



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voies Mathématiques, physique, ingénierie et informatique (MP2I) et Mathématiques, physique, informatique (MPI)

Annexe 1

Programmes d'informatique

Programme d'informatique
Filière Mathématiques, Physique, Informatique (MPI)
Première et deuxième années

Table des matières

1	Méthodes de programmation (S1)(S2)(S3-4)	5
1.1	Algorithmes et programmes (S1)	5
1.2	Discipline de programmation (S1)(S2)(S3-4)	5
1.3	Validation, test (S1)	6
2	Récursivité et induction (S1)(S2)	7
3	Structures de données (S1)(S2)(S3-4)	8
3.1	Types et abstraction (S1)	8
3.2	Structures de données séquentielles (S1)(S2)	8
3.3	Structures de données hiérarchiques (S2)(S3-4)	9
3.4	Structures de données relationnelles (S2)	9
4	Algorithmique (S2)(S3-4)	10
4.1	Algorithmes probabilistes, algorithmes d'approximation (S3-4)	10
4.2	Exploration exhaustive (S2)(S3-4)	10
4.3	Décomposition d'un problème en sous-problèmes (S2)(S3-4)	10
4.4	Algorithmique des textes (S2)	11
4.5	Algorithmique des graphes (S2)(S3-4)	11
4.6	Algorithmique pour l'intelligence artificielle et l'étude des jeux (S3-4)	12
5	Gestion des ressources de la machine (S1)(S3-4)	13
5.1	Gestion de la mémoire d'un programme (S1)	13
5.2	Gestion des fichiers et entrées-sorties (S1)	13
5.3	Gestion de la concurrence et synchronisation (S3-4)	14
6	Logique (S2)(S3-4)	15
6.1	Syntaxe des formules logiques (S2)	15
6.2	Sémantique de vérité du calcul propositionnel (S2)	15
6.3	Déduction naturelle (S3-4)	16
7	Bases de données (S2)	17
8	Langages formels (S3-4)	18
8.1	Langages réguliers	18
8.2	Automates finis	18
8.3	Grammaires non contextuelles	19
9	Décidabilité et classes de complexité (S3-4)	20
A	Langage C	21
A.1	Traits et éléments techniques à connaître	21
A.2	Éléments techniques devant être reconnus et utilisables après rappel	22
B	Langage OCaml	23
B.1	Traits et éléments techniques à connaître	23
B.2	Éléments techniques devant être reconnus et utilisables après rappel	24

Introduction au programme

Les objectifs du programme L'enseignement d'informatique de classe préparatoire MPI 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 nourrie par les pratiques de la démarche scientifique, en pleine connaissance et maîtrise des techniques et des enjeux de l'informatique.

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;
- d'enseigner de manière à donner aux étudiantes et étudiants la flexibilité de travailler dans de nombreuses disciplines, l'informatique étant un domaine vaste qui se connecte à et tire parti de nombreuses autres disciplines.

Compétences visées Au delà de l'acquisition d'un bagage substantiel de connaissances et de méthodes de l'informatique, 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, arbre, automate, modèle abstrait d'ordonnement, 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** une syntaxe, les caractéristiques d'un processus, les données d'un problème, ou celles manipulées par un algorithme ou une fonction en utilisant le formalisme approprié (notamment langue française, formule logique, grammaire formelle);
- mettre en œuvre une solution**, par le choix d'un langage, 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, en développant des processus d'évaluation, de contrôle, de validation d'un code que l'on a produit ou en écrivant une preuve au sein d'un système formel;
- 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.

L'enseignement de ce programme ne saurait rester aveugle aux questions sociales, juridiques, éthiques et culturelles inhérentes à la discipline de l'informatique. Ces enjeux deviennent particulièrement prégnants eu égard au rôle croissant que jouent l'intelligence artificielle et les techniques d'analyse de données dans la technologie contemporaine. La professeure ou le professeur expose ses étudiants et étudiantes à l'interaction des questions éthiques et des problèmes techniques qui jouent un rôle important dans le développement des algorithmes et des systèmes informatiques.

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. Quand des termes peu usités ont été clarifiés par leur traduction en anglais, seul le libellé en langue française est au programme. De même, ce programme nomme aussi souvent que possible l'un des algorithmes 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 deux langages de programmation, C et OCaml. Des annexes listent de façon limitative les éléments de ces langages 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. Après des enseignements centrés sur les langages enseignés dans les classes du secondaire (au jour de l'écriture de ce programme : Scratch et Python), ces trois nouveaux langages de natures très différentes permettent d'approfondir le multilinguisme des étudiants tout en illustrant la diversité des paradigmes de programmation ou la diversité des moyens de contrôler les ressources de la machine physique et de les abstraire.

L'apprentissage du langage C conduit en particulier les étudiants à adopter immédiatement une bonne discipline de programmation tout en se concentrant sur le noyau du langage plutôt que sur une API pléthorique. En tant que langage dit de bas niveau d'abstraction utilisé entre autres pour écrire tous les systèmes d'exploitation, il permet une gestion explicite de la mémoire et des ressources de la machine, indispensable dans le cas où celles-ci sont limitées (systèmes embarqués, mobiles).

L'apprentissage du langage OCaml permet en particulier aux étudiants de recourir rapidement à un niveau d'abstraction supérieur et de manipuler facilement des structures de données récursives. Pour autant, son utilisation peut également simplifier certaines manipulations sur les fils d'exécution (*threads*), par exemple. La plupart des algorithmes qui figurent au programme se prêtent indifféremment à une programmation en C ou en OCaml. On veille à développer de façon parallèle les compétences de programmation dans ces deux langages.

Il convient de ne pas axer uniquement l'enseignement de ce programme sur le développement de compétences en programmation : si la capacité à écrire des programmes courts, précis, agréables à lire et documentés fait partie d'une formation exhaustive en informatique, un accent trop important sur l'écriture de code peut donner une vision étroite et trompeuse de la place de la programmation dans la discipline informatique. Les défauts, les bogues et les failles de logique constituent systématiquement la cause première des vulnérabilités des logiciels exploitées de façon malveillante. La vigilance vis-à-vis de pratiques de programmation sûres est apprise dès les premiers stades de l'apprentissage de la programmation. On s'attache à sensibiliser les étudiants à ces techniques, à la prévention des vulnérabilités et à une validation formelle ou expérimentale rigoureuse des résultats obtenus. Les étudiants sont incités à analyser les sources possibles d'invalidité des données manipulées par leurs programmes, y compris en cas d'exécution concurrente, et à savoir appliquer des principes de programmation défensive.

Mode d'emploi Pour une meilleure lisibilité de l'ensemble, les acquis d'apprentissage finaux ont été structurés par chapitres thématiques, sans chercher à éviter une redondance qui ne fait que témoigner des liens que ces thèmes entretiennent. Des repères temporels peuvent être proposés mais l'organisation de la progression au sein de ces acquis 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 symboles (S1), (S2) et (S3-4) indiquent que les notions associées sont étudiées avant la fin du premier ou du second semestre de la première année, ou durant la deuxième année, respectivement ; ces notions sont régulièrement revisitées tout au long des deux années d'enseignement. Lorsqu'une telle spécification s'applique uniformément à une section ou sous-section, elle n'est pas répétée aux niveaux inférieurs.

1 Méthodes de programmation (S1)(S2)(S3-4)

Le programme construit une progression à partir des acquis du lycée en matière d'algorithmique et programmation, dont on rappelle qu'ils ont permis, *a minima*, de rencontrer les notions de variables, de type, d'affectation, d'instruction conditionnelle, de boucles conditionnelles ou inconditionnelles et de manipuler de façon simple les listes en Python.

1.1 Algorithmes et programmes (S1)

Ce paragraphe introduit notamment le principe de validation d'un algorithme ou d'un programme et celui d'étude de son efficacité, qui sont pratiqués tout au long des deux années.

Notions	Commentaires
Notion de programme comme mise en œuvre d'un algorithme. Paradigme impératif structuré, paradigme déclaratif fonctionnel, paradigme logique.	On ne présente pas de théorie générale sur les paradigmes de programmation, on se contente d'observer les paradigmes employés sur des exemples. La notion de saut inconditionnel (instruction GOTO) est hors programme. On mentionne le paradigme logique uniquement à l'occasion de la présentation des bases de données.
Caractère compilé ou interprété d'un langage.	Transformation d'un fichier texte source en un fichier objet puis en un fichier exécutable. Différence entre fichiers d'interface et fichiers d'implémentation.
Représentation des flottants. Problèmes de précision des calculs flottants.	On illustre l'impact de la représentation par des exemples de divergence entre le calcul théorique d'un algorithme et les valeurs calculées par un programme. Les comparaisons entre flottants prennent en compte la précision.
Terminaison. Correction partielle. Correction totale. Variant. Invariant.	La correction est partielle quand le résultat est correct lorsque l'algorithme s'arrête, la correction est totale si elle est partielle et si l'algorithme termine.
Analyse de la complexité d'un algorithme. Complexité dans le pire cas, dans le cas moyen. Notion de coût amorti.	On limite l'étude de la complexité dans le cas moyen et du coût amorti à quelques exemples simples.

1.2 Discipline de programmation (S1)(S2)(S3-4)

Ce paragraphe définit une discipline de programmation qui a vocation à être observée dès le début et durant toute la durée des deux années d'enseignement.

Notions	Commentaires
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.
Programmation défensive. Assertion. Sortie du programme ou exception levée en cas d'évaluation négative d'une assertion.	L'utilisation d'assertions est encouragée par exemple pour valider des entrées ou pour le contrôle de débordements. Plus généralement, les étudiants sont sensibilisés à réfléchir aux causes possibles (internes ou externes à leur programme) d'opérer sur des données invalides et à adopter un style de programmation défensif. Les étudiants sont sensibilisés à la différence de garanties apportées selon les langages, avec l'exemple d'un typage faible en C et fort en OCaml. On veille à ne pas laisser penser que les exceptions servent uniquement à gérer des erreurs.
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.

1.3 Validation, test (S1)

La validation de code par sa soumission à des jeux de tests est une phase essentielle du cycle de développement logiciel. On en fait percevoir l'importance dès le début et durant toute la durée des deux années d'enseignement.

Notions	Commentaires
Jeu de tests associé à un programme.	Il n'est pas attendu de connaissances sur la génération automatique de jeux de tests; un étudiant est capable d'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.
Graphe de flot de contrôle. Chemins faisables. Couverture des sommets, des arcs ou des chemins (avec ou sans cycle) du graphe de flot de contrôle.	Les étudiants sont capables d'écrire un jeu de tests satisfaisant un critère de couverture des instructions (sommets) ou des branches (arcs) sur les chemins faisables.
Test exhaustif de la condition d'une boucle ou d'une conditionnelle.	Il s'agit, lorsque la condition booléenne comporte des conjonctions ou disjonctions, de ne pas se contenter de la traiter comme étant globalement vraie ou fausse mais de formuler des tests qui réalisent toutes les possibilités de la satisfaire. On se limite à des exemples simples pour lesquels les cas possibles se décèlent dès la lecture du programme.

2 Récursivité et induction (S1)(S2)

La capacité d'un programme à faire appel à lui-même est un concept primordial en informatique. Historiquement, l'auto-référence est au cœur du paradigme de programmation fonctionnelle. Elle imprègne aujourd'hui, de manière plus ou moins marquée, la plupart des langages de programmation contemporains. Le principe d'induction est une notion fondamentale et transverse à l'ensemble de ce programme. Il permet d'écrire des démonstrations avec facilité dès que l'on s'intéresse à toute sorte de structures (arbres, formules de logiques, classes de langage, etc.).

Notions	Commentaires
Récursivité d'une fonction. Récursivité croisée. Organisation des activations sous forme d'arbre en cas d'appels multiples. (S1)	On se limite à une présentation pratique de la récursivité comme technique de programmation. Les récurrences usuelles : $T(n) = T(n-1) + an$, $T(n) = aT(n/2) + b$, ou $T(n) = 2T(n/2) + f(n)$ sont introduites au fur et à mesure de l'étude de la complexité des différents algorithmes rencontrés. On utilise des encadrements élémentaires <i>ad hoc</i> afin de les justifier; on évite d'appliquer un théorème-maître général.
Ensemble ordonné, prédécesseur et successeur, prédécesseur et successeur immédiat. Élément minimal. Ordre produit, ordre lexicographique. Ordre bien fondé. (S2)	On fait le lien avec la notion d'accessibilité dans un graphe orienté acyclique. L'objectif n'est pas d'étudier la théorie abstraite des ensembles ordonnés mais de poser les définitions et la terminologie.
Ensemble inductif, défini comme le plus petit ensemble engendré par un système d'assertions et de règles d'inférence. Ordre induit. Preuve par induction structurelle. (S2)	On insiste sur les aspects pratiques : construction de structure de données et filtrage par motif. On présente la preuve par induction comme une généralisation de la preuve par récurrence.
Mise en œuvre	
<p>On met l'accent sur la gestion au niveau de la machine, en termes d'occupation mémoire, de la pile d'exécution, et de temps de calcul, en évoquant les questions de sauvegarde et de restauration de contexte. On évite de se limiter à des exemples informatiquement peu pertinents (factorielle, suite de Fibonacci, ...).</p> <p>Toute théorie générale de la dérécursification est hors programme.</p> <p>Un étudiant peut mener des raisonnements par induction structurelle.</p>	

3 Structures de données (S1)(S2)(S3-4)

On insiste sur le fait que le développement d'un algorithme va de pair avec la conception d'une structure de données taillée à la mesure du problème que l'on cherche à résoudre et des opérations sur les données que l'on est amené à répéter.

