organisme primitif, ni pérennité de l'espèce).</p>	
Savoirs visés	Capacités exigibles
<p>SV-I-1 Les mécanismes de l'évolution (TB 2)</p>	
<p>Les espèces, formées de populations plus ou moins connectées entre elles, peuvent être étudiées comme des ensembles d'allèles.</p> <p>Chez les organismes diploïdes, l'hétérozygotie est plus ou moins maintenue selon le régime de reproduction (asexué ou sexué plus ou moins panmixique).</p> <p>Le polymorphisme existant dans les populations est affecté par les mutations, la migration, la sélection et la dérive.</p> <p>Le modèle de Hardy-Weinberg (modèle par défaut ou modèle nul) permet de caractériser les écarts à l'équilibre attendu en panmixie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les conséquences génétiques de la reproduction sexuée <i>versus</i> asexuée. - Comparer les conséquences génétiques de l'homogamie et de l'hétérogamie. - Comparer des données acquises par l'observation ou issues de publications aux proportions attendues d'après le modèle de Hardy-Weinberg et les interpréter.
<p>Précisions et limites :</p> <p>Les conséquences génétiques de l'hétérogamie sont étudiées pour le locus S des Angiospermes. Les tests statistiques vus en mathématiques peuvent être remobilisés en génétique des populations.</p>	
<p>Les mécanismes de l'évolution peuvent être étudiés par différentes approches, dont l'évolution expérimentale.</p> <p>Les mutations sont aléatoires et engendrent du polymorphisme dans une population. Les flux</p>	

<p>migratoires peuvent augmenter ou réduire le polymorphisme d'une population.</p> <p>La sélection est un processus majeur de reproduction différentielle où la valeur sélective (<i>fitness</i>) se mesure au nombre de descendants viables et fertiles produits. La valeur sélective d'un trait génétique dépend de l'environnement ; elle diminue parfois la valeur sélective d'autres traits (compromis évolutif). La sélection exerce un tri orienté de la diversité génétique, mais peut aussi entretenir un polymorphisme dans certains cas. Elle est soumise à la composante aléatoire de l'environnement.</p> <p>La dérive génétique réalise un tri aléatoire des allèles d'une génération à l'autre. Son intensité dépend de la taille des populations.</p> <p>La dérive agit sur tous les traits mais agit seule sur les traits neutres.</p> <p>La biodiversité actuelle est donc le résultat des différentes forces évolutives : mutation, migration, sélection et dérive.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Argumenter la notion de compromis évolutif à partir de l'exemple des caractères potentiellement handicapants des mâles. - Comparer sélection directionnelle et sélection balancée. - Exploiter des données pour déterminer une modalité de sélection sur des traits quantitatifs. - Discuter de facteurs de sélection et de la valeur sélective d'un trait de caractère à partir de documents fournis. - Modéliser, à l'aide d'un logiciel, des cas de sélection ou de dérive afin d'expliquer l'évolution d'une population. - Distinguer les effectifs efficace et total d'une population dans l'intensité de la dérive. - Identifier l'importance du hasard dans l'évolution (exemple des crises).
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>On peut s'appuyer notamment sur les expériences historiques de Luria et Delbrück (1948) et de Buri (1956) pour argumenter respectivement le caractère aléatoire des mutations et la dérive. La sélection balancée est construite sur l'exemple du locus S des Angiospermes ou de la proportion des mâles et des femelles afin de s'appuyer sur un exemple où seule la sélection intervient dans le maintien du polymorphisme.</i></p> <p><i>Pour la dérive génétique, on s'appuie sur un exemple d'effet fondateur.</i></p>	
<p>L'espèce, qui joue un grand rôle dans la description de la biodiversité observée, est un concept élaboré par l'être humain.</p> <p>Chez les Eucaryotes, les isolements reproducteurs conduisant à des isolements génétiques permettent de définir des espèces biologiques.</p> <p>L'isolement reproducteur conduit à la formation d'espèces (ou spéciation) par différentes modalités : allopatrique ou sympatrique.</p> <p>Néanmoins, les transferts horizontaux et les hybridations (qui induisent des introgressions) sont des limites à ces isolements. Ces phénomènes entraînent une évolution réticulée du vivant.</p> <p>Les espèces et les populations ne sont pas pérennes car elles sont constituées d'individus qui varient et sont soumis à la sélection et la dérive ; de plus elles peuvent s'éteindre.</p> <p>Sous l'effet de relations interspécifiques, les espèces sont en évolution permanente ou s'éteignent (théorie de la Reine Rouge) : c'est la coévolution, qui peut s'accompagner de cospéciation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Discuter différentes définitions de l'espèce, leurs contextes d'usage et leurs limites (définitions biologique, phénotypique, écologique, phylogénétique, ...). - Exploiter des données scientifiques démontrant des cas de spéciation. <ul style="list-style-type: none"> - Argumenter la coévolution entre deux espèces pour un cas déterminé (plante-pollinisateur, hôte-parasite)
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>On étudiera un cas de spéciation allopatrique et un cas de spéciation sympatrique.</i></p> <p><i>La coévolution plante-pollinisateur peut s'appuyer utilement sur les analyses florales conduites en travaux pratiques.</i></p> <p><i>On prendra soin de discuter du concept d'espèces chez les Eucaryotes et les bactéries en lien avec l'enseignement de Biotechnologies.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Notions d'adaptation, de convergences et de régressions évolutives (SV-B-3-3)</p> <p>Diversité génétique, mutations, brassages génétiques et transferts horizontaux de gènes (SV-D-4)</p> <p>Variation d'effectif des populations (SV-H-1)</p> <p>Biocénose et diversité ; richesse spécifique (SV-H-2-1)</p> <p>Relations interspécifiques (SV-H-2-2)</p>	

Phylogénie et biodiversité (SV-I-2-1) Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)	
SV-I-2 Une approche phylogénétique de la biodiversité (TB 1 et TB 2)	
SV-I-2-1 Lire et interpréter un arbre phylogénétique (TB 1)	
<p>Plusieurs types de classification existent en biologie selon les objectifs poursuivis : utilitaire, fonctionnel (écologique, physiologique), phylogénétique. Elles s'appuient sur différents caractères : fonctionnels, morphologiques, anatomiques, embryologiques (pour les pluricellulaires), biochimiques ou moléculaires (en plein essor grâce aux outils de la biologie moléculaire et de la bioinformatique).</p> <p>Les classifications post-darwiniennes cherchent à refléter les parentés évolutives. Les classifications utilisent la ressemblance de caractères entre taxons, qui peut être due à des homoplasies (dont les convergences) ou à des homologies (caractère hérité d'un ancêtre commun). Les caractères présentent différents états, primitifs ou dérivés, utilisés pour établir des parentés entre taxons.</p> <p>Les classifications dites évolutionnistes ne renaient que les homologies mais acceptaient les groupes paraphylétiques ; elles ne sont plus utilisées en taxonomie. Les classifications phylogénétiques (ou cladistiques) ne retiennent que les ressemblances particulières à une partie des organismes à classer (ce sont les synapomorphies, ou caractères partagés à l'état dérivé) : elles définissent des groupes monophylétiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer classification (utilisée pour la création des taxons) et tri (par exemple pour la détermination des individus). - Mettre en relation la topologie d'un arbre phylogénétique (branches, nœuds, feuilles, racine) et les concepts sous-jacents (concept d'ancêtre commun, de groupes frères, principe de libre rotation des branches). - Distinguer sur un arbre phylogénétique des groupes mono-, para- et polyphylétiques. - Identifier les synapomorphies, les symplesiomorphies et les convergences sur un arbre phylogénétique. - Argumenter l'histoire évolutive d'un caractère à partir de l'analyse d'arbre.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>On distingue des groupes phylogénétiques des groupes fonctionnels (écologiques, physiologiques) mais polyphylétiques vus dans les autres parties du programme et lors des sorties. Les exemples étudiés sont choisis parmi ceux travaillés dans les autres thèmes du programme de SVT, en particulier lors des séances d'anatomie fonctionnelle et du programme de Biotechnologies.</i></p> <p><i>Il s'agit de lire un arbre à partir de données fournies et non de construire un arbre en autonomie. Les fondements de la polarisation sont étudiés en TB 2.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Regards sur les organismes (SV-A)</p> <p>Organisation des génomes et techniques de biologie moléculaires (SV-D)</p>	
SV-I-2-2 Construire un arbre phylogénétique (TB 2)	
<p>L'établissement d'une phylogénie repose sur l'exploitation d'un jeu de caractères sous différents états pour un ensemble de taxons. Un nombre fini d'arbres est obtenu récapitulant toutes les transformations possibles. On détermine l'arbre le plus probable selon différentes approches.</p> <p>Le principe de parcimonie retient l'arbre qui minimise le nombre d'événements évolutifs indépendants. D'autres approches se fondent sur des modèles probabilistes (fixant les probabilités des changements évolutifs) pour déterminer le ou les arbres le(s) plus probable(s) selon le modèle choisi (comme l'approche du maximum de vraisemblance). Les arbres retenus par ces méthodes permettent de distinguer les homologies des homoplasies et de déterminer les états primitifs et dérivés de chaque caractère.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Argumenter la validité ou non de certains groupes en phylogénie et discuter le maintien d'usage de certains groupes para- ou polyphylétique selon le domaine de validité (ex. phylogénie, écologie, vie quotidienne), en l'appliquant à des groupes étudiés en biotechnologies. - Construire une phylogénie par parcimonie (cladogramme) à partir d'un jeu de taxons et de caractères fournis (chez les Métazoaires ou les Embryophytes). - Polariser des caractères à l'aide de différents arguments (extra-groupe, embryologie, fossiles). - Discuter le caractère provisoire d'une phylogénie en fonction du jeu de caractères, de taxons utilisés et de l'évolution des méthodes.

Précisions et limites

On se contente de mentionner l'existence de méthodes probabilistes. Aucune méthode de calcul ou test statistique n'est au programme.

L'étude de la phylogénie est l'occasion de conduire une réflexion d'ordre épistémologique sur la nature des savoirs scientifiques et leur élaboration. Il s'agit notamment d'accéder au caractère provisoire et réfutable des savoirs scientifiques (évolution des phylogénies au cours de l'histoire des sciences), à l'ancrage théorique des savoirs scientifiques (notamment dans la relation entre classification et théorie de l'évolution), à leur dépendance aux techniques d'étude du réel (développement d'outils bioinformatiques, moléculaires, etc.).

SV-I-2-3 Analyser des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs (TB 2)

Plusieurs arbres du vivant se sont succédés depuis les premières classifications phylogénétiques avec l'enrichissement des données sur la biodiversité et l'évolution des technologies moléculaires. Les virus ne sont pas placés dans l'arbre du vivant. L'arbre du vivant illustre la divergence évolutive, la possibilité d'évolution régressive et l'homoplasie (convergence et réversion). C'est le cas par exemple pour la possession de plastes et l'état pluricellulaire. Certains groupes définis par leurs ressemblances écologiques témoignent d'une convergence évolutive, comme les végétaux (au sens des organismes réalisant la photosynthèse oxygénique), les algues. La confrontation d'arbres phylogénétiques peut révéler des coévolutions et/ou cospéciations.

- Identifier un transfert horizontal de gène comme une différence de topologie (incongruence) entre les arbres phylogénétiques basés sur ce gène et sur d'autres gènes.
- Argumenter l'absence des virus dans l'arbre du vivant.
- Argumenter que l'évolution ne peut pas être présentée en termes de « progrès », qu'elle peut être simplificatrice, et qu'elle n'a ni direction, ni but.
- Identifier sur un arbre l'acquisition multiple de l'état pluricellulaire et les réversions de cet état (ex. des levures).
- Exploiter des données afin de discuter l'histoire évolutive d'un groupe, les données et les arbres phylogénétiques étant fournies.
- Argumenter la théorie endosymbiotique des plastes ainsi que les endosymbioses primaires et secondaires des plastes.
- Identifier et expliquer des convergences évolutives.
- Réaliser des observations macroscopiques et microscopiques, avec ou sans coloration, afin de mettre en évidence des caractères des algues en relation avec une analyse phylogénétique.
- Exploiter des données biochimiques et des clichés de microscopie électronique d'algues et d'organismes unicellulaires pour discuter leur place dans l'arbre phylogénétique ou la signification évolutive d'un de leurs caractères.

Précisions et limites :

Cette partie s'appuie sur les organismes vus par ailleurs dans le programme, au cours des travaux pratiques et des sorties. L'arbre du vivant avec ses trois grands domaines (Archées, Bactéries et Eucaryotes) permet de remettre en cause le groupe des procaryotes.

Les endosymbioses primaires et secondaires sont étudiées à partir de l'exemple des algues hétérocontes (algues brunes et diatomées) et des Archéoplastidés (ou Lignée verte).

Concernant la pluricellularité, on ne présentera pas de scénarios sur les modalités d'acquisition ou de réversion.

La diversité des algues est abordée notamment en travaux pratiques avec les exemples des algues unicellulaires (diatomées, Chlamydomonas sp.), filamenteuses (Antithamnion ou Polysiphonia), en lame (Ulva) et à thalle ramifié/complexe (Fucus).

La diversité des unicellulaires est aussi illustrée avec les exemples vus en Biotechnologies.

Liens :

Regards sur les organismes (SV-A)

Diversité génétique (SV-D-4)

Homologie ; Convergence et régression évolutives (SV-A ; SV-B ; SV-I-1 ; SV-I-2)

Biotechnologies : le monde microbien : unité et diversité (3.1)

Synthèse des séances de travaux pratiques de la thématique « Sciences de la vie »

	TB 1	TB 2
SV-A L'organisme vivant en interaction avec son environnement	5 séances « organisation fonctionnelle des Métazoaires » (morphologie, anatomie, histologie) : souris, Téléostéen, criquet et moule. 1 séance « morphologie des Angiospermes »	
SV-B Interactions entre les organismes et leur milieu de vie	<ul style="list-style-type: none"> • 2 séances « morphologie et anatomie primaire des Angiospermes » • Activités pratiques sur la respiration en lien avec les 5 séances « organisation fonctionnelle des Métazoaires » (SV-A) 	3 ou 4 séances <ul style="list-style-type: none"> • 2 ou 3 séances « développement et anatomie des structures secondaires ; adaptations des Angiospermes » • 1 séance « développement de l'appareil reproducteur des Angiospermes »
SV-C La cellule dans son environnement	<ul style="list-style-type: none"> • 3 séances « observations microscopiques de tissus et de cellules » 	1 séance « métabolisme et intégration physiologique »
SV-D Génomique structurale et fonctionnelle	3 séances <ul style="list-style-type: none"> • 2 séances « méthodes d'étude des génomes et de leur expression » • 1 séance « divisions cellulaires » • Activités pratiques en lien avec une séance reproduction (SV-E) 	
SV-E Reproduction	4 séances <ul style="list-style-type: none"> • 2 séances « structure, détermination et biologie florale » • 1 séance « dissémination – semences chez les Angiospermes (reproduction sexuée et asexuée) • 1 séance « reproduction chez les Mammifères » (en lien avec la partie génomique SV-D) 	
SV-F Le développement embryonnaire chez les vertébrés		2 séances <ul style="list-style-type: none"> • « Vue d'ensemble du développement embryonnaire (modèle amphibien) » • « Mécanismes cellulaires et moléculaires du développement embryonnaire »
SV-G Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme		2 séances « étude anatomique et histologique du cœur et des vaisseaux (Mammifères) »
SV-H Populations et écosystèmes		3 séances : <ul style="list-style-type: none"> • 1 séance « dynamique des populations » • 2 séances « structure et fonctionnement des écosystèmes »
SV-I Évolution et phylogénie	1 séance « analyse d'arbres phylogénétiques »	4 ou 5 séances : <ul style="list-style-type: none"> • 1 ou 2 séances « génétique des populations et mécanismes de l'évolution » • 1 séance « reconstruction phylogénétique » • 1 ou 2 séances « analyse phylogénétique et scénarios évolutifs »
TOTAL	19 séances	15 à 17 séances

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain.

THÉMATIQUE « BIOGÉOSCIENCES »

BG-A Les grands cycles biogéochimiques (TB 2)

Cette partie traite des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote ainsi que de l'impact des activités humaines sur ces cycles biogéochimiques. La section sur le cycle du carbone est l'occasion de présenter les grandes caractéristiques du cycle biogéochimique d'un élément (réservoir, flux, temps de résidence). La section sur le cycle de l'azote, facteur limitant la croissance des plantes dans la majorité des écosystèmes terrestres, montre l'importance des transformations microbiennes au cours de ce cycle et permet d'aborder la notion de couplage entre cycles biogéochimiques du carbone et l'azote.

Le programme de SVT met l'accent sur le fonctionnement global des cycles biogéochimiques par une approche intégrative et systémique. Le détail des flux biologiques et leurs liens avec les types trophiques sont abordés en Biotechnologies.

Savoirs visés

Capacités exigibles

BG-A-1 Le cycle du carbone

Le carbone se trouve sous différentes formes dans différents réservoirs vivants ou inertes : carbone réduit (biomasse actuelle et fossile), carbone oxydé (CO , CO_2 , carbonates).

Des flux physico-chimiques, géologiques et/ou biotiques relient ces réservoirs. Ces flux correspondent à des conversions (exemple de la photosynthèse et de la respiration) et/ou à des transferts physiques (exemple de la pompe physique du carbone dans l'océan).

Le temps de résidence du carbone diffère selon les réservoirs.

Les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote ont évolué au cours du temps et résultent d'une histoire commune avec la biodiversité.

- Caractériser les principaux réservoirs du carbone : ordre de grandeur de leurs tailles respectives et temps de résidence du carbone dans ces réservoirs.
- Déterminer l'ordre de grandeur de deux échanges annuels dans le cas du CO_2 atmosphérique : échanges avec la biomasse et avec l'océan.
- Représenter schématiquement le cycle biogéochimique du carbone.
- Identifier le rôle des organismes vivants dans l'altération des roches et comment cette altération participe à la précipitation de carbonates.
- Expliquer le rôle de l'altération des silicates dans le piégeage du carbone.
- Argumenter sur l'existence de sous-cycles lents et rapides dans le cycle du carbone.
- Identifier les temps de résidence respectifs du CO_2 et du CH_4 dans l'atmosphère et leur effet dans la perturbation éventuelle du cycle.

Précisions et limites :

Les cycles étant déjà abordés au lycée, on peut remobiliser ici le cycle du carbone et le préciser dans les aspects quantitatifs et dans la diversité des mécanismes impliqués aux différentes échelles de temps.

Liens :

Minéralisation et cycle de l'azote (BG-A-2)

Minéralisation et humification dans les sols (BG-B-1-1)

Réchauffement climatique (BG-C-3)

Formation des roches carbonatées (ST-E-2)

Biotechnologies : lien avec cycle de Calvin-Benson, bactéries méthanogènes (3.2.3) ; microorganismes chimiotrophes (3.2.2) ; écologie microbienne (3.2.4)

BG-A-2 Le cycle de l'azote

L'azote existe sous des formes organiques et minérales. Il se trouve sous différentes formes minérales en solution (dont l'ammonium NH_4^+ , le nitrate NO_3^-) et dans l'atmosphère (dont l'oxyde nitreux N_2O , le diazote N_2).

Les flux biotiques ont une place prépondérante dans le cycle de l'azote. De nombreuses étapes du cycle de l'azote sont purement microbiennes.

- Identifier les flux entre les différentes formes azotées (parmi lesquels l'ammonification, la nitrification, la dénitrification, la fixation du N_2 atmosphérique et l'assimilation de l'azote).
- Représenter schématiquement le cycle biogéochimique de l'azote.
- Réaliser une préparation microscopique de nodosités et / ou de Nostoc et expliquer leur rôle dans le cycle de l'azote.
- Expliquer le couplage entre le cycle du carbone et celui de l'azote dans le cas de la minéralisation de la matière

<p>L'oxyde nitreux (N₂O) est un gaz à effet de serre qui est produit par les processus microbiens de nitrification et de dénitrification.</p> <p>La matière organique comporte du carbone et de l'azote, sa minéralisation implique un couplage entre le cycle du carbone et le cycle de l'azote.</p>	<p>organique dans les sols (rapport C/N de la matière organique).</p> <p>- Relier le potentiel de minéralisation aux caractéristiques biotiques et abiotiques du sol.</p>
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>Seuls les flux précisés dans la colonne capacités exigibles doivent être connus.</i></p> <p><i>Les flux d'origine microbienne sont étudiés en Biotechnologies.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Fixation d'azote par les Fabacées (SV-B-2)</p> <p>Minéralisation et humification dans les sols (BG-B-1)</p> <p>Réchauffement climatique (BG-C-3)</p> <p>Biotechnologies : microorganismes chimiotrophes (3.2.2) ; écologie microbienne (3.2.4)</p>	
<p>BG-A-3 Impacts des activités humaines sur les cycles biogéochimiques</p>	
<p>Les activités humaines modifient le fonctionnement des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote.</p> <p>Les émissions anthropiques de CO₂ conduisent à une perturbation du cycle du carbone.</p> <p>Les activités humaines conduisent à une accumulation de composés azotés réactifs dans l'environnement.</p>	<p>- Identifier l'origine et le devenir du CO₂ émis par les activités humaines.</p> <p>- Identifier le devenir des engrais azotés, agents de fertilisation et d'eutrophisation des écosystèmes.</p>
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques permet de présenter les couplages entre écosystèmes terrestres et aquatiques, elle est illustrée à partir de l'exemple des marées vertes sans entrer dans le détail des processus impliqués.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Azote, facteur limitant de la nutrition minérale des Angiospermes (SV-B-2)</p> <p>Impact des activités anthropiques sur les sols (BG-B-2)</p> <p>Réchauffement climatique et gaz à effet de serre (BG-C-3)</p> <p>Dynamique des écosystèmes (SV-H-2)</p>	

<p>BG-B Les sols (TB 1)</p>	
<p>Le sol est un système étudié en interface entre sciences de la vie et sciences de la Terre, de façon à comprendre un objet structurant la biosphère. Sa présentation, en lien avec les services écosystémiques qu'il délivre, met en exergue les raisons scientifiques qui en font un patrimoine à préserver. Dans cette partie, les différentes composantes du sol sont présentées avec une approche fonctionnelle et intégrative, en explicitant le rôle des organismes dans les processus. Les exemples et les mécanismes, exclusivement en régions tempérées, sont pris sur les sols bruns et leur devenir, les sols bruns lessivés. L'étude des sols s'appuie sur les connaissances en sciences de la Terre et en nutrition végétale, elle constitue une première approche des systèmes complexes impliquant plusieurs paramètres environnementaux qui seront approfondis en deuxième année dans les parties traitant de l'écologie, des cycles biogéochimiques et du climat.</p>	
<p>Savoirs visés</p>	<p>Capacités exigibles</p>
<p>BG-B-1 Le sol : une interface vivante entre lithosphère et atmosphère</p>	
<p>BG-B-1-1 La phase solide des sols</p>	
<p>Le sol constitue l'interface entre l'hydrosphère et l'atmosphère, d'une part, et la lithosphère d'autre part.</p> <p>Le sol est constitué des produits de l'altération de la roche mère ainsi que de l'évolution de la litière, incluant décomposition, minéralisation de la matière organique et humification.</p> <p>Le sol comporte des organismes variés, liés notamment par un flux de matière et d'énergie au</p>	<p>- Décrire le profil d'un sol brun et ses horizons, en les reliant aux processus qui les mettent en place, par exemple à l'aide de documents photographiques ou de profils réalisés sur le terrain.</p> <p>- Expliquer les différences de dégradabilité de la matière organique (lignine, rapport C/N).</p> <p>- Quantifier la part relative des composantes minérale et organique du sol.</p>

<p>cours des relations trophiques au sein d'un réseau trophique. Leur grande biodiversité, macro- et microscopique, est aussi fonctionnelle : elle participe à la décomposition et la minéralisation de la matière organique ainsi qu'à l'altération de la roche mère. Le sol se subdivise en horizons différant par leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. D'un point de vue granulométrique, le sol comporte des argiles (aux propriétés colloïdales), des limons et des sables.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expliquer le rôle des organismes du sol dans les processus de décomposition, humification et minéralisation de la matière organique. - Expliquer que l'évolution de la litière dépend de caractéristiques biotiques et abiotiques. - Identifier à partir d'une clef de détermination les constituant de la biocénose du sol (micro, méso et macrofaune). - Construire un réseau trophique à partir d'observations et d'autres données, en faisant le lien avec le processus de minéralisation et le flux de matière étudiés en Biotechnologies. - Expliquer le rôle des biofilms dans l'altération de la roche mère. - Déterminer la granulométrie d'un sol. - Discuter des rôles des argiles, limons et sable : rétention de cations, rétention de l'eau, aération du sol. - Identifier le complexe argilo-humique et son rôle d'adsorbant ionique.
<p>Précisions et limites : <i>Ici, l'étude porte sur l'exemple du sol brun (ou brunisol). La terminologie des sols utilisée est simplifiée par rapport aux usages actuels des pédologues.</i> <i>On se limite à nommer les horizons par leur nature : organique, organo-minérale, roche mère altérée et roche mère (ou substrat) dans la description du sol.</i> <i>Les processus impliqués dans la formation des différentes formes d'azote présentes dans le sol seront étudiés en TB2 dans les parties traitant de l'écologie et des cycles biogéochimiques. Les activités de terrain gagneront à croiser SVT et biotechnologies.</i> <i>L'étude des flux de matière et d'énergie sont approfondis en seconde année.</i></p>	
<p>Liens : Biotope et biocénose d'un écosystème (SV-H-2) Cycles biogéochimiques du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2) Les facteurs d'altération (ST-B-1-1). Biotechnologies : diversité des métabolismes microbiens, un intérêt écologique (3.2) Physique-chimie : solutés (4.2)</p>	
<p>BG-B-1-2 Les phases fluides des sols</p>	
<p>Outre la phase solide, un sol possède une phase liquide, qui alimente les êtres vivants du sol, et une phase gazeuse, issue de l'atmosphère et de l'activité des êtres vivants. Certains gaz libérés par l'activité biologique du sol (CO₂, CH₄) sont des gaz à effet de serre.</p> <p>La structure, la granulométrie et la vie du sol déterminent sa porosité selon la possibilité d'une rétention capillaire.</p> <p>Le sol retient de l'eau, dont une partie est utilisable par les plantes. La solution du sol peut échanger avec le complexe argilo-humique des cations, disponibles pour les plantes.</p> <p>La teneur en eau à saturation est la teneur en eau maximale du sol. La capacité au champ est la capacité de rétention au point de ressuyage. La réserve utile en eau d'un sol est la quantité d'eau que la plante peut utiliser (différence entre la teneur en eau à la capacité au champ et la teneur en eau au point de flétrissement permanent).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des données permettant d'expliquer la composition et l'origine de la solution du sol et de l'atmosphère du sol. - Mesurer la porosité et le pH d'un sol. - Mettre en évidence la capacité d'échange cationique (CEC) avec un chromophore chargé (par exemple le bleu de méthylène et l'éosine).

