



Annexe 2b

Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : scientifique

**Voie : Physique, chimie et sciences
de l'ingénieur (PCSI)**

Discipline : Chimie

Première année

Programme de Chimie de la voie PCSI

Le programme de chimie de la classe de PCSI s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la chimie est avant tout une science expérimentale, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en PCSI. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la chimie, qui toutes peuvent le guider dans l'interprétation et la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires, conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

1. dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problème. Ces compétences et

les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.

2. dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
3. dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie en fin de l'année de PCSI.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.
- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique, physique, sciences industrielles.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La chimie est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux composantes de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de son enseignement. Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'importance du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences générales spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure et des incertitudes et de savoir-faire techniques. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- le second concerne l'identification, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques durant lesquelles l'autonomie et l'initiative de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, répondent donc à des objectifs différents :

- les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la chimie (évolution, équilibre, relation structure-propriétés, ...).
- les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, associée à une problématique clairement identifiée, et si possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et des incertitudes, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques et chimiques les plus souvent mesurées. Ces activités expérimentales visent à développer l'autonomie et l'initiative, qualités indispensables à l'exercice du métier d'ingénieur ou de chercheur.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Cette liste est délibérément placée en appendice du programme. L'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des savoir-faire techniques associés est ainsi explicitement exclue.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques 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.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de celles-ci lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir des objectifs correspondants
Analyser	- formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle associé - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	- mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	- exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	- à l'écrit comme à l'oral : - o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible - o utiliser un vocabulaire scientifique adapté - o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	- travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problème » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis,

mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problème permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème. La résolution de problème mobilise les compétences 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.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Etablir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer	Présenter la solution, ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en

toute autonomie avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du « savoir scientifique » (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux, ...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la formation expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale S, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** relatives au programme de première année PCSI, dont l'acquisition et la pratique en autonomie par les étudiants ne doit s'entendre qu'à l'issue des deux années de formation en CPGE.

Une liste de matériels, que les étudiants doivent savoir utiliser avec éventuellement l'aide d'une notice succincte, figure en appendice du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières S, STI2D et STL du lycée. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche

sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type. Évaluation d'une incertitude-type. Incertitude-type composée. Incertitude élargie.	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée. Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité). Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...). Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel. Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs. Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.
Présentation d'un résultat expérimental. Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).	Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance. Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence. Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.

Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.	Utiliser un logiciel de régression linéaire. Connaître la signification du coefficient de corrélation. Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire. Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.
--	--

2 . Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent avoir acquises, durant les séances de travaux pratiques, à l'issue des deux années. Une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes – repérés en gras dans le corps du programme – peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'organiseraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour d'un appareil de mesure ne sauraient être l'objectif unique d'une séance, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion de l'étude d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées en quatre domaines en chimie, les deux premiers étant davantage transversaux :

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie
2. Mesures de grandeurs physiques
3. Synthèses organiques et inorganiques
4. Analyses qualitatives et quantitatives

Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. En effet, lors de la mise en œuvre d'une synthèse au laboratoire, il peut être utile de procéder à une analyse du produit formé ou à une mesure de grandeur physique caractéristique et, bien entendu, il est indispensable de prendre en compte les consignes de sécurité. Il convient également de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites dans la partie « Compétences expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des capacités ci-dessous figure dans l'**Appendice 1** du programme.

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention du risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P.	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques . Développer une attitude autonome dans la

	prévention des risques.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

2. Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : - Volume - Masse - pH - Conductance et conductivité - Tension - Température - Pouvoir rotatoire - Indice de réfraction - Absorbance	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de concentration molaire connue ou d'une solution de titre massique et de densité connus. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Distinguer les instruments de verrerie In et Ex. Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance, tension, température, indice de réfraction, absorbance) en s'aidant d'une notice. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.

3. Synthèses organiques et inorganiques

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser expérimentalement les différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses : réalisation des montages et utilisation des appareillages ;
- connaître les fondements théoriques de ces techniques, en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées (à l'exception des spectroscopies d'absorption IR et de RMN) ;
- être capable de proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Les différentes techniques utilisées permettent de réaliser les opérations de :

- chauffage et refroidissement ;
- séparation et purification : extraction liquide-liquide ou liquide-solide, filtrations, séchage d'un liquide ou d'un solide, distillations sous pression ambiante et sous pression réduite (cette dernière étant strictement limitée à l'usage de l'évaporateur rotatif), recristallisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transformation chimique Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel.	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre. Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de

Suivi de l'évolution de la transformation.	refroidissement adéquat. Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur. Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux. Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
Séparation et purification	
Séparation de deux liquides non miscibles.	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'un produit, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures expérimentales. Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase.
Séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Distillations	Mettre en œuvre différents types de distillation. Choisir ou proposer la méthode la plus adaptée au système étudié. Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif.
Séparation d'un liquide et d'un solide	Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.
Lavage d'un solide	Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage froid ou saturé, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.
Séchage d'un solide	Mettre en œuvre « une pesée à masse constante » d'un solide humide.
Séchage d'un liquide	Choisir un desséchant solide et estimer correctement par l'observation la quantité à utiliser.
Rendement	À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.