3.1 Types et abstraction (S1)

Notions	Commentaires
Type prédéfini (booléen, entier, flottant). Pointeur. Type paramétré (tableau). Type composé. Tableaux statiques. Allocation (<code>malloc</code>) et désallocation (<code>free</code>) dynamique.	On se limite à une présentation pratique des types, en les illustrant avec les langages du programme. Un étudiant est capable d'inférer un type à la lecture d'un fragment de code, cependant toute théorie du typage est hors programme.
Définition d'une structure de données abstraite comme un type muni d'opérations.	On parle de constructeur pour l'initialisation d'une structure, d'accessor pour récupérer une valeur et de transformateur pour modifier l'état de la structure. On montre l'intérêt d'une structure de données abstraite en terme de modularité. On distingue la notion de structure de données abstraite de son implémentation. Plusieurs implémentations concrètes sont interchangeables. La notion de classe et la programmation orientée objet sont hors programme.
Distinction entre structure de données mutable et immuable.	Illustrée en langage OCaml.
Mise en œuvre	
Il s'agit de montrer l'intérêt et l'influence des structures de données sur les algorithmes et les méthodes de programmation. On insiste sur la distinction entre une structure de données abstraite (un type muni d'opérations ou encore une interface) et son implémentation concrète. On montre l'intérêt d'une structure de données abstraite en terme de modularité. Grâce aux bibliothèques, on peut utiliser des structures de données avant d'avoir programmé leur réalisation concrète.	

3.2 Structures de données séquentielles (S1)(S2)

Notions	Commentaires
Structure de liste. Implémentation par un tableau, par des maillons chaînés. (S1)	On insiste sur le coût des opérations selon le choix de l'implémentation. Pour l'implémentation par un tableau, on se fixe une taille maximale. On peut évoquer le problème du redimensionnement d'un tableau.
Structure de pile. Structure de file. Implémentation par un tableau, par des maillons chaînés. (S1)	
Structure de tableau associatif implémenté par une table de hachage. (S2)	La construction d'une fonction de hachage et les méthodes de gestion des collisions éventuelles ne sont pas des exigences du programme.
Sérialisation. (S2)	On présente un exemple de sérialisation d'une structure hiérarchique et d'une structure relationnelle.
Mise en œuvre	
On présente les structures de données construites à l'aide de pointeurs d'abord au tableau avant de guider les étudiants dans l'implémentation d'une telle structure.	

3.3 Structures de données hiérarchiques (S2) (S3-4)

Notions	Commentaires
Définition inductive du type arbre binaire. Vocabulaire : nœud, nœud interne, racine, feuille, fils, père, hauteur d'un arbre, profondeur d'un nœud, étiquette, sous-arbre. (S2)	La hauteur de l'arbre vide est -1 . On mentionne la représentation d'un arbre complet dans un tableau.
Arbre. Conversion d'un arbre d'arité quelconque en un arbre binaire. (S2)	La présentation donne lieu à des illustrations au choix du professeur. Il peut s'agir par exemple d'expressions arithmétiques, d'arbres préfixes (<i>trie</i>), d'arbres de décision, de dendrogrammes, d'arbres de classification, etc.
Parcours d'arbre. Ordre préfixe, infixé et postfixé. (S2)	On peut évoquer le lien avec l'empilement de blocs d'activation lors de l'appel à une fonction récursive.
Implémentation d'un tableau associatif par un arbre binaire de recherche. Arbre bicolore. (S2)	On note l'importance de munir l'ensemble des clés d'un ordre total.
Propriété de tas. Structure de file de priorité implémentée par un arbre binaire ayant la propriété de tas. (S2)	Tri par tas.
Structure unir & trouver pour la représentation des classes d'équivalence d'un ensemble. Implémentation par des arbres. (S3-4)	On commence par donner des implémentations naïves de la structure unir & trouver qui privilégient soit l'opération unir, soit l'opération trouver, avant de donner une implémentation par des arbres qui permet une mise en œuvre efficace des deux opérations. L'analyse de la complexité de cette structure est admise.
Mise en œuvre	
On présente les manipulations usuelles sur les arbres en C et en OCaml. Il n'est pas attendu d'un étudiant une maîtrise technique de l'écriture du code d'une structure de données arborescente mutable à l'aide de pointeurs, mais il est attendu qu'il sache l'utiliser.	

3.4 Structures de données relationnelles (S2)

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
Graphe orienté, graphe non orienté. Sommet (ou nœud); arc, arête. Boucle. Degré (entrant et sortant). Chemin d'un sommet à un autre. Cycle. Connexité, forte connexité. Graphe orienté acyclique. Arbre en tant que graphe connexe acyclique. Forêt. Graphe biparti.	Notation : graphe $G = (S, A)$, degrés $d_+(s)$ et $d_-(s)$ dans le cas orienté. On n'évoque pas les multi-arcs. On représente un graphe orienté par une matrice d'adjacence ou par des listes d'adjacence.
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 : graphe de distance, automate fini, diagramme de décision binaire.
Mise en œuvre	
On présente les manipulations usuelles sur les graphes en C et en OCaml. La présentation en C s'effectue à travers des tableaux statiques. Pour la représentation en liste d'adjacence, on peut considérer un tableau à deux dimensions dont les lignes représentent chaque liste avec une sentinelle ou un indicateur de taille en premier indice.	

4 Algorithmique (S2)(S3-4)

Les algorithmes sont présentés au tableau en spécifiant systématiquement les entrées et sorties et en étudiant, dans la mesure du possible, leur correction et leur complexité.

4.1 Algorithmes probabilistes, algorithmes d'approximation (S3-4)

Notions	Commentaires
Algorithme déterministe. Algorithme probabiliste (<i>Las Vegas</i> et <i>Monte Carlo</i>).	On s'en tient aux définitions et à des exemples choisis par le professeur. On mentionne l'intérêt d'une méthode <i>Las Vegas</i> pour construire un objet difficile à produire par une méthode déterministe (par exemple, construction d'un nombre premier de taille cryptographique). Quelques exemples possibles : k -ième minimum d'un tableau non trié, problème des huit reines, etc.
Problème de décision. Problème d'optimisation. Instance d'un problème, fonction de coût. Notion d'algorithme d'approximation.	Seule la notion d'algorithme d'approximation est au programme. L'étude de techniques générales d'approximation est hors programme. On indique, par exemple sur le problème MAX2SAT, que la méthode probabiliste peut fournir de bons algorithmes d'approximation.

4.2 Exploration exhaustive (S2)(S3-4)

Notions	Commentaires
Recherche par force brute. Retour sur trace (<i>Backtracking</i>). (S2)	On peut évoquer l'intérêt d'ordonner les données avant de les parcourir (par exemple par une droite de balayage).
Algorithme par séparation et évaluation (<i>Branch and bound</i>). (S3-4)	On peut évoquer sur des exemples quelques techniques d'évaluation comme les méthodes de relaxation (par exemple la relaxation continue).
Mise en œuvre	L'objectif est de donner des outils de conception d'algorithmes et de parvenir à ce que les étudiants puissent, dans une situation simple, sélectionner une stratégie pertinente par eux-mêmes et la mettre en œuvre de façon autonome. Dans les cas les plus complexes, les choix et les recommandations d'implémentation sont guidés.

4.3 Décomposition d'un problème en sous-problèmes (S2)(S3-4)

Notions	Commentaires
Algorithme glouton fournissant une solution exacte. (S2)	On peut traiter comme exemples d'algorithmes exacts : codage de Huffman, sélection d'activité, ordonnancement de tâches unitaires avec pénalités de retard sur une machine unique.
Exemple d'algorithme d'approximation fourni par la méthode gloutonne. (S3-4)	On peut traiter par exemple : couverture des sommets dans un graphe, problème du sac à dos en ordonnant les objets.
Diviser pour régner. Rencontre au milieu. Dichotomie. (S2)	On peut traiter un ou plusieurs exemples comme : tri par partition-fusion, comptage du nombre d'inversions dans une liste, calcul des deux points les plus proches dans un ensemble de points; recherche d'un sous-ensemble d'un ensemble d'entiers dont la somme des éléments est donnée; recherche dichotomique dans un tableau trié. On présente un exemple de dichotomie où son recours n'est pas évident : par exemple, la couverture de n points de la droite par k segments égaux de plus petite longueur.

Programmation dynamique. Propriété de sous-structure optimale. Chevauchement de sous-problèmes. Calcul de bas en haut ou par mémorisation. Reconstruction d'une solution optimale à partir de l'information calculée. (S2)	On souligne les enjeux de complexité en mémoire. On peut traiter un ou plusieurs exemples comme : problème de la somme d'un sous-ensemble, ordonnancement de tâches pondérées, plus longue sous-suite commune, distance d'édition (Levenshtein).
--	--

Mise en œuvre

L'objectif est de donner des outils de conception d'algorithmes et de parvenir à ce que les étudiants puissent, dans une situation simple, sélectionner une stratégie pertinente par eux-mêmes et la mettre en œuvre de façon autonome. Dans les cas les plus complexes, les choix et les recommandations d'implémentation sont guidés. Les listes d'exemples cités en commentaires ne sont ni impératives ni limitatives.

4.4 Algorithmique des textes (S2)

Notions	Commentaires
Recherche dans un texte. Algorithme de Boyer-Moore. Algorithme de Rabin-Karp.	On peut se restreindre à une version simplifiée de l'algorithme de Boyer-Moore, avec une seule fonction de décalage. L'étude précise de la complexité de ces algorithmes n'est pas exigible.
Compression. Algorithme de Huffman. Algorithme Lempel-Ziv-Welch.	On explicite les méthodes de décompression associées.

4.5 Algorithmique des graphes (S2)(S3-4)

Notions	Commentaires
Notion de parcours (sans contrainte). Notion de parcours en largeur, en profondeur. Notion d'arborescence d'un parcours. (S2)	On peut évoquer la recherche de cycle, la bicolorabilité d'un graphe, la recherche de plus courts chemins dans un graphe à distance unitaire.
Accessibilité. Tri topologique d'un graphe orienté acyclique à partir de parcours en profondeur. Recherche des composantes connexes d'un graphe non orienté. (S2)	On fait le lien entre accessibilité dans un graphe orienté acyclique et ordre.
Recherche des composantes fortement connexes d'un graphe orienté par l'algorithme de Kosaraju. (S3-4)	On fait le lien entre composantes fortement connexes et le problème 2-SAT.
Notion de plus courts chemins dans un graphe pondéré. Algorithme de Dijkstra. Algorithme de Floyd-Warshall. (S2)	On présente l'algorithme de Dijkstra avec une file de priorité en lien avec la représentation de graphes par listes d'adjacences. On présente l'algorithme de Floyd-Warshall en lien avec la représentation de graphes par matrice d'adjacence.
Recherche d'un arbre couvrant de poids minimum par l'algorithme de Kruskal. (S3-4)	On peut mentionner l'adaptation au problème du chemin le plus large dans un graphe non-orienté.
Recherche d'un couplage de cardinal maximum dans un graphe biparti par des chemins augmentants. (S3-4)	On se limite à une approche élémentaire; l'algorithme de Hopcroft-Karp n'est pas au programme. Les graphes bipartis et couplages sont introduits comme outils naturels de modélisation; ils peuvent également constituer une introduction aux problèmes de flots.

Mise en œuvre

Une attention particulière est portée sur le choix judicieux du mode de représentation d'un graphe en fonction de l'application et du problème considéré. On étudie en conséquence l'impact de la représentation sur la conception d'un algorithme et sur sa complexité (en temps et en espace). On se concentre sur l'approfondissement des algorithmes cités dans le programme et le ré-emploi de leurs idées afin de résoudre des problèmes similaires. La connaissance d'une bibliothèque d'algorithmes fonctionnant sur des principes différents mais résolvant un même problème n'est pas un objectif du programme.

4.6 Algorithmique pour l'intelligence artificielle et l'étude des jeux (S3-4)

Cette partie permet d'introduire les concepts d'apprentissage, de stratégie et d'heuristique. Ce dernier est abordé par des exemples où l'heuristique est précisément définie mais sans en évaluer la performance.

Notions	Commentaires
Apprentissage supervisé.	Algorithme des k plus proches voisins avec distance euclidienne. Arbres k dimensionnels. Apprentissage d'arbre de décision : algorithme ID3 restreint au cas d'arbres binaires. Matrice de confusion. On observe des situations de sur-apprentissage sur des exemples.
Apprentissage non-supervisé.	Algorithme de classification hiérarchique ascendante. Algorithme des k -moyennes. 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. Détermination des positions gagnantes par le calcul des attracteurs. Construction de stratégies gagnantes.	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. Algorithme min-max avec une heuristique. Élagage alpha-beta.	
Graphe d'états. Recherche informée : algorithme A*.	On souligne l'importance de l'admissibilité de l'heuristique, ainsi que le cas où l'heuristique est également monotone.
Mise en œuvre	
La connaissance des théories sous-jacentes aux algorithmes de cette section n'est pas un attendu du programme. Les étudiants acquièrent une familiarité avec les idées qu'ils peuvent réinvestir dans des situations où les modélisations et les recommandations d'implémentation sont guidées.	