<p>Le sol est un système ouvert réalisant des échanges avec l'atmosphère (exemple des gaz) et l'hydrosphère (exemple des nutriments).</p>	
<p>Précisions et limites : <i>Le bilan hydrique du sol est hors-programme. La fixation de N₂ est illustrée par des bactéries libres ou symbiotiques (Rhizobium).</i></p>	
<p>Liens : Symbiose fixatrice d'azote des Fabacées (SV-A-2) Absorption racinaire des Angiospermes (SV-B-2) Biotechnologies : les microorganismes, des outils biotechnologies (3.3)</p>	
<p>BG-B-1-3 Le sol, un ensemble dynamique</p>	
<p>Un sol se forme par effet conjoint de la végétation et de l'évolution de la roche mère. Les composants du sol se déplacent notamment par diffusion, gravité et par bioturbation. La pédogenèse résulte d'interactions dynamiques croisées entre le sol et la végétation. Elle conduit à un état d'équilibre dynamique appelé pédoclimax (sol brun lessivé sous forêt caducifoliée dans les régions de France métropolitaine). Un sol se développe lorsque l'érosion est inférieure à la genèse par altération. Tous les sols sont naturellement soumis à l'érosion, d'intensité variable selon la topographie et le climat, mais la végétation peut limiter le phénomène. La dynamique globale d'un sol dépend aussi du climat.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expliquer la bioturbation par la plante et les vers de terre (espèces ingénieurs). - Évaluer l'ordre de grandeur de durée de la pédogenèse d'un sol brun lessivé. - Illustrer des liens réciproques entre nature du sol et végétation (exemple sur une même roche mère, les sols d'une prairie et d'une forêt ont des caractéristiques différentes ; une prairie ne sera pas composée par les mêmes espèces selon les types de sols). - Montrer que la végétation oriente l'évolution du sol en particulier par le biais de la biocénose microbienne du sol. - Exploiter des données montrant qu'un sol est soumis à l'érosion naturelle et caractériser l'effet de la végétation sur l'érosion des sols.
<p>Précisions et limites : <i>On se borne à un sol brun et d'un sol brun lessivé. La présentation du principe général de la pédogenèse se limite à l'évolution de l'apparence et de l'épaisseur du sol, à l'apparition d'horizons, à la brunification et au lessivage.</i></p>	
<p>Liens : Succession écologique et relations interspécifiques (SV-H-2) Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité (BG-C-3-3) Climat et altération des roches (ST-E-1) Érosion et entraînement de matières (ST-B-1-2)</p>	
<p>BG-B-2 Les enjeux de la gestion des sols</p>	
<p>Des processus biologiques ayant lieu dans les sols réalisent des fonctions dont l'humanité tire bénéfice, on parle de services écosystémiques. Les sols sont pourvoyeurs de services écosystémiques, parmi lesquels des services d'approvisionnement (fertilité et support de la production alimentaire) et de régulation liée au climat (stockage de carbone). Les pratiques agricoles ont un impact sur les sols et sur les services écosystémiques qu'ils délivrent. Par ailleurs, d'autres activités humaines conduisent à l'artificialisation des sols et à la perte des services écosystémiques rendus par les sols.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Interpréter des données permettant de quantifier les services écosystémiques rendus par les sols. - Discuter à partir de documents fournis et/ou de mesures des impacts d'une pratique agricole, le labour, sur le sol et les services écosystémiques rendus par les sols (fertilité du sol et support de la production alimentaire, impact sur la biodiversité du sol, érosion et stockage de carbone). - Quantifier l'évolution de la surface des sols artificialisés autour d'une région urbaine.
<p>Précisions et limites : <i>Les services écosystémiques choisis comme exemples sont réutilisés pour illustrer leurs perturbations par les activités humaines dans la partie écologie de seconde année.</i></p>	
<p>Liens : Fonctionnement des écosystèmes (SV-H-2) Eutrophisation des écosystèmes (BG-A-3) Géographie : environnement et milieu.</p>	

BG-C Le climat de la Terre (TB 2)

La compréhension du fonctionnement du système climatique nécessite une première approche des échanges d'énergie au sein des enveloppes externes de la Terre. Cette partie permet d'appréhender ensuite l'importance des circulations atmosphérique et océanique dans la redistribution de l'énergie à la surface du globe, permettant de définir aussi les régions climatiques terrestres.

Les climats du passé sont ensuite abordés en mettant en exergue les méthodes qui permettent de les reconstituer en s'appuyant sur les variations climatiques du quaternaire. La suite de cette partie aborde ensuite le changement climatique en cours, notamment en termes d'augmentation des températures de surface, liés à l'activité humaine, en lien avec les émissions de gaz à effet de serre. Elle s'appuie sur la variété des observations concordantes qui permettent d'établir des scénarios probables pour l'évolution future du climat de notre planète. Les effets de ces changements climatiques sur la biodiversité sont enfin appréhendés en lien avec la température et la disponibilité en eau pour les êtres vivants.

Savoirs visés

Capacités exigibles

BG-C-1 Les enveloppes fluides de la Terre : composition et organisation

L'atmosphère et l'hydrosphère forment les enveloppes fluides de la Terre. Elles présentent une structuration verticale dépendant de la densité.
Certains gaz de l'atmosphère terrestre contribuent à un effet de serre naturel.

- Identifier les caractéristiques des différentes couches de l'atmosphère et de l'hydrosphère.
- Exploiter des données révélant la stratification des enveloppes fluides et les relier à des variations de densité.
- Expliquer à l'aide d'exemple que la densité des enveloppes fluides est liée à la température et/ou à la composition chimique des fluides considérées.

Liens :

Physique-chimie : relier la dissolution du dioxyde de carbone en solution aqueuse aux effets associés (physiologie, environnement) (TB1).

BG-C-2 Les circulations des enveloppes fluides de la Terre

L'inégale répartition de l'énergie solaire reçue par la Terre conduit à une redistribution principalement latitudinale de l'énergie solaire incidente par les mouvements de l'atmosphère et de l'océan.
La circulation de l'atmosphère repose sur l'existence des cellules de convection.
On distingue pour l'atmosphère, principalement une circulation aux latitudes tropicales et une circulation aux latitudes tempérées.
La circulation de surface de l'océan est étroitement couplée au régime des vents et aux gradients thermiques dans l'océan.
La circulation générale de l'océan se caractérise par une circulation méridienne de retournement. Elle résulte, en dehors de l'action des vents de surface, des variations de densité de l'eau de mer liées à sa température et à sa salinité.
Les circulations atmosphériques et océaniques déterminent les climats terrestres, un climat étant défini par les caractéristiques de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période de 30 ans.

- Exploiter les données montrant le bilan entre énergie reçue et énergie émise aux différentes latitudes.
- Identifier les parts respectives de l'océan et de l'atmosphère dans la redistribution de l'énergie à la surface de la Terre.
- Présenter et exploiter un schéma général de la circulation atmosphérique
- Présenter et exploiter un schéma général de la circulation océanique, et ses conséquences sur le cycle du carbone.
- Relier, à grande échelle, la distribution des températures de surface et des précipitations aux grands biomes.

Précisions et limites :

La circulation atmosphérique s'appuie sur l'étude :

- aux latitudes tropicales : des cellules de Hadley (et leur extension) ;
- aux latitudes tempérées : des cellules de Ferrel, des anticyclones.

La formalisation mathématique des mécanismes de la circulation océanique ou atmosphérique n'est pas attendue.

Liens : Carbone et azote atmosphérique dans l'effet de serre (BG-A-1 et BG-A-2).

BG-C-3 Climat et variabilité climatique	
BG-C-3- 1 Marqueurs climatiques et variabilité à longue échelle de temps	
<p>Des archives géologiques et géochimiques permettent de reconstituer des variations passées du climat.</p> <p>Les variations de la teneur en CO₂ et CH₄ et la température sont interdépendantes et mettent en jeu des processus diversifiés : effet de serre, capture/relargage de CO₂ par des réservoirs.</p> <p>Les variations climatiques sont conditionnées par des facteurs multiples (paramètres orbitaux, teneur de l'atmosphère en gaz à effets de serre, albédo de la surface terrestre) et des rétroactions positives ou négatives entre ces paramètres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Présenter des archives géologiques témoins des climats passés : dépôts glaciaires, fossiles continentaux, etc. - Mettre en relation la composition isotopique en ¹⁸O des glaces des inlandsis et les périodes glaciaires et inter-glaciaires. - Mettre en relation les paléotempératures et la teneur en CO₂ atmosphérique. - Observer la rythmicité des périodes glaciaires et interglaciaires et la relier aux paramètres orbitaux de la Terre. - Identifier les effets de rétroactions de l'albédo et de l'effet de serre sur l'évolution climatique.
<p>Précisions et limites : Cette partie se limite à l'étude des variations climatiques du dernier million d'années. L'étude des compositions isotopiques ne porte que sur les glaces continentales et est utilisée comme un paléothermomètre. La compréhension des mécanismes de fractionnement isotopique n'est pas attendue. La connaissance exhaustive des paramètres orbitaux n'est pas exigible.</p>	
<p>Liens : Cycle du carbone (BG-A-1)</p>	
BG-C-3- 2 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité	
Projections climatiques et réchauffement actuel	
<p>Le réchauffement climatique observé est attribué à l'augmentation des GES liée à l'activité humaine et la modification de l'usage des terres.</p> <p>Les projections climatiques montrent que l'amplitude du réchauffement varie en fonction des scénarios relatifs aux émissions de GES.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser différents scénarios de réchauffement climatique à partir de projections présentées dans les rapports du GIEC.
Quelques impacts du changement climatique sur la biodiversité	
<p>Le changement climatique est un facteur de vulnérabilité pour la biodiversité, contribuant à l'érosion de la biodiversité.</p> <p>Les effets du changement climatique sur la biodiversité s'observent à l'échelle des individus, des populations, des espèces et des communautés.</p> <p>Le changement climatique peut être à l'origine d'adaptation physiologique des individus et d'adaptation évolutive des populations.</p> <p>Chez beaucoup d'espèces, on observe en réponse au changement climatique une évolution de leur aire de répartition (déplacement en latitude, altitude), de leur phénologie, de leur abondance et des relations interspécifiques qu'elles entretiennent.</p> <p>Les capacités d'adaptation des espèces au changement climatique dépendent de la vitesse du changement climatique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des données montrant l'influence de la température et de la disponibilité en eau sur la répartition d'espèces. - Exploiter des données montrant des adaptations au changement climatique à l'échelle : <ul style="list-style-type: none"> • des organismes (adaptations physiologiques) ; • des populations/espèces (déplacement de l'aire de répartition) ; • des communautés (modification du nombre d'individus par espèce, de la richesse spécifique ainsi que des relations interspécifiques).
<p>Précisions et limites : On s'intéresse dans cette partie au paramètre « augmentation de température » du changement climatique, parmi de nombreux autres changements, dont une modification des régimes de précipitations et de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes. Cette partie est l'occasion de montrer comment se construisent des savoirs scientifiques, en intégrant les incertitudes sur les données et sur les modèles. L'incertitude est un degré de connaissance incomplète, elle peut être représentée par des mesures quantitatives (probabilités) ou qualitatives (dire d'experts) ce qui est fait dans les travaux du GIEC.</p>	

Concernant les scénarios d'évolution climatique, il s'agit ici essentiellement de rappel de lycées. Les nouveaux concepts concernent la description des différents types d'incertitude.

Concernant l'évolution de la biosphère, on prendra un nombre limité d'exemples d'impacts du changement climatique.

Liens :

- Effet des paramètres abiotiques sur la dynamique des populations (SV-H-1)
- Modifications du biotope et incidence sur la dynamique des écosystèmes (SV-H-2-4)
- Notion d'adaptation évolutive (SV-I-1)
- Cycles biogéochimiques du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2)
- Activités anthropiques et gestion des sols (BG-B-2)

Synthèse des séances de travaux pratiques de la thématique « Biogéosciences »

	TB 1	TB 2
BG-A Les grands cycles biogéochimiques		1 séance « cycles biogéochimiques »
BG-B Les sols	3 séances <ul style="list-style-type: none"> • 1 séance « organisation fonctionnelle des sols » • 1 séance « formation et dynamique des sols » • 1 séance « biodiversité du sol et services écosystémiques rendus par les sols » 	
BG-C Le climat de la Terre		3 séances <ul style="list-style-type: none"> • 2 séances « système climatique et reconstitution paléoclimatique » • 1 séance « changement climatique et biodiversité »
Total	3 séances	4 séances

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain.

THÉMATIQUE « SCIENCES DE LA TERRE »

<p>ST-A Grands ensembles géologiques de la France métropolitaine (TB 1)</p> <p>Cette partie a vocation à introduire les sciences de la Terre en utilisant deux approches complémentaires : pétrographique et cartographique. Elle permet de fournir quelques points de repères dans la géologie métropolitaine. Les grands ensembles géologiques de la France métropolitaine sont définis à partir de la nature des roches, de leur âge et des structures tectoniques.</p>	
Savoirs visés	Capacités exigibles
<p>La carte géologique est une représentation de la nature, de l'âge et de la géométrie des roches en surface. Résultant de l'exploitation et de l'interprétation de diverses données, elle représente un modèle de l'état des connaissances au moment de sa réalisation. L'observation de la carte géologique et la lecture de sa légende permettent de visualiser et de définir les grands ensembles géologiques : massifs anciens, massifs récents et bassins sédimentaires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier l'organisation spatiale et l'âge des principaux ensembles géologiques de la carte de France au 1/1.000.000. - Relier ces ensembles géologiques à des grands types de roches (sédimentaires, magmatiques et métamorphiques) et à des structures tectoniques, de type faille et chevauchement. - Identifier un granite, un basalte, un gneiss, une roche sédimentaire carbonatée et une roche sédimentaire détritique.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>L'identification des roches se limitera à leur analyse macroscopique, où l'élève doit savoir identifier les minéraux suivants : quartz, feldspaths, micas noirs et blancs. La distinction des textures grenue et microlithique est attendue pour les roches magmatiques. Pour le gneiss, on se limite à l'identification d'une texture grenue et de la foliation. L'étude microscopique n'est pas exigible.</i></p> <p><i>Les activités de terrain pourront être l'occasion de confronter la réalité des observations aux informations apportées par la carte géologique.</i></p> <p><i>Les aspects temporels sont limités à l'utilisation de l'échelle chronostratigraphique disponible dans la légende de la carte au 1/1.000.000, dont seul le découpage en ères est exigible.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Le phénomène sédimentaire (ST-B)</p> <p>Activités de terrain</p>	

<p>ST-B Le phénomène sédimentaire (TB1)</p> <p>Dans cette partie, l'étude des roches sédimentaires, formées à la surface de la Terre, souligne le rôle fondamental de l'eau dans le phénomène sédimentaire. Depuis la phase primordiale d'altération et d'érosion de roches préexistantes, les produits formés, solubles et/ou solides, sont transportés jusqu'à leur milieu de sédimentation au sein d'un bassin sédimentaire. La diversité des processus d'altération, de transport et de sédimentation explique la diversité des sédiments qui évolueront via la diagénèse en roches sédimentaires, essentiellement sous l'effet de la compaction et de la cimentation. Le phénomène sédimentaire est intimement lié à l'activité biologique. Les archives sédimentaires donnent accès à des informations utiles à la reconstitution historique et paléoenvironnementale.</p>	
Savoirs visés	Capacités exigibles
<p>ST-B-1 Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface</p>	
<p>ST-B-1-1 Les facteurs d'altération</p>	
<p>Les matériaux en surface sont soumis à de multiples processus d'altération, qui engendrent des formations résiduelles, et d'érosion, avec en particulier l'entraînement de produits par les eaux. La diversité des modelés des paysages est liée à l'action relative de différents facteurs : des facteurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser le modelé d'un paysage à partir de documents photographiques. - Identifier les principaux processus d'altération et d'érosion déterminant l'évolution d'un paysage. - Proposer des hypothèses sur l'influence possible des différents facteurs structuraux, lithologiques et climatiques dans l'évolution du paysage.

<p>intrinsèques (lithologie, relief) et des facteurs externes (climat, végétation). Les principaux processus d'altération chimique par l'eau sont l'hydrolyse et la dissolution. L'altérabilité des silicates est due à la structure des cristaux et à la nature des ions présents dans le réseau cristallin qui interagissent avec les molécules d'eau. L'hydrolyse des silicates conduit à la formation d'argiles dont la nature est en relation avec l'intensité de l'altération, qui elle-même dépend du climat. Les produits de l'altération sont différemment mobilisables, en particulier en fonction de leur solubilité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractériser le phénomène d'altération à partir de données de l'échelle du paysage à celle du minéral (sur l'exemple du granite). - Relier la diversité des produits d'altération aux conditions d'altération (climat et végétation). - Utiliser le diagramme de Goldschmidt afin de distinguer les éléments lessivés et les produits insolubles. - Analyser l'altération des roches carbonatées en s'appuyant sur l'équilibre des carbonates et ses facteurs de contrôle. - Interpréter la présence éventuelle d'oxydes et d'hydroxydes de fer et d'aluminium (latéritisation) dans les formations résiduelles (exemple des bauxites). - Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée des bauxites.
<p>Précisions et limites : <i>Dans toute la partie ST-B, des supports cartographiques variés sont exploitables, mais uniquement pour le repérage des formations sédimentaires. Le raisonnement est construit sur un ou des exemples au choix qui peuvent être pris localement.</i> <i>Sont à connaître, quelques facteurs de surface (altitudes, relief et pentes, végétation) et quelques facteurs climatiques (température, précipitations). La connaissance des argiles produites par l'altération et leur classification ne sont pas exigibles.</i></p>	
<p>Liens : Le cycle du carbone (BG-A-1) Les sols (BG-B) Le climat de la Terre (BG-C) Les ressources géologiques (ST-B-3) Activités de terrain Géographie : analyse d'un paysage</p>	
<p>ST-B-1-2 Érosion et entraînement de matière</p>	
<p>En surface des continents, l'érosion se traduit par des flux de matières en solution (solutés) ou en suspension (particules). Ce flux conduit à un tri minéralogique et chimique qui préfigure la formation de nouveaux matériaux.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expliquer le comportement des particules détritiques en fonction de la vitesse du courant et de leur granulométrie par le diagramme de Hjulström.
<p>Précisions et limites : <i>Ce point correspond à la phase de transport des produits d'altération. On ne traite pas de l'impact des activités humaines sur les transferts de surface.</i> <i>L'étude des sols est développée en TB1. À cette occasion, sont remobilisés les acquis sur les processus d'altération participant à la formation des sols.</i></p>	
<p>Liens : Les sols (BG-B) Le climat de la Terre (BG-C) Activités de terrain</p>	
<p>ST-B-2 La sédimentation des particules et des solutés</p>	
<p>Les dépôts de particules en suspension (sédiments détritiques) sont liés aux conditions hydrodynamiques des milieux et se produisent dans des environnements variés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter une carte montrant des formations superficielles (moraines, formations fluviatiles, ...). - À partir de données d'imagerie et/ou cartographiques, relier la distribution de dépôts détritiques, au niveau d'un delta et d'un estuaire et la dynamique de l'hydrosphère. - Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : conglomérats, grès, argilites, marnes.
<p>Précisions et limites : <i>La structure tripartite (plaine deltaïque, front de delta, prodelta) des deltas n'est pas exigible : seuls les mécanismes à l'origine de leur dynamique (origine et dépôt des particules en fonction de l'hydrodynamisme) sont à connaître.</i></p>	