4. Analyses qualitatives et quantitatives

On distinguera la caractérisation, le contrôle de pureté et le dosage d'une espèce chimique.

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser les différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives

- et quantitatives ;
- être capable de proposer une stratégie de mesures de concentrations ou de quantités de matière, une méthode de caractérisation d'un composé, tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié ;
- distinguer les méthodes d'analyse destructives et non destructives.

Les techniques utilisées lors des analyses quantitatives sont les suivantes :

- pH-métrie
- Conductimétrie
- Potentiométrie à intensité nulle
- Spectrophotométrie UV-visible
- Polarimétrie
- Réfractométrie
- Chromatographie sur couche mince

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Caractérisation d'un composé et contrôle de sa pureté Chromatographies sur couche mince. Tests de reconnaissance ; témoin. Détermination expérimentale de grandeurs physiques ou spectroscopiques caractéristiques du composé (les principes théoriques de la RMN et de la spectroscopie d'absorption IR sont hors programme).	Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince. Justifier la méthode de révélation utilisée. Interpréter l'ordre d'élution des différents composés en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant. Proposer à partir d'une banque de données et mettre en œuvre un test de reconnaissance pour identifier une espèce chimique présente (ou susceptible de l'être) dans un système. Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des produits. Relever la température d'un palier de distillation. Mesurer une température de fusion. Mesurer un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire. Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'un produit synthétisé avec celles du produit commercial.
2. Dosages par étalonnage	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques du composé ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.
3. Dosages par titrage Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à	Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher.

intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage. Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer le titre en espèce dosée. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre. Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de répartitions et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale. Justifier la nécessité de faire un titrage indirect. Distinguer l'équivalence et le virage d'un indicateur coloré de fin de titrage. Déterminer les conditions optimales qui permettent à l'équivalence et au repérage de la fin du titrage de coïncider.
4. Suivi cinétique de transformations chimiques Suivi en continu d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de la température.	Choisir une méthode de suivi tenant compte de la facilité de mise en œuvre, des propriétés des composés étudiés, du temps de réaction estimé ou fourni. 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.

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé, par exemple :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes chimiques, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser des modèles de description de la matière ;
Les domaines d'activités qui se prêtent particulièrement à la simulation sont les titrages en solution aqueuse, la cristallographie, la modélisation moléculaire, la cinétique chimique. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive et l'usage de toutes les animations numériques qui facilitent l'apprentissage est recommandé ;
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Contenus disciplinaires

L'organisation des modules par semestre se fait comme suit :

Premier semestre PCSI

I. Transformation de la matière

1. Description et évolution d'un système vers un état final

- 2. Évolution temporelle d'un système et mécanismes réactionnels
- II. Architecture de la matière
 - 1. Classification périodique des éléments et électronégativité
 - 2. Molécules et solvants
- III. Structure, réactivité et transformations en chimie organique 1

Deuxième semestre PCSI-PC

- IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins
- V. Transformations chimiques en solutions aqueuses
- VI. Réactivité et transformations en chimie organique 2

Deuxième semestre PCSI-PSI

- IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins
- V. Transformations chimiques en solutions aqueuses

Premier Semestre

I. Transformation de la matière

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation.

Les différents états de la matière et les différents types de transformation de la matière ont déjà été en partie étudiés dans le parcours antérieur de l'élève, au collège et au lycée. Il s'agit de réactiver et de compléter ces connaissances déjà acquises, afin d'amener les élèves à les mobiliser de manière autonome pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Dans ce cadre, l'étude quantitative de l'état final d'un système en transformation chimique est réalisée à partir d'une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. L'objectif visé est la prévision du sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et la détermination de leur composition dans l'état final ; on s'appuiera sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel. Les compétences relatives à cette partie du programme seront ensuite mobilisées régulièrement au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de la partie thermodynamique chimique. Dans un souci de continuité de formation, les acquis du lycée concernant les réactions acido-basiques et d'oxydo-réduction, la conductimétrie, la pH-métrie et les spectroscopies sont réinvestis lors des démarches expérimentales.

L'importance du facteur temporel dans la description de l'évolution d'un système chimique apparaît dans l'observation du monde qui nous entoure et a déjà fait l'objet d'une première approche expérimentale en classe de Terminale, permettant de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. La prise de conscience de la nécessité de modéliser cette évolution temporelle des systèmes chimiques est naturelle. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de sa loi de vitesse. Cette détermination fait appel à la méthode différentielle voire à la méthode intégrale, pour l'exploitation de mesures expérimentales d'absorbance ou de conductivité du milieu réactionnel par exemple, dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité. Les équations différentielles étant abordées pour la première fois en PCSI, il est recommandé de travailler en étroite collaboration avec le professeur de mathématiques et d'avoir en chimie des exigences progressives dans la maîtrise de cet outil.

