

*Projet de*  
**programme de**  
**sciences physiques et chimiques**  
**fondamentales et appliquées**  
**en C.P.G.E.**  
**(classe préparatoire aux grandes écoles)**  
**technologie et sciences de l'ingénieur**  
**(T.S.I.) première année.**

# PROGRAMME DE PHYSIQUE

*Le programme valorise l'approche expérimentale des phénomènes pour stimuler chez l'étudiant une attitude active et créatrice, favorisant l'appropriation des connaissances ainsi que le développement d'une certaine dextérité manuelle.*

*Les travaux pratiques (TP) et les « TP-cours » sont les temps forts de cette valorisation.*

*Des « TP-cours » sont mis en place en optique et en électricité. Leur but est l'acquisition de savoir-faire expérimentaux de base dans le cadre d'un travail interactif. Leur durée est limitée à 2 heures prises sur la plage horaire des séances de TP. Ceci permet de dispenser une formation expérimentale limitée dans ses contenus, mais approfondie.*

*Chaque fois que cela est possible, l'ordinateur interfacé doit être utilisé pour l'acquisition et le traitement des données expérimentales. Il devient ainsi un instrument courant des laboratoires, au service de l'expérience.*

*Le contenu des TP reste, dans un cadre plus souple, de la responsabilité et de la liberté pédagogique du professeur. Il est nécessaire, en TSI, d'adapter le contenu et la méthode à chaque étudiant selon sa filière d'origine. Si le programme propose des thèmes de TP choisis notamment pour illustrer le cours de physique, ceux-ci peuvent être remplacés par tout autre thème à l'initiative du professeur et ne faisant appel qu'aux connaissances au programme de la classe. A la différence des séances de « TP-cours » nécessairement très cadrées, les séances de TP sont orientées vers l'acquisition d'une autonomie progressive dans la démarche expérimentale.*

*Les pratiques d'évaluation doivent être cohérentes avec l'esprit même du programme. La spécificité de la filière TSI doit donc se retrouver dans le contrôle des connaissances. Ces évaluations doivent respecter les objectifs suivants : tester l'aptitude de l'étudiant à comprendre le phénomène physique, savoir mettre en équation la situation modélisée, obtenir par les méthodes du programme des résultats concrets et les analyser. Elles doivent privilégier le contenu physique et limiter la technicité des calculs. En particulier, le formalisme mathématique des calculs d'incertitude par différenciation linéaire ou logarithmique est hors programme.*

*Les savoir-faire exigibles se limitent aux contenus du cours décrits dans la rubrique « Approche théorique » et aux parties de la rubrique « Approche expérimentale » abordées en « TP-cours ».*

*Les thèmes de TP n'étant que des propositions, ils ne correspondent pas à des connaissances ou des savoir-faire exigibles.*

*Le programme est découpé en deux parties. La première, qui devra être traitée en début d'année a pour objectif majeur de faciliter la transition avec l'enseignement secondaire. Trois idées ont guidé sa rédaction :*

- *En raison du nombre important d'outils et de méthodes nécessaires à la construction d'un enseignement de physique post-baccalauréat, il convient d'introduire ces outils et ces méthodes de manière progressive.*
- *Par ailleurs, il est préférable qu'en début d'année, ces outils nouveaux soient introduits sur des situations conceptuelles aussi proches que possible de celles qui ont été rencontrées au lycée dans les filières technologiques ; de même l'introduction à ce stade de concepts physiques nouveaux doit éviter au mieux l'emploi d'outils mathématiques non encore maîtrisés.*
- *Enfin, dès lors que ces outils sont souvent communs à plusieurs disciplines scientifiques, la recherche d'une cohérence maximale entre les enseignements de mathématiques, génie mécanique, génie électrique, physique et chimie est indispensable pour faciliter le travail d'assimilation des étudiants. Ceci interdit tout cloisonnement des enseignements scientifiques et suppose au contraire une concertation importante au sein de l'équipe pédagogique.*

*Ces différentes contraintes ont conduit à placer dans la première partie des éléments d'optique géométrique, de mécanique du point et d'électrocinétique. Il est important que les enseignants des classes préparatoires connaissent précisément les rubriques des programmes de l'enseignement secondaire qu'ils sont amenés à approfondir.*