<p>La sédimentation des solutés est précédée d'une bioprécipitation ou d'une précipitation chimique. La sédimentation carbonatée résulte pour l'essentiel de l'activité d'êtres vivants : organismes produisant des tests et des coquilles ou bactéries provoquant des précipitations.</p> <p>Elle se produit surtout en domaine marin de plateforme et caractérise aussi les environnements récifaux. La sédimentation carbonatée pélagique est le fait de micro-organismes planctoniques (Foraminifères planctoniques, Coccolithophoridés). Les dépôts ne s'observent pas au-delà d'une certaine profondeur, qui définit la profondeur de compensation des carbonates (PCC) variable d'une zone océanique à une autre.</p> <p>La diagénèse transforme le sédiment en roche. La silice dissoute dans l'eau de mer peut être utilisée par des micro-organismes planctoniques (Radiolaires, Diatomées) pour leurs tests, ce qui alimente la sédimentation de boues siliceuses, non limitée par la profondeur et inégalement distribuée.</p> <p>La matière organique peut être conservée et transformée en roches carbonées.</p> <p>La précipitation de solutés en domaine lagunaire ou littoral, peut engendrer des évaporites (gypse-anhydrite, halite, sylvite) par concentration des solutions.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : calcaires, marnes. - Identifier l'origine et les facteurs de contrôle de la sédimentation carbonatée et siliceuse à partir de l'étude de la sédimentation pélagique (en se limitant à la lysocline et à la PCC de la calcite). - Discuter l'effet des différents facteurs (température, pH, êtres vivants, profondeur, teneur en CO₂ atmosphérique) sur l'équilibre de précipitation/dissolution des carbonates - Décrire et interpréter la répartition des sédiments océaniques actuels à l'aide d'un planisphère. - Identifier la contribution des micro-organismes dans la genèse et la diversité des productions carbonatées pélagiques (Foraminifères planctoniques, Coccolithophoridés) et siliceuses pélagiques (Diatomées, Radiolaires). - Établir les conditions de préservation de la matière organique dans un sédiment (accumulation rapide, anoxie, enfouissement dans le sédiment océanique). - Relier la localisation et les caractères d'une séquence évaporitique avec les conditions chimiques de précipitation de sels. - Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : halite, gypse-anhydrite. - Reconstituer un paléoenvironnement à partir de données sédimentaires.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>On citera au moins un exemple de calcaire biogénique.</i></p> <p><i>Pour la diagenèse, on se limitera à celle d'une roche carbonatée et à la compaction du sédiment et à la perte d'eau.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Climat et variabilité climatique (BG-C-3)</p> <p>Grands ensembles géologiques de France métropolitaine (ST-A)</p> <p>Les ressources géologiques (ST-B-3)</p> <p>Activités de terrain</p> <p>Biotechnologies : cycle de Calvin et équilibre des carbonates ; (3.2.3) écologie microbienne (3.2.4.)</p>	
<p>ST-B-3 Ressources géologiques d'origine sédimentaire</p>	
<p>Le processus sédimentaire induit le tri mécanique et/ou géochimique d'éléments. Ceux-ci peuvent être concentrés et constituer des ressources, qui peuvent être exploitées.</p> <p>L'inégale répartition des ressources résulte d'une histoire géologique locale. Cette inégale répartition induit une adaptation de l'activité humaine aux conditions locales et à l'organisation de nombreux échanges planétaires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Remobiliser les mécanismes de l'altération/sédimentation pour expliquer les mécanismes de formation d'une ressource. - Identifier des ressources géologiques sédimentaires lors d'une étude documentaire et/ou des activités de terrain - Distinguer les problématiques (prospection, extraction, transport...) associées à une ressource locale et à une ressource plus rare, nécessairement importée.
<p>Précisions et limites :</p> <p><i>Cette partie permet de présenter la notion de ressources et est l'occasion de montrer l'importance de mobiliser les connaissances des sciences de la Terre pour l'exploitation raisonnée des ressources géologiques.</i></p> <p><i>Le nombre d'exemples, restreints à des ressources sédimentaires, est limité et aucun détail de leur utilisation n'est à mémoriser.</i></p> <p><i>En ce qui concerne les roches sédimentaires, on montre la variété de leur utilisation industrielle, leur intérêt en tant que roches réservoirs d'hydrocarbures et leur rôle potentiel pour stocker le CO₂.</i></p>	
<p>Liens :</p> <p>Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface (ST-B-1)</p> <p>La sédimentation des particules et des solutés (ST-B-2)</p> <p>Activités de terrain</p>	

Synthèse des séances de travaux pratiques de la thématique « Sciences de la Terre »

	TB 1	TB 2
ST-A Grands ensembles géologiques de la France métropolitaine	2 séances « Les grands ensembles géologiques de France à partir de la carte au 1/1.000.000 et les grands types de roches »	
ST-B Le phénomène sédimentaire	2 séances <ul style="list-style-type: none"> • 1 séance « altération en milieu continental, érosion et transport » • 1 séance « diversité des roches sédimentaires – relation avec les ressources géologiques » 	
Total	4 séances	0 séance

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et biologie (TB)

Annexe 4

Programmes de biotechnologies

1^{ère} et 2^{nde} années

PROGRAMME DE BIOTECHNOLOGIES

PRÉAMBULE COMMUN AUX PROGRAMMES DE BIOTECHNOLOGIES ET DE SVT

La mise en œuvre des programmes de Biotechnologies et de sciences de la vie et de la Terre (SVT) doit permettre aux futurs ingénieurs, vétérinaires, chercheurs et enseignants de se constituer une culture scientifique et technologique solide dans le domaine des sciences du vivant et aux interfaces avec les sciences de la Terre.

Ces programmes, avec ceux des autres disciplines scientifiques, visent à développer chez les étudiants « la connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée » (Commission des Titres d'Ingénieur). Les connaissances et les compétences travaillées au lycée sont nécessairement approfondies et développées en classe préparatoire, afin d'élaborer un panorama scientifique et technologique actualisé et de permettre ensuite un développement plus spécialisé, en rapport avec la formation choisie en école. Pour cela, ces deux programmes ont été élaborés par des groupes de travail intégrant des professeurs des écoles nationales vétérinaires, écoles d'ingénieurs et écoles normales supérieures aux côtés d'enseignants des classes concernées. Ils sont destinés aux professeurs de TB et à leurs étudiants, mais également aux professeurs de lycée, comme aux interrogateurs de concours et aux enseignants des écoles.

À l'issue de la formation, les étudiants issus de TB disposent des bases scientifiques et technologiques solides dans tous les champs nécessaires pour répondre aux enjeux-clefs du XXI^e siècle : changement climatique, préservation de la biodiversité et des écosystèmes, alimentation de qualité pour tous, santé dans une logique *One Health*, gestion des ressources naturelles, gestion durable des sols, transition énergétique, bioéthique, etc.

Les enseignements de Biotechnologies et de SVT sont complémentaires dans l'étude d'objets et de phénomènes communs. Les liens entre ces deux programmes sont nombreux. Afin de donner du sens aux apprentissages et de construire une progression conceptuelle cohérente, une coordination est indispensable entre les enseignants de Biochimie - Génie Biologique (BGB) et de SVT au service de la compréhension des concepts par les étudiants. Il est en effet essentiel d'aider les étudiants à articuler les apports des deux disciplines et de ne pas laisser à leur charge la mise en cohérence des savoirs construits en Biotechnologies et en SVT. Le programme a été élaboré pour faciliter le repérage de la complémentarité des enseignements et les liens sont précisés pour chaque thème d'étude au sein des programmes de Biotechnologies et de SVT. Des phénomènes biologiques sont étudiés conjointement mais avec des regards différents, comme l'illustrent les quatre exemples suivants, parmi de nombreux liens existants.

- **Le métabolisme** est étudié dans ses processus biochimiques à l'échelle cellulaire et moléculaire en Biotechnologies. La compréhension fondamentale de ces mécanismes est mise au service d'applications biotechnologiques comme l'identification bactérienne, le choix de milieux de culture et le génie fermentaire. En SVT, le métabolisme est envisagé dans un cadre physiologique. Il s'agit alors, à partir du bilan global des voies métaboliques étudiées en amont en Biotechnologies ou approfondies en aval, de comprendre notamment l'importance du stockage de molécules de réserve et de leur mobilisation dans le fonctionnement de la plante à différentes échelles temporelles ainsi que dans le fonctionnement de la cellule musculaire.

- **En génétique**, les Biotechnologies se focalisent sur le modèle bactérien dans une visée technologique : amplification génique, hybridation moléculaire, séquençage et génie génétique. Les SVT envisagent le modèle eucaryote, afin de comprendre l'expression, le maintien et la diversification

génétique et afin de remobiliser ces concepts dans plusieurs thèmes de SVT tels que le développement des animaux et des plantes ou l'évolution biologique.

- **Les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote** sont étudiés en Biotechnologies sous l'angle du rôle des microorganismes et des processus métaboliques responsables des flux de carbone ou d'azote d'origine biologique. Les SVT traitent quant à elles la dimension systémique des cycles en intégrant les différents réservoirs et les flux d'origine géologique afin d'appréhender les différentes échelles spatiales et temporelles ainsi que la place des actions anthropiques dans la modification des cycles.

- **La systématique des microorganismes** est étudiée de façon complémentaire par les deux disciplines. Les Biotechnologies permettent d'identifier les différents types de microorganismes à l'aide de la classification alors que les SVT les positionnent dans l'arbre du vivant et élaborent des scénarios évolutifs sur la base d'analyses phylogénétiques.

Ces différences d'approche et de points de vue visent à favoriser le développement conceptuel ainsi que l'appropriation des finalités propres à chaque discipline et à éviter toute dissonance préjudiciable à la compréhension des étudiants.

La contribution des Biotechnologies et des SVT au développement de compétences

• **Compétences scientifiques et technologiques**

Les Biotechnologies et les SVT contribuent au développement de compétences scientifiques et technologiques. Des formes d'enseignement interdisciplinaire pratique mis en œuvre au laboratoire dans le cadre de travaux pratiques, et sur le terrain, permettent aux étudiants de mobiliser des compétences spécifiques aux deux disciplines au service de la résolution de problématique sur des objets scientifiques communs. Chaque équipe pédagogique définit les activités permettant aux étudiants de développer ces compétences, chaque fois que possible par une approche interdisciplinaire. Les compétences disciplinaires spécifiques, scientifiques et technologiques, sont présentées dans chaque programme.

Les Biotechnologies et les SVT contribuent avec les autres enseignements de TB au développement de compétences transversales, linguistiques et préprofessionnelles.

• **Compétences transversales et linguistiques**

Le développement de compétences transversales et linguistiques atteste d'une autonomie de travail et d'analyse, d'une capacité d'engagement dans des projets collectifs, d'une capacité de distance critique et d'une communication aisée, que ce soit par les outils mobilisés ou l'expression personnelle en français et dans au moins une langue vivante étrangère.

- Adopter un comportement éthique, déontologique et responsable.
- Coopérer et collaborer dans le cadre d'activités ou de démarches de projet, dans et hors la classe.
- Se mettre en recul d'une situation, s'autoévaluer et se remettre en question pour apprendre.
- Utiliser les outils numériques de référence et les règles de sécurité informatique pour acquérir, traiter, produire et diffuser de l'information ainsi que communiquer.
- Se servir aisément de la compréhension et de l'expression écrites et orales dans au moins une langue vivante étrangère.

• **Compétences préprofessionnelles**

La formation est aussi l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la construction de leur projet de poursuite d'étude. La rencontre avec des professionnels, comme avec les grandes écoles est un levier de développement des compétences préprofessionnelles. Les TIPE participent au développement de ces compétences.

- Identifier les différents champs professionnels et les parcours permettant d'y accéder.
- Identifier les enjeux et contraintes des champs professionnels.

- Caractériser et valoriser ses compétences scientifiques, techniques et psychosociales (sociales, cognitives et émotionnelles) en fonction d'un contexte.

PRÉAMBULE SPÉCIFIQUE AU PROGRAMME DE BIOTECHNOLOGIES

Les différents domaines des biotechnologies utilisent des éléments du vivant pour produire des biens et des services. Les modalités didactiques et pédagogiques en enseignement de biotechnologies combinent approches scientifiques fondamentales et activités technologiques en laboratoire ; elles permettent ainsi l'acquisition de concepts scientifiques et de concepts technologiques. Ils ont été sélectionnés pour répondre aux attendus des grandes écoles, et sont indispensables pour s'approprier les problématiques et agir dans les différents domaines des biotechnologies. Abordant les domaines de la biochimie, de l'enzymologie, de la microbiologie, de la biologie moléculaire, de la microbiologie et du génie fermentaire, de l'ingénierie des protéines et du génie génétique, ils sont complémentaires de ceux visés par l'enseignement de SVT.

Objectifs de formation et structure du programme

Le programme de Biotechnologies est constitué de quatre parties thématiques et d'une cinquième partie « compétences expérimentales technologiques ».

Les concepts transversaux de biotechnologies, explicités dans la partie « compétences expérimentales technologiques » et se rapportant aux quatre parties thématiques, font partie intégrante des objectifs de formation et des attendus du programme. Ces compétences dépassent l'aspect technique et intègrent une dimension d'amélioration, de transposition, d'optimisation voire de conception d'une procédure opératoire afin de viser une formation adaptée à la préparation aux écoles et formations du supérieur.

Chaque partie est structurée en deux colonnes qui présentent, en regard, les concepts mobilisés dans la colonne de gauche et les compétences attendues dans la colonne de droite. Pour faciliter la construction du plan de formation, le programme propose en second lieu des activités expérimentales support de la formation, des limites et commentaires, ainsi que des liens entre les différentes parties et avec les autres enseignements scientifiques.

Les savoirs et les compétences acquis au cours de la formation doivent permettre à l'étudiant, futur ingénieur, chercheur, enseignant ou vétérinaire, de développer ses capacités de synthèse. D'autre part, l'esprit critique doit s'exercer pour permettre le recul nécessaire sur les technologies qui entraînent des modifications du vivant. Une réflexion éthique, menée à partir de documents d'actualité évoquant l'impact des biotechnologies sur la santé et sur l'environnement conduit à développer des arguments pour répondre aux questions sociétales.

Les compétences argumentatives sont également développées, à partir d'une réflexion portant sur des objets d'étude scientifique ou technologique, inédits pour l'étudiant. L'analyse de nouvelles informations est alors à confronter avec un modèle connu et cette application du modèle sur l'objet permet de vérifier la compréhension des éléments du modèle.

Place des activités expérimentales dans la formation

Les compétences expérimentales technologiques visées seront mises en œuvre tout au long de la formation et intégrées à chacune des parties thématiques selon le plan de formation élaboré par l'enseignant.

Les biotechnologies étant fondées sur la pratique expérimentale au laboratoire, les analyses, calculs et déterminations de grandeurs se font à partir de l'exploitation de données expérimentales, obtenues par l'étudiant lors d'activités technologiques support de la formation, ou issues de la littérature scientifique.

Les activités expérimentales support de la formation apparaissent à la fin de chaque sous-partie thématique. Ces activités expérimentales proposées sont indispensables pour construire les compétences attendues. Il ne s'agit pas de faire une présentation exhaustive des techniques étudiées

mais de permettre aux étudiants de faire des liens entre les différentes parties et de prendre du recul vis-à-vis des technologies présentées. Elles permettent à la fois de faciliter l'acquisition des concepts et de développer les compétences expérimentales.

Les biotechnologies reposant sur une mise en œuvre expérimentale, la démarche de prévention des risques est totalement intégrée à l'enseignement des biotechnologies dans tous ses aspects, quelle que soit la thématique étudiée. Cette démarche présentée dans la partie « compétences expérimentales technologiques », est mise en œuvre systématiquement tout au long de la formation des étudiants.

Articulation des parties et liens avec les autres enseignements scientifiques

Les interactions entre les différentes parties se traduisent par des liens internes au programme de Biotechnologies, qui permettent à plusieurs reprises de réinvestir les concepts et de renforcer les compétences visées par la formation. Ce réinvestissement est au cœur de l'approche par compétences, afin que les savoirs soient réellement opérationnels. Les concepts doivent donc être mobilisés dans des situations de complexité croissante pour développer des compétences transférables à des situations inédites. Ces concepts sont construits à l'aide d'exemples issus des biotechnologies, choisis par l'enseignant responsable de la formation. Si plusieurs exemples peuvent être nécessaires pour la construction des savoirs, il importe d'en limiter le nombre. L'étudiant pourra choisir l'exemple qu'il souhaite présenter pour éclairer ou illustrer un concept dont il veut montrer la maîtrise.

Les liens externes, avec la SVT, la physique-chimie, et les mathématiques sont également indiqués dans la partie « liens » à la fin de chaque sous-partie.

RÉPARTITION SUR LES DEUX ANNÉES	TB 1	TB 2
PARTIE 1 – BIOCHIMIE DES PROTÉINES ET PROCÉDÉS DE PURIFICATION		
1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION		
1.1.1. Structure des protéines	X	
1.1.2. Du matériel biologique à l'extrait protéique purifié	X	
1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHÉ À CONTRÔLER		
1.2.1. Suivi qualitatif	X	
1.2.2. Suivi quantitatif	X	X
1.2.3. Caractérisation structurale de la protéine purifiée	X	
1.3. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT DES INTERACTIONS SPÉCIFIQUES AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS		
1.3.1. Interactions protéine-ligand		X
1.3.2. Interactions antigène-anticorps		X
PARTIE 2 – ENZYMOLOGIE ET GÉNIE ENZYMATIQUE		
2.1. LES BIOMOLÉCULES, DES SUBSTRATS D'INTÉRÊT		
2.1.1. Glucides	X	
2.1.2. Lipides	X	
2.1.3. Protides	X	
2.1.4. Acides nucléiques	X	
2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE		
2.2.1. Catalyse enzymatique	X	
2.2.2. Cinétique à un substrat des enzymes michaeliennes	X	
2.2.3. Activité enzymatique des enzymes michaeliennes		X
2.2.4. Modulation de l'activité enzymatique des enzymes michaeliennes	X	
2.2.5. Cinétique des enzymes allostériques		X
2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES		
2.3.1. Des enzymes pour analyser		X

2.3.2. Des enzymes pour produire		X
PARTIE 3 – MICROBIOLOGIE ET GÉNIE FERMENTAIRE		
3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ		
3.1.1. Unité du monde microbien	X	
3.1.2. Diversité des microorganismes	X	X
3.1.3. Virus		X
3.2. LA DIVERSITÉ DES MÉTABOLISMES MICROBIENS, UN INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE		
3.2.1. Métabolisme énergétique	X	
3.2.2. Microorganismes chimiotrophes	X	
3.2.3. Microorganismes phototrophes autotrophes	X	
3.2.4. Écologie microbienne		X
3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES		
3.3.1. Nutrition et culture des microorganismes	X	
3.3.2. Quantification des microorganismes	X	
3.3.3. Croissance des microorganismes	X	
3.3.4. Cultures en bioréacteur		X
3.3.5. Choix et sélection des souches d'intérêt		X
PARTIE 4 – BIOLOGIE MOLÉCULAIRE DES ACIDES NUCLÉIQUES ET GÉNIE GÉNÉTIQUE		
4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION		
4.1.1. Structure des acides nucléiques	X	
4.1.2. Du matériel biologique à l'extrait nucléique purifié	X	
4.2. L'HYBRIDATION MOLÉCULAIRE, UNE ASSOCIATION SPÉCIFIQUE DE SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES		
4.2.1. Hybridation		X
4.2.2. Applications de l'hybridation		X
4.3. L'AMPLIFICATION <i>IN VITRO</i> DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES POLYMÉRISATIONS EN CHAÎNE		
4.3.1. PCR en point final		X
4.3.2. Contrôle de l'amplification		X
4.3.3. Techniques avancées de PCR		X
4.4. LE SÉQUENÇAGE DE L'ADN, DES TECHNIQUES EN CONSTANTE ÉVOLUTION		
4.4.1. Évolution des techniques de séquençage de l'ADN		X
4.4.2. Applications du séquençage de l'ADN		X
4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE		
4.5.1. Clonage d'une séquence nucléotidique		X
4.5.2. Expression hétérologue de protéines recombinées chez les microorganismes		X
4.5.3. « Édition » du génome		X
PARTIE 5 – COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES TECHNOLOGIQUES		
5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES	X	X
5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES	X	X
5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE	X	X
5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES	X	X
5.5. OBSERVATION, DESCRIPTION ET CARACTÉRISATION D'UN OBJET	X	X
5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES	X	X
5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES	X	X
5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE	X	X
5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES	X	X

PARTIE 1 – BIOCHIMIE DES PROTÉINES ET PROCÉDÉS DE PURIFICATION

Les protéines sont des molécules de première importance dans le monde vivant ; de nombreuses applications des biotechnologies sont fondées sur les interactions spécifiques qui s'établissent entre protéines ou entre protéine et ligand, notamment les interactions antigène-anticorps.

L'étude structurale et fonctionnelle des protéines, d'une part, et leur utilisation en tant qu'outil biotechnologique, d'autre part, nécessitent leur extraction et leur purification à partir d'un matériel biologique. Les méthodes permettant l'obtention d'un extrait protéique purifié ont pour fondement la structure et les propriétés physico-chimiques des protéines.

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES	
1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION		
<p>1.1.1. STRUCTURE DES PROTÉINES</p> <p>Les protéines sont des polymères d'acides α-aminés. Les chaînes latérales des acides aminés protéinogènes présentent des propriétés physico-chimiques variées.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fonction α-carboxylique / fonction α-amine ● Chaîne latérale ● pKa ● Liaison peptidique ● Structure primaire ● Séquence ● Polymère ● Molécule orientée ● Extrémité N-terminale / extrémité C-terminale <p>Les différents niveaux de structure des protéines sont déterminés par les propriétés de la liaison peptidique, du squelette carboné et des chaînes latérales des résidus d'acides aminés. Certaines protéines contiennent des groupements non protidiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Interactions ou liaisons de faible énergie ● Pont disulfure ● Encombrement stérique ● Structure secondaire / tertiaire / quaternaire ● Domaine ● Protomère (sous-unité) ● Conformation native ● Repliement ● Dynamique conformationnelle ● Holoprotéine / hétéroprotéine ● Apoprotéine ● Groupement prosthétique 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Représenter la structure générique d'un acide α-aminé. ▶ Classer les acides aminés selon la polarité de leur chaîne latérale, leurs propriétés acido-basiques, leurs propriétés spectrales d'absorption. ▶ Écrire l'équation de la réaction modélisant la formation de la liaison peptidique. ▶ Présenter la géométrie de la liaison peptidique, ainsi que les propriétés associées. ▶ Caractériser chaque niveau de structure en lien avec les liaisons ou interactions stabilisatrices. ▶ Présenter le principe d'une technique de séquençage de protéine, à l'aide d'une documentation. 	TB1

<p>Les protéines sont organisées en trois catégories structurales, avec des conséquences sur leur localisation et leur extraction.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Scléroprotéines (protéines fibreuses) ● Protéines globulaires ● Protéines membranaires <p>Le maintien de la structure native des protéines dépend des conditions physico-chimiques et de la présence de protéases.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Conformation native ● Dénaturation ● Hydrolyse 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dégager les particularités structurales et biochimiques d'une protéine fibreuse (fibrillaire) et d'une protéine membranaire à l'aide d'une documentation. ▶ Analyser la répartition des acides aminés polaires et apolaires dans des protéines ayant différentes localisations cellulaires. ▶ Distinguer dénaturation et hydrolyse des protéines. ▶ Écrire l'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse de la liaison peptidique. ▶ Énoncer le mode d'action de quelques agents dénaturants : chaleur, pH extrêmes, agents chaotropiques, agents réducteurs, détergents. ▶ Expliquer comment mettre en œuvre expérimentalement une cinétique de dénaturation. 	
<p>1.1.2. DU MATÉRIEL BIOLOGIQUE À L'EXTRAIT PROTÉIQUE PURIFIÉ</p> <p>Les étapes d'extraction des protéines aboutissent à l'obtention d'un extrait brut. Le choix d'une méthode d'extraction dépend de l'environnement dans lequel se trouve la protéine d'intérêt.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Lyse ● Matériel biologique ● Tampon d'extraction ● Centrifugation <p>Les étapes de purification d'une protéine d'intérêt se basent sur les propriétés particulières de celle-ci par rapport aux autres solutés. Elles font appel à différentes techniques : précipitations différentielles, chromatographies, dialyse, ultrafiltration.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Solubilisation / précipitation ● Force ionique / température / pH ● Phase stationnaire / phase mobile ● Domaine de fractionnement ● Capacité d'une colonne ● Interactions biospécifiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Argumenter le choix d'une méthode d'extraction et des conditions opératoires à partir de l'analyse de la procédure, des caractéristiques structurales et/ou physico-chimiques, et de la localisation de la protéine d'intérêt. ▶ Identifier, dans une procédure opératoire, les précautions à prendre lors de l'extraction afin de préserver la structure native de la protéine d'intérêt. ▶ Exploiter les propriétés des protéines et les liaisons de faible énergie pour expliquer le principe d'une méthode de séparation des protéines. ▶ Argumenter le choix d'une méthode de 	TB1

- Membrane semi-perméable
- Seuil de coupure

purification et des conditions opératoires à partir de l'analyse de la procédure et des caractéristiques structurales et/ou physico-chimiques de la protéine d'intérêt.