La modélisation au niveau microscopique d'une transformation chimique par un mécanisme réactionnel complète l'étude cinétique macroscopique de la réaction chimique et permet d'aborder la notion de catalyse ; des exemples de catalyses homogènes, hétérogènes et enzymatiques seront rencontrés tout au long de la formation.

Une ouverture à la cinétique en réacteur ouvert, dans un cadre très limité, permet en complément

d'appréhender la différence d'approche à l'échelle industrielle et de montrer l'utilité d'un tel dispositif pour la détermination expérimentale de la loi de vitesse.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- faire preuve de rigueur dans la description d'un système physico-chimique ;
- distinguer modélisation d'une transformation (écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- exploiter les outils de description des systèmes chimiques pour modéliser leur évolution temporelle ;
- proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence ;
- confronter un modèle mathématique avec des mesures expérimentales.

1 – Description d'un système et évolution vers un état final

Notions et contenus	Capacités exigibles
États physiques et transformations de la matière	
États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin, variétés allotropiques Notion de phase. Transformations physique, chimique, nucléaire. Les transformations physiques: diagramme d'état (P , T).	Reconnaître la nature d'une transformation. Déterminer l'état physique d'une espèce chimique pour des conditions expérimentales données de P et T . Approche documentaire : à partir de documents, analyser le rôle des fluides supercritiques en génie des procédés dans le cadre d'une chimie respectueuse de l'environnement.
Système physico-chimique	
Constituants physico-chimiques. Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système physico-chimique.	Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système. Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
Transformation chimique	
Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques. Équation de réaction ; constante thermodynamique d'équilibre. Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : avancement, activité, quotient réactionnel, critère d'évolution.	Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique donnée. Déterminer une constante d'équilibre. Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélanges de gaz parfaits avec référence à l'état standard. Exprimer le quotient réactionnel. Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système chimique.

Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.	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.
---	---

2 – Évolution temporelle d'un système chimique et mécanismes réactionnels

Notions et contenus	Capacités exigibles
En réacteur fermé de composition uniforme	
Vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit. Vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique. Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent. Temps de demi-réaction. Temps de demi-vie d'un nucléide radioactif. Loi empirique d'Arrhenius ; énergie d'activation	Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique. Relier la vitesse de réaction, dans les cas où elle est définie, à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit. Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique. Exprimer la loi de vitesse si la réaction chimique admet un ordre et déterminer la valeur de la constante cinétique à une température donnée. Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode numérique ou graphique. Déterminer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction. Confirmer la valeur d'un ordre par la méthode intégrale, en se limitant strictement à une décomposition d'ordre 0, 1 ou 2 d'un unique réactif, ou se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques. Approche documentaire : à partir de documents autour des radionucléides, aborder par exemple les problématiques liées à leur utilisation, leur stockage ou leur retraitement. Déterminer l'énergie d'activation d'une réaction chimique. Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une réaction chimique à partir de valeurs de la constante cinétique à différentes températures.
Mécanismes réactionnels	
Actes élémentaires, molécularité, intermédiaire réactionnel, état de transition. Mécanismes limites des substitutions nucléophiles aliphatiques.	Distinguer l'équation chimique symbolisant une réaction chimique de l'équation traduisant un acte élémentaire. Distinguer un intermédiaire réactionnel d'un complexe activé (état de transition). Exprimer la loi de vitesse d'un acte élémentaire. Tracer un profil énergétique correspondant à un acte élémentaire ou à plusieurs actes

Interprétation du rôle du catalyseur. Étape cinétiquement déterminante, approximation de l'état quasi-stationnaire (AEQS).	élémentaires successifs. Reconnaître un effet catalytique dans un mécanisme réactionnel. Approche numérique : utiliser les résultats d'une méthode numérique pour mettre en évidence les approximations de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'état quasi-stationnaire. Reconnaître les conditions d'utilisation de l'approximation de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'état quasi-stationnaire. Établir la loi de vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit à partir d'un mécanisme réactionnel simple en utilisant éventuellement les approximations classiques.
Approche de la cinétique en réacteur ouvert	
Réacteur ouvert parfaitement agité continu fonctionnant en régime permanent, dans le cas où les débits volumiques d'entrée et de sortie sont égaux. Temps de passage.	Exprimer la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit à l'aide d'un bilan de matière instantané. Établir la loi de vitesse à partir de mesures fournies.

II. Architecture de la matière

Décrivant la matière au niveau macroscopique par des espèces chimiques aux propriétés physiques et chimiques caractéristiques, le chimiste la modélise au niveau microscopique par des entités chimiques dont la structure électronique permet de rendre compte et de prévoir diverses propriétés.

L'étude proposée dans cette partie du programme est centrée sur la classification périodique des éléments, outil essentiel du chimiste, dans l'objectif de développer les compétences relatives à son utilisation : extraction des informations qu'elle contient, prévision de la réactivité des corps simples, prévision de la nature des liaisons chimiques dans les corps composés, etc. En première année, on se limite aux principales caractéristiques de la liaison chimique, à l'exclusion de modèles plus élaborés comme la théorie des orbitales moléculaires qui sera étudiée en seconde année.