5 Gestion des ressources de la machine (S1) (S3-4)

Le programme vise à donner un premier aperçu des liens qu'assurent les systèmes d'exploitation (plus largement les plates-formes d'exécution) entre les programmes et les ressources offertes par les machines qui les exécutent. Le fonctionnement du matériel, l'architecture des ordinateurs, la conception des systèmes, la gestion des interfaces, les protocoles de communication, la virtualisation (de la mémoire, des processeurs, etc.) sont hors programme. Ce programme se focalise sur trois aspects de la gestion de la machine :

- la mémoire au sein d'un processus qui exécute un programme;
- les systèmes de fichiers qui permettent d'interagir avec un processus, en entrée et sortie;
- la concurrence au sein des processus par des fils d'exécution, exploitant les possibilités d'exécution concurrente des processeurs actuels.

Bien que ces notions soient indépendantes du système d'exploitation, le système Linux est le plus propice pour introduire les éléments de ce programme.

5.1 Gestion de la mémoire d'un programme (S1)

Notions	Commentaires
Utilisation de la pile et du tas par un programme compilé.	On présente l'allocation des variables globales, le bloc d'activation d'un appel.
Notion de portée syntaxique et durée de vie d'une variable. Allocation des variables locales et paramètres sur la pile.	On indique la répartition selon la nature des variables : globales, locales, paramètres.
Allocation dynamique.	On présente les notions en lien avec le langage C : <code>malloc</code> et <code>free</code> , pointeur nul, type <code>void*</code> , transtypage, relation avec les tableaux, protection mémoire (<i>segmentation violation</i>).

5.2 Gestion des fichiers et entrées-sorties (S1)

Notions	Commentaires
Interface de fichiers : taille, accès séquentiel.	
Implémentation interne : blocs et nœuds d'index (<i>inode</i>).	On présente le partage de blocs (avec liens physiques ou symboliques) et l'organisation hiérarchique de l'espace de nommage.
Accès, droits et attributs.	On utilise sur des exemples les fonctions d'accès et d'écriture dans les différents modes.
Fichiers spéciaux : flux standard (entrée standard <code>stdin</code> , sortie standard <code>stdout</code> , sortie d'erreur standard <code>stderr</code>) et redirections dans l'interface système (<i>shell</i>).	On présente la notion de tube (<i>pipe</i>).
Mise en œuvre	
Les seules notions exigibles sont celles permettant à un programme de gérer l'ouverture, la fermeture et l'accès à un ou plusieurs fichiers, selon les modalités précisées en annexes. On attend toutefois d'un étudiant une expérience du montage d'un support de fichiers amovible, de la gestion des droits d'accès à des parties de l'arborescence, de la création et du déplacement des parties de l'arborescence et de la gestion des liens physiques et symboliques. Le professeur expose également ses étudiants à la réalisation d'enchaînements de programmes via des tubes (<i>pipes</i>).	

5.3 Gestion de la concurrence et synchronisation (S3-4)

L'apprentissage des notions liées au parallélisme d'exécution se limite au cas de fils d'exécutions (*threads*) internes à un processus, sur une machine. Les problèmes d'algorithmes répartis et les notions liées aux réseaux et à la communication asynchrone sont hors programme.

Notions	Commentaires
Notion de fils d'exécution. Non-déterminisme de l'exécution.	Les notions sont présentées au tableau en privilégiant le pseudo-code; elles sont mises en œuvre au cours de travaux pratiques en utilisant les bibliothèques POSIX pthread (en langage C) ou Thread (en langage OCaml), au choix du professeur, selon les modalités précisées en annexe. On s'en tient aux notions de base : création, attente de terminaison.
Synchronisation de fils d'exécution. Algorithme de Peterson pour deux fils d'exécution. Algorithme de la boulangerie de Lamport pour plusieurs fils d'exécution.	On illustre l'importance de l'atomicité par quelques exemples et les dangers d'accès à une variable en l'absence de synchronisation. On présente les notions de mutex et sémaphores.
Mise en œuvre	
Les concepts sont illustrés sur des schémas de synchronisation classiques : rendez-vous, producteur-consommateur. Les étudiants sont également sensibilisés au non-déterminisme et aux problèmes d'interblocage et d'équité d'accès, illustrables sur le problème classique du dîner des philosophes.	

6 Logique (S2)(S3-4)

6.1 Syntaxe des formules logiques (S2)

Le but de cette partie est de familiariser progressivement les étudiants avec la différence entre syntaxe et sémantique d'une part et de donner le vocabulaire permettant de modéliser une grande variété de situations (par exemple, satisfaction de contraintes, planification, diagnostic, vérification de modèles, etc.).

L'étude des quantificateurs est l'occasion de formaliser les notions de variables libres et liées, et de portée, notions que l'on retrouve dans la pratique de la programmation.

Notions	Commentaires
Variables propositionnelles, connecteurs logiques, arité. Formules propositionnelles, définition par induction, représentation comme un arbre. Sous-formule. Taille et hauteur d'une formule.	Notations : $\neg, \vee, \wedge, \rightarrow, \leftrightarrow$. Les formules sont des données informatiques. On fait le lien entre les écritures d'une formule comme mot et les parcours d'arbres.
Quantificateurs universel et existentiel. Variables liées, variables libres, portée. Substitution d'une variable.	On ne soulève aucune difficulté technique sur la substitution. L'unification est hors programme.
Mise en œuvre	
On implémente uniquement les formules propositionnelles sous forme d'arbres.	

6.2 Sémantique de vérité du calcul propositionnel (S2)

Par souci d'éviter trop de technicité, on ne présente la notion de valeur de vérité que pour des formules sans quantificateurs.

Notions	Commentaires
Valuations, valeurs de vérité d'une formule propositionnelle. Satisfiabilité, modèle, ensemble de modèles, tautologie, antilogie.	Notations V pour la valeur vraie, F pour la valeur fausse. Une formule est satisfiable si elle admet un modèle, tautologique si toute valuation en est un modèle. On peut être amené à ajouter à la syntaxe une formule tautologique et une formule antilogique; elles sont en ce cas notées \top et \perp .
Équivalence sur les formules.	On présente les lois de De Morgan, le tiers exclu et la décomposition de l'implication.
Conséquence logique entre deux formules.	On étend la notion à celle de conséquence ϕ d'un ensemble de formules Γ : on note $\Gamma \models \phi$. La compacité est hors programme.
Forme normale conjonctive, forme normale disjonctive. Mise sous forme normale.	Lien entre forme normale disjonctive complète et table de vérité. On peut représenter les formes normales comme des listes de listes de littéraux. Exemple de formule dont la taille des formes normales est exponentiellement plus grande.
Problème SAT, n -SAT, algorithme de Quine.	On incarne SAT par la modélisation d'un problème (par exemple la coloration des sommets d'un graphe).

6.3 Dédution naturelle (S3-4)

Il s'agit de présenter les preuves comme permettant de pallier deux problèmes de la présentation précédente du calcul propositionnel : nature exponentielle de la vérification d'une tautologie, faible lien avec les preuves mathématiques.

Il ne s'agit, en revanche, que d'introduire la notion d'arbre de preuve. La déduction naturelle est présentée comme un jeu de règles d'inférence simple permettant de faire un calcul plus efficace que l'étude de la table de vérité. Toute technicité dans les preuves dans ce système est à proscrire.

Notions	Commentaires
Règle d'inférence, dérivation. Définition inductive d'un arbre de preuve.	Notation \vdash . Séquent $H_1, \dots, H_n \vdash C$. On présente des exemples tels que le <i>modus ponens</i> ($p, p \rightarrow q \vdash q$) ou le syllogisme <i>barbara</i> ($p \rightarrow q, q \rightarrow r \vdash p \rightarrow r$). On présente des exemples utilisant les règles précédentes.
Règles d'introduction et d'élimination de la déduction naturelle pour les formules propositionnelles. Correction de la déduction naturelle pour les formules propositionnelles.	On présente les règles pour \wedge, \vee, \neg et \rightarrow . On écrit de petits exemples d'arbre de preuves (par exemple $\vdash (p \rightarrow q) \rightarrow \neg(p \wedge \neg q)$, etc.).
Règles d'introduction et d'élimination pour les quantificateurs universels et existentiels.	On motive ces règles par une approche sémantique intuitive.
Mise en œuvre	
Il ne s'agit pas d'implémenter ces règles mais plutôt d'être capable d'écrire de petites preuves dans ce système. On peut également présenter d'autres utilisations de règles d'inférences pour raisonner.	

7 Bases de données (S2)

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 ni 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.
Clé primaire.	Une clé 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.
Entités et associations, clé étrangère.	On s'intéresse au modèle entité-association au travers de cas concrets d'associations 1 – 1, 1 – *, * – *. Séparation d'une association * – * en deux associations 1 – *. L'utilisation de clés primaires et de clés étrangères permet de traduire en SQL les associations 1 – 1 et 1 – *.
Requêtes SELECT avec simple clause WHERE (sélection), projection, renommage AS. Utilisation des mots-clés DISTINCT, LIMIT, OFFSET, ORDER BY. Opérateurs ensemblistes UNION, INTERSECT et EXCEPT, produit cartésien.	Les opérateurs au programme sont +, –, *, / (on passe outre les subtilités liées à la division entière ou flottante), =, <>, <, <=, >, >=, AND, OR, NOT, IS NULL, IS NOT NULL.
Jointures internes T_1 JOIN T_2 ... JOIN T_n ON ϕ , externes à gauche T_1 LEFT JOIN T_2 ON ϕ .	On présente les jointures (internes) en lien avec la notion d'associations entre entités.
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.
Filtrage des agrégats avec HAVING.	On marque la différence entre WHERE et HAVING sur des exemples.

Mise en œuvre

La création, la suppression et la modification 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 *vs* physique, les bases de données non relationnelles, les méthodes de modélisation de base, les fragments DDL, TCL et ACL du langage SQL, l'optimisation de requêtes par l'algèbre relationnelle.

8 Langages formels (S3-4)

8.1 Langages réguliers

On introduit les expressions régulières comme formalisme dénotationnel pour spécifier un motif dans le cadre d'une recherche textuelle.

Notions	Commentaires
Alphabet, mot, préfixe, suffixe, facteur, sous-mot.	Le mot vide est noté ε .
Langage comme ensemble de mots sur un alphabet. Opérations régulières sur les langages (union, concaténation, étoile de Kleene). Définition inductive des langages réguliers.	
Expression régulière. Dénotation d'un langage régulier.	On introduit les expressions régulières comme un formalisme dénotationnel pour les motifs. On note l'expression dénotant le langage vide \emptyset , celle dénotant le langage réduit au mot vide ε , l'union par $ $, la concaténation par juxtaposition et l'étoile de Kleene par une étoile.
Expressions régulières étendues.	Le lien est fait avec les expressions régulières de la norme POSIX, mais on ne développe aucune théorie supplémentaire à leur sujet et aucune connaissance au sujet de cette norme n'est exigible.

8.2 Automates finis

Les automates constituent un modèle de calcul puissant qui irrigue de nombreuses branches de l'informatique. On voit ici les automates comme un formalisme opérationnel efficace pour la recherche de motifs. On vérifie que le formalisme des automates coïncide exactement avec l'expressivité des expressions régulières.

Notions	Commentaires
Automate fini déterministe. État accessible, co-accessible. Automate émondé. Langage reconnu par un automate.	On insiste sur la richesse de systèmes dont le fonctionnement peut être modélisé par un automate.
Transition spontanée (ou ε -transition). Automate fini non déterministe.	
Déterminisation d'un automate non déterministe.	On fait le lien entre l'élimination des transitions spontanées et l'accessibilité dans un graphe. On aborde l'élimination des transitions spontanées et plus généralement les constructions d'automates à la Thompson sur des exemples, sans chercher à formaliser complètement les algorithmes sous-jacents.
Construction de l'automate de Glushkov associé à une expression régulière par l'algorithme de Berry-Sethi.	Les notions de langage local et d'expression régulière linéaire sont introduites dans cette seule perspective.
Passage d'un automate à une expression régulière. Élimination des états. Théorème de Kleene.	On se limite à la description du procédé d'élimination et à sa mise en œuvre sur des exemples d'automates de petite taille; cela constitue la preuve du sens réciproque du théorème de Kleene.
Stabilité de la classe des langages reconnaissables par union finie, intersection finie, complémentaire.	
Lemme de l'étoile.	Soit L le langage reconnu par un automate à n états : pour tout $u \in L$ tel que $ u \geq n$, il existe x, y, z tels que $u = xyz$, $ xy \leq n$, $y \neq \varepsilon$ et $xy^*z \subseteq L$.