- ▶ Proposer l'allure du chromatogramme attendu lors d'une séparation chromatographique en identifiant les fractions d'intérêt.
- ▶ Analyser un chromatogramme.

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Analyse de la structure d'une protéine grâce à un logiciel de visualisation de structure 3D.
- Extraction et purification d'une protéine.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

Le concept de protéine intrinsèquement désordonnée est à présenter.

Seule la formule du groupe fonctionnel caractéristique des chaînes latérales de chaque acide aminé est à connaître en lien avec leurs propriétés.

Les méthodes chromatographiques dont les principes sont à maîtriser se limitent à :

- chromatographie d'exclusion ;
- chromatographie échangeuse d'ions ;
- chromatographie d'interaction hydrophobe ;
- chromatographie d'affinité biospécifique ;
- chromatographie de chélation.

La présentation des techniques HPLC est limitée à l'intérêt de leurs performances résolutive.

L'étude la spectrométrie de masse est limitée à son utilisation dans le cadre du séquençage des protéines et de l'identification des microorganismes. Son principe n'est pas attendu.

LIENS :

□ BIOTECHNOLOGIES :

- 1.1.1. : propriétés des acides aminés, structures tridimensionnelles des protéines
⇔ 2.2.1. - 2.2.4. : catalyse enzymatique, modulation de l'activité enzymatique
- 1.1.1. : liaison peptidique, hydrolyse des protéines
⇔ 2.1.3. : hydrolyse de la liaison peptidique
- 1.1.1. : structure et propriétés des protéines, dénaturation des protéines
⇔ 1.2.1. : migration électrophorétique des protéines
- 1.1.1. : structures tridimensionnelles des protéines, sous-unités
⇔ 1.2.3. : structure d'une protéine purifiée
- 1.1.1. - 1.1.2. : protéines membranaires
⇔ 2.1.2. : bicouches phospholipidiques
- 1.1.1. - 1.1.2. : purification de protéines d'intérêt
⇔ 2.3.2. : génie enzymatique
⇔ 3.3.4. - 3.3.5. : génie fermentaire
⇔ 4.5.2. - 4.5.3. : ingénierie des protéines, génie génétique

□ SVT :

- SV-C-1 Les cellules au sein d'un organisme
- SV-C-3 Membranes et échanges membranaires

- PHYSIQUE-CHIMIE : liaisons ou interactions de faible énergie – notion de temps de demi-réaction – étude des propriétés acido-basiques – solution tampon – étude des propriétés d'oxydo-réduction – mésométrie.

- MATHÉMATIQUES : dérivation – primitives – fonctions exponentielles – fonction logarithme népérien.

1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHÉ À CONTRÔLER

<p>1.2.1. SUIVI QUALITATIF</p> <p>Le suivi qualitatif d'une purification peut se faire grâce à une électrophorèse analytique.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Conditions dénaturantes / non dénaturantes ● Conditions réductrices / non réductrices ● Révélation non spécifique <p>L'électrophorèse SDS-PAGE peut être suivie d'une identification de la protéine d'intérêt en western blot.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <i>Blotting</i> ● Interactions spécifiques / non spécifiques ● Anticorps primaire / secondaire ● Conjugué ● Amplification du signal ● Immunodétection 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Identifier le(s) critère(s) de séparation lors d'une électrophorèse de protéines en fonction des conditions de sa réalisation. ▶ Expliquer le principe d'une électrophorèse dénaturante ou non dénaturante. ▶ Réaliser un schéma à l'échelle moléculaire des différentes étapes d'un mode opératoire de western blot. ▶ Conclure quant à la pureté d'une solution protéique à partir de résultats expérimentaux qualitatifs. 	<p>TB1</p>
<p>1.2.2. SUIVI QUANTITATIF</p> <p>L'évaluation du rendement et de l'enrichissement à chaque étape d'un processus de purification nécessite un dosage des protéines totales et un dosage spécifique de la protéine d'intérêt.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Spectrophotométrie UV-Visible ● Dosage des protéines totales ● Dosage d'activité biologique 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Argumenter le choix d'une procédure de dosage des protéines totales, à l'aide d'une documentation. ▶ Déterminer un rendement. ▶ Déterminer un enrichissement. ▶ Commenter les valeurs de rendement et d'enrichissement en fonction de l'objectif de purification. 	<p>TB1 TB2</p>
<p>1.2.3. CARACTÉRISATION STRUCTURALE DE LA PROTÉINE PURIFIÉE</p> <p>La chromatographie d'exclusion et la SDS-PAGE sont des méthodes complémentaires pour caractériser la structure d'une protéine.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Conditions dénaturantes / non dénaturantes ● Conditions réductrices / non réductrices ● Protéine native / protéine dénaturée 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Déterminer la masse moléculaire d'une protéine ou d'une sous-unité protéique par comparaison avec un marqueur de masses moléculaires. ▶ Déterminer la structure quaternaire d'une 	<p>TB1</p>

<ul style="list-style-type: none"> ● Monomère / oligomère ● Homo / hétéro-multimère 	protéine à partir de résultats obtenus dans différentes conditions expérimentales.	
<p>ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dosage des protéines. - Suivi quantitatif et qualitatif d'une purification. - Caractérisation structurale d'une protéine par SDS-PAGE. <p>À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES - 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE - 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES - 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES - 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE - 5.9. DÉMARCHÉ DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES 		
<p>LIMITES & COMMENTAIRES :</p> <p>Seul le principe général du dosage absorptiométrique est à maîtriser à partir d'exemples traités au choix de l'enseignant, et en se limitant à quelques méthodes.</p> <p>Le principe chimique des réactions de dosage n'est pas à connaître mais peut être analysé à partir d'une documentation. De même, à partir d'une documentation, les qualités de quelques méthodes de dosages de protéines sont analysées en fonction de la méthode de purification et de la protéine à purifier.</p>		
<p>LIENS :</p> <ul style="list-style-type: none"> □ BIOTECHNOLOGIES : <ul style="list-style-type: none"> ○ 1.2.1. : migration électrophorétique des protéines ⇔ 1.1.1. : structure et propriétés des protéines, dénaturation des protéines ○ 1.2.1. : immunodétection en western blot ⇔ 1.3.2. : interactions antigène-anticorps ○ 1.2.2. : dosage d'activité biologique ⇔ 2.2.3. : activité enzymatique ○ 1.2.3. : structure d'une protéine purifiée ⇔ 1.1.1. : structures tridimensionnelles des protéines, sous-unités □ PHYSIQUE-CHIMIE : déplacement d'entités chargées dans un champ électrique – point isoélectrique. 		
<p>1.3. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT DES INTERACTIONS SPÉCIFIQUES AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS</p>		
<p>1.3.1. INTERACTIONS PROTÉINE-LIGAND</p> <p>La fonction de nombreuses protéines est liée à leur faculté d'interagir spécifiquement avec de petites molécules appelées ligands.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Complexe protéine-ligand ● Interactions ou liaisons de faible énergie ● Site de reconnaissance ● Stéréospécificité ● Ajustement induit ● Constante de dissociation ● Affinité 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Repérer les acides aminés impliqués dans la liaison d'un ligand sur une représentation 2D ou 3D du site d'interaction. ▶ Établir l'équation de la droite de Scatchard. ▶ Déterminer la constante thermodynamique de dissociation et le nombre de sites récepteur par protéine à partir de la modélisation de Scatchard. ▶ Comparer l'affinité de différents complexes protéine-ligand à l'aide des constantes 	TB2

	thermodynamiques de dissociation.	
<p>1.3.2. INTERACTIONS ANTIGÈNE-ANTICORPS</p> <p>L'interaction antigène-anticorps est très largement utilisée dans le domaine des biotechnologies. Elle peut servir de modèle à l'étude des interactions protéine-ligand.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Complexe antigène-anticorps ● Domaine constant / domaine variable ● Fragment F_c ● Paratope ● Antigénicité ● Épitope séquentiel / épitope conformationnel ● Affinité ● Spécificité ● Anticorps monoclonal / sérum polyclonal 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Schématiser la structure d'une immunoglobuline de type G. ▶ Expliquer la spécificité de la reconnaissance antigène-anticorps. ▶ Discuter des avantages et des inconvénients de l'utilisation des anticorps monoclonaux par rapport aux sérums polyclonaux. 	TB2
<p><u>À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE - 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES - 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES 		
<p><u>LIMITES & COMMENTAIRES :</u></p> <p>L'expression du quotient de réaction associé à la réaction de dissociation permet de réinvestir des concepts vus en physique-chimie.</p> <p>Les interactions protéine-ligand peuvent être l'occasion d'aborder des exemples d'applications pharmacologiques.</p> <p>Seules les immunoglobulines de type G et le cas de l'interaction non coopérative avec des sites équivalents et indépendants sont traités.</p> <p>L'origine de la diversité des anticorps n'est pas à traiter.</p>		
<p><u>LIENS :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> □ BIOTECHNOLOGIES : <ul style="list-style-type: none"> ○ 1.3.2. : interactions antigène-anticorps <ul style="list-style-type: none"> ⇔ 1.2.1. : immunodétection en western blot ⇔ 2.3.1. : dosages immunoenzymatiques □ PHYSIQUE-CHIMIE : évolution spontanée d'un système chimique – quotient de réaction et constante thermodynamique d'équilibre. □ MATHÉMATIQUES : applications affines – régression linéaire. 		

PARTIE 2 : ENZYMOLOGIE ET GÉNIE ENZYMATIQUE

Les enzymes sont des outils biotechnologiques utilisés dans de nombreux domaines : agronomie, industries agroalimentaires, préservation de l'environnement, santé animale ou humaine. Les enzymes sont des catalyseurs biologiques dont l'activité catalytique repose sur des interactions avec d'autres molécules. L'activité enzymatique traduit la quantité d'enzyme active dans un échantillon dans des conditions données.

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES	
2.1. LES BIOMOLÉCULES, DES SUBSTRATS D'INTÉRÊT		
<p>2.1.1. GLUCIDES</p> <p>Les oses sont des polyalcools, possédant un groupement carbonyle.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Cyclisation ● Anomérie α / β <p>Les diholosides et les polyholosides résultent de l'association covalente d'oses.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Condensation ● Liaison O-osidique ● Monomère / oligomère / polymère ● Relation structure-fonction <p>Les hétérosides résultent de l'association covalente de glucides avec d'autres molécules organiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Condensation ● Liaison O-osidique / liaison N-osidique 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Représenter la formule semi-développée des principaux pentoses et hexoses sous forme cyclique. ▶ Représenter la formule semi-développée des principaux diholosides et identifier les liaisons mises en jeu. ▶ Relier l'organisation en polymère et la structure tridimensionnelle de l'amidon et de la cellulose à leur fonction de réserve d'énergie ou de structure. ▶ Écrire l'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse du lactose, maltose et saccharose par les hydrolases spécifiques. ▶ Écrire les équations des réactions modélisant l'hydrolyse de l'amylopectine par les hydrolases spécifiques. ▶ Exploiter la formule chimique d'un hétéroside pour repérer la fraction glucidique et identifier la liaison mise en jeu. 	TB1
<p>2.1.2. LIPIDES</p> <p>Les acides gras sont des acides carboxyliques à longue chaîne hydrocarbonée.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Saturé / insaturé ● Cis / trans (Z/E) ● Amphiphile 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Exploiter la formule chimique semi-développée d'un acide gras pour identifier sa nature saturée ou insaturée, ses régions hydrophiles et hydrophobes. ▶ Relier la température de fusion d'un acide gras à son nombre d'atomes de carbone, à son nombre d'insaturations et à la configuration de celles-ci à 	TB1

<p>Les triglycérides résultent de l'estérification du glycérol par des acides gras. Les triglycérides sont des molécules apolaires.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Condensation ● Liaison ester ● Hydrophobe <p>Les phospholipides et les glycolipides résultent de l'association covalente entre des acides gras, un alcool (ou un amino-alcool) et d'autres constituants. Ces molécules amphiphiles forment des micelles et des bicouches lipidiques (membranes biologiques, liposomes).</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Condensation ● Liaison ester / phosphoester / amide ● Hydrophile / hydrophobe ● Amphiphile ● Relation structure-fonction 	<p>partir de données expérimentales.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Représenter la formule semi-développée d'un triglycéride, les formules des constituants de base étant fournies. ▶ Écrire l'équation d'une réaction modélisant l'hydrolyse d'un triglycéride par une lipase. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Représenter la formule semi-développée d'un phospholipide, les formules des constituants de base étant fournies. ▶ Exploiter la formule chimique semi-développée d'un phospholipide ou d'un glycolipide pour repérer les régions hydrophiles et hydrophobes. ▶ Relier la structure d'un phospholipide à sa fonction dans l'organisation des bicouches lipidiques. 	
<p>2.1.3. PROTIDES</p> <p>Les structures et les propriétés des acides aminés, des peptides et des protéines sont détaillées dans la PARTIE 1, en relation avec leur extraction, leur purification, leur analyse et leur utilisation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Écrire l'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse d'une liaison peptidique par une peptidase. 	TB1
<p>2.1.4. ACIDES NUCLÉIQUES</p> <p>Les structures et les propriétés des bases azotées, des nucléotides et des acides nucléiques sont détaillées dans la PARTIE 4, en relation avec leur extraction, leur purification, leur analyse et leur utilisation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Écrire l'équation d'une réaction modélisant l'hydrolyse d'une liaison phosphodiester par une nucléase. 	TB1
<p>LIMITES & COMMENTAIRES :</p> <p>Les formules semi-développées des molécules suivantes sont à connaître : D-glucopyranose, D-ribofuranose, D-2-désoxyribofuranose. La numérotation de leurs atomes de carbone est exigible.</p> <p>La composition en ose et la configuration de la liaison osidique des molécules suivantes sont à connaître :</p> <ul style="list-style-type: none"> - diholosides : maltose, saccharose, lactose ; - polyholosides : amidon (amylose et amylopectine), cellulose. 		
<p>LIENS :</p> <ul style="list-style-type: none"> □ BIOTECHNOLOGIES : <ul style="list-style-type: none"> ○ 2.1.1. : hétérosides, oses <ul style="list-style-type: none"> ⇔ 3.1.2. : structure bactérienne (NAM, NAG, inclusions) ⇔ 3.2.2. : catabolisme oxydatif des glucides ○ 2.1.1. - 2.1.2. - 2.1.3. - 2.1.4. : substrats 		

- ⇔ 2.2.1. : spécificité enzymatique
 - 2.1.2. : lipides, bicouches phospholipidiques
 - ⇔ 1.1.1. - 1.1.2. : protéines membranaires
 - ⇔ 3.1.2. : structure bactérienne (membrane)
 - 2.1.3. : hydrolyse de la liaison peptidique
 - ⇔ 1.1.1. : liaison peptidique, hydrolyse des protéines
 - 2.1.4. : hydrolyse de la liaison phosphodiester
 - ⇔ 4.1.1. : liaison phosphodiester
 - ⇔ 4.1.2. : enzymes de restriction
- SVT :
 - SV-C-1 Les cellules au sein d'un organisme
 - SV-C-3 Membranes et échanges transmembranaires
 - SV-C-4 Intégration physiologique du métabolisme cellulaire
- PHYSIQUE-CHIMIE : familles fonctionnelles en chimie organique – configuration et conformation d'une biomolécule.

2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE

2.2.1. CATALYSE ENZYMATIQUE

Les catalyseurs biologiques présentent des particularités par rapport aux catalyseurs chimiques.

- Spécificité
- Efficacité
- Conditions physiologiques
- Chemin réactionnel
- État de transition
- Énergie d'activation
- Loi d'Arrhénius
- Stabilisation du complexe activé
- Régulation
- Dénaturation

La classification des enzymes est basée sur leurs spécificités de réaction et de substrat.

- Nomenclature EC
- Spécificité de réaction / spécificité de substrat

Les enzymes ont un site actif formé par des acides aminés rapprochés par le repliement tridimensionnel de l'enzyme, faisant parfois intervenir des cofacteurs associés de manière covalente ou non.

- Liaison du substrat / transformation du substrat
- Complexe enzyme-substrat
- Dynamique conformationnelle
- Cofacteur
- Holoenzyme / apoenzyme
- Mécanismes réactionnels

- ▶ Comparer les propriétés des catalyseurs chimiques et des catalyseurs biologiques.
- ▶ Présenter les particularités de la catalyse biologique au niveau moléculaire et énergétique.

- ▶ Identifier la classe de l'enzyme selon l'équation de la réaction qu'elle catalyse, à l'aide d'une documentation.

- ▶ Préciser le(s) type(s) d'interactions mises en jeu entre une enzyme et son substrat.
- ▶ Exploiter des données expérimentales de mutagenèse au niveau du site actif pour mettre en évidence l'importance des propriétés de certains acides aminés et leur rôle probable dans la spécificité de substrat et le mécanisme catalytique.

TB1

<p>2.2.2. CINÉTIQUE À UN SUBSTRAT DES ENZYMES MICHAELIENNES</p> <p>La vitesse initiale est la vitesse de réaction enzymatique en début de réaction lorsqu'elle est quasi-constante.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Vitesse volumique de réaction ● Vitesse initiale v_i ● Phase quasi-stationnaire initiale ● Réaction non catalysée / réaction catalysée <p>La vitesse initiale d'une réaction enzymatique dépend de la concentration totale en enzyme, de la concentration initiale en substrat, ainsi que des conditions opératoires.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Milieu réactionnel ● Conditions initiales ● Approximation de l'état quasi-stationnaire ● Courbe primaire / courbe secondaire ● Formalisation de Michaelis-Menten ● Saturation <p>Les paramètres cinétiques sont déterminés à partir de résultats expérimentaux traités selon différentes modélisations.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Vitesse initiale maximale $v_{i\ max}$ ● Constante de Michaelis K_M ● Efficacité catalytique / affinité ● Constante catalytique ● Constante de spécificité ● Modélisations linéaires / non linéaires 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tracer une courbe cinétique (primaire) de formation du produit ou de consommation du substrat en fonction du temps. ▶ Déterminer la durée de la phase quasi-stationnaire initiale. ▶ Analyser une procédure expérimentale de détermination d'une vitesse initiale de réaction enzymatique en justifiant la méthode de mesure, les conditions opératoires et les témoins réalisés. ▶ Déterminer une vitesse initiale de réaction. ▶ Exprimer la vitesse initiale de réaction dans une unité appropriée. ▶ Tracer la courbe secondaire de saturation de Michaelis-Menten. ▶ Commenter l'allure de la courbe de saturation à l'aide de l'équation de Michaelis-Menten. ▶ Déterminer les paramètres cinétiques d'une enzyme à l'aide d'une modélisation linéaire. ▶ Déterminer les paramètres cinétiques d'une enzyme à l'aide d'un logiciel de modélisation non linéaire. ▶ Argumenter le choix d'une enzyme en fonction des besoins technologiques et de ses paramètres cinétiques. 	TB1
<p>2.2.3. ACTIVITÉ ENZYMATIQUE DES ENZYMES MICHAELIENNES</p> <p>L'activité catalytique se détermine par mesure de la vitesse initiale de transformation de la réaction dans des conditions expérimentales données. Elle traduit une quantité d'enzyme active.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Conditions standardisées ● Réactions couplées 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Analyser une procédure expérimentale de détermination de l'activité catalytique d'une 	TB2

<ul style="list-style-type: none"> ● Réaction principale / réaction auxiliaire / réaction indicatrice ● Réaction non catalysée / réaction catalysée ● Étape cinétiquement déterminante <p>Différentes grandeurs permettent de caractériser une préparation enzymatique afin de suivre la purification d'une enzyme.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Concentration d'activité catalytique / activité catalytique spécifique ● Rendement / enrichissement 	<p>enzyme, en justifiant la méthode de mesure, les conditions opératoires, les couplages éventuels de réaction et les témoins réalisés.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Déterminer une activité catalytique. ▶ Exprimer l'activité catalytique dans une unité appropriée. ▶ Déterminer une concentration d'activité catalytique. ▶ Déterminer une activité catalytique spécifique. ▶ Conclure quant à la qualité d'une purification d'enzyme à partir des valeurs de rendement et d'enrichissement. 	
<p>2.2.4. MODULATION DE L'ACTIVITÉ ENZYMATIQUE DES ENZYMES MICHAELIENNES</p> <p>Les performances des enzymes michaeliennes dépendent des conditions expérimentales.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Température optimale ● Activation thermique / dénaturation thermique ● Loi d'Arrhénius ● pH optimal / pH d'arrêt <p>Les performances des enzymes michaeliennes dépendent de la présence d'effecteurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Activation ● Inhibition compétitive / non compétitive pure ● Inhibition par excès de substrat 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Déterminer la température optimale et le pH optimal de fonctionnement d'une enzyme. ▶ Expliquer l'évolution de l'activité enzymatique en fonction de la température ou en fonction du pH. ▶ Argumenter le choix des conditions opératoires lors d'une utilisation d'enzymes au laboratoire. ▶ Identifier l'effet inhibiteur ou activateur d'un ligand à partir de résultats expérimentaux. ▶ Déterminer les paramètres cinétiques apparents pour distinguer une inhibition compétitive d'une inhibition non compétitive pure. ▶ Relier la modification des paramètres cinétiques et le schéma réactionnel. 	TB1
<p>2.2.5. CINÉTIQUE DES ENZYMES ALLOSTÉRIQUES</p> <p>La vitesse initiale des enzymes allostériques dépend de leur conformation, qui est influencée par la fixation de ligands.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Oligomère / protomère ● Site actif / site allostérique ● Sites interdépendants ● Effecteur ● Homotropie / hétérotropie ● Forme R / forme T ● Transition allostérique 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Argumenter le comportement michaelien ou allostérique d'une enzyme sur la base de la comparaison des courbes $v_i = f([S]_0)$. ▶ Commenter l'allure de la courbe de saturation d'une enzyme allostérique en lien avec la transition conformationnelle. 	TB2

<ul style="list-style-type: none"> ● Vitesse initiale maximale ● Constante $K_{0,5}$ ● Affinité 	<p>► Reconnaître un effet activateur allostérique et un effet inhibiteur allostérique à partir des courbes $v_i = f([S]_0)$ d'un système K.</p>	
---	--	--

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Détermination d'une vitesse initiale.
- Détermination des paramètres cinétiques d'une enzyme michaelienne.
- Détermination d'une activité catalytique.
- Étude de la modification d'une activité catalytique par un effecteur.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

Les classes d'enzymes ne sont pas à connaître.

La démonstration de l'équation de Michaelis-Menten n'est pas exigible.

L'utilisation des différentes modélisations n'impose pas que ces modèles soient sus. Les variables des différentes modélisations sont données afin de déterminer les paramètres cinétiques.

Seuls les modèles de l'inhibition compétitive et non compétitive sont traités.

Les modulations de l'activité enzymatique par modification covalente ne sont pas traitées en Biotechnologies.

Seuls les systèmes allostériques à coopérativité positive de type K sont abordés.

Les explications de la transition allostériques sont limitées aux modèles concerté (Monod-Wyman-Changeux) et séquentiel (Koshland-Nemethy-Filmer).