Depuis le collège et tout au long du lycée, les élèves ont construit successivement différents modèles pour décrire la constitution des atomes, des ions et des molécules. L'objectif de cette partie est de continuer à affiner les modèles de description des diverses entités chimiques isolées pour rendre compte des propriétés au niveau microscopique (longueur de liaison, polarité,...) ou macroscopique (solubilité, température de changement d'état,...). Les connaissances déjà acquises sont réactivées et complétées :

- dans le cadre du modèle de Lewis, deux nouveautés sont introduites : les extensions de la règle de l'octet et le concept de délocalisation électronique, à travers le modèle de la mésomérie. Dans ce dernier cas, les compétences sont d'une part de repérer les situations où l'écriture de formules mésomères est nécessaire et, d'autre part, d'interpréter les propriétés des molécules à électrons délocalisés ;
- l'électronégativité, introduite en classe de première, est abordée en s'appuyant sur une approche expérimentale : réactions d'oxydo-réduction, propriétés de corps composés en lien avec la nature de la liaison chimique. Elle est prolongée par la présentation de l'existence d'échelles numériques, notamment celle de Pauling, mais la connaissance de leurs définitions n'est pas exigible ;
- la polarité des molécules a été abordée et utilisée dès la classe de première S, mais pas l'aspect vectoriel du moment dipolaire, qui est souligné ici. Aucune compétence sur l'addition de vecteurs non coplanaires n'est exigible ;
- la description des forces intermoléculaires est complétée pour développer les capacités d'interprétation ou de prévision de certaines propriétés physiques ou chimiques (température de

changement d'état, miscibilité, solubilité) prenant en considération l'existence de telles forces. La notion de liaison hydrogène intramoléculaire est également introduite.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés (oxydo-réduction, solubilité, aptitude à la complexation, polarité, polarisabilité,...) ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
- s'approprier les outils de description des entités chimiques (liaison covalente, notion de nuage électronique...) et leur complémentarité dans la description des interactions intermoléculaires ;
- appréhender la notion de solvant, au niveau microscopique à travers les interactions intermoléculaires et au niveau macroscopique par leur utilisation au laboratoire, dans industrie et dans la vie courante.

1 – Classification périodique des éléments et électronégativité

Notions et contenus	Capacités exigibles
États physiques et transformations de la matière	
Isotopes, abondance isotopique, stabilité. Ordres de grandeur de la taille d'un atome, des masses et des charges de l'électron et du noyau. Quantification de l'énergie et spectroscopies (UV-Visible, IR, RMN). Nombres quantiques n , l , m_l et m_s Configuration électronique d'un atome et d'un ion monoatomique. Électrons de cœur et de valence.	Utiliser un vocabulaire précis : élément, atome, corps simple, espèce chimique, entité chimique. Associer un type de transition énergétique au domaine du spectre électromagnétique correspondant. Déterminer la longueur d'onde d'une radiation émise ou absorbée à partir de la valeur de la transition énergétique mise en jeu, et inversement. Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électroniques d'un atome donné. Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible). Déterminer le nombre d'électrons non appariés d'un atome dans son état fondamental. Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément.
Classification périodique des éléments	
Architecture et lecture du tableau périodique Électronégativité	Relier la position d'un élément dans le tableau périodique à la configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant. Positionner dans le tableau périodique et reconnaître les métaux et non métaux. Situer dans le tableau les familles suivantes : métaux alcalins et alcalino-terreux, halogènes et gaz nobles. Citer les éléments des périodes 1 à 3 de la classification et de la colonne des halogènes (nom, symbole, numéro atomique). Mettre en œuvre des expériences illustrant le caractère oxydant ou réducteur de certains

Rayon atomique Rayon ionique	corps simples. Élaborer ou mettre en œuvre un protocole permettant de montrer qualitativement l'évolution du caractère oxydant dans une colonne. Relier le caractère oxydant ou réducteur d'un corps simple à l'électronégativité de l'élément. Comparer l'électronégativité de deux éléments selon leur position dans le tableau périodique. Interpréter l'évolution du rayon atomique dans la classification périodique en utilisant la notion qualitative de nombre de charge effectif. Interpréter la différence de valeur entre le rayon d'un atome et le rayon de ses ions.
---------------------------------	--