*Pour que les objectifs de la première partie soient atteints, il est essentiel d'éviter tout débordement, même par simple anticipation sur le programme de deuxième partie. Par ailleurs, à ce stade, on ne saurait exiger des étudiants qu'ils puissent traiter des exercices et problèmes directement issus des épreuves de concours sans que ceux-ci aient fait l'objet d'adaptations.*

*Dans la deuxième partie du programme, l'ordre d'exposition relève de la liberté pédagogique du professeur. Les outils mathématiques sont introduits au fur et à mesure que leur nécessité apparaît. Une bonne concertation au sein de l'équipe pédagogique peut permettre de bénéficier de synergies : le produit vectoriel, les nombres complexes, des notions sur les équations différentielles linéaires, font par exemple partie de l'enseignement de mathématiques de début d'année ; par ailleurs la cinématique du solide enseignée en génie mécanique fournit l'outil nécessaire pour aborder les changements de référentiel en physique.*

# PREMIÈRE PARTIE

## I. APPROCHE THÉORIQUE

### A) Formation des images en optique

*L'objectif de cette partie est de maîtriser les applications pratiques de l'optique géométrique dans les conditions de Gauss. À l'exception du cours d'optique géométrique, cette rubrique est traitée au laboratoire, en TP ou en TP-COURS, et conduit les étudiants à se familiariser avec des montages simples. De cette approche expérimentale, complétée avantageusement par l'utilisation de logiciels de simulation, on dégage et on énonce quelques lois générales.*

*Le caractère de cet enseignement donne inévitablement au professeur l'occasion de faire observer des phénomènes, tels les aberrations, dont le traitement est hors programme ; on se borne dans ces conditions à leur observation, en l'accompagnant éventuellement d'un bref commentaire, mais on ne cherche en aucun cas à en rendre compte de façon théorique.*

*Les outils mathématiques nécessaires sont ceux de la trigonométrie élémentaire : angles orientés, lecture des lignes trigonométriques dans un triangle rectangle, cas des petits angles.*

<b>Programme</b>	<b>Commentaires</b>
<b>Formation des images dans les conditions de Gauss.</b>	
Notion de rayon lumineux.	<i>On se limite à une présentation qualitative de l'approximation de l'optique géométrique.</i>
Réfraction. Réflexion. Cas de la réflexion totale.	<i>Les lois de Snell-Descartes sont présentées comme des lois d'origine expérimentale. L'étude théorique du prisme ne figure pas au programme du cours. Le principe de Fermat est hors programme. L'étude de la propagation des rayons lumineux dans un milieu d'indice continûment variable est hors programme.</i>
Objet et image ; stigmatisme	
Miroir plan. Lentilles minces dans l'approximation de Gauss. Réalité ou virtualité des objets et images.	<i>Les dioptries sphérique et plan sont hors programme. L'expression de la distance focale d'une lentille à bords sphériques en fonction de l'indice et des rayons de courbure est hors programme. Les lentilles seront placées dans l'air. La relation des sinus d'Abbe et celle de Lagrange-Helmholtz sont hors programme.</i>
Aplanétisme.	<i>L'objectif premier est de maîtriser la construction des rayons lumineux. Le stigmatisme approché et l'aplanétisme étant admis, on montre que les constructions géométriques permettent d'obtenir des formules de conjugaison et de grandissement.</i>
Relations de conjugaison et de grandissement avec origine au centre optique.	<i>Toute étude générale des systèmes centrés, des associations de lentilles minces et des systèmes catadioptriques est hors programme, notamment la notion de plan principal et la formule de Gullstrand.</i>
	<i>La méthode matricielle est hors programme.</i>

## B) Mécanique du point

L'objectif est d'introduire progressivement quelques-uns des concepts de base de la mécanique tridimensionnelle ainsi que les premiers outils nécessaires à l'étude de la mécanique du point, et cela en accord avec les idées mises en œuvre dans l'enseignement de génie mécanique.

Le programme ci-dessous est fondé sur l'introduction d'un objet conceptuel, "le point matériel". Cette notion permet de modéliser des "particules" quasi-ponctuelles au mouvement desquelles on s'intéresse ; elle est d'autre part utilisable pour le centre d'inertie d'un système. Enfin, elle permettra ultérieurement l'analyse et l'étude du mouvement d'un système quelconque, à l'aide d'une décomposition "par la pensée" en éléments matériels considérés comme quasi-ponctuels.