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
 - 2.2.1. : spécificité enzymatique
 ⇔ 2.1.1. - 2.1.2. - 2.1.3. - 2.1.4. : substrats
 - 2.2.1. - 2.2.4. : catalyse enzymatique, modulation de l'activité enzymatique
 ⇔ 1.1.1. : propriétés des acides aminés, structures tridimensionnelles des protéines
 - 2.2.3. : activité enzymatique
 ⇔ 1.2.2. : dosage d'activité biologique
- SVT :
 - SV-B-1 La respiration : une fonction en interaction directe avec le milieu
 - SV-C-4 Intégration physiologique du métabolisme cellulaire
- PHYSIQUE-CHIMIE : catalyse – profil réactionnel – cinétique chimique – loi d'Arrhénius – point isoélectrique.
- MATHÉMATIQUES : asymptotes d'une hyperbole – changement de variable – régression linéaire.

2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES

2.3.1. DES ENZYMES POUR ANALYSER

Les enzymes permettent de doser des substrats en phase homogène.

- Méthode en point final
- Réaction principale / réaction auxiliaire / réaction indicatrice
- Spécificité

► Analyser une démarche expérimentale de dosage d'un substrat en point final, en justifiant la méthode de mesure, les conditions opératoires, les couplages éventuels de réactions et les

TB2

<ul style="list-style-type: none"> ● Étalonnage ● Sensibilité de la méthode ● Seuil de détection / seuil de quantification ● Domaine de mesurage ● Interférences <p>Les enzymes permettent de révéler un complexe antigène-anticorps dans le cadre de dosages immunoenzymatiques en phase hétérogène.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Complexe antigène-anticorps ● ELISA ● Méthode directe / indirecte ● Méthode non compétitive / compétitive ● Méthode simple / méthode sandwich ● Témoins ● Spécificité ● Étalonnage ● Sensibilité de la méthode ● Seuil de détection / seuil de quantification ● Domaine de mesurage ● Réactions croisées 	<p>témoins réalisés.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Déterminer la concentration d'un substrat lors d'un dosage en point final. ▶ Réaliser un schéma à l'échelle moléculaire des différentes étapes d'un mode opératoire de dosage immunoenzymatique. ▶ Analyser une démarche expérimentale de dosage immunoenzymatique pour déterminer le type de dosage réalisé. ▶ Expliquer le rôle de chaque étape d'un dosage immunoenzymatique. ▶ Proposer le protocole de réalisation d'un témoin en précisant son rôle. ▶ Relier l'allure de la courbe de dosage au principe de la méthode. ▶ Déterminer la concentration en antigène ou en anticorps d'un échantillon à l'aide d'une courbe d'étalonnage. 	
<p>2.3.2. DES ENZYMES POUR PRODUIRE</p> <p>Les enzymes sont utilisées industriellement comme agents de production.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Bioconversion ● Biodégradation <p>Les enzymes ou les cofacteurs enzymatiques peuvent être immobilisés selon différentes techniques. Les enzymes sont alors stabilisées et réutilisables. Certaines de leurs propriétés sont modifiées.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Immobilisation par méthode physique / chimique ● Activité enzymatique ● Paramètres cinétiques ● Macroenvironnement / microenvironnement ● Partage / diffusion ● Stabilité thermique ● Structure tridimensionnelle <p>Les enzymes dans l'industrie sont utilisées dans des bioréacteurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Paramètres cinétiques ● Débit ● Continu / discontinu ● Réacteur à lit fixé 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Illustrer l'utilisation d'enzymes dans le domaine industriel par des exemples. ▶ Comparer différentes méthodes d'immobilisation à partir d'une documentation ou de données expérimentales. ▶ Déterminer le rendement d'immobilisation d'une enzyme. ▶ Argumenter le choix d'une méthode d'immobilisation au vu des exigences de production et des performances de la méthode d'immobilisation. ▶ Comparer le fonctionnement des différents types de bioréacteurs enzymatiques à partir d'une documentation ou de données expérimentales. 	TB2

- Optimisation

- ▶ Déterminer un taux de conversion pour un réacteur discontinu ou continu.

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Dosage d'un substrat par méthode enzymatique en point final.
- Dosage immunoenzymatique.
- Immobilisation d'une enzyme.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

La représentation des architectures moléculaires se limite aux immunoglobulines de type G

Deux exemples permettent d'illustrer l'utilisation d'enzymes dans le domaine industriel.

Les méthodes d'immobilisation à envisager sont : inclusion (en matrice, encapsulation), liaison (interactions ou liaisons ioniques, adsorption, liaisons covalentes), réticulation (enzymatique, chimique).

La comparaison des méthodes d'immobilisation permet de faire émerger les points critiques et les avantages de ces techniques.

La modélisation mathématique du fonctionnement d'un bioréacteur n'est pas attendue.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
 - **2.3.1.** : dosages immunoenzymatiques
⇔ **1.3.2.** : interactions antigène-anticorps
 - **2.3.2.** : génie enzymatique
⇔ **1.1.1.** - **1.1.2.** : purification de protéines d'intérêt
⇔ **3.3.4.** - **3.3.5.** : génie fermentaire
⇔ **4.5.2.** - **4.5.3.** : ingénierie des protéines, génie génétique
- SVT :
 - SV-F Le développement embryonnaire chez les vertébrés
- PHYSIQUE CHIMIE : catalyse.

PARTIE 3 : MICROBIOLOGIE ET GÉNIE FERMENTAIRE

La diversité des microorganismes présente un intérêt écologique (cycle du carbone, cycle de l'azote, rumen, microbiote), et peut être exploitée par l'homme dans diverses applications biotechnologiques : fertilisation des sols, fermentations industrielles, traitement des eaux, production de biocarburants, dépollution. En effet, cette diversité se décline du point de vue structural et métabolique, expliquant l'implantation des microorganismes dans tous les biotopes et leur permettant de jouer un rôle clé dans tous les écosystèmes.

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES	
3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ		
<p>3.1.1. UNITÉ DU MONDE MICROBIEN</p> <p>Les microorganismes sont des êtres vivants microscopiques. La place des virus dans le vivant est discutée.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Échelle microscopique ● Organisation eucaryote / procaryote / acaryote ● Unité du vivant ● Cellulaire / acellulaire 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Discriminer les trois domaines du vivant (Bactéries, Archées, Eucaryotes). ▶ Dégager les points communs à tous les microorganismes pour montrer que la cellule est l'unité structurale et fonctionnelle du vivant. 	TB1
<p>3.1.2. DIVERSITÉ DES MICROORGANISMES</p> <p>Les microorganismes d'intérêt sont des bactéries, des levures, des moisissures, des microalgues.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Critères de description <p>Les bactéries présentent des éléments structuraux communs caractéristiques et des éléments structuraux variables en lien avec les conditions environnementales.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Éléments communs / éléments variables ● Structure / ultrastructure ● Structure-fonction ● Coloration différentielle ● Perméabilité pariétale <p>Les méthodes d'identification permettent d'attribuer un nom aux microorganismes par référence à une classification. La démarche d'identification est adaptée à l'objectif. Les méthodes d'identification ont évolué.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Classification / identification ● Taxon / niveau taxonomique ● Base de données de référence ● Approches dichotomique / probabiliste / moléculaire 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Décrire un microorganisme en utilisant la taille, la forme, la mobilité, le mode de groupement et la coloration, selon les modes opératoires mis en œuvre. ▶ Identifier les éléments constituant une cellule bactérienne à partir d'observations expérimentales ou d'électronographies. ▶ Expliquer le rôle des étapes d'une coloration différentielle, en reliant l'action des réactifs aux propriétés des éléments structuraux pariétaux mis en évidence. ▶ Appliquer une démarche raisonnée d'identification phénotypique pour déterminer un genre et une espèce, à l'aide d'une documentation. 	TB1 TB2

<ul style="list-style-type: none"> ● Pouvoir discriminant ● Critères d'efficacité / de performance 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Comparer une méthode d'identification phénotypique à une méthode d'identification moléculaire ou à une méthode d'identification par spectrométrie de masse, à l'aide d'une documentation. 	
<p>3.1.3. VIRUS</p> <p>Les virus ne sont pas des microorganismes, ce sont des entités nucléoprotéiques qui ne sont pas autonomes pour se multiplier.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Parasite intracellulaire obligatoire ● Hôte <p>Un cycle viral dépend de la nature du virus et de l'hôte infecté.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Multiplication virale ● Sensibilité / permissivité 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Montrer le caractère parasite intracellulaire obligatoire à l'aide d'un cycle viral. ▶ Repérer les grandes étapes de multiplication d'un virus à partir de l'étude de son cycle. ▶ Relier le déroulement des étapes du cycle viral à l'organisation moléculaire du virus. 	TB2
<p>ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'une coloration différentielle (Gram, coloration des spores...) à l'aide d'une fiche technique. - Réalisation d'examens microscopiques de cellules vivantes et de frottis après coloration. - Réalisation d'une identification phénotypique. <p>À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION - 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES - 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES 		
<p>LIMITES & COMMENTAIRES :</p> <p>En biotechnologies, l'identification des microorganismes (levures, moisissures, microalgues) est à visée applicative et s'appuie sur une nomenclature. En SVT, l'approche est essentiellement phylogénétique et s'intéresse aux liens de parentés entre organismes.</p> <p>L'identification se limite aux bactéries et aux levures. Aucune galerie d'identification n'est à connaître.</p> <p>Les méthodes d'identification moléculaires ne sont pas à connaître mais seulement présentées à partir d'une documentation. Le principe de la spectrométrie de masse n'est pas exigible.</p> <p>Aucune monographie de virus n'est attendue. Il s'agit de montrer la diversité structurale (organisation structurale, taille, présence ou non d'une enveloppe, nature de l'information génétique) et la diversité d'hôte à l'aide de trois exemples dont un bactériophage à ADN.</p>		
<p>LIENS :</p> <ul style="list-style-type: none"> □ BIOTECHNOLOGIES : <ul style="list-style-type: none"> ○ 3.1.2. : structure bactérienne (NAM, NAG, inclusions, membrane) <ul style="list-style-type: none"> ⇔ 2.1.1. : hétérosides ⇔ 2.1.2. : lipides ○ 3.1.2. : identification <ul style="list-style-type: none"> ⇔ 3.2.1. : métabolisme énergétique ⇔ 3.3.3. : diauxie ⇔ 4.5.1. : opéron lactose □ SVT : <ul style="list-style-type: none"> ○ SV-C La cellule dans son environnement ○ SV-D-1 Génome des cellules, transmission de l'information génétique 		

3.2. LA DIVERSITÉ DES MÉTABOLISMES MICROBIENS, UN INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE

3.2.1. MÉTABOLISME ÉNERGÉTIQUE

Le métabolisme des microorganismes permet de les catégoriser en types trophiques.

- Anabolisme / catabolisme
- Métabolisme énergétique
- Sources d'énergie / d'électrons / de matière / de facteurs de croissance
- Versatilité métabolique

Le potentiel énergétique existe sous différentes formes.

- Enthalpie libre de réaction
- Énergie lumineuse
- Énergie chimique
- Énergie osmotique
- Couplages énergétiques
- Transduction

L'ATP est produit par différents mécanismes de phosphorylation.

- Composé à haut potentiel d'hydrolyse
- Couplage chimio-chimique / osmo-chimique
- Transduction
- Moteur moléculaire
- Dynamique conformationnelle

Les chaînes de transporteurs membranaires d'électrons présentent une unité dans leur diversité.

- Donneur primaire / accepteur final d'électrons
- Potentiel d'oxydo-réduction
- Gradient électrochimique de cations
- Translocation de cations
- Couplage chimio-osmotique / photo-chimique

Le pouvoir réducteur peut être créé dans le

- ▶ Relier la couverture des besoins des microorganismes en énergie, en électrons, en matière et en facteurs de croissance éventuels à leurs types trophiques.
- ▶ Réaliser un schéma de synthèse pour montrer les transductions entre les formes d'énergie à partir de documents présentant différentes voies métaboliques.
- ▶ Expliquer le rôle central de l'ATP dans le métabolisme énergétique.
- ▶ Expliquer la notion de couplage énergétique.
- ▶ Expliquer le couplage chimio-chimique à l'origine de la phosphorylation au niveau du substrat.
- ▶ Expliquer le couplage osmo-chimique au niveau de l'ATP synthase.
- ▶ Distinguer les types de transporteurs (électrons / électrons-cations) dans une chaîne de transporteurs membranaires.
- ▶ Identifier le donneur primaire et l'accepteur final d'électrons d'une chaîne de transporteurs membranaires.
- ▶ Expliquer le couplage chimio-osmotique à l'origine de la création du gradient transmembranaire de cations.
- ▶ Comparer l'organisation fonctionnelle d'une chaîne membranaire respiratoire et l'organisation fonctionnelle d'une chaîne membranaire photosynthétique.
- ▶ Comparer le fonctionnement de chaînes membranaires de transfert d'électrons en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction et d'enthalpie libre de réaction.

TB1

<p>cytoplasme ou à l'issue d'un transport membranaire d'électrons.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Production cytosolique ● Flux membranaire direct ● Flux membranaire inverse 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Distinguer les modes de production des cofacteurs réduits lors de l'analyse de voies métaboliques. 	
<p>3.2.2. MICROORGANISMES CHIMIOTROPHES</p> <p>Les microorganismes chimiotrophes oxydent un composé chimique réduit pour produire de l'ATP et du pouvoir réducteur.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Chimioorganotrophie / chimiolithotrophie ● Respiration aérobie / respirations anaérobies ● Fermentations ● Couplage chimio-chimique / chimio-osmotique / osmo-chimique ● Rendement énergétique ● Donneur primaire / accepteur final d'électrons ● Réoxydation des coenzymes ● Carrefour métabolique 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Écrire les bilans de matière et d'énergie de la glycolyse et des fermentations éthanolique et homolactique à partir du glucose chez les chimioorganotrophes. ▶ Établir les bilans de matière et d'énergie de voies métaboliques chez les chimioorganotrophes. ▶ Établir les bilans de matière et d'énergie de voies métaboliques chez les chimiolithotrophes ▶ Expliquer le rôle métabolique central du cycle de Krebs chez les chimioorganotrophes à partir d'une documentation. ▶ Schématiser l'organisation fonctionnelle d'une chaîne membranaire respiratoire. ▶ Expliquer le fonctionnement de la chaîne membranaire respiratoire en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction et d'enthalpie libre de réaction. ▶ Repérer les réactions faisant intervenir des couplages énergétiques et identifier le type de couplage mis en jeu. ▶ Comparer des voies métaboliques en termes de donneur primaire et d'accepteur final d'électrons, de voie de réoxydation des coenzymes, de mode de production d'ATP, et de rendement énergétique, à l'aide d'une documentation. ▶ Présenter l'intérêt des fermentations éthanolique et homolactique dans le cadre de productions d'intérêt industriel et/ou agroalimentaire. 	TB1
<p>3.2.3. MICROORGANISMES PHOTOTROPHES AUTOTROPHES</p> <p>Les microorganismes phototrophes utilisent une source d'énergie lumineuse pour produire de l'ATP et du pouvoir réducteur. Chez les microorganismes autotrophes, l'ATP et le pouvoir réducteur sont réinvestis pour la synthèse de matière organique.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Phototrophie / photosynthèse ● Photosynthèse oxygénique ● Réaction photo-chimique 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Schématiser l'organisation fonctionnelle de la chaîne photosynthétique des cyanobactéries. 	TB1

<ul style="list-style-type: none"> ● Photosystèmes / antennes collectrices / centre réactionnel ● Couplage photo-chimique / chimio-osmotique / osmo-chimique /chimio-chimique ● Donneur primaire / accepteur final d'électrons ● Autotrophie vis-à-vis du carbone 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Expliquer le fonctionnement de la chaîne membranaire photosynthétique en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction lors de la production d'ATP et de pouvoir réducteur chez les cyanobactéries. ▶ Écrire l'équation de la réaction catalysée par la RuBisCO. ▶ Établir le bilan de matière et d'énergie du cycle de Calvin. ▶ Montrer l'importance de l'ATP et du pouvoir réducteur pour la fixation autotrophe du CO₂ au niveau du cycle de Calvin. ▶ Repérer les réactions faisant intervenir des couplages énergétiques dans la photosynthèse et identifier le type de couplage mis en jeu. 	
<p>3.2.4. ÉCOLOGIE MICROBIENNE</p> <p>Les microorganismes présentent une diversité de métabolismes et de modalités pour s'implanter dans les écosystèmes. Ils jouent un rôle clé dans certaines étapes des cycles de l'azote et du carbone.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Biotope / biocénose ● Biofilms ● Coopération entre microorganismes ● Cycle de la matière ● Interconversions matière minérale-matière organique 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Montrer la coopération au niveau nutritionnel d'une association de microorganismes. ▶ Identifier le type trophique des microorganismes intervenant à chaque étape d'un cycle de la matière. ▶ Distinguer les réactions d'assimilation et de dissimilation dans les cycles de la matière. ▶ Construire un schéma simple du cycle de l'azote ou du carbone en indiquant les différentes formes de la matière et les types trophiques des microorganismes intervenant dans les interconversions. 	TB2
<p><u>ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Détermination du type respiratoire. - Réalisation de tests enzymatiques en vue de l'étude du métabolisme. <p><u>À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES - 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION - 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES - 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES 		
<p><u>LIMITES & COMMENTAIRES :</u></p> <p>Seules les formules semi-développées du D-glucopyranose, du pyruvate, du groupement acétyl (de l'acétyl-coenzyme A), de l'éthanol et du lactate sont à connaître.</p> <p>Les valeurs des potentiels d'oxydoréduction standards apparents des couples suivants sont à connaître : NAD⁺/NADH et O₂/H₂O.</p> <p>L'étude du fonctionnement de l'ATP synthase se limite au principe général de son fonctionnement.</p>		

La présentation des voies métaboliques se fait à partir d'exemples choisis pour leur intérêt écologique et/ou biotechnologique : respiration aérobie, respiration anaérobie des nitrates (dénitrification), méthanogenèse, nitrification, fermentations éthanolique et homolactique... Ils permettent d'illustrer les interconversions entre les formes d'énergie et de mettre en évidence la diversité des couplages énergétiques.

Une coordination entre les enseignants de SVT et de biotechnologies est indispensable lors de l'étude de la photosynthèse. Les photosynthèses anoxygéniques ne sont pas traitées.

La comparaison de ces voies métaboliques se fait à plusieurs niveaux : comparaison de respirations chez les chimioorganotrophes, comparaison de fermentations chez les chimioorganotrophes, comparaisons entre les respirations et les fermentations chez les chimioorganotrophes, comparaison des respirations entre les chimioorganotrophes et les chimiolithotrophes.

Une coordination entre les enseignants de SVT et de biotechnologies est indispensable lors de l'étude des cycles de la matière.

L'étude des cycles de l'azote et du carbone permet d'illustrer la diversité métabolique des microorganismes, en lien avec les métabolismes des chimiotrophes (dénitrification, nitrification, méthanogenèse) et des phototrophes (photosynthèse oxygénique) présentés par ailleurs.

Les associations de microorganismes peuvent être abordés à l'aide d'exemples simples : biofilms (corrosion de tuyau, plaque dentaire, environnement...), bioréacteurs naturels (rumen...).

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
 - 3.2.1. - 3.2.2. : métabolisme énergétique
 - ⇔ 3.1.2. : identification
 - ⇔ 3.3.1. : types trophiques, nutrition, culture
 - 3.2.2. : catabolisme oxydatif des glucides
 - ⇔ 2.1.1. : oses
- SVT :
 - SV-A-1 Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé
 - SV-A-2 Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée
 - SV-C-4 Intégration physiologique du métabolisme cellulaire
 - SV-H-2 Les écosystèmes : structure, fonctionnement et dynamique
 - BG-A-1 Le cycle du carbone
 - BG-A-2 Le cycle de l'azote
 - BG-B-1 Le sol
- PHYSIQUE-CHIMIE : évolution spontanée d'un système physico-chimique modélisée par une réaction d'oxydo-réduction – modélisation de la transformation d'un système chimique par une réaction d'oxydo-réduction – osmose et diffusion de particules à travers une membrane – loi de Fick.

3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES

3.3.1. NUTRITION ET CULTURE DES MICROORGANISMES

La connaissance des besoins nutritionnels et des exigences physico-chimiques des microorganismes permet de concevoir des milieux de culture appropriés et de mettre en place des conditions de culture adaptées.

- Types trophiques
- Température optimale / pH optimal
- Atmosphère de culture
- Milieux sélectifs
- Milieux différentiels

► Expliquer l'influence des paramètres physico-chimiques sur le développement des microorganismes.

► Relier les résultats de culture d'un

TB1

	<p>microorganisme dans des conditions données à ses exigences nutritionnelles ou physico-chimiques.</p> <p>▶ Relier la composition biochimique d'un milieu de culture et son(s) utilisation(s) : isolement, enrichissement, sélection, identification, production.</p>	
<p>3.3.2. QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES</p> <p>La quantification d'une population microbienne permet d'estimer sa concentration dans un milieu de culture, au cours d'une croissance, dans un produit biotechnologique, lors de contrôles d'hygiène.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Cellules totales / revivifiables / viables non cultivables ● Seuil de quantification ● Facteur de proportionnalité 	<p>▶ Expliquer le principe d'une technique de quantification usuelle des microorganismes.</p> <p>▶ Dégager le principe d'une technique de quantification à l'aide d'une documentation.</p> <p>▶ Comparer des techniques de quantification en termes d'informations apportées, de rapidité, de simplicité, de robustesse, de seuil de quantification et d'intérêt selon les objectifs.</p> <p>▶ Déterminer une concentration en microorganismes dans un échantillon.</p> <p>▶ Interpréter des résultats de quantification en lien avec le contexte.</p>	TB1
<p>3.3.3. CROISSANCE DES MICROORGANISMES</p> <p>La croissance des microorganismes unicellulaires en milieu liquide non renouvelé peut être modélisée.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Division bactérienne ● Vitesse volumique de croissance / vitesse spécifique de croissance ● Temps de génération / taux horaire de croissance ● Bactériostase / bactéricidie ● Diauxie 	<p>▶ Expliquer la courbe d'évolution de la biomasse en fonction du temps.</p> <p>▶ Représenter une courbe de croissance microbienne à partir de résultats expérimentaux.</p> <p>▶ Nommer les phases de croissance et déterminer leur durée.</p> <p>▶ Déterminer les paramètres cinétiques de croissance.</p> <p>▶ Présenter les facteurs influençant la durée des phases et les valeurs des paramètres cinétiques de croissance.</p> <p>▶ Relier la croissance en présence d'un inhibiteur à son effet bactériostatique ou bactéricide.</p> <p>▶ Relier la croissance diauxique à la consommation successive de deux substrats.</p>	TB1

<p>3.3.4. CULTURES EN BIORÉACTEUR</p> <p>La culture des microorganismes en bioréacteur permet la bioproduction, la bioconversion et la biodégradation.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Culture en milieu non renouvelé (<i>batch</i>) / culture en milieu alimenté (<i>fed-batch</i>) / culture en milieu renouvelé (culture continue) ● Biomasse ● Métabolites associés à la croissance / non associés à la croissance ● Rendement ● Productivité <p>Le bioréacteur de laboratoire permet d'optimiser la culture des microorganismes, à plus ou moins grande échelle.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Culture contrôlée ● Boucle de régulation ● Analyses en ligne / hors ligne 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Présenter les caractéristiques générales de la culture discontinue en milieu non renouvelé (<i>batch</i>). ▶ Déterminer à partir de résultats expérimentaux de croissance en milieu non renouvelé : <ul style="list-style-type: none"> - le rendement global de conversion d'un substrat en biomasse ; - le rendement global de conversion d'un substrat en produit ; - la productivité volumique horaire ou la productivité horaire. ▶ Interpréter les paramètres cinétiques et de production caractérisant une croissance en milieu non renouvelé. ▶ Distinguer métabolites associés à la croissance et métabolites non associés à la croissance à partir de résultats expérimentaux de bioproduction. ▶ Comparer les cultures discontinues en milieu non renouvelé, les cultures semi-discontinues en milieu alimenté et les cultures continues en milieu renouvelé du point de vue de leurs applications et de leurs contraintes. ▶ Relier les différents éléments du bioréacteur à leur(s) rôle(s) dans le contrôle et la régulation des paramètres physico-chimiques (agitation, température, pH, gaz dissous) lors de la culture de microorganismes. ▶ Présenter les particularités de la culture en bioréacteur par rapport à une croissance en milieu liquide agité thermostaté. 	<p>TB2</p>
<p>3.3.5. CHOIX ET SÉLECTION DES SOUCHES D'INTÉRÊT</p> <p>Les principaux microorganismes d'intérêt industriel sont les levures, les moisissures et les bactéries.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Cahier des charges ● Risque biologique ● Performance ● Rendement <p>Ces microorganismes peuvent être utilisés tels quels, être sélectionnés spécifiquement pour leurs propriétés ou encore être améliorés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Expliciter quelques critères de choix d'une souche d'intérêt industriel. 	<p>TB2</p>

- Sélection

► Analyser des stratégies d'obtention et de sélection d'une souche d'intérêt à partir d'une documentation.