2 – Molécules et solvants

Notions et contenus	Capacités exigibles
Description des entités chimiques moléculaires	
Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Liaison covalente localisée et délocalisée. Ordres de grandeur de la longueur et de l'énergie d'une liaison covalente. Structure géométrique d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Méthode VSEPR. Liaison polarisée. Molécule polaire. Moment dipolaire.	Établir un ou des schémas de Lewis pour une entité donnée et identifier éventuellement le plus représentatif. Identifier les écarts à la règle de l'octet. Identifier les enchaînements donnant lieu à délocalisation électronique. Mettre en évidence une éventuelle délocalisation électronique à partir de données expérimentales. Représenter les structures de type AX_n, avec $n \leq 6$. Prévoir ou interpréter les déformations angulaires pour les structures de type AX_pE_q, avec $p+q=3$ ou 4. Relier la structure géométrique d'une molécule à l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent. Déterminer direction et sens du vecteur moment dipolaire d'une molécule ou d'une liaison.
Forces intermoléculaires	
Interactions de van der Waals. Liaison hydrogène. Ordres de grandeur énergétiques.	Lier qualitativement la valeur plus ou moins grande des forces intermoléculaires à la polarité et la polarisabilité des molécules. Prévoir ou interpréter les propriétés liées aux conformations ou aux propriétés spectroscopiques d'une espèce. Prévoir ou interpréter les propriétés physiques de corps purs par l'existence d'interactions de van der Waals ou de liaisons hydrogène inter ou intramoléculaires.
Les solvants moléculaires	
Grandeurs caractéristiques : moment dipolaire, permittivité relative.	Interpréter la miscibilité ou la non-miscibilité de deux solvants.

Solvants protogènes (protiques). Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole pour déterminer la valeur d'une constante de partage. Justifier ou proposer le choix d'un solvant adapté à la dissolution d'une espèce donnée, à la mise en œuvre de certaines réactions, à la réalisation d'une extraction et aux principes de la chimie verte.
--	--

III. Structures, réactivités et transformations en chimie organique 1

L'objectif de cette partie est, d'une part, de faire comprendre les enjeux et la logique de la synthèse organique, et, d'autre part, de décrire, d'analyser et de modéliser les transformations organiques à l'échelle microscopique.

Cela nécessite l'acquisition de compétences liées à la description géométrique des structures, à l'analyse de la réactivité des espèces et à la description des grands types de réactions, ainsi qu'à l'utilisation d'outils d'analyse spectroscopique. Certaines notions ont déjà été introduites au lycée (diastéréo-isomères *Z/E*, énantiomères, mélange racémique, conformations, sites accepteur et donneur d'électrons, mouvement de doublet et flèche courbe, modification de chaîne et de groupe caractéristique, substitution, addition, élimination) ; elles seront réactivées et approfondies, notamment par le biais des activités expérimentales.

Sans donner lieu à une étude systématique, l'utilisation de la nomenclature IUPAC des composés, déjà engagée dans le secondaire, s'enrichit au fur et à mesure des besoins.

Les monohalogénoalcane sont choisis comme exemple de substrats pouvant subir des substitutions nucléophiles et des β -éliminations. Ils conduisent aussi à la formation d'organométalliques, premier exemple de composés présentant un atome de carbone nucléophile et pouvant donner lieu à des additions nucléophiles sur des composés possédant une double liaison C=O. Les notions sont ainsi présentées sur des exemples donnés, mais dans le but d'une maîtrise permettant un réinvestissement sur des situations analogues. Ainsi, une présentation par mécanismes ou de type fonctionnelle peut être envisagée, au libre choix de l'enseignant. Néanmoins, il s'agit de privilégier une approche mécanistique pour faire comprendre et maîtriser les raisonnements plutôt que pour empiler les connaissances.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier structure et propriétés microscopiques aux grandeurs et comportements macroscopiques ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer un schéma de synthèse ;
- maîtriser et utiliser différentes représentations schématisées d'un objet ;
- relier les grandeurs spectroscopiques à la structure de l'espèce chimique étudiée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Description des molécules organiques	
Représentations topologique, de Cram, de Newman, perspective. Descripteurs stéréochimiques <i>R</i> , <i>S</i> , <i>Z</i> , <i>E</i> .	Représenter une molécule à partir de son nom, fourni en nomenclature systématique, en tenant compte de la donnée d'éventuelles informations stéréochimiques, en utilisant un type de représentation donné.
Stéréoisomérisation de configuration : énantiomérie, diastéréoisomérisation.	Attribuer les descripteurs stéréochimiques aux centres stéréogènes.
Stéréoisomérisation de conformation en série aliphatique non cyclique et cyclohexanique.	Déterminer la relation d'isomérisation entre deux structures. Comparer la stabilité de plusieurs conformations.