**Outils mathématiques :** pour cette première partie, les outils mathématiques nécessaires sont limités :

- pour la cinématique, à la géométrie dans  $R^2$  et dans  $R^3$  (vecteurs, produit scalaire) ainsi qu'aux notions de dérivée temporelle d'un vecteur dans un référentiel donné et de dérivée d'une fonction composée ;
- pour la dynamique, à la distinction entre équation différentielle linéaire ou non linéaire (superposition de solutions ou non) ; à la résolution d'équations différentielles linéaires d'ordre un ou deux à coefficients constants, sans second membre ou avec second membre constant.
- pour les aspects énergétiques, à l'intégrale première de l'énergie mécanique (équation différentielle du premier ordre) ; la notion de gradient n'est pas introduite à ce stade.

### Programme

### Commentaires

#### 1. Description du mouvement d'un point et paramétrage d'un point.

Espace et temps.

Référentiel d'observation.

Description du mouvement : vecteurs position, vitesse et accélération.

À ce stade, le point n'a aucune matérialité.

Il est important de faire la distinction entre la description du mouvement et l'étude de ses causes.

Deux exemples de bases de projection orthogonales : vitesse et accélération en coordonnées cartésiennes (base fixe) et en coordonnées cylindro-polaires (base mobile).

Un point essentiel est de souligner que le paramétrage et la base de projection doivent être adaptés au problème posé. Ainsi, pour le mouvement de vecteur accélération constant, la base cartésienne de projection doit être judicieusement orientée. De même, pour le mouvement circulaire, le paramétrage cartésien est moins adapté que le paramétrage polaire.

On fait la distinction entre base de projection et référentiel d'étude du mouvement.

Exemples du mouvement de vecteur accélération constant, du mouvement rectiligne sinusoïdal, du mouvement circulaire.

On se limite à des mouvements plans. L'utilisation de la base de Frenet (même plane) est exclue. On insiste sur le fait que dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme, il existe un vecteur accélération lié au changement de direction du vecteur vitesse.

#### 2. Dynamique du point en référentiel galiléen.

Notion de force.

Référentiels galiléens.

Lois de Newton : loi de l'inertie, loi fondamentale de la dynamique du point matériel, loi des actions réciproques.

À ce stade, l'existence de référentiels galiléens est simplement affirmée et on ne se préoccupe pas de la recherche de tels référentiels. On indique que le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen dans la plupart des expériences usuelles

Les formalismes de Lagrange et de Hamilton sont hors programme.

On souligne que la dynamique relie le mouvement observé à ses causes, qu'elle fait intervenir une caractéristique matérielle de l'objet (sa masse ou inertie) et que les causes admettent une représentation vectorielle sous le nom de forces.

On ne soulève pas de difficulté sur les répartitions de forces (étendue des systèmes) ni sur la notion de point matériel.

Équations du mouvement.

Applications : mouvement dans le champ de pesanteur uniforme sans résistance de l'air puis avec résistance de l'air, mouvement d'une masse accrochée à un ressort dont l'autre extrémité est fixe.

*L'inventaire des forces, associé à la loi fondamentale de la dynamique, conduit à une équation différentielle.*

Puissance et travail d'une force.  
Théorèmes de la puissance et de l'énergie cinétiques.

### 3. Problèmes à un degré de liberté.

3.1. Énergie potentielle dans les problèmes à un degré de liberté.  
Énergie potentielle : exemples de l'énergie potentielle de pesanteur et de l'énergie potentielle élastique.  
Énergie mécanique.

*L'objectif est de fonder le concept d'énergie potentielle sur l'expression du travail de la force considérée. Le gradient n'est pas utilisé à ce stade. Il est important de dégager l'idée que l'énergie potentielle est une fonction de la position seulement.*

Cas de conservation de l'énergie mécanique.  
Intégrale première de l'énergie.  
Utilisation d'une représentation graphique de l'énergie potentielle : cuvette et barrière de potentiel.