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Cultures bactériennes : isolement, enrichissement, sélection.
- Quantification d'une population microbienne.
- Étude d'une croissance de microorganismes en milieu liquide thermostaté.
- Étude d'une croissance de microorganismes en milieu non renouvelé dans un bioréacteur.
- Exploitation d'analyses quantitatives en ligne et hors ligne.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

La composition des différents milieux de culture ou le mode d'action des agents sélectifs n'est pas à connaître. En revanche, à l'aide d'une documentation, chaque étudiant doit être capable d'analyser la composition d'un milieu de culture pour en déduire son utilisation et effectuer un choix raisonné, en relation avec le microorganisme à cultiver et l'objectif suivi.

Le principe des techniques usuelles par comptage direct, par mise en culture sur milieu solide, par photométrie des milieux troubles, par mesure du poids sec est exigible.

La cytométrie en flux, l'impédancemétrie, le dosage de l'ATP par bioluminescence sont présentés à partir d'une documentation.

Le principe de fonctionnement des électrodes utilisées dans les bioréacteurs n'est pas à connaître.

Le caractère non pathogène, la facilité de culture ainsi que le rendement et la facilité de purification du produit d'intérêt constituent des critères de choix d'une souche d'intérêt industriel.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
 - 3.3.1. : types trophiques, nutrition, culture
⇔ 3.2.1. - 3.2.2. : métabolisme énergétique
 - 3.3.3. : diauxie
⇔ 3.1.2. : identification des bactéries (test ONPG)
⇔ 3.3.1. : nutrition et culture des microorganismes
⇔ 4.5.1. : opéron lactose
 - 3.3.4. - 3.3.5. : génie fermentaire
⇔ 3.3.1. : types trophiques, nutrition, culture
⇔ 3.3.3. : croissance, suivi de croissance
 - 3.3.4. - 3.3.5. : génie fermentaire
⇔ 1.1.1. - 1.1.2. : purification de protéines d'intérêt
⇔ 2.3.2. : génie enzymatique
⇔ 4.5.2. - 4.5.3. : ingénierie des protéines, génie génétique
- SVT :
 - SV-H-1 Les populations et leur démographie
- MATHÉMATIQUES : fonction logarithme népérien – fonction exponentielle – dérivation.

PARTIE 4 : BIOLOGIE MOLÉCULAIRE DES ACIDES NUCLÉIQUES ET GÉNIE GÉNÉTIQUE

Les outils du génie génétique permettent de modifier des microorganismes d'intérêt afin d'optimiser leur utilisation en biotechnologies. L'extraction et la purification des acides nucléiques sont des étapes essentielles dans une démarche de génie génétique. Elles s'appuient sur la structure et les propriétés physico-chimiques des acides nucléiques. La spécificité d'appariement des bases azotées est le fondement de l'hybridation moléculaire, concept central en biologie moléculaire dont découlent de nombreuses applications biotechnologiques telles que la PCR ou le séquençage.

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES	
4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION		
<p>4.1.1. STRUCTURE DES ACIDES NUCLÉIQUES</p> <p>Les acides nucléiques sont des polymères de nucléotides.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Polymère ● Nucléotide ● Base azotée ● Liaison phosphodiester ● Molécule orientée ● Orientation 5'-3' <p>Les acides nucléiques adoptent une structure tridimensionnelle. La stabilité de celle-ci dépend de leur séquence et des conditions physico-chimiques du milieu.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Complémentarité ● Brins antiparallèles ● Interaction d'empilement ● Liaison hydrogène ● Dénaturation ● Température de fusion T_m 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Représenter la formule semi-développée d'un nucléotide, les formules des bases azotées étant fournies. ▶ Distinguer bases puriques et bases pyrimidiques. ▶ Représenter une liaison phosphodiester. ▶ Repérer l'orientation d'un acide nucléique. ▶ Distinguer acides ribonucléique et désoxyribonucléique. ▶ Représenter par un schéma la structure bicaténaire de l'ADN-B permettant de mettre en évidence les interactions entre bases complémentaires et successives. ▶ Relier la stabilité d'une structure bicaténaire à sa taille, à son pourcentage en GC, et aux conditions physico-chimiques du milieu. 	TB1
<p>4.1.2. DU MATÉRIEL BIOLOGIQUE À L'EXTRAIT NUCLÉIQUE PURIFIÉ</p> <p>Les méthodes d'extraction et de purification des acides nucléiques reposent sur leurs propriétés physico-chimiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Polyanion ● Polarité ● Solubilité 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Relier la structure des acides nucléiques à leurs propriétés physico-chimiques. ▶ Analyser les différentes étapes d'une procédure opératoire d'extraction d'acides nucléiques. ▶ Analyser les différentes étapes d'une procédure 	TB1

<p>La purification des acides nucléiques est contrôlée par spectrophotométrie et par électrophorèse.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Propriété spectrale ● Pureté ● Rendement ● Enzyme de restriction 	<p>opérateur de purification d'acides nucléiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Identifier, dans une procédure opératoire, les précautions à prendre lors de l'extraction et de la purification, afin de préserver la structure de l'acide nucléique d'intérêt. ▶ Justifier l'intérêt du rapport A_{260}/A_{280}. ▶ Argumenter les choix de réalisation d'une électrophorèse de contrôle : pourcentage d'agarose, témoin de migration, marqueur de tailles. ▶ Analyser un électrophorégramme d'une préparation d'ARN totaux purifiés. ▶ Analyser un électrophorégramme d'une préparation d'ADN plasmidique avec ou sans restriction dans le cadre d'un contrôle de purification. ▶ Déterminer la taille d'un ADN double brin linéaire par comparaison avec un marqueur de tailles. ▶ Conclure quant à la qualité de la purification d'un ADN génomique, d'un ADN plasmidique ou d'ARN à partir de résultats expérimentaux. 	
--	---	--

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Purification d'ADN génomique et d'ADN plasmidique à l'aide de kits.
- Vérification de la qualité des produits de purification d'ADN génomique par méthode spectrophotométrique.
- Vérification de la qualité des produits de purification d'ADN plasmidique par restriction / électrophorèse.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

Les formules semi-développées des molécules suivantes sont à connaître : D-ribofuranose, D-2-désoxyribofuranose. La numérotation de leurs atomes de carbone est exigible.

La structure des phosphates et la nomenclature liée à leur positionnement au sein du nucléotide est exigible.

La formule semi-développée des bases n'est pas exigible.

Seules les méthodes d'extraction et de purification des acides nucléiques à l'aide d'un kit d'extraction-purification sont attendues.

Seules les méthodes de purification par chromatographie sur colonne ou en *batch* sont attendues : purification d'ADN génomique, plasmidique, des ARN totaux ou des ARN messagers eucaryotes.

D'autres méthodes pourront cependant être présentées en formation.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
 - 4.1.1. - 4.1.2. : liaison phosphodiester, enzymes de restriction
 - ⇔ 2.1.4. : hydrolyse de la liaison phosphodiester
 - ⇔ 4.5.1. : contrôle d'un clonage par restriction
 - 4.1.1. : complémentarité des bases, orientation 5'-3'
 - ⇔ 4.2.1. : hybridation de séquences complémentaires antiparallèles
 - ⇔ 4.3.1. - 4.3.3. : amorces
 - ⇔ 4.4.2. : alignement de séquences
 - 4.1.1. : structure bicaténaire
 - ⇔ 4.3.1. - 4.3.3. : dénaturation, température de fusion
 - 4.1.2. : polyanion
 - ⇔ 4.3.2. : migration électrophorétique des acides nucléiques
- SVT :
 - SV-D Génomique structurale et fonctionnelle

4.2. L'HYBRIDATION MOLÉCULAIRE, UNE ASSOCIATION SPÉCIFIQUE DE SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES

4.2.1. HYBRIDATION

L'hybridation moléculaire en phase homogène ou hétérogène est basée sur la spécificité d'appariement de séquences complémentaires.

- Séquence cible (matrice)
- Sonde (chaude / froide)
- Hybride

La spécificité d'appariement des séquences complémentaires dépend des conditions physico-chimiques de l'hybridation.

- Liaison hydrogène
- Complémentarité des bases
- Brins antiparallèles
- Interactions spécifiques / non spécifiques
- Stringence

► Expliquer le principe général de l'hybridation moléculaire.

► Classer des conditions d'hybridation en fonction de leur stringence.

► Relier les conditions de stringence à la spécificité de l'hybridation souhaitée.

TB2

4.2.2. APPLICATIONS DE L'HYBRIDATION

Certains outils d'analyse du génome et du transcriptome se basent sur le concept d'hybridation.

- Phase hétérogène
- Southern blot / northern blot
- Puce à ADN
- Approche "-omique"
- *Blotting*
- Sonde
- Amplification du signal

► Expliquer le principe du northern blot en comparaison avec celui du Southern blot.

► Présenter les intérêts de l'utilisation d'une puce à ADN par rapport à ceux du northern blot.

TB2

LIMITES & COMMENTAIRES :

Le concept d'hybridation est réinvesti en SVT lors de la présentation du processus de réplication et lors de l'analyse de résultats expérimentaux obtenus par hybridation *in situ*, FISH ou autres...

Le Southern blot est abordé pour sa dimension historique.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
 - 4.2.1. : hybridation de séquences complémentaires antiparallèles
 - ⇔ 4.1.1. : complémentarité des bases, orientation 5'-3'
 - ⇔ 4.3.1. - 4.3.3. : amorces de PCR
- SVT :
 - SV-D-1 Génome des cellules, transmission de l'information génétique
- PHYSIQUE-CHIMIE : énergies caractéristiques des interactions entre entités chimiques

4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES POLYMÉRISATIONS EN CHAÎNE

4.3.1. PCR EN POINT FINAL

Les ADN polymérases thermostables sont les enzymes clés de la PCR.

- Amorce
- Polymérisation orientée
- Processivité
- Activité polymérase
- Activité exonucléase
- Correction sur épreuve

La PCR en point final est la technique historique d'amplification de l'ADN.

La PCR est un processus cyclique. Elle se déroule en trois étapes bien définies temporellement et thermiquement.

- Dénaturation
- Hybridation
- Élongation
- Température de fusion / température d'hybridation

La PCR en point final nécessite des réactifs particuliers.

- ADN matrice cible
- ADN polymérase thermostable
- dNTP
- Couple d'amorces

- ▶ Représenter le mécanisme d'ajout orienté d'un nucléotide à une chaîne nucléotidique en formation.
- ▶ Expliquer le principe de la PCR en point final.
- ▶ Identifier les points critiques de chaque étape d'un cycle PCR.
- ▶ Réaliser un schéma à l'échelle moléculaire des trois premiers cycles d'une PCR aboutissant à un amplicon.
- ▶ Expliquer le rôle des principaux constituants du milieu réactionnel.
- ▶ Argumenter le choix d'un couple d'amorces sur des critères de position, de longueur, de température de fusion.
- ▶ Expliquer comment il est possible d'ajouter une séquence particulière (site de restriction par exemple) en bordure d'un amplicon grâce à une amorce.

TB2

4.3.2. CONTRÔLE DE L'AMPLIFICATION

L'amplification par PCR doit être contrôlée.

- Efficacité
- Spécificité

Les produits de l'amplification par PCR en

- ▶ Proposer la composition de témoins de spécificité et d'efficacité.

TB2

<p>point final sont analysés par électrophorèse.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Marqueur de tailles ● Amplicon ● Spécificité de l'amplification 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Analyser des résultats expérimentaux de PCR en point final. ▶ Argumenter le choix d'éventuelles actions correctives proposées pour limiter les amplifications non spécifiques. 	
<p>4.3.3. TECHNIQUES AVANCÉES DE PCR</p> <p>Il existe de nombreuses variantes de la technique de PCR.</p> <p>La RT-PCR permet la production de fragments d'ADNc à partir d'ARNm.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Transcriptase inverse ● ADNc <p>La PCR en temps réel (qPCR) permet la quantification d'ADN ou d'ARN présents dans un échantillon.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Cycle seuil ● Quantification absolue / relative ● Étalonnage ● Normalisation ● Gène de référence 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Expliquer le principe de la transcription inverse (RT) et son application à la RT-PCR avec amorces spécifiques (RT-PCR en une étape). ▶ Tracer une droite d'étalonnage à partir de résultats expérimentaux de qPCR ou de RT-qPCR. ▶ Déterminer la quantité initiale de séquence cible dans une démarche de quantification absolue. ▶ Déterminer le niveau d'expression d'un gène par rapport à celui d'un gène de référence dans une démarche de quantification relative en RT-qPCR. 	TB2
<p><u>ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :</u></p>		
<p>- Amplification d'une séquence cible par PCR en point final.</p>		
<p><u>À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :</u></p>		
<ul style="list-style-type: none"> - 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES - 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE - 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES - 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES - 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE - 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES 		
<p><u>LIMITES & COMMENTAIRES :</u></p>		
<p>La conception d'amorces peut être l'occasion de sensibiliser les étudiants à l'utilisation des banques de données de séquences et des outils informatiques d'aide à la conception.</p> <p>On s'attache à montrer la diversité des domaines d'application de la PCR au travers de quelques exemples concrets.</p> <p>Les principes des techniques de PCR exigibles se limitent à ceux cités dans le paragraphe ci-dessus.</p>		
<p><u>LIENS :</u></p>		
<ul style="list-style-type: none"> □ BIOTECHNOLOGIES : <ul style="list-style-type: none"> ○ 4.3.1. - 4.3.3. : PCR <ul style="list-style-type: none"> ⇔ 4.5.1. : contrôle d'un clonage par PCR ○ 4.3.1. - 4.3.3. : amorces <ul style="list-style-type: none"> ⇔ 4.1.1. : complémentarité des bases, orientation 5'-3' ⇔ 4.2.1. : hybridation de séquences complémentaires antiparallèles 		

- 4.3.1. - 4.3.3. : dénaturation, température de fusion
⇔ 4.1.1. : structure bicaténaire
- 4.3.2. : migration électrophorétique des acides nucléiques
⇔ 4.1.2. : polyanion
- SVT :
 - SV-D-1 Génome des cellules, transmission de l'information génétique
- PHYSIQUE-CHIMIE : mobilité d'entités chargées dans un champ électrostatique uniforme.

4.4. LE SÉQUENÇAGE DE L'ADN, DES TECHNIQUES EN CONSTANTE ÉVOLUTION

<p>4.4.1. ÉVOLUTION DES TECHNIQUES DE SÉQUENÇAGE DE L'ADN</p> <p>Les méthodes de séquençage ont connu des ruptures technologiques majeures.</p> <p>La méthode de Sanger est la méthode historique de séquençage, dite de première génération. Des évolutions ont permis son automatiser.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ddNTP ● Traceurs fluorescents ● Électrophorèse capillaire <p>Les technologies de seconde génération (dites NGS, <i>Next Generation Sequencing</i>) permettent un séquençage haut-débit générant un flux de données massif.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Haut-débit ● Données massives <p>Les technologies de troisième génération (dites SMS, <i>Single Molecule Sequencing</i>) permettent le séquençage de molécules uniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Miniaturisation ● Données massives 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Expliquer le principe du séquençage par la méthode de Sanger avec marqueurs fluorescents. ▶ Présenter les particularités de l'électrophorèse capillaire. ▶ Dégager les principales différences entre une technologie NGS et la méthode de Sanger à l'aide d'une documentation. ▶ Dégager l'intérêt des ruptures technologiques successives dans l'évolution des méthodes de séquençage à l'aide d'une documentation. 	TB2
<p>4.4.2. APPLICATIONS DU SÉQUENÇAGE DE L'ADN</p> <p>Les résultats de séquençage permettent d'alimenter les bases de données ou d'effectuer des comparaisons avec des séquences connues. Ces comparaisons utilisent des algorithmes informatiques permettant d'aligner les séquences entre elles.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● BLAST ● Alignement ● Recherche d'homologies 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Analyser les résultats d'un alignement de séquences. ▶ Discuter des enjeux éthiques liés à la collecte et l'utilisation des données de séquençage à l'aide d'une documentation. 	TB2

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :		
<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation d'un logiciel d'alignement de séquence pour vérifier la validité d'un clone, mettre en évidence des variants viraux ou détecter des anomalies génétiques provoquant des pathologies. 		
LIMITES & COMMENTAIRES :		
<p>Les principes des méthodes de deuxième et troisième générations ne sont pas exigibles.</p> <p>Les évolutions des méthodes de séquençage se limitent aux critères suivants : augmentation de débit, réduction des coûts et temps d'analyse, miniaturisation.</p> <p>Le vocabulaire spécifique au traitement des données brutes de séquençage en bio-informatique (<i>Contigs, gap, scaffold...</i>) tout comme la maîtrise d'un logiciel d'alignement n'est pas attendu.</p> <p>Les très nombreuses applications du séquençage sont abordées au travers d'un ou deux exemples maximum.</p>		
LIENS :		
<ul style="list-style-type: none"> □ BIOTECHNOLOGIES : <ul style="list-style-type: none"> ○ 4.4.1. : séquençage <ul style="list-style-type: none"> ⇔ 4.1.1. : complémentarité des bases, orientation 5'-3' ⇔ 4.5.1. : contrôle d'un clonage par séquençage ○ 4.4.2. : alignement de séquences <ul style="list-style-type: none"> ⇔ 4.1.1. : complémentarité des bases, orientation 5'-3' 		
4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE		
<p>4.5.1. CLONAGE D'UNE SÉQUENCE NUCLÉOTIDIQUE</p> <p>Le clonage de l'ADN fait appel à un vecteur adapté à un hôte.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Origine de réplication ● Marqueur de sélection ● Site de clonage multiple <p>Différentes étapes permettent d'obtenir un microorganisme recombiné.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Insert ● Restriction ● Ligation ● Cellule compétente ● Transformation ● Sélection / criblage ● Opéron 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Identifier les séquences indispensables portées par un vecteur de clonage plasmidique. ▶ Expliquer le rôle des séquences portées par un vecteur de clonage plasmidique. ▶ Argumenter le choix d'un hôte adapté au vecteur utilisé à l'aide d'une documentation. ▶ Schématiser les étapes d'un clonage par restriction-ligation chez un microorganisme. ▶ Expliquer le principe de transformation par électroporation ou choc thermique. ▶ Expliquer le principe de sélection des microorganismes transformés, grâce à un marqueur d'auxotrophie ou une résistance à un antibiotique. ▶ Analyser une stratégie de clonage à l'aide d'une documentation. ▶ Schématiser l'organisation de l'opéron lactose. ▶ Expliquer le fonctionnement et la régulation de l'opéron lactose. 	TB2

<p>Le résultat d'un clonage doit être vérifié.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PCR ● Restriction ● Séquençage 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Expliquer le principe de l'α-complémentation (criblage blanc-bleu). ▶ Analyser les résultats expérimentaux d'un clonage. 	
<p>4.5.2. EXPRESSION HÉTÉROLOGUE DE PROTÉINES RECOMBINÉES CHEZ LES MICROORGANISMES</p> <p>Des protéines recombinées peuvent être produites grâce à des vecteurs d'expression chez les microorganismes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Promoteur fort ● Promoteur constitutif / inducible ● Promoteur spécifique d'un hôte ● Protéine hétérologue ● Protéine étiquetée ● Protéine de fusion ● Clonage directionnel ● Cadre de lecture ouvert ● Clonage en phase 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Identifier les séquences particulières portées par un vecteur d'expression. ▶ Expliquer le rôle des séquences portées par un vecteur d'expression. ▶ Distinguer vecteur de clonage, vecteur d'expression et vecteur navette. ▶ Argumenter le choix d'un hôte adapté à la production de protéines recombinées à l'aide d'une documentation. ▶ Schématiser les différentes étapes du processus conduisant à la production d'une protéine recombinée. ▶ Analyser une stratégie de production de protéine recombinée à l'aide d'une documentation et proposer des optimisations. 	TB2
<p>4.5.3. « ÉDITION » DU GÉNOME</p> <p>De nouvelles méthodes facilitent grandement les modifications ciblées du génome.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● « Édition » du génome ● Séquences CRISPR ● Endonucléases ● ARN guide ● Réparation (avec ou sans recombinaison homologue) ● Bioéthique <p>Le génie génétique permet de modifier le génome de microorganismes afin d'optimiser leur utilisation dans différents processus industriels.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Voie métabolique ● Enzyme 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Expliquer l'intérêt physiologique du système CRISPR/Cas chez les procaryotes. ▶ Réaliser un schéma à l'échelle moléculaire du complexe « séquence cible / ARN guide / endonucléase ». ▶ Analyser une stratégie d'« édition » de génome par le système CRISPR/Cas. ▶ Discuter des enjeux éthiques liés aux techniques de modification du génome à l'aide d'une documentation. ▶ Analyser ou proposer des optimisations de voies métaboliques à partir d'une souche sauvage 	TB2

- Génie des « procédés »
- Organisme génétiquement modifié

dans le cadre d'une production en génie fermentaire, à l'aide d'une documentation.

- ▶ Discuter des enjeux éthiques liés aux organismes génétiquement modifiés en lien avec la réglementation en vigueur.

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Transformation bactérienne.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

La production de protéines recombinées à partir d'un exemple choisi peut permettre de mobiliser les concepts abordés en purification des protéines et génie fermentaire.

Les méthodes de sélection se limitent à la résistance aux antibiotiques et aux marqueurs d'auxotrophie.

Les microorganismes hôtes étudiés seront limités aux seules bactéries et levures.

Les mécanismes moléculaires de réparation avec ou sans recombinaison homologue ne sont pas exigibles.

Les enjeux éthiques liés à la modification du génome seront envisagés à l'aide de documents émanant des organismes de réflexion sur les innovations en biotechnologies. Les aspects éthiques en lien avec la réglementation sur les OGM en particulier seront analysés.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
 - 4.5.1. : opéron lactose
 - ⇔ 3.1.2. : identification des bactéries (test ONPG)
 - ⇔ 3.3.1. : nutrition et culture des microorganismes
 - ⇔ 3.3.3. : diauxie
 - 4.5.1. : contrôle d'un clonage par restriction, PCR, séquençage
 - ⇔ 4.1.1. - 4.1.2. : liaison phosphodiester, enzymes de restriction
 - ⇔ 4.3.1. - 4.3.3. : PCR
 - ⇔ 4.4.1. : séquençage
 - 4.5.2. - 4.5.3. : ingénierie des protéines, génie génétique
 - ⇔ 1.1.1. - 1.1.2. : purification de protéines d'intérêt
 - ⇔ 2.3.2. : génie enzymatique
 - ⇔ 3.3.4. - 3.3.5. : génie fermentaire
- SVT :
 - SV-D Génomique structurale et fonctionnelle

PARTIE 5 : COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES TECHNOLOGIQUES

En biotechnologies, la mise en œuvre des activités expérimentales s'appuie sur des procédures rigoureuses et exigeantes qui nécessitent une maîtrise des technologies associées. Ces technologies s'appuient sur des concepts qu'il est nécessaire de maîtriser pour leur mise en œuvre raisonnée. Les compétences expérimentales technologiques mobilisées sur l'ensemble des champs thématiques sont ainsi développées.