8.3 Grammaires non contextuelles

Les grammaires formelles ont pour principal intérêt de définir des syntaxes structurées, en particulier celles des langages informatiques (langage de programmation, langage de requête, langage de balisage, etc.). On s'intéresse surtout à la manière dont les mots s'obtiennent par la grammaire et, de façon modeste, à la manière d'analyser un mot (un programme) en une structure de données qui le représente.

Notions	Commentaires
Grammaire non contextuelle. Vocabulaire : symbole initial, symbole non-terminal, symbole terminal, règle de production, dérivation immédiate, dérivation. Langage engendré par une grammaire, langage non contextuel. Non contextualité des langages réguliers.	Notations : règle de production \rightarrow , dérivation immédiate \Rightarrow , dérivation \Rightarrow^* . On montre comment définir une expression arithmétique ou une formule de la logique propositionnelle par une grammaire. On peut présenter comme exemple un mini-langage fictif de programmation ou un mini-langage de balisage. Sont hors programme : les automates à pile, les grammaires syntagmatiques générales, la hiérarchie de Chomsky.
Arbre d'analyse. Dérivation à gauche, à droite. Ambiguïté d'une grammaire. Équivalence faible.	On présente le problème du « sinon pendant » (<i>dangling else</i>).
Exemple d'algorithme d'analyse syntaxique.	On peut présenter au tableau un algorithme <i>ad hoc</i> d'analyse syntaxique par descente récursive (algorithme <i>top-down</i>) pour un langage de balisage fictif (par exemple, la grammaire de symbole initial S et de règles de production $S \rightarrow TS c, T \rightarrow aSb$ sur l'alphabet $\{a, b, c\}$). On ne parle pas d'analyseur LL ou LR. On ne présente pas de théorie générale de l'analyse syntaxique.
Mise en œuvre	
On étudie surtout de petits exemples que l'on peut traiter à la main et qui modélisent des situations rencontrées couramment en informatique. On fait le lien avec la définition par induction de certaines structures de données (listes, arbres, formules de logique propositionnelle).	

9 Décidabilité et classes de complexité (S3-4)

On s'intéresse à la question de savoir ce qu'un algorithme peut ou ne peut pas faire, inconditionnellement ou sous condition de ressources en temps. Cette partie permet de justifier la construction, plus haut, d'algorithmes exhaustifs, approchés, probabilistes, etc. On s'appuie sur une compréhension pratique de ce qu'est un algorithme.

Notions	Commentaires
Problème de décision. Taille d'une instance. Complexité en ordre de grandeur en fonction de la taille d'une instance. Opération élémentaire. Complexité en temps d'un algorithme. Classe P .	Les opérations élémentaires sont les lectures et écritures en mémoire, les opérations arithmétiques, etc. La notion de machine de Turing est hors programme. On s'en tient à une présentation intuitive du modèle de calcul (code exécuté avec une machine à mémoire infinie). On insiste sur le fait que la classe P concerne des problèmes de décision.
Réduction polynomiale d'un problème de décision à un autre problème de décision.	On se limite à quelques exemples élémentaires.
Certificat. Classe NP comme la classe des problèmes que l'on peut vérifier en temps polynomial. Inclusion $\mathbf{P} \subseteq \mathbf{NP}$.	Les modèles de calcul non-déterministes sont hors programme.
NP-complétude. Théorème de Cook-Levin (admis) : SAT est NP-complet.	On présente des exemples de réduction de problèmes NP-complets à partir de SAT. La connaissance d'un catalogue de problèmes NP-complets n'est pas un objectif du programme.
Transformation d'un problème d'optimisation en un problème de décision à l'aide d'un seuil.	
Notion de machine universelle. Problème de l'arrêt.	
Mise en œuvre	
On prend soin de distinguer la notion de complexité d'un algorithme de la notion de classe de complexité d'un problème. Le modèle de calcul est une machine à mémoire infinie qui exécute un programme rédigé en OCaml ou en C. La maîtrise ou la technicité dans des formalismes avancés n'est pas un objectif du programme.	

A Langage C

La présente annexe liste limitativement les éléments du langage C (norme C99 ou plus récente) dont la connaissance, selon les modalités de chaque sous-section, est exigible des étudiants à la fin de la première année. Ces éléments s'inscrivent dans la perspective de lire et d'écrire des programmes en C; aucun concept sous-jacent n'est exigible au titre de la présente annexe.

À l'écrit, on travaille toujours sous l'hypothèse que les entêtes suivants ont tous été inclus : `<assert.h>`, `<stdbool.h>`, `<stddef.h>`, `<stdint.h>`, `<stdio.h>`, `<stdlib.h>`. Mais ces fichiers ne font pas en soi l'objet d'une étude et aucune connaissance particulière des fonctionnalités qu'ils apportent n'est exigible.

A.1 Traits et éléments techniques à connaître

Les éléments et notations suivants du langage C doivent pouvoir être compris et utilisés par les étudiants sans faire l'objet d'un rappel, y compris lorsqu'ils n'ont pas accès à un ordinateur.

Traits généraux

- Typage statique. Types indiqués par le programme lors de la déclaration ou définition.
- Passage par valeur.
- Délimitation des portées par les accolades. Les retours à la ligne et l'indentation ne sont pas significatifs mais sont nécessaires pour la lisibilité du code.
- Déclaration et définition de fonctions, uniquement dans le cas d'un nombre fixé de paramètres.
- Gestion de la mémoire : pile et tas, allocation statique et dynamique, durée de vie des objets.

Définitions et types de base

- Types entiers signés `int8_t`, `int32_t` et `int64_t`, types entiers non signés `uint8_t`, `uint32_t` et `uint64_t`. Lorsque la spécification d'une taille précise pour le type n'apporte rien à l'exercice, on utilise les types signés `int` et non signé `unsigned int`. Opérations arithmétiques `+`, `-`, `/`, `*`. Opération `%` entre opérandes positifs. Ces opérations sont sujettes à dépassement de capacité. À l'écrit, on élude les difficultés liées à la sémantique des constantes syntaxiques. On ne présente pas les opérateurs d'incrémentement.
- Le type `char` sert exclusivement à représenter des caractères codés sur un octet. Notation `'\0'` pour le caractère nul.
- Type `double` (on considère qu'il est sur 64 bits). Opérations `+`, `-`, `*`, `/`.
- Type `bool` et les constantes `true` et `false`. Opérateurs `!`, `&&`, `||` (y compris évaluation paresseuse). Les entiers ne doivent pas être utilisés comme booléens, ni l'inverse.
- Opérateurs de comparaison `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`.
- Les constantes du programme sont définies par `const type c = v`. On n'utilise pas la directive du préprocesseur `#define` à cette fin.

Types structurés

- Tableaux statiques : déclaration par `type T[s]` où `s` est une constante littérale entière. Lecture et écriture d'un terme de tableau par son indice `T[i]` ; le langage ne vérifie pas la licéité des accès. Tableaux statiques multidimensionnels.
- Définition d'un type structuré par `struct nom_s {type1 champ1; ... typen champn};` et ensuite `typedef struct nom_s nom` (la syntaxe doit cependant être rappelée si les étudiants sont amenés à écrire de telles définitions). Lecture et écriture d'un champ d'une valeur de type structure par `v.champ` ainsi que `v->champ`. L'organisation en mémoire des structures n'est pas à connaître.
- Chaînes de caractères vues comme des tableaux de caractères avec sentinelle nulle. Fonctions `strlen`, `strcpy`, `strcat`.

Structures de contrôle

- Conditionnelle `if (c) sT, if (c) sT else sF`.
- Boucle `while (c) s`; boucle `for (init; fin; incr) s`, possibilité de définir une variable dans `init`; `break`.

- Définition et déclaration de fonction, passage des paramètres par valeur, y compris des pointeurs. Cas particuliers : passage de paramètre de type tableau, simulation de valeurs de retour multiples.

Pointeurs et gestion de la mémoire

- Pointeur vers un objet alloué, notation `type* p = &v`. On considère que les pointeurs sont sur 64 bits.
- Déréférencement d'un pointeur valide, notation `*p`. On ne fait pas d'arithmétique des pointeurs.
- Pointeurs comme moyen de réaliser une structure récursive. Pointeur NULL.
- Création d'un objet sur le tas avec `malloc` et `sizeof` (on peut présenter `size_t` pour cet usage mais sa connaissance n'est pas exigible). Libération avec `free`.
- Transtypage de données depuis et vers le type `void*` dans l'optique stricte de l'utilisation de fonctions comme `malloc`.
- En particulier : gestion de tableaux de taille non statiquement connue; linéarisation de tels tableaux quand ils sont multidimensionnels.

Divers

- Utilisation de `assert` lors d'opérations sur les pointeurs, les tableaux, les chaînes.
- Flux standard.
- Utilisation élémentaire de `printf` et de `scanf`. La syntaxe des chaînes de format n'est pas exigible.
- Notion de fichier d'en-tête. Directive `#include "fichier.h"`.
- Commentaires `/* ... */` et commentaires ligne `//`

A.2 Éléments techniques devant être reconnus et utilisables après rappel

Les éléments suivants du langage C doivent pouvoir être utilisés par les étudiants pour écrire des programmes dès lors qu'ils ont fait l'objet d'un rappel et que la documentation correspondante est fournie.

Traits généraux et divers

- Utilisation de `#define`, `#ifndef` et `#endif` lors de l'écriture d'un fichier d'en-tête pour rendre son inclusion idempotente.
- Rôle des arguments de la fonction `int main(int argc, char* argv[])`; utilisation des arguments à partir de la ligne de commande.
- Fonctions de conversion de chaînes de caractères vers un type de base comme `atoi`.
- Définition d'un tableau par un initialiseur `{t0, t1, ..., tN-1}`.
- Définition d'une valeur de type structure par un initialiseur `{.c1 = v1, .c2 = v2, ...}`.
- Compilation séparée.

Gestions des ressources de la machine

- Gestion de fichiers : `fopen` (dans les modes `r` ou `w`), `fclose`, `fscanf`, `fprintf` avec rappel de la syntaxe de formatage.
- Fils d'exécution : inclusion de l'entête `pthread.h`, type `pthread_t`, commandes `pthread_create` avec attributs par défaut, `pthread_join` sans récupération des valeurs de retour.
- Mutex : inclusion de l'entête `pthread.h`, type `pthread_mutex_t`, commandes `pthread_mutex_lock`, `pthread_mutex_unlock`, `pthread_mutex_destroy`.
- Sémaphore : inclusion de l'entête `semaphore.h`, type `sem_t`, commandes `sem_init`, `sem_destroy`, `sem_wait`, `sem_post`.

B Langage OCaml

La présente annexe liste limitativement les éléments du langage OCaml (version 4 ou supérieure) dont la connaissance, selon les modalités de chaque sous-section, est exigible des étudiants. Aucun concept sous-jacent n'est exigible au titre de la présente annexe.

B.1 Traits et éléments techniques à connaître

Les éléments et notations suivants du langage OCaml doivent pouvoir être compris et utilisés par les étudiants sans faire l'objet d'un rappel, y compris lorsqu'ils n'ont pas accès à un ordinateur.

Traits généraux

- Typage statique, inférence des types par le compilateur. Idée naïve du polymorphisme.
- Passage par valeur.
- Portée lexicale : lorsqu'une définition utilise une variable globale, c'est la valeur de cette variable au moment de la définition qui est prise en compte.
- Curryfication des fonctions. Fonction d'ordre supérieur.
- Gestion automatique de la mémoire.
- Les retours à la ligne et l'indentation ne sont pas significatifs mais sont nécessaires pour la lisibilité du code.

Définitions et types de base

- `let`, `let rec` (pour des fonctions), `let rec ... and ...`, `fun x y -> e`.
- `let v = e in e'`, `let rec f x = e in e'`.
- Expression conditionnelle `if e then eV else eF`.
- Types de base : `int` et les opérateurs `+`, `-`, `*`, `/`, l'opérateur `mod` quand toutes les grandeurs sont positives; exception `Division_by_zero`; `float` et les opérateurs `+`, `-`, `*`, `/`; `bool`, les constantes `true` et `false` et les opérateurs `not`, `&&`, `||` (y compris évaluation paresseuse). Entiers et flottants sont sujets aux dépassements de capacité.
- Comparaisons sur les types de base : `=`, `<>`, `<`, `>`, `<=`, `>=`.
- Types `char` et `string`; `'x'` quand `x` est un caractère imprimable, `"x"` quand `x` est constituée de caractères imprimables, `String.length`, `s.[i]`, opérateur `^`. Existence d'une relation d'ordre total sur `char`. Immuabilité des chaînes.

Types structurés

- n-uplets; non-nécessité d'un `match` pour récupérer les valeurs d'un n-uplet.
- Listes : type `'a list`, constructeurs `[]` et `::`, notation `[x; y; z]`; opérateur `@` (y compris sa complexité); `List.length`. Motifs de filtrage associés.
- Tableaux : type `'a array`, notations `[|...|]`, `t.(i)`, `t.(i) <- v`; fonctions `length`, `make`, et `copy` (y compris le caractère superficiel de cette copie) du module `Array`.
- Type `'a option`.
- Déclaration de type, y compris polymorphe.
- Types énumérés (ou sommes, ou unions), récursifs ou non; les constructeurs commencent par une majuscule, contrairement aux identifiants. Motifs de filtrage associés.
- Filtrage : `match e with p0 -> v0 | p1 -> v1 ...`; les motifs ne doivent pas comporter de variable utilisée antérieurement ni deux fois la même variable; motifs plus ou moins généraux, notation `_`, importance de l'ordre des motifs quand ils ont des instances communes.