*Le pendule simple est un exemple qui permet de mettre en œuvre et de comparer différentes méthodes pour obtenir l'équation du mouvement d'un point matériel.*

Positions d'équilibre, stabilité.

Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable.

*On montre graphiquement l'intérêt du modèle de l'oscillateur harmonique. Tout développement mathématique est exclu à ce stade.*

3.2 Régime libre de l'oscillateur harmonique non amorti à un degré de liberté.

*On met l'équation différentielle sous une forme canonique.  
On fait apparaître le bilan énergétique correspondant.*

*L'étude des régimes libres d'un oscillateur harmonique à un degré de liberté amorti par frottement visqueux est menée en TP-cours.*

*L'oscillateur paramétrique, les oscillateurs couplés sont hors programme, de même que la notion de portrait de phase.*

## C) Électrocinétique

L'outil mathématique nécessaire à l'étude de cette partie se limite en pratique aux équations différentielles linéaires à coefficients constants du premier et du deuxième ordre.

### Programme

**1. Lois générales dans le cadre de l'approximation quasi-stationnaire.**

### Commentaires

*Le cadre précis de l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ou quasi-permanents) sera discuté en seconde année. On se contente ici d'en affirmer les modalités d'application.  
La théorie générale des réseaux est hors programme.*

Notion d'intensité du courant Loi des nœuds.	<i>L'intensité du courant dans une branche orientée de circuit est le débit de charges à travers une section du conducteur. La loi des nœuds traduit une conservation de la charge en régime stationnaire dont on ne donne aucune formulation locale ; on admet l'extension de la loi des nœuds aux régimes lentement variables.</i>
Différence de potentiel (ou tension), potentiel. Loi des mailles.	<i>La notion de champ électrique n'a pas encore été introduite à ce stade. On insiste sur la nécessité d'une convention d'orientation des courants et des tensions.</i>
<b>Caractéristique d'un dipôle ; point de fonctionnement .</b> Puissance électrocinétique reçue par un dipôle. Caractère générateur et récepteur du dipôle.	<i>La diode et la diode Zéner ne sont pas abordées dans le cadre du programme de physique.</i>
<b>2. Eléments de circuits linéaires.</b>	<i>Un comportement linéaire est décrit par une équation différentielle linéaire à coefficients constants.</i>
Dipôles modèles, R,L,C	<i>On affirme la relation <math>q = Cu</math> entre charge du condensateur et tension à ses bornes qui sera établie dans le cours d'électromagnétisme en première année ; on établit ensuite la relation <math>i = dq/dt</math> à partir de la conservation de la charge.</i>
Association des résistances en série, en parallèle.	<i>On affirme de même pour une bobine, en convention récepteur, la relation <math>u = r i + L di/dt</math> qui sera établie en deuxième année, où seront aussi étudiés les circuits couplés par mutuelle. La notion d'inductance mutuelle n'est pas introduite en première année. A cette occasion on introduit les outils diviseur de tension et diviseur de courant.</i>
Aspects énergétiques : énergie emmagasinée dans un condensateur et dans une bobine, puissance dissipée dans une résistance (effet Joule).	
Modélisations linéaires d'un dipôle actif : générateur de courant (représentation de Norton) et générateur de tension (représentation de Thévenin) ; équivalence entre les deux modélisations.	
<b>3 – Circuits linéaires en régime continu</b> Théorèmes de superposition, de Thévenin, de Norton.	<i>La démonstration des théorèmes de Thévenin et Norton n'est pas exigible. Les méthodes matricielles sont hors programme On se limite à des circuits à petit nombre de mailles. Outre la loi des nœuds et la loi des mailles, on utilise les outils diviseur de tension, diviseur de courant, équivalence entre les modèles de Thévenin et de Norton. On se limite à des situations ne comportant pas de sources liées. Les étudiants peuvent utiliser le théorème de Millman (expression de la loi des nœuds en termes de potentiels).</i>
<b>4 – Régime transitoire</b>	<i>L'étude des régimes transitoires des circuits R,C , R,L et R,L,C série est menée en TP-cours.</i>

## II. APPROCHE EXPÉRIMENTALE

*La rédaction des rubriques TP-cours est détaillée car elle constitue un ensemble de compétences exigibles. En revanche, les thèmes de TP ne sont que des propositions ; le contenu et l'organisation des TP relèvent de l'initiative pédagogique du professeur et ne doivent faire appel qu'aux connaissances du programme de la classe.*