Cette partie doit notamment permettre aux étudiants de faire des liens entre les différentes parties thématiques du programme et ainsi prendre du recul vis-à-vis des différentes technologies, en identifiant les analogies et les différences.

Les compétences technologiques visées vont au-delà de la maîtrise technique : gestes techniques, maîtrise de l'utilisation des outils et appareils, gestion des risques, appropriation de l'environnement du laboratoire, elles intègrent une dimension d'optimisation ou de conception de procédure ou d'éléments de procédure expérimentale.

Les parties concernant la modélisation à partir de nuages de points obtenus par l'expérience sont à mettre en lien avec les mathématiques (fonction hyperbole, fonction linéaire ou affine, fonction exponentielle, fonction logarithmique, régression linéaire ou polynomiale).

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES
5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES	
<p>L'extraction de biomolécules nécessite la rupture de l'enveloppe d'une structure d'un matériel biologique.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Enveloppe cellulaire <p>La purification met en jeu une ou plusieurs étapes de séparation de biomolécules.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Critères de séparation <p>La purification entraîne une perte de matière qui doit être évaluée.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Rendement <p>Le degré de pureté peut être évalué quantitativement ou semi-quantitativement.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Activité / reconnaissance spécifique ● Dosage spécifique ● Évaluation semi-quantitative ● Enrichissement ● Valeur ajoutée d'un produit 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Analyser une procédure opératoire d'extraction pour identifier la ou les étapes clés. ▶ Réaliser une extraction en suivant une procédure opératoire. ▶ Analyser une procédure opératoire de purification pour identifier la ou les étapes clés. ▶ Réaliser une purification en suivant une procédure opératoire. ▶ Réaliser les techniques de dosage permettant d'évaluer la qualité d'une purification. ▶ Réaliser des techniques de séparation par électrophorèse semi-quantitative permettant d'évaluer la qualité d'une purification. ▶ Établir les équations aux grandeurs, aux unités, aux valeurs numériques pour calculer un rendement. ▶ Établir les équations aux grandeurs, aux unités, aux valeurs numériques pour calculer un enrichissement. ▶ Analyser les résultats obtenus en fonction de l'objectif.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.1 LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION

5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES

Les biomolécules peuvent être séparées par une méthode chromatographique choisie en fonction de leur nature biochimique et de la finalité préparative ou analytique.

- Phase stationnaire / phase mobile
- Éluion
- Référence
- Identification
- Volume moléculaire / polarité / liaison spécifique / charge de l'ion
- Haute performance

- ▶ Expliquer le principe de séparation des biomolécules par une méthode chromatographique.
- ▶ Réaliser une chromatographie sur colonne en suivant une procédure opératoire.
- ▶ Présenter les arguments pour expliquer l'ordre d'éluion des biomolécules d'un mélange.
- ▶ Interpréter et exploiter un chromatogramme.
- ▶ Analyser la qualité de la séparation en fonction de l'objectif.
- ▶ Adapter une technique chromatographique en fonction de l'objectif.

Les biomolécules peuvent être séparées par électrophorèse en fonction de leurs caractéristiques biochimiques.

- Réticulation du gel
- Champ électrique
- Électrode
- Tampon
- Révélation
- Référence
- Taille / charge / forme

- ▶ Expliquer le principe de séparation des biomolécules par une méthode électrophorétique.
- ▶ Choisir les conditions expérimentales permettant la séparation de biomolécules dans des conditions données.
- ▶ Réaliser une électrophorèse en suivant une procédure opératoire.
- ▶ Interpréter et exploiter un électrophorégramme.
- ▶ Adapter une technique électrophorétique en fonction de l'objectif.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION

5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE

L'analyse quantitative d'un échantillon peut être réalisée grâce à un dosage spectrophotométrique.

- Absorbance
- Spectre d'absorption
- Matériaux des cuves
- Étalonnage
- Domaine de mesurage
- Limite de linéarité
- Sensibilité de la méthode
- « Témoin/blanc » échantillon
- « Témoin/blanc » réactif

- ▶ Analyser une procédure opératoire de dosage spectrophotométrique pour identifier les paramètres clés ou les points critiques.
- ▶ Choisir la longueur d'onde optimale à partir d'un spectre d'absorption.
- ▶ Choisir le type de cuve adapté à la procédure opératoire.
- ▶ Établir un tableau de procédure opératoire de construction de gamme d'étalonnage.
- ▶ Déterminer la prise d'essai d'un échantillon biologique pour être dans le domaine de mesurage.
- ▶ Exercer un regard critique pour valider les points expérimentaux de la gamme d'étalonnage.
- ▶ Déterminer une quantité ou une concentration à l'aide d'une régression linéaire.
- ▶ Établir les équations aux grandeurs, aux unités, aux valeurs numériques pour calculer une concentration dans un produit biologique.
- ▶ Concevoir une procédure opératoire permettant le dosage d'un échantillon.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION

5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES

Les interactions spécifiques permettent la détection et la quantification de biomolécules dans un milieu complexe.

- Spécificité
- Phase hétérogène / phase homogène
- Immunodétection / hybridation
- Activité biologique
- Immunoenzymatique

L'amplification ciblée et spécifique d'une séquence nucléotidique peut permettre l'identification d'un amplicon et/ou la quantification de la séquence matrice d'origine.

- Spécificité
- PCR / RT-PCR / qPCR

- ▶ Comparer Southern, northern et western blot.
- ▶ Exploiter des résultats expérimentaux de Southern, northern et western blot.
- ▶ Détecter ou quantifier spécifiquement une molécule dans un milieu complexe en suivant une procédure opératoire.
- ▶ Réaliser l'amplification par PCR d'une séquence nucléotidique en suivant une procédure opératoire.

- Amplicon

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 1.3. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT DES INTERACTIONS SPÉCIFIQUES AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.2. L'HYBRIDATION MOLÉCULAIRE, UNE ASSOCIATION SPÉCIFIQUE DE SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES
- 4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES POLYMÉRISATIONS EN CHAÎNE

5.5. OBSERVATION, DESCRIPTION ET CARACTÉRISATION D'UN OBJET

L'observation microscopique d'un microorganisme ou d'une cellule permet de le décrire pour l'identifier.

- Critères de différenciation
- Luminosité
- Fluorescence
- Optique
- Dessin / schéma
- Grossissement
- Mise au point

- ▶ Réaliser une coloration, différentielle ou non, adaptée aux structures à observer.
- ▶ Choisir l'objectif du microscope en fonction des particularités de l'objet à observer.
- ▶ Effectuer la mise au point et choisir le champ pour observer une cellule.
- ▶ Rendre compte avec concision d'une observation par un dessin, un schéma ou une description.
- ▶ Présenter les caractéristiques de l'objet à l'aide des critères pertinents.

L'observation macroscopique d'une colonie ou d'un clone sur un milieu permet de caractériser pour identifier ou pour sélectionner une souche d'intérêt.

- Critères macroscopiques
- Identification
- Plurimicrobien / souche pure
- Milieu d'orientation
- Différenciation
- Révélateur
- Clone / colonie
- Sélection

- ▶ Réaliser un isolement sur milieu solide à partir d'une suspension.
- ▶ Réaliser un étalement d'une suspension de microorganismes.
- ▶ Décrire avec concision une observation macroscopique de colonies.
- ▶ Décrire avec précision la couleur observée, pour orienter l'identification d'une colonie, sélectionner un clone, déterminer le virage d'un indicateur coloré.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ
- 3.2. LA DIVERSITÉ DES MÉTABOLISMES MICROBIENS, UN INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE
- 3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE

5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES

La culture d'un microorganisme nécessite de prendre en compte les caractéristiques de celui-ci, les conditions de culture et l'objectif visé.

- Type trophique
- Milieu de culture / atmosphère de culture
- Isolement / enrichissement / sélection / identification / production

La quantification d'une population microbienne permet d'estimer sa concentration dans un milieu.

- Cellules totales / viables / viables non cultivables
- Seuil de quantification
- Facteur de proportionnalité

- ▶ Réaliser une culture de microorganismes en suivant une procédure opératoire.
- ▶ Choisir un milieu et des conditions de culture en fonction des besoins nutritionnels et des exigences physico-chimiques des microorganismes, ainsi que de l'objectif suivi.
- ▶ Réaliser une quantification de microorganismes en suivant une procédure opératoire.
- ▶ Choisir une technique de quantification en fonction des contraintes et de l'objectif visé.
- ▶ Adapter un protocole opératoire permettant d'estimer la concentration cellulaire d'une population microbienne dans un échantillon en fonction de l'objectif.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ
- 3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE

5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES

Les phénomènes biologiques peuvent être modélisés afin de faciliter leur exploitation, leur analyse et leur optimisation.

- Modélisation
- Grandeur caractéristique d'un système

L'outil informatique facilite le traitement des données.

- Bio-informatique
- Banque de données
- Logiciel de traitement de données

- ▶ Utiliser une modélisation mathématique pour établir les équations aux grandeurs, aux unités, aux valeurs numériques et calculer les grandeurs spécifiques d'un système.
- ▶ Rechercher une séquence ou un domaine fonctionnel à l'aide d'un logiciel ou d'une banque de données en suivant une procédure opératoire.
- ▶ Traiter et exploiter des données expérimentales à l'aide de l'outil numérique.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.3. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT DES INTERACTIONS SPÉCIFIQUES AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES

5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE

<p>Le choix d'une méthode pour analyser ou préparer des biomolécules nécessite d'identifier les critères adaptés.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Performance du résultat ● Justesse / fidélité ● Sensibilité ● Seuil de détection / de quantification ● Spécificité ● Robustesse ● Rendement ● Contraintes techniques ● Coût <p>La mise en œuvre d'une procédure opératoire doit être vérifiée.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Témoin d'efficacité / témoin négatif <p>L'amélioration d'une procédure nécessite d'optimiser certaines étapes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Point critique ● Conjecture / hypothèse <p>La mise en œuvre d'une méthode utilisant ou modifiant le vivant doit se faire avec esprit critique et dans le respect la réglementation.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Balance bénéfice-risque ● Modification du génome ● Transmission héréditaire 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Présenter des arguments en faveur d'une technique en fonction de ses performances et des objectifs. ▶ Mener une analyse comparative de différentes procédures opératoires à l'aide des critères pertinents en fonction de la finalité. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Analyser la procédure opératoire pour identifier le composant à introduire ou à remplacer lors de l'élaboration d'un témoin. ▶ Concevoir un témoin d'efficacité à partir d'une procédure opératoire. ▶ Concevoir un témoin négatif à partir d'une procédure opératoire. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Analyser la procédure opératoire pour identifier les points critiques. ▶ Mettre en œuvre une procédure opératoire pour objectiver un point critique. ▶ Proposer une solution pour améliorer une procédure au niveau d'un point critique. ▶ Argumenter une solution pour améliorer une procédure au niveau d'un point critique. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Argumenter un choix de méthode à l'aide d'arguments scientifiques et techniques, éthiques et environnementaux.
--	---

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES

5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES

En biotechnologies, la démarche de prévention des risques est essentielle. Elle débute par une analyse et une évaluation des risques biologiques et des risques chimiques. Elle se poursuit par la détermination des mesures de prévention et leur mise en œuvre en situation.

- Danger
- Risque
- Situation exposante
- Évènement déclenchant
- Mesures de prévention
- Protection individuelle
- Protection collective
- Classe de danger
- Groupe d'agents biologiques

- ▶ Analyser la procédure opératoire pour identifier les dangers auxquels le manipulateur est exposé.
- ▶ Conduire une évaluation des risques chimiques à l'aide des fiches de données de sécurité.
- ▶ Proposer des mesures de prévention permettant de réduire voire de supprimer le risque.
- ▶ Conduire une évaluation des risques biologiques en étudiant les réservoirs et les chaînes de transmission.
- ▶ Expliquer le classement d'un microorganisme dans un groupe d'agents biologiques.
- ▶ Conduire une démarche d'analyse des risques en vue de choisir les mesures de prévention.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ
- 3.2. LA DIVERSITÉ DES MÉTABOLISMES MICROBIENS, UN INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE
- 3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES POLYMÉRISATIONS EN CHAÎNE
- 4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE
- 5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et biologie (TB)

Annexe 5

Programmes d'informatique

1^{ère} et 2^{nde} années

Table des matières

1	Programme du semestre 1	5
2	Programme du semestre 2	6
2.1	Méthodes de programmation et dictionnaire	6
2.2	Bases de données	6
2.3	Graphes	7
3	Programme des semestres 3 et 4	8
3.1	Méthodes numériques	8
3.2	Approfondissements des concepts informatiques	9
A	Langage Python	10

Introduction au programme

Les objectifs du programme Le programme d'informatique de TB s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il a pour objectif la formation de futurs ingénieurs et ingénieures, vétérinaires, enseignantes et enseignants, chercheuses et chercheurs et avant tout des personnes informées, capables de gouverner leur vie professionnelle et citoyenne en pleine connaissance et maîtrise des techniques et des enjeux de l'informatique et en la nourrissant par les habitudes de la démarche scientifique.

Le présent programme a pour ambition de poser les bases d'un enseignement cohérent et mesuré d'une science informatique encore jeune et dont les manifestations technologiques connaissent des cycles d'obsolescence rapide. On garde donc à l'esprit :

- de privilégier la présentation de concepts fondamentaux pérennes sans s'attacher outre mesure à la description de technologies, protocoles ou normes actuels;
- de donner aux futurs diplômées et diplômés les moyens de réussir dans un domaine en mutation rapide et dont les technologies qui en sont issues peuvent sauter brutalement d'un paradigme à un autre très différent;
- de préparer les étudiantes et étudiants à tout un panel de professions et de situations de la vie professionnelle qui les amène à remplir tour à tour une mission d'expertise, de création ou d'invention, de prescription de méthodes ou de techniques, de contrôle critique des choix opérés ou encore de décision en interaction avec des spécialistes;

Compétences visées Ce programme vise à développer les six grandes compétences suivantes :

analyser et modéliser un problème ou une situation, notamment en utilisant les objets conceptuels de l'informatique pertinents (table relationnelle, graphe, dictionnaire, etc.);

imaginer et concevoir une solution, décomposer en blocs, se ramener à des sous-problèmes simples et indépendants, adopter une stratégie appropriée, décrire une démarche, un algorithme ou une structure de données permettant de résoudre le problème;

décrire et spécifier les caractéristiques d'un processus, les données d'un problème, ou celles manipulées par un algorithme ou une fonction;

mettre en œuvre une solution, par la traduction d'un algorithme ou d'une structure de données dans un langage de programmation ou un langage de requête;

justifier et critiquer une solution, en développant des processus d'évaluation, de contrôle, de validation d'un code que l'on a produit;

communiquer à l'écrit ou à l'oral, présenter des travaux informatiques, une problématique et sa solution; défendre ses choix; documenter sa production et son implémentation.

La pratique régulière de la résolution de problèmes par une approche algorithmique et des activités de programmation qui en résultent constitue un aspect essentiel de l'apprentissage de l'informatique. Les exemples ou les exercices d'application peuvent être choisis au sein de l'informatique elle-même ou en lien avec d'autres champs disciplinaires.

Sur les partis pris par le programme Ce programme impose aussi souvent que possible des choix de vocabulaire ou de notation de certaines notions. Les choix opérés ne présument pas la supériorité de l'option retenue. Ils ont été précisés dans l'unique but d'aligner les pratiques d'une classe à une autre et d'éviter l'introduction de longues définitions récapitulatives préliminaires à un exercice ou un problème. De même, ce programme nomme aussi souvent que possible l'un des algorithmes possibles parmi les classiques qui répondent à un problème donné. Là encore, le programme ne défend pas la prééminence d'un algorithme ou d'une méthode par rapport à un autre mais il invite à faire bien plutôt que beaucoup.

Sur les langages et la programmation L'enseignement du présent programme repose sur un langage de manipulation de données (SQL) ainsi que le langage de programmation Python, pour lequel une annexe liste de façon limitative les éléments qui sont exigibles des étudiants. La poursuite de l'apprentissage du langage Python est vue en particulier par les étudiants pour adopter immédiatement une bonne discipline de programmation tout en se concentrant sur le noyau du langage plutôt que sur une interface de programmation applicative (API) pléthorique.

Mode d'emploi Ce programme a été rédigé par semestre pour assurer une certaine homogénéité de la formation. Le premier semestre permet d'asseoir les bases de programmation vues au lycée et les concepts associés. **L'organisation de la progression au sein des deux semestres relève de la responsabilité pédagogique de la professeure ou du professeur** et le tissage de liens entre les thèmes contribue à la valeur de son enseignement. Les notions étudiées lors d'un semestre précédent sont régulièrement revisitées tout au long des deux années d'enseignement. Le programme est présenté sous forme de tableaux à deux colonnes. Les premières colonnes - notions et thèmes - présentent les attendus exigibles du programme. Les secondes colonnes présentent des listes, sans aucun caractère impératif, d'exemples d'activités qui peuvent être proposées aux étudiants ainsi que des commentaires.

1 Programme du semestre 1

Le programme du premier semestre poursuit les objectifs suivants :

- consolider l'apprentissage de la programmation en langage Python qui a été entrepris dans les classes du lycée;
- mettre en place un environnement de travail;
- mettre en place une discipline de programmation : spécification précise des fonctions et programmes, annotations et commentaires, jeux de tests.

La consolidation du langage Python portera principalement sur

- les variables
- les expressions et instructions
- les instructions conditionnelles
- les fonctions
- les instructions itératives
- la manipulation de quelques structures de données

Rappelons que l'annexe liste les éléments du langage Python qui sont exigibles des étudiants.

Le tableau ci-dessous présente les thèmes qui sont abordés lors de ces séances. L'ordre de ces thèmes n'est pas impératif.

Aucune connaissance relative aux modules éventuellement rencontrés lors de ces séances n'est exigible des étudiants.

Thèmes	Exemples d'activité. <i>Commentaires.</i>
Algorithmes élémentaires opérant par boucles simples.	Calculs de sommes et produits. Calculs des termes d'une suite récurrente (ordre 1, ordre supérieur), liste des termes, chaînes de caractères.
Algorithme opérant par boucles dans un tableau unidimensionnel.	Recherche d'un élément. Recherche du maximum, du second maximum. <i>Manipulations élémentaires d'un tableau unidimensionnel (indexation, extraction, etc.).</i>
Lecture et écriture dans un fichier texte.	
Utilisation de modules, de bibliothèques.	Représentation graphique (histogrammes, etc.).
Algorithmes opérant par boucles imbriquées.	Recherche d'un facteur (ou d'un mot) dans un texte. Recherche des deux valeurs les plus proches dans un tableau. Manipulations élémentaires des tableaux à deux dimensions (indexation et extraction, etc.). Tableaux de pixels et images. Obtention d'une image en niveaux de gris, image miroir, négatif. Algorithmes de rotation, de réduction ou d'agrandissement. Modification d'une image par convolution : flou, détection de contour, etc. <i>On pourra utiliser la bibliothèque « PIL ».</i>
Recherche dichotomique.	Recherche de valeurs approchées d'une racine d'une équation algébrique. Recherche dichotomique dans un tableau trié.

2 Programme du semestre 2

On approfondit, via les leçons et travaux pratiques, le travail entrepris au premier semestre concernant la discipline et les méthodes de programmation.

2.1 Méthodes de programmation et dictionnaire

Même si on ne parle pas de preuve d'algorithme, on insistera sur l'importance des tests dans la mise au point des programmes.

Notions	Exemples d'activité. Commentaires.
Identifiants et valeurs. Objets mutables et non mutables, portée d'un identifiant, effets de bord.	<i>On mettra en évidence le phénomène d'aliasing et son impact dans le cas d'objets mutables (listes).</i>
Dictionnaires, clés et valeurs. Usage des dictionnaires en programmation Python. Syntaxe pour l'écriture des dictionnaires. Parcours d'un dictionnaire.	Nombre d'éléments distincts dans une liste, construction d'un index.

2.2 Bases de données

On se limite volontairement à une description applicative des bases de données en langage SQL. Il s'agit de permettre d'interroger une base présentant des données à travers plusieurs relations.

Notions	Exemples d'activité. Commentaires.
Vocabulaire des bases de données : tables ou relations, attributs ou colonnes, domaine, schéma de tables, enregistrements ou lignes, types de données.	<i>On présente ces concepts à travers de nombreux exemples. On s'en tient à une notion sommaire de domaine : entier, flottant, chaîne; aucune considération quant aux types des moteurs SQL n'est au programme. Aucune notion relative à la représentation des dates n'est au programme; en tant que de besoin on s'appuie sur des types numériques ou chaîne pour lesquels la relation d'ordre coïncide avec l'écoulement du temps. Toute notion relative aux collations est hors programme; en tant que de besoin on se place dans l'hypothèse que la relation d'ordre correspond à l'ordre lexicographique usuel. NULL est hors programme.</i>
Clé primaire, clé étrangère	<i>On se limite au cas où une clé primaire est associée à un unique attribut.</i>
Requêtes SELECT avec simple clause WHERE (sélection), projection, renommage AS. Utilisation des mots-clés DISTINCT et ORDER BY.	<i>Les opérateurs au programme sont +, -, *, / (on passe outre les subtilités liées à la division entière ou flottante), =, <>, <, <=, >, >=, AND, OR, NOT. D'autres mots-clés comme OFFSET et LIMIT pourront être utilisés mais leur maîtrise n'est pas au programme.</i>
Jointures $T_1 \text{ JOIN } T_2 \dots \text{ JOIN } T_n$ ON ϕ .	<i>On présente les jointures en lien avec la notion de relations entre tables. On se limite aux équi-jointures : ϕ est une conjonction d'égalités.</i>
Agrégation avec les fonctions MIN, MAX, SUM, AVG et COUNT, y compris avec GROUP BY.	<i>Pour la mise en œuvre des agrégats, on s'en tient à la norme SQL99. Les requêtes imbriquées ne sont pas au programme.</i>

Mise en œuvre

La création de tables et la suppression de tables au travers du langage SQL sont hors programme. La mise en œuvre effective se fait au travers d'un logiciel permettant d'interroger une base de données à l'aide de requêtes SQL comme *MySQL* ou *SQLite*. Récupérer le résultat d'une requête à partir d'un programme n'est pas un objectif.

Sont hors programme : la notion de modèle logique *vs* physique, les bases de données non relationnelles, les méthodes de modélisation de base, les fragments DDL, TCL et ACL du langage SQL, les transactions, l'optimisation de requêtes par l'algèbre relationnelle.

2.3 Graphes

Il s'agit de définir le modèle des graphes, leurs représentations et leurs manipulations.

On s'efforce de mettre en avant des applications importantes et si possibles modernes : réseau de transport, graphe du web, réseaux sociaux, bio-informatique. On précise autant que possible la taille typique de tels graphes.

Notions	Exemples d'activité. Commentaires.
Vocabulaire des graphes. Graphe orienté, graphe non orienté. Sommet (ou nœud); arc, arête. Boucle. Chemin d'un sommet à un autre. Connexité dans les graphes non orientés. Matrice d'adjacence. Graphe $G = (S, A)$.	<i>On présente l'implémentation des graphes à l'aide de listes d'adjacence (rassemblées par exemple dans une liste ou dans un dictionnaire). On n'évoque ni multi-arcs ni multi-arêtes.</i>
Pondération d'un graphe. Étiquettes des arcs ou des arêtes d'un graphe.	<i>On motive l'ajout d'information à un graphe par des exemples concrets.</i>
Parcours d'un graphe. Parcours en largeur.	<i>La file, utilisée pour le parcours en largeur, sera représentée par une liste. On pourra évoquer le problème de cette représentation naïve en terme d'efficacité mais aucune connaissance sur d'autres représentations plus performantes n'est au programme.</i>

3 Programme des semestres 3 et 4

Le programme de deuxième année poursuit les objectifs suivants :

- approfondir les connaissances acquises au deuxième semestre notamment sur les bases de données et sur les graphes;
- programmer des méthodes numériques vues en mathématiques;
- mettre en application des notions vues en probabilités;
- programmer de nouveaux algorithmes sur des applications en lien avec d'autres disciplines, notamment la biologie.