Programmation impérative

- Absence d'instruction; la programmation impérative est mise en œuvre par des expressions impures; `unit`, `()`.
- Références : type `'a ref`, notations `ref`, `!`, `:=`. Les références doivent être utilisées à bon escient.
- Séquence ;. La séquence intervient entre deux expressions.
- Boucle `while c do b done`; boucle `for v = d to f do b done`.

Divers

- Usage de `begin ... end`.
- `print_int`, `print_float`, `print_string`, `read_int`, `read_float`, `read_line`.
- Exceptions : levée et filtrage d'exceptions existantes avec `raise`, `try ... with ...`; dans les cas irrattrapables, on peut utiliser `failwith`.
- Utilisation d'un module : notation `M.f`. Les noms des modules commencent par une majuscule.
- Syntaxe des commentaires, à l'exclusion de la nécessité d'équilibrer les délimiteurs dans un commentaire.

B.2 Éléments techniques devant être reconnus et utilisables après rappel

Les éléments suivants du langage OCaml doivent pouvoir être utilisés par les étudiants pour écrire des programmes dès lors qu'ils ont fait l'objet d'un rappel et que la documentation correspondante est fournie.

Traits divers

- Types de base : opérateur `mod` avec opérandes de signes quelconques, opérateur `**`.
- Types enregistrements mutables ou non, notation `{c0 : t0; c1 : t1; ...}`, `{c0 : t0; mutable c1 : t1; ...}`; leurs valeurs, notations `{c0 = v0; c1 = v1; ...}`, `e.c`, `e.c <- v`.
- Fonctions de conversion entre types de base.
- Listes : fonctions `mem`, `exists`, `for_all`, `filter`, `map`, `iter` du module `List`.
- Tableaux : fonctions `make_matrix`, `init`, `mem`, `exists`, `for_all`, `map` et `iter` du module `Array`.
- Types mutuellement récursifs.
- Filtrage : plusieurs motifs peuvent être rassemblés s'ils comportent exactement les mêmes variables. Notation `function p0 -> v0 | p1 -> v1 ...`
- Boucle `for v = f downto d do b done`.
- Piles et files mutables : fonctions `create`, `is_empty`, `push` et `pop` des modules `Queue` et `Stack` ainsi que l'exception `Empty`.
- Dictionnaires mutables réalisés par tables de hachage sans liaison multiple ni randomisation par le module `Hashtbl` : fonctions `create`, `add`, `remove`, `mem`, `find` (y compris levée de `Not_found`), `find_opt`, `iter`.
- `Sys.argv`.
- Utilisation de `ocamlc` ou `ocamlopt` pour compiler un fichier dépendant uniquement de la bibliothèque standard.

Gestions des ressources de la machine

- Gestion de fichiers : fonctions `open_in`, `open_out`, `close_in`, `close_out`, `input_line`, `output_string`.
- Fils d'exécution : recours au module `Thread`, fonctions `Thread.create`, `Thread.join`.
- Mutex : recours au module `Mutex`, fonctions `Mutex.create`, `Mutex.lock`, `Mutex.unlock`.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Mathématiques, physique, ingénierie et informatique (MP2I)

Annexe 2

Programme de physique-chimie

Programme de physique-chimie de la voie MPII

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de MPII est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités préparant les étudiants à la deuxième année de classe préparatoire et, au-delà, à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Ce programme permet à tous les étudiants qui ont un parcours d'études secondaires leur ayant permis d'être admis dans une classe de MPII de se préparer à un parcours réussi en deuxième année des différentes voies qui leur sont accessibles. En particulier, il repose sur une progression des enseignements adaptée à la réussite de tous, entre le premier et le second semestre.

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 trois thèmes : « ondes et signaux », « mouvements et interactions » et « l'énergie : conversions et transferts ». Un quatrième thème « constitution et transformations de la matière » est proposé aux étudiants qui suivent, au deuxième semestre, l'option « sciences de l'ingénieur ». 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 essentiellement 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 ; 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 physique et, le cas échéant, de chimie à la fin de l'année de la classe de MP11.

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. - 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 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 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.
Longueurs d'onde.	Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique. Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à réseau. 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"> - expliquer le lien entre résolution, calibre, nombre de points de mesure ; - 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"> o isolation, amplification, filtrage ; o sommation, 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. 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, et choisir leur focale de façon raisonnée. Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations, etc.). 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 photo numérique, etc.) 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>5. Mécanique</p> <p>Mesurer une masse, un moment d'inertie.</p>	<p>Utiliser une balance de précision. Repérer la position d'un centre de masse et mesurer un moment d'inertie à partir d'une période.</p>

Visualiser et décomposer un mouvement.	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.
Mesurer une accélération.	Mettre en œuvre un accéléromètre, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.
Quantifier une action.	Utiliser un dynamomètre.
6. Thermodynamique Mesurer une pression.	Mettre en œuvre un capteur, en identifiant son caractère différentiel ou absolu.
Mesurer 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.
Effectuer des bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.

Pour les étudiants suivant l'option sciences de l'ingénieur au deuxième semestre.

7. Mesures de grandeurs en chimie Mesurer un volume, une masse, un pH, une conductance, une absorbance.	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 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. Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. 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 direct ou indirect. 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 déterminer des courbes de distribution et 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.
Effectuer 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. Proposer et 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

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité électrique, optique et celles liées à la pression et à la température permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques. 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 des risques 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.
---	--

Pour les étudiants suivant l'option sciences de l'ingénieur au deuxième semestre.

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, leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque.

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.
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

L'organisation des semestres est la suivante.

Premier semestre MP11

Thème 1 : ondes et signaux (1)

- 1.1. Formation des images
- 1.2. Signaux et composants électriques
- 1.3. Circuit linéaire du premier ordre et du deuxième ordre
- 1.4. Propagation d'un signal

Thème 2 : mouvements et interactions (1)

- 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 de particules chargées dans des champs électrique et magnétostatique, uniformes et stationnaires

Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts (1)

- 3.1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système : modèle du gaz parfait et de la phase condensée incompressible indilatable
- 3.2. Bilan d'énergie pour un système thermodynamique

Deuxième semestre MPII options sciences informatiques et sciences de l'ingénieur

Thème 1 : ondes et signaux (2)

- 1.5. Régime sinusoïdal forcé
- 1.6. Filtrage linéaire

Thème 2 : mouvements et interactions (2)

- 2.5. Moment cinétique d'un point matériel
- 2.6. Mouvements dans un champ de gravitation newtonien
- 2.7. Mouvement d'un solide

Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts (2)

- 3.3. Deuxième principe. Bilans d'entropie
- 3.4. Transitions de phases
- 3.5. Machines thermiques

Thème 1 : ondes et signaux (2)

- 1.7. Induction et forces de Laplace
 - 1.7.1. Champ magnétique
 - 1.7.2. Actions d'un champ magnétique
 - 1.7.3. Lois de l'induction
 - 1.7.4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps
 - 1.7.5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire
- 1.8. Introduction à la physique quantique

Deuxième semestre MPII option sciences de l'ingénieur

Thème 4 : constitution et transformations de la matière

- 4.1. Relations entre la structure des entités chimiques et les propriétés physiques macroscopiques
 - 4.1.1. Structure des entités chimiques
 - 4.1.2. Relations entre la structure des entités et les propriétés physiques macroscopiques
- 4.2. Transformations de la matière
 - 4.2.1. Description d'un système et de son évolution vers un état final lors d'une transformation chimique
 - 4.2.2. Évolution temporelle d'un système chimique

A. Premier semestre MPII

Thème 1 : ondes et signaux (1)

La partie 1.1. « **Formation des images** » traite de la formation des images et propose une ouverture sur la notion de guidage de la lumière par une fibre optique. Cette partie est l'occasion d'interroger le concept de modèle en physique et d'en identifier les limites de validité. Elle permet également d'aborder de nombreuses applications technologiques ; certaines sont précisées par le programme, d'autres sont laissées à l'appréciation des enseignants (appareil photographique, microscope, optique d'un smartphone, etc.). L'approche expérimentale doit être privilégiée dans ce domaine de la physique qui s'y prête particulièrement bien.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Formation des images	
Sources lumineuses Modèle de la source ponctuelle monochromatique. Spectre.	Caractériser une source lumineuse par son spectre. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Modèle de l'optique géométrique Modèle de l'optique géométrique. Notion de rayon lumineux. Indice d'un milieu transparent.	Définir le modèle de l'optique géométrique. Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique.
Réflexion, réfraction. Lois de Snell-Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
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.
Image d'un objet	
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet par un miroir plan.
Lentilles minces.	Exploiter 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.
Stigmatisme approché.	Former l'image d'un objet dans des situations variées. <u>Capacité numérique</u> : tester, à l'aide d'un langage de programmation, le stigmatisme approché d'une lentille demi-boule pour les rayons proches de l'axe optique.
Modèles de quelques dispositifs optiques	
L'œil.	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.
Lunette astronomique avec objectif et oculaire convergents. Grossissement.	Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes ; identifier l'objectif et l'oculaire. Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale. Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale. Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale.

	Étudier une maquette de lunette astronomique ou une lunette commerciale pour en déterminer le grossissement.
--	---

La partie **1.2. « Signaux électriques »** pose les bases nécessaires à l'étude des circuits électriques. Le programme se concentre sur l'étude des comportements résistifs, capacitifs et inductifs.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Signaux et composants électriques	
Grandeurs électriques Charge électrique, intensité du courant électrique. Régime variable et régime continu. Potentiel, référence de potentiel, tension. Puissance électrique.	Relier l'intensité d'un courant électrique au débit de charges. Utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer les 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.
Associations de deux résistances. Ponts diviseurs de tension et de courant.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Exploiter des ponts 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.	Établir l'expression de l'énergie stockée dans un condensateur. Exploiter l'expression fournie de la capacité d'un condensateur en fonction de ses caractéristiques.
Système à comportement inductif : modèle de la bobine idéale. Relation entre intensité et tension ; inductance d'une bobine.	Établir l'expression de l'énergie stockée dans une bobine.

La partie **1.3 « Circuit linéaire du premier et du deuxième ordre »** aborde l'étude temporelle de circuits linéaires du premier et du second ordre. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des méthodes mises en œuvre.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.3. Circuits linéaires du premier et du deuxième ordre	
Modèle du circuit RC série alimenté par une source idéale de tension.	Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur.

Charge d'un condensateur par une source de tension constante, décharge d'un condensateur, temps caractéristique. Capteurs capacitifs.	Déterminer en fonction du temps la tension aux bornes d'un condensateur dans le cas de sa charge et de sa décharge. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire. Mettre en œuvre un capteur capacitif à l'aide d'un microcontrôleur.
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser un bilan énergétique sur le circuit RC série.
Modèle du circuit RL série. Capteurs inductifs.	Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par l'intensité du courant dans le circuit. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire. Réaliser un bilan énergétique sur le circuit RL série.
Circuit du premier ordre.	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. <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.
Modèle du circuit LC. Oscillations harmoniques. Pulsation, fréquence et période propres d'oscillations. Amplitude, phase.	Établir l'équation différentielle qui caractérise l'évolution d'une grandeur électrique ; la résoudre compte-tenu des conditions initiales. Réaliser un bilan énergétique pour le circuit LC.
Modèle du circuit RLC série.	Écrire sous forme canonique l'équation différentielle qui caractérise l'évolution d'une grandeur électrique afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité. Identifier la nature de la réponse libre en fonction de la valeur du facteur de qualité. Déterminer la réponse 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. Réaliser un bilan énergétique pour un circuit RLC série. Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler la réponse d'un système linéaire du deuxième ordre à une excitation de forme quelconque.

Dans la partie **1.4.** consacrée à la « **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 le déphasage 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 au déphasage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.4. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.
Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle 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 différents instants.
Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Vitesse de phase, déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	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 le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation. Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.
Phénomène de diffraction Diffraction d'une onde par une ouverture : conditions d'observation et caractéristiques. Angle caractéristique de diffraction.	Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes. Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture. Illustrer et caractériser qualitativement le phénomène de diffraction dans des situations variées.
Phénomène d'interférences Interférences de deux ondes de même fréquence. Interférences constructives, Interférences destructives	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.

<p>Interférences de deux ondes lumineuses de même fréquence, différence de chemin optique, conditions d'interférences constructives ou destructives. Exemple du dispositif des trous d'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 d'Young.</p> <p>Relier le déphasage 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.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</p>
--	--

Thème 2 : mouvements et interactions (1)

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, 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
2.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point	
<p>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.</p>	<p>Citer une situation où la description classique de l'espace ou du temps est prise en défaut.</p>
<p>Cinématique du point Description du mouvement d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.</p>	<p>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.</p>
<p>Mouvement rectiligne uniformément accéléré.</p>	<p>Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré.</p>
<p>Mouvement à vecteur accélération constant.</p>	<p>Exprimer le vecteur vitesse et le vecteur position en fonction du temps. Établir l'expression de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.</p>

Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur position, du vecteur vitesse et du vecteur accélération en coordonnées polaires planes.
Coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet pour un mouvement circulaire.	Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : circulaire, circulaire uniforme. Faire le lien avec les composantes polaires de l'accélération. Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.