Ordre de grandeur de la barrière énergétique conformationnelle. Séparation d'énantiomères et synthèse stéréosélective.	Interpréter la stabilité d'un conformère donné. Approche documentaire : à partir de documents, illustrer et analyser le rôle essentiel de la diastéréo-isomérisie lors de synthèses énantiosélectives et de séparations d'énantiomères.
Analyses polarimétrique et spectroscopique	
Activité optique, pouvoir rotatoire. Loi de Biot. Spectroscopies d'absorption UV-visible et IR. Spectroscopie de RMN du proton : - notion de déplacement chimique et de constante de couplage ; - analyse de spectres du premier ordre de type A_mX_p, $A_mM_pX_q$.	Pratiquer une démarche expérimentale utilisant l'activité optique d'une espèce chimique. Relier la valeur du pouvoir rotatoire d'un mélange de stéréoisomères à sa composition. Établir ou confirmer une structure à partir de tables de données spectroscopiques (nombres d'onde, déplacements chimiques, constantes de couplage). Extraire d'un spectre les valeurs de déplacement chimique et les valeurs des constantes de couplage.
Mécanismes en chimie organique	
Substitution nucléophile aliphatique : mécanismes limites S_N2 et S_N1 ; propriétés cinétiques et stéréochimiques. β-élimination $E2$; propriétés cinétiques et stéréochimiques, régiosélectivité. Addition nucléophile sur l'exemple des réactions opposant un organomagnésien mixte et un aldéhyde, une cétone ou le dioxyde de carbone ; conditions opératoires. Compétitions substitution-élimination.	Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser une transformation simple en chimie organique. Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique. Identifier les sites électrophiles et/ou nucléophiles d'une entité chimique. Utiliser le formalisme des flèches courbes pour décrire un mécanisme en chimie organique. Exploiter les notions de polarité et de polarisabilité pour analyser ou comparer la réactivité de différents substrats. Justifier le choix d'un mécanisme limite S_N1 ou S_N2 par des facteurs structuraux des substrats ou par des informations stéréochimiques sur le produit. Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelles d'une transformation simple en chimie organique (substitution nucléophile, β-élimination $E2$) en utilisant un vocabulaire précis. Déterminer le produit formé lors de la réaction d'un organomagnésien mixte sur un aldéhyde, une cétone ou le dioxyde de carbone et inversement, prévoir les réactifs utilisés lors de la synthèse magnésienne d'un alcool ou d'un acide carboxylique. Tracer, commenter et utiliser un profil énergétique à l'échelle microscopique.

Contrôle cinétique, contrôle thermodynamique. Un modèle pour l'état de transition : le postulat de Hammond.	Reconnaître les conditions d'utilisation du postulat de Hammond et prévoir l'obtention des produits lorsque deux réactions sont en compétition.
Stratégie de synthèse en chimie organique	
Intérêt des organométalliques dans la construction d'une chaîne carbonée ; structure et réactivité des organomagnésiens mixtes ; préparation à partir des halogénoalcane et des alcynes terminaux.	Décrire et mettre en œuvre le protocole expérimental de préparation d'un organomagnésien mixte par insertion de magnésium dans la liaison carbone-halogène. Mettre en œuvre un protocole de synthèse magnésienne et en justifier les étapes et conditions expérimentales, y compris l'hydrolyse terminale.
Approche élémentaire de la stratégie de synthèse : analyse rétrosynthétique.	Justifier l'inversion de polarité sur l'atome de carbone résultant de l'insertion de magnésium dans la liaison carbone-halogène. Concevoir une stratégie de synthèse pour une molécule simple.

Second Semestre – Option PC

IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Ce chapitre constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
---------------------	---------------------

Modèle du cristal parfait	
Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique. Limites du modèle du cristal parfait.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie. Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques. Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle. Approche documentaire : à partir de documents autour des défauts cristallins, aborder leur nature et leurs conséquences sur les propriétés du matériau.
Métaux et cristaux métalliques Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques. Maille conventionnelle cubique à faces centrées (CFC) et ses sites interstitiels Alliages de substitution et d'insertion.	Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement. Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité. Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux. Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs. Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.
Solides macrocovalents et moléculaires	Identifier les liaisons covalentes, les interactions de van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée. Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants. Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies)
Solides ioniques	Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les

	propriétés macroscopiques des solides ioniques. Vérifier la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion dans une structure cubique de type AB fournie, à partir des valeurs du paramètre de maille et des rayons ioniques.
--	---

V. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, présence ou non de complexants, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est donc de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de pile rencontrées dans le secondaire, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse acquises dans le secondaire sont réinvesties et complétées, puis les complexes sont introduits au travers de leurs réactions de formation et de dissociation. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion

d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

1 – Réactions d'oxydo-réduction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs	
Nombre d'oxydation. Exemples usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, dichromate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène. Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence. Diagrammes de prédominance ou d'existence.	Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Déterminer la capacité d'une pile. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.
Réactions d'oxydo-réduction	
Aspect thermodynamique. Dismutation et médiatisation.	Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.

2 – Réactions acide-base, de complexation, de précipitation

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réactions acido-basiques - constante d'acidité ; - diagramme de prédominance ; - exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac ; - solutions tampon.	Identifier la nature des réactions en solutions aqueuses. Extraire, de ressources disponibles, les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou pour interpréter des observations expérimentales. Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues.
Réactions de complexation - constantes de formation ou de dissociation. - diagramme de prédominance en fonction de pL.	Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement).
Réactions de dissolution ou de précipitation - constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; - solubilité et condition de précipitation ;	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.

- domaine d'existence ; - facteurs influençant la solubilité.	Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide ou en gaz. Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une variable. Pratiquer une démarche expérimentale illustrant les transformations en solutions aqueuses. Utiliser une solution tampon de façon pertinente. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu une résine échangeuse d'ions. Approche documentaire : à partir de documents autour du traitement d'effluents, dégager par exemple les méthodes de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, de valeurs limites acceptables ou les procédés et transformations mis en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.
--	---

3 – Diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL

Notions et contenus	Capacités exigibles
Diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL	
Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH. Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL. Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau.	Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données. Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH ou potentiel-pL. Justifier la position d'une frontière verticale. Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes. Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau. Prévoir la stabilité d'un état d'oxydation en fonction du pL ou du pH du milieu. Prévoir une éventuelle dismutation ou médiatisation. Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques. Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.