Comme au premier semestre, les tableaux ci-dessous présentent les thèmes qui sont abordés lors de ces séances. L'ordre de ces thèmes n'est pas impératif.

Aucune connaissance relative aux modules éventuellement rencontrés lors de ces séances n'est exigible des étudiants.

3.1 Méthodes numériques

Thèmes	Exemples d'activités. <i>Commentaires</i>
Méthode des rectangles.	Comparaison avec d'autres méthodes : méthode de Newton, méthode des trapèzes.
Simulation de variables aléatoires suivant des lois usuelles : Bernoulli, binomiale, uniforme. Estimation d'une probabilité, estimation de l'espérance et de la variance.	Simulation d'expériences et de variables aléatoires. Simulation d'une variable aléatoire à l'aide de sa fonction de répartition.
Méthode du pivot de Gauss.	Résolution d'un système linéaire. <i>Une version sans recherche de pivot peut être proposée en premier puis une recherche de pivot partiel peut être programmée.</i> <i>On pourra mettre en évidence l'impact de la taille du système sur le temps de calcul.</i> <i>La programmation sans aide n'est pas un attendu du programme.</i>
Simulation d'une variable aléatoire de loi géométrique à l'aide de la loi de Bernoulli. Estimation de l'espérance, de la loi d'une variable aléatoire à partir de simulation.	On pourra simuler des variables aléatoires à l'aide de la loi uniforme et de la réciproque de la fonction de répartition : cas discret et continu. Exemples de la loi de Poisson, de la loi exponentielle et de la loi normale. Exemples de chaînes de Markov. Fonction de répartition empirique.
Simulation d'une variable aléatoire suivant une loi de Poisson à l'aide d'une loi binomiale. Intervalle de confiance pour le paramètre d'une loi de Bernoulli.	Illustration du théorème central limite. <i>La notion théorique d'intervalle de confiance n'est pas au programme.</i>

3.2 Approfondissements des concepts informatiques

Thèmes	Exemples d'activités. Commentaires
Tris	Algorithmes naïfs : tri par insertion, par sélection. Tri par comptage. <i>On pourra faire le lien entre le tri par comptage et la recherche des effectifs d'apparition dans une liste.</i>
Révisions et approfondissements sur les graphes.	Algorithme de Dijkstra. Parcours en profondeur. Plus court chemin dans un graphe pondéré. <i>L'objectif est de reprendre la structure de graphe à travers des approfondissements.</i>
Révisions et approfondissements sur les bases de données : révision sur les jointures et agrégations	<i>A partir d'une base de données comprenant 3 ou 4 tables ou relations, on approfondit la notion de jointure interne en lien avec la notion d'associations entre entités.</i> <i>Pour la notion d'agrégation, on présente quelques exemples de requêtes imbriquées.</i> <i>On marque la différence entre WHERE et HAVING sur des exemples.</i>

A Langage Python

Cette annexe liste limitativement les éléments du langage Python (version 3 ou supérieure) dont la connaissance est exigible des étudiants. Aucun concept sous-jacent n'est exigible au titre de la présente annexe.

Aucune connaissance sur un module particulier n'est exigible des étudiants.

Toute utilisation d'autres éléments du langage que ceux que liste cette annexe, ou d'une fonction d'un module, doit obligatoirement être accompagnée de la documentation utile, sans que puisse être attendue une quelconque maîtrise par les étudiants de ces éléments.

Traits généraux

- Principe d'indentation.
- Portée lexicale : lorsqu'une expression fait référence à une variable à l'intérieur d'une fonction, Python cherche la valeur définie à l'intérieur de la fonction et à défaut la valeur dans l'espace global du module.

Types de base

- Opérations sur les entiers (`int`) : `+`, `-`, `*`, `**`, `//`, `%`, avec des opérandes positifs.
- Opérations sur les flottants (`float`) : `+`, `-`, `*`, `/`, `**`.
- Opérations sur les booléens (`bool`) : `not`, `or`, `and`.
- Comparaisons : `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`.

Types structurés

- Structures indicées immuables (chaînes de caractères) : `len`, accès par indice positif valide, concaténation `+`, répétition `*`, tranche.
- Listes : création par compréhension `[e for x in s]`, par `append` successifs; `len`, accès par indice positif valide; concaténation `+`, répétition `*`, tranche, copie; `pop` en dernière position.
- Dictionnaires : création, accès, insertion, `len`, `copy`.

Structures de contrôle

- Instruction d'affectation avec `=`.
- Instruction conditionnelle : `if`, `elif`, `else`.
- Boucle `while` (sans `else`), `return` dans un corps de boucle.
- Boucle `for` (sans `else`) et itération sur `range(a, b)`, une chaîne de caractères une liste, un dictionnaire au travers des méthodes `keys` et `items`.
- Opérateur d'appartenance `in`.
- Définition d'une fonction `def f(p1, ..., pn), return`.

Divers

- Introduction d'un commentaire avec `#`.
- Utilisation simple de `print`, sans paramètre facultatif.
- Importation de modules avec `import module`, `import module as alias`, `from module import f, g, ...`



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et biologie (TB)

Annexe 6

Programmes de géographie

1^{ère} et 2^{nde} années

PROGRAMME DE GEOGRAPHIE POUR LES CLASSES PREPARATOIRES DE LA VOIE TB

Environnement et aménagement durable des territoires ruraux et périurbains en France métropolitaine et d'outre-mer

I. - OBJECTIFS DE FORMATION

La géographie vise à la compréhension d'un monde complexe que l'on ne peut appréhender sans une connaissance fine des acteurs de l'aménagement des territoires et sans une approche multiscale des problématiques écologiques, économiques, sociétales et culturelles.

Ce programme doit permettre aux étudiants de pratiquer la géographie comme une discipline d'ouverture vers les sciences humaines et d'identification des enjeux sociétaux. L'approche géographique partage les acquis des sciences de la vie et des sciences de la Terre de façon à croiser les regards autour de problématiques (ressources, risques...), d'objets d'étude (paysage, territoire), de documents et d'outils (cartes, images).

L'ambition du programme est de sensibiliser les futurs agronomes et vétérinaires à des problématiques géographiques liées aux espaces ruraux et périurbains du territoire français. Ce programme constitue un premier jalon vers des compétences développées au cours des formations d'agronomes ou de vétérinaires, en particulier la capacité à établir un état des lieux d'une réalité et de ses problèmes ainsi que la capacité à accompagner divers acteurs du monde rural (personnes, organisations). L'intégration des dimensions écologiques, économiques, sociétales et culturelles permettra aux futurs agronomes et vétérinaires d'appréhender les espaces ruraux et périurbains dans leur complexité et d'inscrire le concept de durabilité au cœur de leurs questionnements et de leurs actions futures.

La maîtrise de la lecture de la carte, placée au centre de l'épreuve, permettra de révéler de manière appliquée des complémentarités, des conflits, des contradictions perçus trop souvent de manière théorique et fragmentée. Elle constituera en outre le support d'une approche multiscale des réalités territoriales.

II. - COMPETENCES A METTRE EN ŒUVRE DANS LE CADRE DE L'ENSEIGNEMENT DE LA GEOGRAPHIE

Compétences spécifiques en géographie	Se repérer dans l'espace	<ul style="list-style-type: none">- Localiser une carte- Situer la carte dans des logiques territoriales plus globales- Raisonner à différentes échelles
	Analyser et comprendre un corpus documentaire en fonction d'un sujet donné	<ul style="list-style-type: none">- Lire et analyser une carte topographique- Analyser et confronter des documents de nature différente (images, données statistiques, affiches publicitaires ...)
	Sélectionner l'information	<ul style="list-style-type: none">- Exploiter et confronter des informations en fonction d'une thématique géographique appliquée à un territoire- Appliquer au territoire d'étude les

		<p>informations tirées des documents et/ou des connaissances personnelles</p> <p>Porter un regard critique sur les documents (sources, contexte, indicateurs choisis, échelles)</p>
	Raisonnement, justifier une démarche et des choix	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en perspective les documents pour faire émerger des enjeux territoriaux - Formuler, vérifier des hypothèses sur les logiques spatiales propres à un territoire - Mobiliser des connaissances générales pour expliquer une situation locale
	S'informer et appuyer son raisonnement à partir de l'outil numérique	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des sites d'informations et de recherche en géographie - Exploiter les informations tirées d'un SIG
	Confronter le savoir acquis en géographie avec d'autres matières	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en relation les connaissances géographiques avec celles des autres matières - Utiliser les démarches de raisonnement communes à différentes matières et les appliquer sur des outils de travail communs (outil numérique, données satellitaires, sortie de terrain...)
Compétences générales	Compétences de communication orale	<ul style="list-style-type: none"> - Maîtriser un ensemble documentaire inconnu - Argumenter - Dialoguer, défendre son point de vue - Compléter, nuancer ou corriger son propos initial à la faveur d'un entretien oral
	Compétences mobilisables en situation professionnelle	<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner, décrire et analyser des données physiques, économiques, sociales et environnementales et les confronter à des connaissances générales - Evaluer les contraintes et ressources d'un territoire au regard d'une question donnée - Identifier les acteurs du monde rural (élus, professionnels, associations, usagers, etc.) et comprendre leurs logiques, y compris lorsqu'elles révèlent des contradictions - Envisager différentes solutions et pistes de développement réalistes

III. – ESPACES ET AXES DU PROGRAMME

III. 1 – Les espaces du programme

Le programme ancre la réflexion dans la diversité des territoires de la France métropolitaine et de la France d'outre-mer (limitée aux DROM). Les espaces ruraux et périurbains sont à étudier dans leurs diverses composantes et relations. Les espaces urbains présents sur la carte ne sont à considérer qu'en fonction de leurs relations avec les espaces ruraux et périurbains.

III. 2 – Axes et thématiques transversales du programme

Trois axes constituent les points d'entrée principaux dans le programme.

- Environnement et milieux : ressources, gestion, protection

Il s'agit de saisir la diversité et la complexité des milieux dans leurs composantes naturelles et anthropiques au prisme des pratiques, des représentations et des politiques associées à ces espaces.

- Espaces productifs et dynamiques socio-économiques

Dans un contexte de profondes mutations économiques et sociales pour partie liées aux processus de mondialisation, sont étudiés les filières productives et les acteurs qui structurent les territoires ruraux et périurbains.

Au-delà de ces seules dimensions productives, c'est bien la multifonctionnalité des espaces ruraux et périurbains qu'il conviendra d'examiner.

Une attention toute particulière sera portée aux enjeux résidentiels nouveaux et différenciés des espaces ruraux et périurbains, et à leurs impacts économiques, sociaux et culturels sur les territoires.

- Aménagement des territoires

Les enjeux du développement durable au sein des territoires ruraux et périurbains deviennent une préoccupation majeure des politiques d'aménagement. Confrontés à de nouvelles demandes et à de nouveaux cadres institutionnels, les acteurs, publics et privés, la société civile et le milieu associatif, apportent des réponses variées qu'il convient d'examiner.

Afin de mettre en relation ces axes principaux, certaines **thématiques transversales** pourront servir de points de réflexion et d'articulation.

- **Les représentations** : les acteurs agissent en fonction des représentations qu'ils se font de l'espace. Véritables moteurs de l'action, elles sont décisives dans l'analyse des dynamiques territoriales rurales et périurbaines.
- **Les conflits d'usage** : les acteurs, par leurs usages, leurs représentations distinctes des espaces peuvent entrer en confrontation sur la gestion/préservation des milieux, l'exploitation économique ou l'aménagement des territoires.
- **Le patrimoine** : notion-clé dans la mise en valeur des espaces ruraux, le patrimoine est un construit dépendant des représentations différentes, parfois conflictuelles des divers acteurs. Protection, exploitation, classement... font de la patrimonialisation des territoires une pratique centrale.
- **La question alimentaire** : dans le cadre d'une formation agronomique et vétérinaire, le rapport à l'alimentation fera l'objet d'une attention particulière. Seront abordés les enjeux de la question animale : maintien de la biodiversité, place de l'animal dans les différents modèles agricoles, mais

aussi conflits territoriaux centrés sur l'animal (loup, ours). Les questions liées aux productions végétales à destination alimentaire pourront de même être saisies dans une approche géographique : conséquences de la diffusion massive de certaines cultures, controverses sur les pratiques agricoles et leurs impacts, etc...

IV. - LES DOCUMENTS ET OUTILS

Ce programme doit être abordé avec des documents qui permettent de diversifier les approches thématiques et régionales.

IV.1 La carte topographique

La carte topographique au 1/25000^{ème} est le document de base. A l'issue de leur année de formation, les étudiants doivent être en mesure de savoir la lire avec précision et d'en proposer un commentaire problématisé.

Cet exercice sur la carte topographique suppose des candidats une capacité à mobiliser un vocabulaire géographique sur l'ensemble des axes du programme. A cet égard, le vocabulaire élémentaire de géographie physique doit être connu (grandes notions de géomorphologie, principales formations végétales et caractéristiques climatiques) et mobilisé à bon escient en fonction du thème. Si la maîtrise de ce vocabulaire semble nécessaire pour un commentaire de carte topographique, on ne peut en aucun cas exiger des candidats qu'ils expliquent les processus de mise en place de ces éléments, en particulier géomorphologiques.

IV. 2 Les documents complémentaires

L'analyse de la carte s'appuie sur d'autres types de documents. Parmi eux peuvent figurer : des études statistiques, des photos et images, des textes, des documents de promotion territoriale ou économique, des cartes thématiques (plan de prévention des risques, zonages d'un EPCI ou d'une autre collectivité territoriale...). Les sources peuvent être variées : institutionnelles, scientifiques, journalistiques, etc...

Parmi ces documents complémentaires, le numérique occupe une place de choix. En effet, cet outil, de manière spécifique à l'enseignement de la géographie mais également par des usages transversaux avec d'autres enseignements de la filière, se doit d'être intégré à la formation des futurs agronomes et vétérinaires. L'utilisation d'un SIG simple, disponible et gratuit comme le site du Géoportail est à privilégier.

L'utilisation du Géoportail est généralisée : chaque sujet proposé le jour de l'épreuve comprend au minimum un document issu de la banque de données du site. Dans ce cadre, les étudiants devront être familiarisés prioritairement à l'usage des couches d'information suivantes : cartes topographiques d'échelles et de dates différentes, photographies aériennes de dates différentes, carte géologique, recensement général des productions (ancien et récent), carte d'occupation des sols (Corine Land and Cover 2018), carte forestière, cartes de risques. Ces couches seront accompagnées le jour du concours de leur légende et des informations nécessaires à leur compréhension (date, métadonnées, source...). De plus, il est attendu que l'étudiant sache proposer et justifier l'utilisation d'une ou plusieurs couches complémentaires pour enrichir son analyse.

Mouvement du personnel

Nomination

Directrice générale du centre régional des œuvres universitaires et scolaires de Versailles (groupe I)

NOR : ESRD2121367A
arrêté du 6-7-2021
MESRI - DE 1-2

Par arrêté de la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en date du 6 juillet 2021, Laurence Assous, conseillère référendaire à la Cour des comptes, est nommée dans l'emploi de directrice générale du centre régional des œuvres universitaires et scolaires (Crous) de Versailles (groupe I) pour une première période de quatre ans, du 16 août 2021 au 15 août 2025.

Mouvement du personnel

Nomination

Directeur général de l'Institut polytechnique de Bordeaux (Bordeaux INP)

NOR : ESRS2121706A
arrêté du 8-7-2021
MESRI - DGESIP A1-5

Par arrêté de la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en date du 8 juillet 2021, Marc Phalippou, ingénieur général des mines détaché en qualité de professeur des universités, est nommé directeur général de l'Institut polytechnique de Bordeaux, pour un mandat de quatre ans, à compter du 18 août 2021.

Informations générales

Conseils, comités, commissions

Vacance de sièges au sein de conseils scientifiques d'instituts du Centre national de la recherche scientifique

NOR : ESRR2122191V
avis
MESRI - DGRI - SPFCO B2

Sont déclarés vacants les sièges suivants :

Conseil scientifique d'institut : Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes

1 siège - Collège électoral B1

1 siège - Collège électoral C

Conseil scientifique d'institut : Institut des sciences de l'information et de leurs interactions

1 siège - Collège électoral B2

Les candidatures doivent être établies suivant le formulaire de déclaration de candidature annexé à la présente, avec **signature manuscrite**, accompagné d'un curriculum vitae et le cas échéant, de la liste des travaux et des productions scientifiques les plus récents. Il est recommandé de joindre également une lettre de motivation. L'ensemble du dossier ne devant pas excéder 10 pages.

Elles doivent obligatoirement parvenir au secrétariat général du Comité national, soit par courriel (SGCN.Secretariat@cns.fr), soit par courrier postal (CNRS-SGCN, 3, rue Michel Ange - 75016 PARIS), **avant le 21 septembre 2021 à 18 h 00.**

Le formulaire de déclaration de candidature est téléchargeable à l'adresse suivante :
http://www.cns.fr/comitenational/sieges_vacants/csi/Annexe_CSI.pdf.

Annexe

↪ *Formulaire de déclaration de candidature à un conseil scientifique d'institut du Comité national de la recherche scientifique*



DÉCLARATION DE CANDIDATURE A UN CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT DU COMITÉ NATIONAL

IMPORTANT : Joindre un curriculum vitae et le cas échéant, de la liste des travaux, des productions scientifiques les plus récentes. Il est recommandé de joindre également une lettre de motivation.

L'ensemble du dossier ne devant pas excéder 10 pages.

- (1) Ce document est téléchargeable à l'adresse suivante : http://www.cnrs.fr/comitenational/sieges_vacants/csi/Annexe_CSI.pdf
Il est vivement conseillé de dactylographier votre candidature selon ce modèle

Intitulé du conseil scientifique

Collège

Nom d'usage

Nom de naissance

Prénoms

Date de naissance

Grade et échelon actuels

Organisme d'appartenance

Avez-vous déjà été membre d'une instance du Comité national, si oui, précisez la période

De _____ à _____

Indiquez le numéro ou nom de l'instance

Etes-vous membre d'un des jurys de concours nationaux d'agrégation au titre de l'année en cours (disciplines juridiques, politiques, économiques et de gestion) ?

OUI NON

Etes-vous membre de l'équipe de direction d'un institut du CNRS (directeur et directeur adjoint) ?

OUI NON

Adresse professionnelle

Unité

Laboratoire

Service

n°

Rue

Code postal

Ville

Téléphone

N° du poste

Courriel

Adresse personnelle

n°

Rue

Code postal

Ville

Téléphone

Mobile

Courriel

Fait à

le

Signature

Dans la mesure où vous seriez élu(e), où désiriez-vous que soit expédié le(s) :

- Courrier(s) : Adresse personnelle professionnelle
■ Paquet(s) : Adresse personnelle professionnelle

Je m'oppose à l'utilisation commerciale des données qui me concernent : OUI

Informations générales

Recrutement

Inspecteur ou inspectrice santé et sécurité au travail pour les établissements d'enseignement supérieur et de recherche, l'administration centrale du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et pour les établissements et les services centraux placés sous la tutelle du ministre chargé de la jeunesse et des sports

NOR : MENI2121658V

avis

MENJS - MESRI - IGÉSR

L'inspection santé et sécurité au travail est compétente pour les établissements d'enseignement supérieur et de recherche, l'administration centrale du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation ; pour les établissements et les services centraux placés sous la tutelle du ministre chargé de la jeunesse et des sports. Elle est composée de treize inspecteurs. Un poste est actuellement vacant. Ce poste fait l'objet du présent appel à candidatures. Le poste est localisé administrativement à l'Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche (IGÉSR), 1, rue Descartes, 75005 Paris.

Missions de l'inspecteur santé et sécurité au travail :

Les missions de l'inspecteur santé et sécurité au travail sont définies par le décret n° 82-453 du 28 mai 1982 modifié relatif à l'hygiène et à la sécurité du travail ainsi qu'à la prévention médicale dans la fonction publique.

L'inspecteur a pour missions principales de :

- contrôler les conditions d'application des règles relatives à la santé et la sécurité au travail figurant dans la partie 4, livres 1 à 5, du Code du travail (santé et sécurité au travail) et dans les décrets pris pour son application ;
- proposer aux chefs d'établissement (président, directeur, etc.) et de services toute mesure qui lui paraît de nature à améliorer la santé et la sécurité au travail et la prévention des risques professionnels ;
- proposer aux chefs d'établissement et de services, qui doivent rendre compte des suites données à ses propositions, les mesures urgentes qu'il juge nécessaires.

L'inspecteur est responsable des rapports d'inspection qu'il produit en toute objectivité et toute impartialité et dans le respect de l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ses missions.

L'inspecteur peut remplir des missions de conseil et d'expertise auprès des chefs d'établissement et des services centraux et déconcentrés sur lesquels la mission ISST a compétence.

L'inspecteur donne son avis sur la teneur de tous les documents se rattachant à la mission des comités d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (CHSCT), notamment des règlements et des consignes que l'administration envisage d'adopter en matière de sécurité et de santé au travail.

Il peut assister avec voix consultative aux travaux des CHSCT des services et établissements qu'il suit et participer, dans le cadre de l'exercice du droit d'accès aux locaux, aux visites des délégations de ces CHSCT. Il peut être fait appel à l'inspecteur pour tout travail d'études et de recherche dans le domaine de la sécurité et de la prévention.

Compétences et expérience souhaitées :

Le candidat, fonctionnaire titulaire ou agent contractuel, devra justifier des conditions permettant d'accéder au corps des ingénieurs de recherche et exercer dans l'une des trois fonctions publiques.

Une expérience des fonctions d'inspecteur, d'ingénieur en prévention des risques, de médecin du travail serait appréciée, de même que la détention d'une compétence spécifique dans un domaine particulier notamment la radioprotection, l'ergonomie, la chimie, la physique, l'immobilier. Le candidat devra maîtriser la réglementation relative à la prévention des risques professionnels ; il devra connaître l'organisation et le fonctionnement d'une administration centrale, des établissements d'enseignement supérieur et de recherche et/ou des établissements placés sous la tutelle du ministre chargé des sports.

- Ces fonctions exigent une aptitude au travail en équipe, une connaissance des techniques d'analyse des

risques et de faire preuve de réactivité. Elles demandent également de faire preuve de discrétion professionnelle ainsi que de grandes qualités relationnelles.

- De nombreux déplacements sont à prévoir (France entière). Ce poste impose donc une grande disponibilité.

Candidature :

Le dossier de candidature devra être composé de :

- un curriculum vitae ;
- une lettre de motivation ;
- le dernier arrêté de classement dans l'emploi et/ou le corps d'origine ;
- le dernier contrat de travail pour les personnels contractuels ;
- le cas échéant, les deux dernières évaluations professionnelles.

Les candidatures devront être adressées par la voie hiérarchique et par la voie électronique dans un délai de 30 jours après la date de parution du présent avis aux bulletins officiels de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports et de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation :

Madame la cheffe de l'IGÉSR - Secrétariat général administratif

messaging électronique : sga.ig@igesr.gouv.fr (objet : recrutement ISST)

adresse postale : ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports - 110, rue de Grenelle - 75357 Paris 07 SP.

Des renseignements complémentaires peuvent être obtenus auprès de :

Laure Villarroya Girard, coordinatrice des ISST, tél. : 06 07 06 41 61

laure.villarroya-girard@igesr.gouv.fr