Dans la partie **2.2.** intitulée « **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 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
2.2. Lois de Newton	
Quantité de mouvement Masse d'un système. Centre de masse d'un système.	Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système, cette position étant donnée.
Quantité de mouvement d'un point matériel et d'un système de points.	Utiliser la relation entre la quantité de mouvement d'un système et la vitesse de son centre de masse.
Lois de Newton Première loi de Newton : principe d'inertie. Référentiels galiléens.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens. Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.
Notion de force. Troisième loi de Newton.	Établir un bilan des forces sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur un schéma.
Deuxième loi de Newton. Équilibre d'un système.	Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées. Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement, par exemple : analyse en ordres de grandeur, existence d'une vitesse limite, écriture adimensionnée, utilisation des résultats obtenus par simulation numérique. Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force à l'aide d'un microcontrôleur ou de l'analyse d'un mouvement enregistré.
Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Établir et exploiter les équations horaires du mouvement. Établir l'équation de la trajectoire.

Modèle linéaire d'une force de frottement fluide. Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute. Vitesse limite.	Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.
Système modèle masse-ressort sans frottement.	Déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement. Exploiter les analogies avec un oscillateur harmonique électrique.
Tension d'un fil. Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier le caractère harmonique des oscillations de faible amplitude.

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 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 Puissance et travail d'une force dans un référentiel.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force.
Théorème de l'énergie cinétique dans un référentiel galiléen, dans le cas d'un système modélisé par un point matériel.	Exploiter le théorème de l'énergie cinétique.
Champ de force conservative et énergie potentielle Énergie potentielle. Lien entre un champ de force conservative et l'énergie potentielle.	Établir et citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (champ uniforme), de l'énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel), de l'énergie potentielle élastique. Déduire qualitativement du graphe d'une fonction énergie potentielle le sens et l'intensité de la force associée pour une situation à un degré de liberté.
Énergie mécanique Énergie mécanique. Théorème de l'énergie mécanique. Mouvement conservatif.	Exploiter la conservation de l'énergie mécanique pour analyser un mouvement.
Mouvement conservatif à une dimension. Cas d'une situation modélisable par un système masse-ressort et d'un système soumis à un champ de force uniforme.	Identifier sur un graphe d'énergie potentielle une barrière et un puits de potentiel. Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre. Analyser qualitativement la nature, stable ou instable, de ces positions.
Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable, approximation locale par un puits de potentiel harmonique.	Établir l'équation différentielle linéarisée du mouvement au voisinage d'une position d'équilibre. <u>Capacité numérique</u> : 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.
--	--

La partie 2.4. « **Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétostatique, uniformes et stationnaires** » introduit l'expression de la force de Lorentz ainsi que deux situations de base sur lesquelles les étudiants doivent être autonomes dans la résolution, attestant en cela de l'acquisition d'une certaine aisance à ce stade de leur formation. Des situations physiques variées sont en capacité d'illustrer concrètement cette partie qui ne doit pas se réduire à des développements calculatoires ou des illustrations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.4. Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétostatique, uniformes et stationnaires	
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champs électrique et magnétique.	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.
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 sans calcul en admettant que celle-ci est circulaire.

Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts (1)

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, 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 bilans d'énergie en thermodynamique.

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 : modèles du gaz parfait et de la phase condensée incompressible indilatable	
État microscopique et état macroscopique.	Préciser les paramètres nécessaires à la description d'un état microscopique et d'un état macroscopique sur un exemple. Relier qualitativement les valeurs des grandeurs macroscopiques aux propriétés du système à l'échelle microscopique.

Modèle du gaz parfait. Masse volumique, température thermodynamique, pression. Équation d'état du gaz parfait.	Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz.
Énergie interne du gaz parfait monoatomique. Capacité thermique à volume constant du gaz parfait monoatomique. Capacité thermique à volume constant d'un gaz considéré comme parfait.	Exploiter l'expression de la variation de l'énergie interne d'un gaz considéré comme parfait.
Modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Exploiter l'expression de la variation de l'énergie interne d'un système considéré incompressible et indilatable en fonction de sa température.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.2. Bilan d'énergie pour un système thermodynamique	
Énergie interne d'un système. Aspects microscopiques. Premier principe de la thermodynamique. Transfert thermique, travail.	Citer les différentes contributions microscopiques et macroscopiques à l'énergie d'un système. Analyser qualitativement les différents termes intervenant dans l'écriture du premier principe.
Modes de transfert thermique.	Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection, rayonnement.
Flux thermique. Résistance thermique.	Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température, l'expression de la résistance thermique étant donnée.
Loi phénoménologique de Newton, modélisation de l'évolution de la température d'un système incompressible au contact d'un thermostat.	Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible et indilatable en contact avec un thermostat : établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la température du système.
Transformation thermodynamique subie par un système. Évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.	Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.
Travail des forces de pression. Transformation isochore. Transformation monobare.	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.
Bilans d'énergie.	Conduire un bilan d'énergie sur un système modélisé par un gaz parfait ou par une phase condensée incompressible et indilatable. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une capacité thermique.

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 $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne. Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
--	---

Second semestre options sciences informatiques et sciences de l'ingénieur

Thème 1 : Ondes et signaux (2)

La partie 1.5 « Régime sinusoïdal forcé », est l'occasion d'introduire les notions d'impédance et de résonance. Sans en faire un objet d'étude spécifique, l'existence d'analogies comportementales avec des situations relevant du domaine de la mécanique mérite d'être signalée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.5 Régime sinusoïdal forcé	
Signal sinusoïdal. Description du comportement d'un dipôle en régime sinusoïdal forcé. Impédances complexes. Cas d'une résistance, d'un condensateur et d'une bobine.	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 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 expérimental visant à caractériser un phénomène de résonance.

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.	Définir la valeur moyenne et la valeur efficace d'un signal périodique. Calculer la valeur efficace d'un signal sinusoïdal. Analyser la décomposition fournie d'un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales.

Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	<p>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. Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les comportements asymptotiques des diagrammes de Bode en amplitude d'après l'expression de la fonction de transfert.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental exploitant les propriétés des fonctions de transfert d'un système linéaire.</p>
Modèles de filtres passifs d'ordre 1 : passe-bas et passe-haut.	<p>Choisir un modèle de filtre en fonction d'un cahier des charges.</p> <p>Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.</p>
Filtre passe-bande.	<p><u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation, l'action d'un filtre d'ordre 1 ou 2 sur un signal périodique dont le spectre est fourni. Mettre en évidence l'influence des caractéristiques du filtre sur l'opération de filtrage.</p>

Thème 2 : mouvements et interactions (2)

Au second semestre, le thème « **Mouvements et interactions** » est structuré en trois parties : moment cinétique d'un point matériel, mouvements dans un champ de gravitation newtonien et mouvement d'un solide.

La partie **2.5. « Moment cinétique d'un point matériel »** est l'occasion d'introduire les notions de moment cinétique et de moment d'une force. L'un des objectifs visés est que les étudiants disposent de représentations concrètes qui permettent de donner du sens aux grandeurs vectorielles et scalaires utilisées ; c'est notamment pour cela que le bras de levier est introduit. L'accent est mis sur l'identification des situations où le moment cinétique est conservé.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.5. Moment cinétique d'un point matériel	
Moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point et par rapport à un axe orienté.	Relier la direction et le sens du vecteur moment cinétique aux caractéristiques du mouvement.
Moment d'une force par rapport à un point ou un axe orienté.	Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté en utilisant le bras de levier.
Théorème du moment cinétique en un point fixe dans un référentiel galiléen. Conservation du moment cinétique.	Identifier les cas de conservation du moment cinétique.

La partie **2.6. « Mouvements dans un champ de gravitation newtonien »** est notamment motivée par ses nombreuses applications possibles. On discute la nature de la trajectoire sur un graphe donnant

l'énergie potentielle effective et on ne poursuit l'étude que dans le cas d'une trajectoire circulaire. Le caractère elliptique des trajectoires associées à un état lié est affirmé sans qu'aucune étude géométrique des ellipses ne soit exigible ; on utilise, dans ce cas, les constantes du mouvement (moment cinétique et énergie mécanique) pour exprimer l'énergie de la trajectoire elliptique en fonction du demi-grand axe.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.6. Mouvement dans un champ de gravitation newtonien	
Point matériel soumis à un champ de gravitation newtonien. Conservation du moment cinétique et conséquences.	Établir la conservation du moment cinétique à partir du théorème du moment cinétique. Établir les conséquences de la conservation du moment cinétique : mouvement plan, loi des aires.
Conservation de l'énergie mécanique. Énergie potentielle effective. État lié et état de diffusion.	Exprimer l'énergie mécanique d'un système conservatif ponctuel à partir de l'équation du mouvement. Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective. Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective. Relier le caractère borné du mouvement radial à la valeur de l'énergie mécanique.
Mouvement des satellites et des planètes. Lois de Kepler. Période de révolution. Satellite géostationnaire.	Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation newtonien. Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire. <u>Capacité numérique</u> : exploiter, à l'aide d'un langage de programmation, des données astronomiques ou satellitaires pour tester les deuxième et troisième lois de Kepler.

Concernant le solide en rotation autour d'un axe fixe dans la partie **2.7. « Mouvement d'un solide »**, 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.

Des exemples de dynamique du solide sont introduits (translation et rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen), avec toutefois des limitations strictes : l'étude générale d'un mouvement composé d'une translation dans un référentiel galiléen et d'une rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel barycentrique ne figure pas au programme. En particulier, 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.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.7. Mouvement d'un solide	
Description du mouvement d'un solide dans deux cas particuliers Définition d'un solide.	Différencier un solide d'un système déformable.
Translation.	Reconnaître et décrire une translation rectiligne ainsi qu'une translation circulaire.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide 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 d'un solide en rotation autour d'un axe : moment d'inertie.	Exploiter, pour un solide, la relation 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.
Couple.	Définir un couple.
Liaison pivot.	Définir une liaison pivot et justifier le moment qu'elle peut produire.
Théorème scalaire du moment cinétique appliqué au solide en rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen.	Exploiter le théorème scalaire du moment cinétique appliqué au solide en rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen.
Approche énergétique du mouvement d'un solide en rotation 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, l'expression du moment d'inertie étant fournie. Réaliser l'étude énergétique d'un pendule pesant et mettre en évidence une diminution de l'énergie mécanique.
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.

Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts (2)

Dans le cadre de la mise en œuvre de la partie 3.3. « **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.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.3. Deuxième principe. Bilans d'entropie	
Deuxième principe de la thermodynamique : entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{ech} + S_{créé}$ avec $S_{ech} = \sum Q_i / T_i$.	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 et ses conditions d'application.

La partie 3.4. « **Transitions de phases** » est l'occasion, d'une part, d'utiliser un diagramme de représentation des différents états d'un système et, d'autre part, de conduire des bilans d'enthalpie et d'entropie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.4. Transitions de phase	
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P,T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P,v), titre en vapeur.	Analyser un diagramme de phase expérimental (P,T). 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. Positionner les phases dans les diagrammes (P,T) et (P,v). Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P,v).
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation. Variation d'entropie associée à une transition de phase.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases. Exploiter la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase.

Dans la partie **3.5.** intitulée « **Machines thermiques** », il s'agit d'appliquer les principes de la thermodynamique aux machines thermiques en citant des applications industrielles.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.5. Machines thermiques	
Application du premier principe et du deuxième principe de la thermodynamique aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	Donner 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. Définir un rendement ou une efficacité et les relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot. Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles. Expliquer le principe de la cogénération. Mettre en œuvre une machine thermique cyclique ditherme.

Thème 1 : Onde et signaux (2)

La partie **1.7.** « **Induction et forces de Laplace** » 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 sommaire 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 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 **1.7.1 « Champ magnétique »** vise à relier le champ magnétique et ses sources ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel et l'exploitation des représentations graphiques et la connaissance d'ordres de grandeur.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7.1. 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 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 à un aimant un moment magnétique par analogie avec une boucle de courant. Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Dans la partie **1.7.2 « Actions d'un champ magnétique »**, l'enseignant est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire (soit d'une barre en translation, soit d'un moment magnétique en rotation modélisé par un cadre rectangulaire).

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7.2. Actions d'un champ magnétique	
Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.
Résultante et puissance des forces de Laplace.	Établir et exploiter l'expression de la résultante et de la puissance des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. 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 **1.7.3 « 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
1.7.3. 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'algébrisation.

La partie **1.7.4 « 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 tensions.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7.4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction Flux propre et inductance propre.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modulation de Lenz. Évaluer et citer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur. 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 ». 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.

Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.
--------------------	--

La partie **1.7.5 « 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, par exemple, un dispositif de freinage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7.5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique Rail de Laplace. Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique.	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.
Freinage par induction.	Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.