### A) Formation des images optiques

<b>Programme</b>	<b>Commentaires</b>
<b>TP-COURS : Montages simples d'optique géométrique.</b>	<i>La rédaction de la rubrique TP-COURS est détaillée car elle constitue un ensemble de compétences exigibles. Le but poursuivi est de maîtriser la mise en œuvre des montages qui seront notamment utilisés en optique ondulatoire en seconde année.</i>
Présentation succincte des sources de lumière : lampes spectrales, sources de lumière blanche, laser.	<i>Aucune connaissance sur les sources de lumière, notamment leurs mécanismes d'émission, n'est exigible à ce stade.</i>
Réflexion; réfraction.	
Reconnaissance rapide du caractère convergent ou divergent d'une lentille mince.	
Relations de conjugaison et de grandissement avec origine au centre optique.	
Projection : obtention d'une image réelle d'un objet réel à l'aide d'une lentille mince convergente.	<i>On insiste sur les contraintes de distance objet-image et de grandissement transversal pour le choix des lentilles de projection. On fait observer l'existence des aberrations.</i>
Autocollimation avec une lentille mince convergente et un miroir plan.	<i>On dispose ainsi d'une méthode permettant de placer avec précision une source dans le plan focal objet d'une lentille</i>

*Le matériel nécessaire à l'acquisition des connaissances et savoir-faire exigibles en optique géométrique comprend :  
Sources de lumière (blanche, lampes spectrales, laser), banc d'optique, lentilles minces convergentes et divergentes, miroirs plans.*

## B) Electrocinétique

### 1. TP-COURS : L'instrumentation électrique au laboratoire

#### Programme

#### Commentaires

a) Présentation succincte des appareils usuels.

*Les étudiants disposent d'un oscilloscope à mémoire numérique calibré en tension, fréquence, phase, mesurant temps de montée, période, valeur moyenne ou efficace vraie. Un multimètre numérique effectuant les mesures en valeur moyenne ou efficace vraie remplace les ampèremètres et voltmètres magnétoélectriques ou ferromagnétiques. Aucune connaissance sur le fonctionnement interne de ces appareils ou sur d'autres matériels n'est exigible*

Oscilloscope à mémoire numérique, interfaçable numériquement.  
Générateur de signaux électriques (BF) avec modulation interne en fréquence et sortie d'une tension image de la fréquence.  
Alimentation stabilisée en tension.  
Multimètre numérique.

*On présente les caractéristiques essentielles de ces appareils : impédance d'entrée, impédance de sortie, bande passante selon le cas. Sur les montages effectués, on fait observer les conséquences de l'existence de connexions non apparentes dues au raccordement à la terre de certains appareils.*

b) Réglage et utilisation des appareils.

*À cette occasion, il convient de familiariser les étudiants avec les tensions sinusoïdales (amplitude, valeur efficace, phase, fréquence, pulsation, différence de phase entre deux signaux synchrones). S'agissant des couplages AC et DC, les étudiants doivent apprendre à se placer spontanément en couplage DC et à n'utiliser le couplage AC que dans un but précis (suppression d'un décalage constant) après s'être assuré de son innocuité (fréquence suffisante, forme des signaux).*

Utilisation de l'oscilloscope : couplages d'entrée AC et DC, mode X-Y, mode balayage (déclenchement, synchronisation), mesures de tensions, de périodes.

*Sur des exemples, on fait réfléchir au fait que la mise en place d'un appareil de mesure modifie le circuit.*

Utilisation des multimètres : mesure de la valeur moyenne et de la valeur efficace vraie, fonctionnement en ohmmètre.

### 2. TP-COURS : Régimes transitoires

#### Programme

#### Commentaires

a) Transitoires électriques:

Étude des circuits R,C série, R,L série, et R,L,C série soumis à un échelon de tension.

*L'objectif est d'aborder l'étude de ces systèmes simples en s'appuyant sur les solutions analytiques des équations différentielles ; on insiste sur l'importance des lois de continuité pour la détermination des conditions initiales.*

b) Transitoires mécaniques:

Étude des régimes libres d'un oscillateur harmonique à un degré de liberté amorti par frottement visqueux.