VI. Réactivité et transformations en chimie organique 2

Les objectifs de cette deuxième partie de programme en chimie organique sont doubles.

D'une part, on s'attache à :

- réinvestir et compléter les connaissances et compétences mécanistiques acquises au premier semestre,
- poursuivre l'acquisition de connaissances concernant les interconversions entre groupes caractéristiques, notamment par les réactions d'oxydo-réduction,
- introduire une première approche de la chimie organique du vivant avec le glucose.

D'autre part, on complète les apports et la réflexion concernant la stratégie de synthèse. Au delà de l'analyse rétrosynthétique déjà introduite au premier semestre, on introduit les notions de protection de groupes caractéristiques et d'activation *in situ* (protonation) ou par synthèse préalable d'un dérivé plus réactif, poursuivant ainsi l'analyse de la réactivité des espèces et les choix qui en découlent en synthèse organique.

Si la construction du programme privilégie ici une approche liée à stratégie de synthèse, elle n'entrave évidemment pas la liberté pédagogique du professeur dans le choix de sa présentation et de sa progression.

La maîtrise des techniques courantes en chimie organique est renforcée par les séances de travaux pratiques choisies de manière à construire, en deux ans, une acquisition effective de l'ensemble des compétences expérimentales attendues.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- analyser des problèmes de complexité croissante ;
- identifier dans une situation complexe la partie utile au raisonnement ;
- proposer une stratégie d'adaptation ou de contournement pour résoudre un problème.

1 – Activation et protection de groupe caractéristique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Activation de groupe caractéristique	
Activation nucléophile des alcools et phénols. Formation d'alcoolates par réaction acido-basique ou d'oxydo-réduction. Synthèse de Williamson.	Comparer la nucléophilie d'alcools de différentes classes à l'aide d'arguments stériques. Comparer la nucléophilie d'un alcool et de son alcoolate Choisir une base pour déprotoner un alcool ou un phénol à partir d'une échelle de pK_a . Proposer un mécanisme limite en analysant les conditions opératoires et les caractéristiques structurales des réactifs. Proposer une voie de synthèse d'un étheroxyde dissymétrique.
Activation électrophile des alcools : - Activation <i>in situ</i> par protonation · déshydratation acido-catalysée d'un alcool tertiaire (conditions opératoires, régiosélectivité et stéréosélectivité éventuelles, mécanisme limite E1) ; compétition substitution-élimination dans le cas des alcools secondaires et	Interpréter la formation de produits indésirables par la compétition entre les réactions de substitution et d'élimination. Comparer les réactivités des liaisons carbone-groupe caractéristique dans le cas des halogénoalcanes, des alcools, des esters sulfoniques et des ions alkyloxonium. Prévoir les produits pouvant se former lors de la

tertiaires. · conversion d'un alcool en halogénoalcane par action d'une solution concentrée d'halogénure d'hydrogène (conditions opératoires, mécanismes limites). - Formation d'esters sulfoniques · formation d'alcène par élimination basique sur un mésylate (conditions opératoires). · formation d'halogénoalcane par substitution sur un tosylate ou un mésylate (conditions opératoires). · formation d'époxyde par substitution intramoléculaire. Activation électrophile du groupe carbonyle : - Acétalisation des aldéhydes et des cétones : conditions expérimentales (APTS, appareillage de Dean-Stark), mécanisme limite de l'acétalisation en milieu acide. - Hémiacétalisation acido-catalysée du glucose : conditions opératoires, mécanisme limite de l'hémiacétalisation en milieu acide.	déshydratation d'un alcool, indiquer le ou les produits majoritaires. Préciser la stéréosélectivité éventuelle de la formation d'époxydes. Commenter dans une synthèse multi-étapes le choix d'une activation <i>in situ</i> par protonation ou par passage par un tosylate ou un mésylate. Expliquer qualitativement l'augmentation de l'électrophilie du groupe carbonyle par protonation de celui-ci. Discuter la régiosélectivité de la réaction d'hémiacétalisation du glucose. Interpréter la mutarotation du glucose par le caractère renversable de l'hémiacétalisation.
Protection de groupe caractéristique	
Protection/déprotection du groupe carbonyle par un diol (conditions expérimentales, mécanisme de l'hydrolyse acide). Protection/déprotection du groupe hydroxyle par formation d'un étheroxyde benzylique.	Justifier la nécessité de protéger un groupe caractéristique dans une synthèse multi-étapes. Identifier les étapes de protection et de déprotection d'un groupe carbonyle, d'un groupe hydroxyle, d'un diol 1,2 ou 1,3 dans une synthèse multi-étapes. Approche documentaire : à partir de documents, identifier différents modes de protection/déprotection du groupe hydroxyle impliquant notamment des éthers silylés.