La partie **1.8. « Introduction à la physique quantique »** vise à présenter un premier questionnement de la représentation classique du monde proposée dans les autres parties du programme. Les notions essentielles abordées sont le photon et la dualité onde-particule dans une approche essentiellement qualitative sauf dans l'étude des relations d'Einstein et de de Broglie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.8. Introduction à la physique quantique	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière Le photon : énergie, vitesse, masse, impulsion.	Décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon.
Effet photoélectrique.	Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière. Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence. Expliquer qualitativement le fonctionnement d'une cellule photoélectrique.
Absorption et émission de photons.	Citer quelques applications actuelles mettant en jeu l'interaction photon-matière (capteurs de lumière, cellules photovoltaïques, diodes électroluminescentes, spectroscopies UV-visible et IR, etc.)
Onde de matière associée à une particule. Relation de de Broglie.	Décrire un exemple d'expérience mettant en évidence le comportement ondulatoire de la matière. Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques. Interpréter une expérience illustrant la dualité onde-particule.

Second semestre option sciences de l'ingénieur

Thème 4 : constitution et transformation de la matière

4.1. Relations entre structure des entités chimiques et propriétés physiques macroscopiques

Le chimiste modélise la matière au niveau microscopique par des entités chimiques dont les structures électroniques et géométriques permettent d'interpréter et de prévoir certaines des propriétés physiques et chimiques de la matière au niveau macroscopique.

La partie 4.1.1 « **Structure des entités chimiques** » aborde l'étude de la constitution de la matière au niveau microscopique en s'appuyant sur le tableau périodique des éléments, outil essentiel du chimiste, 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 (polaire, ionique) des liaisons chimiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1.1. Structure des entités chimiques	
Modèle de la liaison covalente Liaison covalente localisée ; longueurs et énergies de liaisons.	Citer les ordres de grandeur de longueurs et d'énergies de liaisons covalentes.
Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion monoatomique ou d'un ion polyatomique pour les éléments des blocs s et p.	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. Établir un schéma de Lewis pertinent pour une molécule ou un ion. Identifier les écarts à la règle de l'octet.
Géométrie et polarité des entités chimiques Électronégativité : liaison polarisée, moment dipolaire, molécule polaire.	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.

La partie 4.1.2. « **Relations entre la structure des entités et les propriétés physiques macroscopiques** » a pour objectif l'identification d'interactions entre entités moléculaires ou ioniques afin d'interpréter, de prévoir ou de comparer certaines propriétés physiques : température de changement d'état, miscibilité, solubilité. 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
4.1.2. Relations entre la structure des entités et les propriétés physiques macroscopiques	
Interaction entre entités Interactions de van der Waals. Liaison hydrogène ou interaction par pont hydrogène.	Citer les ordres de grandeur énergétiques des interactions de van der Waals et des interactions par pont hydrogène.

	Interpréter l'évolution des valeurs de températures de changement d'état de différents 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, permittivité relative, caractère protogène. Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique. Solubilité.	Associer une propriété d'un solvant moléculaire à une ou des grandeurs caractéristiques. Interpréter la miscibilité ou la non-miscibilité de deux solvants. Interpréter la solubilité d'une espèce chimique moléculaire ou ionique dans un solvant donné.

4.2. 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.

Les concepts développés dans la partie **4.2.1. « Description d'un système et de son évolution vers un état final »** permettent l'étude quantitative de l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique, 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. Ces études porteront notamment sur les transformations chimiques en solutions aqueuses, notamment sur des transformations modélisées par des réactions acido-basiques et d'oxydo-réduction qui interviennent dans un nombre considérable de développements technologiques et d'analyses environnementales (traitement des eaux, méthodes d'analyse, générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, etc.). Il est important de noter qu'on évitera tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Aucune formule de calcul de pH n'est exigible. 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.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements. Les dosages par étalonnage et les titrages sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder la problématique mesures et incertitudes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2.1. Description d'un système et de son évolution vers un état final lors d'une transformation chimique	
Transformation chimique d'un système Espèces physico-chimiques.	Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système chimique.
Équation de réaction ; constante thermodynamique d'équilibre.	Écrire l'équation de la réaction (ou des réactions) qui modélise(nt) une transformation chimique donnée.

<p>Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : avancement, activité, quotient réactionnel, 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. Exprimer le quotient réactionnel. 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 et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Réaliser une solution de concentration donnée en soluté apporté à partir d'un solide, d'un liquide ou d'une solution de composition connue.</p> <p>Déterminer une constante d'équilibre.</p>
<p>Conductance, conductivité ; loi de Kohlrausch.</p>	<p>Mesurer une conductance et tracer une courbe d'étalonnage pour déterminer une concentration</p>
<p>Acides et bases, réactions acide-base Transformation modélisée par une réaction acide-base, pH. Couples acide-base, constante d'acidité ; acides et bases fort(e)s ou faibles ; diagramme de prédominance et courbes de distribution.</p>	<p>Identifier le caractère acido-basique d'une réaction. Écrire l'équation d'une réaction acide-base et déterminer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre à partir des pKa des couples acide-base mis en jeu. Associer le caractère fort d'un acide (d'une base) à la transformation quasi-totale de cet acide (cette base) avec l'eau. Utiliser un diagramme de prédominance pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement).</p> <p>Mettre en œuvre les suivis pH-métrique et conductimétrique d'un titrage ayant pour support une réaction acide-base.</p>
<p>Oxydants et réducteurs, réactions d'oxydo-réduction Transformation modélisée par une réaction d'oxydo-réduction. Couple oxydant-réducteur. Nombre d'oxydation.</p>	<p>Identifier une réaction d'oxydo-réduction. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple.</p>

Pile, tension à vide, potentiel d'électrode, potentiel standard, formule de Nernst, électrode standard à hydrogène.	Décrire 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.
Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction.	Écrire l'équation d'une réaction d'oxydoréduction. 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.

La partie **4.2.2. « 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 mettent en œuvre la méthode différentielle ou 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.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2.2. Évolution temporelle d'un système chimique	
Cinétique en réacteur fermé de composition uniforme Transformations lentes et rapides. Facteurs cinétiques : concentrations des réactifs, température Vitesses 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. Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2).	Établir une loi de vitesse de formation d'un produit ou de consommation d'un réactif à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.
Loi d'Arrhenius ; énergie d'activation.	Déterminer l'énergie d'activation d'une réaction chimique.

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
- 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
- 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, 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. 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 $A \cdot \exp(\lambda x)$ 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 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.
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 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 inclue 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

Filière scientifique

Voies Mathématiques, physique, ingénierie et informatique (MP2I) et Physique et sciences de l'ingénieur (PSI)

Annexe 3

Programmes de sciences industrielles de l'ingénieur

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE MP2I-PSI

1. Objectifs de formation

1.1. Finalité

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur de la filière MP2I-PSI s'inscrit dans un parcours de formation initiale pour accéder au titre d'ingénieur. Il trouve ses racines dans le choix de spécialités scientifiques au cycle terminal du lycée. 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*).

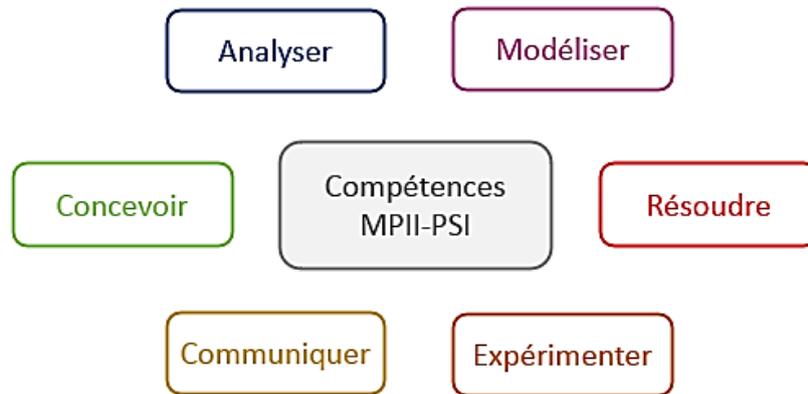
1.2. Objectifs généraux

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 la filière MP2I-PSI 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 en MP2I-PSI se donne 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.

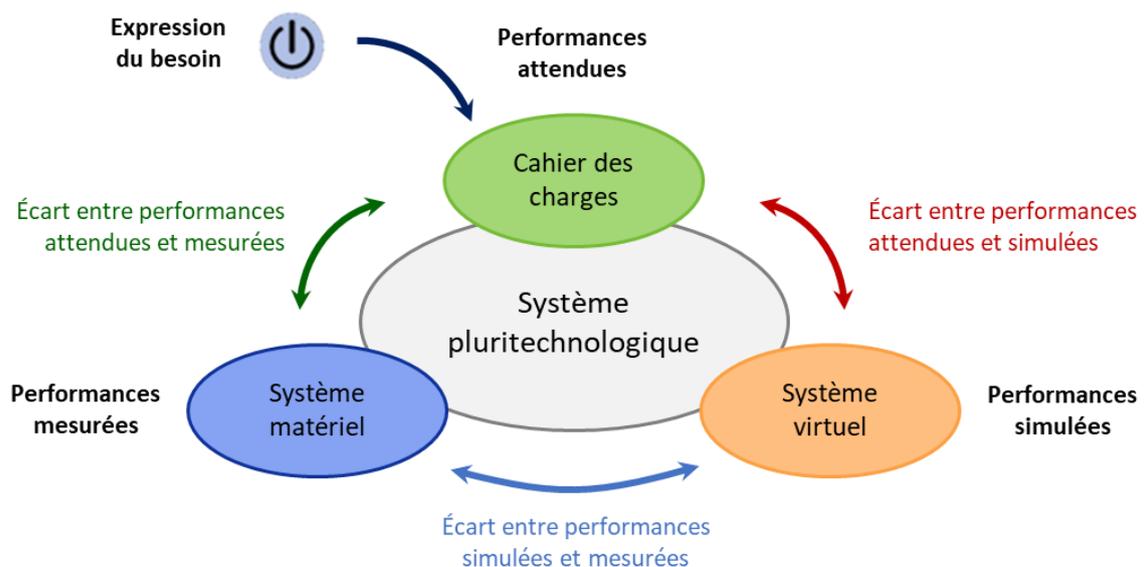


Les compétences générales de l'ingénieur développées en MPII-PSI

1.3. La démarche des enseignements en MPII-PSI

L'approche pédagogique et didactique des enseignements en MPII-PSI 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 ;
- la réalité matérielle d'un système. Les performances du système matériel sont mesurées par expérimentation.



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 MPII-PSI vise à :

- s'approprier les 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 MPII-PSI 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 MPII-PSI 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.

Des solutions innovantes sont modélisées de façon numérique. Ces modèles numériques permettent la simulation du comportement des systèmes pluritechnologiques afin d'obtenir des performances simulées. Une démarche expérimentale menée sur des systèmes existants vient enrichir les compétences des étudiants au service de la démarche de l'ingénieur. Elle permet la comparaison des performances simulées et mesurées avec celles attendues au cahier des charges afin d'optimiser tout ou partie du modèle numérique.

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. Les supports d'enseignement sont choisis afin d'être représentatifs des solutions innovantes pour répondre aux besoins actuels. Les solutions contemporaines sont mises en perspective avec l'histoire des sociétés, des sciences et des techniques, 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 six 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

B – Modéliser

- B1 – Choisir les grandeurs physiques et les caractériser
- 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 – Mettre en œuvre un système
- 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 – Concevoir l'architecture d'un système innovant
- F2 – Proposer et choisir des solutions techniques

Les liens avec l’enseignement d’informatique 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. Cahier des charges.	S1
<p><i>Commentaires</i> La connaissance de la syntaxe d'un langage d'Ingénierie Système n'est pas exigible. La structure des diagrammes d'Ingénierie Système (SysML) est fournie. Ils peuvent être proposés à lire ou à compléter.</p>		

Traduire un besoin fonctionnel en exigences.	Impact environnemental. Analyse du cycle de vie (extraction, fabrication, utilisation, fin de vie, recyclage et transport). Critères et niveaux.	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>Commentaire</i> Il s'agit de prendre en compte les exigences liées au développement durable et sensibiliser aux aspects sociétaux.</p>		

A2 – Définir les frontières de l'analyse

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Isoler un système et justifier l'isolement.	Frontière de l'étude. Milieu extérieur.	S2
Définir les éléments influents du milieu extérieur.		
Identifier la nature des flux échangés traversant la frontière d'étude.	Flux de matière, d'énergie et d'information (définition, nature et codage).	S2

A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Associer les fonctions aux constituants.	Architecture fonctionnelle et structurelle.	S2
Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système.	Diagramme de définition de blocs. Diagramme de bloc interne. Chaines fonctionnelles (chaîne d'information et chaîne de puissance).	S4
Identifier et décrire les chaînes fonctionnelles du système.	Fonctions acquérir, traiter et communiquer. Fonctions alimenter, moduler, convertir, transmettre et agir.	S1
Identifier et décrire les liens entre les chaînes fonctionnelles.	Systèmes asservis et séquentiels.	S1
<p><i>Commentaires</i> <i>La description des chaînes fonctionnelles de différents systèmes permet de construire une culture technologique.</i> <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'entrées et de sorties ; – nature du signal et support de l'information.	S2
Analyser les principes d'intelligence artificielle. $\Leftrightarrow I$	Régression et classification, apprentissages supervisé et non supervisé. Phases d'apprentissage et d'inférence. Modèle linéaire monovarié ou multivarié. Réseaux de neurones (couches d'entrée, cachées et de sortie, neurones, biais, poids et fonction d'activation).	S3

Interpréter tout ou partie de l'évolution temporelle d'un système séquentiel.	Diagramme d'états. État, transition, événement, condition de garde, activité et action.	S2
---	--	----

Commentaires

*La connaissance de la syntaxe d'un langage d'Ingénierie Système n'est pas exigible. La structure des diagrammes d'Ingénierie Système (SysML) est fournie. Ils peuvent être proposés à lire ou à compléter.
L'évolution temporelle des états et des variables d'un diagramme d'états est représentée sous la forme d'un chronogramme.*

Identifier la structure d'un système asservi.	Grandeurs d'entrée et de sortie. Capteur, chaine directe, chaine 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 du cahier des charges 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. ↔□		
Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés.		