*À cette occasion, on habitue les étudiants à trouver dans le problème, des grandeurs physiques caractéristiques qui permettent d'aboutir à une réduction canonique, en vue d'un traitement numérique éventuel ou du rapprochement avec un autre phénomène physique analogue. On fait apparaître les bilans énergétiques correspondants.*

c) Analogies électromécaniques

*On insiste sur le fait qu'un même squelette algébrique conduit à une analyse analogue pour des situations physiques a priori très différentes. On présente l'analogie charge-élongation, intensité-vitesse, tension-force.*

***Le matériel nécessaire à l'acquisition des connaissances et savoir-faire exigibles en électrocinétique comprend :***

*Oscilloscope à mémoire numérique, interfaçable avec un ordinateur et une imprimante.*

*Générateur de signaux électriques (BF) avec modulation interne en fréquence et sortie d'une tension image de la fréquence.*

*Ordinateur avec carte d'acquisition et logiciel de traitement.*

*Alimentation stabilisée en tension.*

*Multimètre numérique.*



## DEUXIEME PARTIE

### III. APPROCHE THÉORIQUE (DEUXIÈME PARTIE)

*Le programme se place dans le cadre de la physique dite classique (non relativiste et non quantique). Chaque fois que c'est judicieux, on signale les limites de la théorie classique et l'existence de théories relativistes et quantiques.*

#### **A) Oscillations forcées des systèmes linéaires électriques ou mécaniques à un seul paramètre**

*De façon uniquement qualitative, on justifie l'intérêt des régimes sinusoïdaux forcés par leur rôle générique pour l'étude des régimes périodiques forcés. Aucun développement quantitatif sur l'analyse de Fourier n'est au programme de première année. Le calcul analytique des coefficients du développement en série de Fourier est hors programme; il relève du cours de mathématiques de deuxième année.*

*Dans cette partie on introduit la notation complexe pour déterminer la solution sinusoïdale d'une équation différentielle linéaire d'ordre un ou deux à coefficients constants dont le second membre est une fonction sinusoïdale du temps.*

#### **1 – Régime permanent sinusoïdal (ou sinusoïdal forcé) en électrocinétique**

*Il convient de consacrer un temps suffisant à familiariser les étudiants avec les caractéristiques des signaux sinusoïdaux : amplitude, phase, fréquence, pulsation, différence de phase entre deux signaux synchrones. Ce programme s'appuie exclusivement sur les composants suivants : résistance, condensateur et bobine inductive. Tout autre composant (en particulier diode, diode Zener, transistor ...) est hors programme. L'électrocinétique et l'électronique recoupent fortement l'automatique qui est enseignée par les professeurs de génie électrique et génie mécanique. Il importe donc chaque fois que cela est possible d'adopter un vocabulaire commun. Les professeurs de génie électrique, génie mécanique et le professeur de physique se concertent à cet effet et signalent aux étudiants les mots qui revêtent de manière irréductible des significations différentes en électronique et en automatique.*

## Programme

## Commentaires

Signaux sinusoïdaux : amplitude, phase, pulsation, fréquence, différence de phase entre deux signaux synchrones.

Circuit R,L,C série en régime sinusoïdal forcé: résolution par la méthode complexe.

Comportements asymptotiques aux basses et hautes fréquences.

Possibilité de résonance en tension aux bornes du condensateur.

Résonance en intensité; pulsations de coupure à -3 dB, bande passante, facteur de qualité.

Aspects énergétiques de l'étude du circuit RLC série.

*Partant de l'équation différentielle établie précédemment, on dégage les concepts de régime transitoire et de régime sinusoïdal forcé en s'appuyant notamment sur l'expérience. On insiste sur la simplification apportée par la notation complexe qui permet de remplacer une équation différentielle par une équation algébrique sur le corps des nombres complexes. Ce chapitre est à rapprocher de l'étude de l'oscillateur harmonique amorti par frottement visqueux et excité par une force sinusoïdale. On souligne que l'identité formelle conduit à des similitudes de comportement entre grandeurs électriques et mécaniques analogues.*

*On fait apparaître un bilan énergétique  $d/dt(Li^2/2 + q^2/2C) + Ri^2 = P$  ; on fait remarquer que le condensateur et la bobine ne participent pas au bilan énergétique moyen en régime sinusoïdal forcé alors qu'ils jouent un rôle essentiel pendant le régime transitoire.*

Régime sinusoïdal forcé.