2 – Réactions d'oxydo-réduction en chimie organique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Du groupe alkyle au groupe carboxyle et inversement	
Les groupes caractéristiques et leur niveau d'oxydation. Oxydation des alcools selon leur classe ; principe de l'oxydation contrôlée des alcools primaires.	Identifier, le cas échéant, une interconversion entre groupes caractéristiques comme un processus d'oxydation ou de réduction du substrat ; associer les demi équations d'oxydo-réduction correspondantes. Déterminer le ou les produits d'oxydation d'un alcool selon sa classe. Identifier le produit d'oxydation d'un alcool primaire à l'aide de données expérimentales ou

	spectroscopiques.
Oxydation des alcènes	
Passage au diol par action catalytique de OsO ₄ en présence d'un co-oxydant. Coupure oxydante par action d'un mélange OsO ₄ /NaIO ₄ (oxydation de Lemieux-Johnson) principe et conditions opératoires, intérêt en stratégie de synthèse.	Représenter un cycle catalytique simple. Identifier le catalyseur dans un cycle catalytique donné.
Réduction des composés carbonylés	
Réduction des composés carbonylés en alcool par action du tétrahydroborate de sodium (conditions opératoires, mécanisme réactionnel).	Analyser à l'aide de données expérimentales la chimiosélectivité de réducteurs dans le cadre d'une stratégie de synthèse.

Second Semestre– Option PSI

IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Ce chapitre constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle du cristal parfait	
Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline

Limites du modèle du cristal parfait.	fournie. Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques. Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle. Approche documentaire : à partir de documents autour des défauts cristallins, aborder leur nature et leurs conséquences sur les propriétés du matériau.
Métaux et cristaux métalliques Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques. Maille conventionnelle cubique faces centrées (CFC) et ses sites interstitiels Alliages de substitution et d'insertion.	Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement. Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité. Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux. Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs. Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.
Solides macrocovalents et moléculaires	Identifier les liaisons covalentes, les interactions de van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée. Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants. Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies)
Solides ioniques	Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques. Vérifier la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion dans une structure cubique de type AB fournie, à partir des valeurs du paramètre de maille et des rayons ioniques.

V. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, présence ou non de complexants, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est donc de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de pile rencontrées dans le secondaire, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse acquises dans le secondaire sont réinvesties et complétées, puis les complexes sont introduits au travers de leurs réactions de formation et de dissociation. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

1 – Réactions d'oxydo-réduction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs	
Nombre d'oxydation. Exemples usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, dichromate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène. Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence. Diagrammes de prédominance ou d'existence.	Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Déterminer la capacité d'une pile. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.
Réactions d'oxydo-réduction	
Aspect thermodynamique. Dismutation et médiatisation.	Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.

2 – Réactions acide-base, de complexation, de précipitation

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réactions acido-basiques	
- constante d'acidité ; - diagramme de prédominance ; - exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac ; - solutions tampon.	Identifier la nature des réactions en solutions aqueuses. Extraire, de ressources disponibles, les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou pour interpréter des observations expérimentales. Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues.
Réactions de complexation	
- constantes de formation ou de dissociation. - diagramme de prédominance en fonction de pL.	Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement). 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.
Réactions de dissolution ou de précipitation	
- constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; - solubilité et condition de précipitation ; - domaine d'existence ; - facteurs influençant la solubilité.	Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide ou en gaz.

	Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une variable. Pratiquer une démarche expérimentale illustrant les transformations en solutions aqueuses. Utiliser une solution tampon de façon pertinente. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu une résine échangeuse d'ions. Approche documentaire : à partir de documents autour du traitement d'effluents, dégager par exemple les méthodes de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, de valeurs limites acceptables ou les procédés et transformations mis en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.
--	---

3 – Diagrammes potentiel-pH

Notions et contenus	Capacités exigibles
Diagrammes potentiel-pH	
Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH. Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH. Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau.	Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données. Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH. Justifier la position d'une frontière verticale. Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes. Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau. Prévoir la stabilité d'un état d'oxydation en fonction du pH du milieu. Prévoir une éventuelle dismutation ou médiamutation. Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques. Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.

Appendice 1 : liste de matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec, le cas échéant, l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, bechers, etc.
- Verrerie classique de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare

ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, d'hydrodistillation, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, séparateur de Dean-Stark, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression ordinaire et sous pression réduite.

- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Résines échangeuses d'ions

- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Polarimètre
- Sonde thermométrique
- Balance de précision

Appendice 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 et de la chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de PCSI. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année ; il sera complété dans le programme de seconde année. Les outils figurant dans le tableau n'ont pas tous vocation à être mis en œuvre en chimie.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
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 $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.
Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
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.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. 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.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$), Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (ces fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation dx/dt . Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^\alpha$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. 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.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. 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. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques). Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r = f(\theta)$.
Courbes planes paramétrées.	Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. 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.	Connaître 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.	Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène. (cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
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 $\cos\left(\frac{\pi}{2} \pm x\right)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
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.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
6. Analyse vectorielle	
Gradient d'un champ scalaire.	Connaître le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques ou sphériques. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes. (Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, la notion de différentielle n'étant pas abordée en mathématiques)