B – Modéliser

B1 – Choisir les grandeurs physiques et les caractériser

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Identifier les performances à prévoir ou à évaluer.	Grandeurs flux, grandeurs effort.	S4
Identifier les grandeurs d'entrée et de sortie d'un modèle.		

Identifier les paramètres d'un modèle.	Grandeurs flux, grandeurs effort.	S4
Identifier et justifier les hypothèses nécessaires à la modélisation.		

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. Solide indéformable.	S4
Compléter un modèle multiphysique.	Paramètres d'un modèle. Grandeurs flux et effort. Sources parfaites.	S3
Associer un modèle aux composants des chaînes fonctionnelles.		

Commentaires

Un logiciel de modélisation multiphysique permettant d'assembler des composants technologiques issus d'une bibliothèque est privilégié pour la modélisation des systèmes pluritechnologiques. Les modèles mis en œuvre couvrent différents domaines (électrique, mécanique, thermique, hydraulique et pneumatique).

Établir un modèle de connaissance par des fonctions de transfert.	Systèmes linéaires continus et invariants : – causalité ; – modélisation par équations différentielles ; – transformées de Laplace ; – fonction de transfert ; – forme canonique ; – gain, ordre, classe, pôles et zéros.	S1
---	---	----

Commentaires

L'utilisation des transformées de Laplace ne nécessite aucun prérequis. Leur présentation se limite à leurs énoncés et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaires. Les théorèmes de la valeur finale, de la valeur initiale et du retard sont donnés sans démonstration.

Modéliser le signal d'entrée.	Signaux canoniques d'entrée : – impulsion ; – échelon ; – rampe ; – signaux périodiques.	S1
-------------------------------	--	----

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
Modéliser un système par schéma-blocs.	Schéma-blocs organique d'un système. Élaboration, manipulation et réduction de schéma-blocs. Fonctions de transfert : – chaîne directe et chaîne de retour ; – boucle ouverte et boucle fermée.	S1
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 (proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase).	S4

Commentaires

L'augmentation de la période d'échantillonnage permet de mettre en évidence les limites du modèle continu.

Les transformées en z ne sont pas au programme.

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.	S3
--	---	----

Commentaire

Les calculs intégraux des éléments d'inertie (matrice et centre d'inertie) ne donnent pas lieu à évaluation.

<p>Proposer une modélisation des liaisons avec leurs caractéristiques géométriques.</p>	<p>Liaisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> – liaisons parfaites ; – degrés de liberté ; – classe d'équivalence cinématique ; – géométrie des contacts entre deux solides ; – liaisons normalisées entre solides, caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés ; – paramètres géométriques linéaires et angulaires ; – symboles normalisés. <p>Graphe de liaisons. Schéma cinématique.</p>	S1
<p>Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique.</p>		
<p>Modéliser la cinématique d'un ensemble de solides.</p>	<p>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).</p>	S2
<p>Modéliser une action mécanique.</p>	<p>Modèle local (densités linéique, surfacique et volumique d'effort). Actions à distance et de contact. Modèle global. Passage d'un modèle local au modèle global. Frottements sec (lois de Coulomb) et visqueux. Torseur des actions mécaniques transmissibles. Torseur d'une action mécanique extérieure. Torseurs couple et glisseur.</p>	S2
<p>Simplifier un modèle de mécanisme.</p>	<p>Associations de liaisons en série et en parallèle. Liaisons équivalentes (approches cinématique et statique). Conditions et limites de la modélisation plane.</p>	S2
<p>Modifier un modèle pour le rendre isostatique.</p>	<p>Mobilité du modèle de mécanisme. Degré d'hyperstatisme du modèle. Substitution de liaisons.</p>	S3

Décrire le comportement d'un système séquentiel.	Diagramme d'états.	S2
<i>Commentaire</i> La description graphique permet de s'affranchir d'un langage de programmation spécifique.		

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.	Critères de performances.	S2
Préciser les limites de validité d'un modèle.	Point de fonctionnement. Non-linéarités (courbure, hystérésis, saturation et seuil) et retard pur.	S4
Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser l'écart entre les résultats analytiques et/ou numériques et les résultats expérimentaux.		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.	Critères du cahier des charges : – stabilité (marges de stabilité, amortissement et dépassement relatif) ; – précision (erreur/écart statique et erreur de trainage) ; – rapidité (temps de réponse à 5 %, bande passante et retard de trainage).	S2
Proposer une démarche de réglage d'un correcteur.	Compensation de pôles, réglage de marges, amortissement, rapidité et bande passante. Application aux correcteurs de type proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase.	S3

Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique ou d'intelligence artificielle. $\Leftrightarrow I$	Décomposition d'un problème complexe en sous problèmes simples. Choix des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple).	S3
Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie géométrique. $\Leftrightarrow I$	Fermetures géométriques.	S1
Proposer une démarche permettant la détermination d'une action mécanique inconnue ou d'une loi de mouvement.	Graphe de structure. Choix des isollements. Choix des équations à écrire pour appliquer le principe fondamental de la statique ou le principe fondamental de la dynamique dans un référentiel galiléen. Théorème de l'énergie cinétique.	S3

C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Déterminer la réponse temporelle. $\Leftrightarrow I$	Expressions des solutions des équations différentielles pour les systèmes d'ordre 1 et 2 soumis à une entrée échelon. Allures des solutions des équations différentielles d'ordre 1 et 2 pour les entrées de type impulsion, échelon, rampe et sinus (en régime permanent).	S1
<p><i>Commentaire</i> La résolution d'équations différentielles et les transformées inverses de Laplace ne sont pas au programme.</p>		
Déterminer la réponse fréquentielle. $\Leftrightarrow I$	Allures des diagrammes réel et asymptotique de Bode.	S2

Déterminer les performances d'un système asservi.	<p>Stabilité d'un système asservi :</p> <ul style="list-style-type: none"> – définition ; – amortissement ; – 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 (consigne ou perturbation) ; – erreur de trainage vis-à-vis de la consigne ; – lien entre la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte et l'écart statique. 	S2
<p><i>Commentaire</i> <i>Les critères de Routh et de Nyquist, ainsi que les diagrammes de Black-Nichols et de Nyquist, ne sont pas au programme.</i></p>		

Mettre en œuvre une démarche de réglage d'un correcteur.	Correcteurs proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase.	S4
Caractériser le mouvement d'un repère par rapport à un autre repère.	Trajectoire d'un point. Mouvements de translation et de rotation. Mouvement composé.	S1
Déterminer les relations entre les grandeurs géométriques ou cinématiques. $\Leftrightarrow I$	Loi entrée-sortie géométrique. Loi entrée-sortie cinématique. Transmetteurs de puissance (vis-écrou, roue et vis sans fin, trains d'engrenages simples, trains épicycloïdaux, pignon-crémaillère et poulies-courroie).	S2
Déterminer les actions mécaniques en statique.	Référentiel galiléen. Principe fondamental de la statique. Principe des actions réciproques.	S2

Déterminer les actions mécaniques en dynamique dans le cas où le mouvement est imposé.	Torseurs cinétique et dynamique d'un solide ou d'un ensemble de solides, par rapport à un référentiel galiléen. Principe fondamental de la dynamique en référentiel galiléen. Énergie cinétique. Inertie et masse équivalentes. Puissance d'une action mécanique extérieure à un solide ou à un ensemble de solides, dans son mouvement par rapport au repère galiléen.	S3
Déterminer la loi de mouvement dans le cas où les efforts extérieurs sont connus.	Puissance intérieure à un ensemble de solides. Théorème de l'énergie cinétique. Rendement en régime permanent.	

C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mener une simulation numérique. $\simeq I$	Choix des grandeurs physiques. Choix du solveur et de ses paramètres (pas de discrétisation et durée de la simulation). Choix des paramètres de classification. Influence des paramètres du modèle sur les performances.	S4
Résoudre numériquement une équation ou un système d'équations. $\simeq I$	Réécriture des équations d'un problème. Résolution de problèmes du type $f(x) = 0$ (méthodes de dichotomie et de Newton). Résolution d'un système linéaire du type $A \cdot X = B$. Résolution d'équations différentielles (schéma d'Euler explicite). Intégration et dérivation numérique (schémas arrière et avant).	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. Pour la résolution d'un système d'équations du type $A \cdot X = B$, l'utilisation d'une bibliothèque pré implémentée est privilégiée.</p> <p>Les aspects théoriques liés aux méthodes numériques ne sont pas exigibles (stabilité, convergence, conditionnement de matrices...).</p>		

Résoudre un problème en utilisant une solution d'intelligence artificielle. $\Leftrightarrow I$	Apprentissage supervisé. Choix des données d'apprentissage. Mise en œuvre des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple). Phases d'apprentissage et d'inférence.	S3
<i>Commentaire</i> <i>Des bibliothèques préimplémentées sont utilisées.</i>		

D – Expérimenter

D1 – Mettre en œuvre un système

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mettre en œuvre un système en suivant un protocole.		S2
Repérer les constituants réalisant les principales fonctions des chaînes fonctionnelles.	Fonctions acquérir, traiter et communiquer. Fonctions alimenter, moduler, convertir, transmettre et agir.	S2
Identifier les grandeurs physiques d'effort et de flux.		S2

D2 – Proposer et justifier un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir le protocole en fonction de l'objectif visé.		S4
Choisir les configurations matérielles et logicielles du système en fonction de l'objectif visé par l'expérimentation.		S2
Choisir les réglages du système en fonction de l'objectif visé par l'expérimentation.		
Choisir la grandeur physique à mesurer ou justifier son choix.		
Choisir les entrées à imposer et les sorties pour identifier un modèle de comportement.		

Justifier le choix d'un capteur ou d'un appareil de mesure vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer.		S3
---	--	----

D3 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Régler les paramètres de fonctionnement d'un système.		S2
Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer.		
Effectuer des traitements à partir de données. $\Leftrightarrow I$	Traitement de fichiers de données. Moyenne et écart type. Moyenne glissante et filtres numériques passe-bas du premier et du second ordre.	S3
Identifier les erreurs de mesure.	Incertitudes, résolution, quantification, échantillonnage, justesse, fidélité, linéarité et sensibilité.	S2
Identifier les erreurs de méthode.		
<p><i>Commentaires</i> <i>L'incertitude renvoie à la technologie des appareils de mesure et des capteurs. Il n'est pas souhaité de longs développements théoriques et calculs associés.</i></p>		

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.		S2
Vérifier la pertinence des informations (obtention, véracité, fiabilité et précision de l'information).		
Extraire les informations utiles d'un dossier technique.		

Lire et décoder un document technique.	Diagrammes SysML. Schémas cinématique, électrique, hydraulique et pneumatique.	S3
<i>Commentaire</i> <i>Les normes de représentation des schémas pneumatiques, hydrauliques et du langage SysML sont fournies.</i>		

Trier les informations selon des critères.		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 à l'interlocuteur.		S2
Faire preuve d'écoute et confronter des points de vue.		
Présenter les étapes de son travail.		
Présenter de manière argumentée une synthèse des résultats.		
Produire des documents techniques adaptés à l'objectif de la communication.	Diagrammes SysML. Chaîne fonctionnelle. Schéma-blocs. Schéma cinématique. Graphe de structure. Spécifications d'algorithmes.	S3
<i>Commentaire</i> <i>L'écriture des diagrammes SysML se limite à leur complétion et à leur modification.</i>		

Utiliser un vocabulaire technique, des symboles et des unités adéquats.	Grandeurs utilisées : – unités du système international ; – homogénéité des grandeurs.	S4
---	--	----

F – Concevoir

F1 – Concevoir l'architecture d'un système innovant

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer une architecture fonctionnelle et organique.		S4
<p><i>Commentaires</i> Cette proposition peut se faire sous forme d'association de blocs. Il s'agit d'allouer des composants à la satisfaction d'exigences fonctionnelles et éventuellement de décrire les interfaces entre ces composants. L'activité de projet est une modalité pédagogique à privilégier pour développer cette compétence.</p>		

F2 – Proposer et choisir des solutions techniques

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Modifier la commande pour faire évoluer le comportement du système. $\Leftrightarrow I$	Modification d'un programme : – système séquentiel ; – structures algorithmiques. Choix et paramètres d'un correcteur.	S4