Impédance et admittance complexes; lois d'association.

Loi des mailles. Loi des nœuds; son expression en termes de potentiels.

*Il s'agit de généraliser l'usage de la notation complexe aux circuits linéaires. On se limite à des circuits à petit nombre de mailles.*

*Sous certaines réserves qu'on indique, le potentiel complexe d'un nœud est le barycentre des potentiels complexes des nœuds voisins affectés des admittances complexes correspondantes.*

*Les méthodes matricielles sont hors programme.*

Puissance instantanée, puissance moyenne en régime permanent sinusoïdal. Valeur efficace. Facteur de puissance ( $\cos \varphi$ ).

*La notion de puissance réactive et le théorème de Boucherot sont hors programme.*

Utilisation de notations symboliques ( $j\omega$  ou  $d/dt$ ) pour une détermination rapide des régimes sinusoïdaux établis ou des régimes transitoires.

*Cette rubrique apparaît comme la conclusion de l'étude des circuits linéaires et ne fait l'objet d'aucun développement excessif. L'étude de la stabilité des montages est hors programme.*

## **2 – Oscillateur harmonique amorti par frottement visqueux et soumis à une excitation sinusoïdale**

Régime transitoire.

Régime permanent sinusoïdal : résolution par la méthode complexe.

Résonance en élévation et en vitesse.

*Cette étude est rapprochée de celle des oscillations électriques forcées dans le dipôle R-L-C série. On souligne que l'identité formelle conduit à des similitudes de comportement entre grandeurs électriques et mécaniques analogues.*

*On fait apparaître le bilan énergétique.*

## B) Mécanique

L'enseignement de mécanique de première année est limité à l'étude du point matériel. Par conséquent, les systèmes ouverts faisant par exemple intervenir une masse variable (fusée...) sont hors programme. La dynamique des systèmes matériels n'est abordée qu'en deuxième année.

À partir des notions de base introduites en première partie, il s'agit désormais d'aller plus loin avec de nouveaux outils mathématiques :

- le produit vectoriel et le produit mixte, utilisés pour le théorème du moment cinétique, les champs de forces centrales, les changements de référentiel ;
- les coordonnées sphériques pour lesquelles la seule relation utile à ce stade est  $d(r \mathbf{u}_r) = dr \mathbf{u}_r + r d\mathbf{u}_r$  avec  $\mathbf{u}_r \cdot d\mathbf{u}_r = 0$ .

Programme	Commentaires
<b>1. Théorème du moment cinétique dans un référentiel galiléen</b>	<i>Le théorème du moment cinétique est également nommé théorème du moment dynamique.</i>
Moment d'une force par rapport à un point, par rapport à un axe orienté.	<i>On dégage le rôle du « bras de levier », c'est-à-dire de la distance entre le support de la force et l'axe considéré.</i>
Moment cinétique $L_O$ par rapport à un point O, $L_{Oz}$ par rapport à un axe Oz orienté.	<i>On souligne la relation entre le signe du moment par rapport à un axe orienté et le fait que la force tende à faire tourner le point dans un sens ou dans l'autre autour de cet axe.</i>
Théorème du moment cinétique en un point fixe, théorème du moment cinétique par rapport à un axe fixe.	<i>On insiste sur le fait que le théorème du moment cinétique fournit, pour une masse ponctuelle, une autre méthode pour obtenir des résultats accessibles par la deuxième loi de Newton ou par une méthode énergétique.</i>
Application au pendule simple.	
<b>2. Mouvements dans un champ de forces centrales conservatives</b>	<i>Le "pôle d'attraction ou de répulsion" est considéré comme fixe dans le référentiel galiléen d'étude. L'étude du problème à deux corps est exclue.</i>
2.1 - Forces centrales conservatives	
Forces centrales $\mathbf{F} = F(r) \mathbf{u}_r$ où $\mathbf{u}_r$ est le vecteur unitaire radial des coordonnées sphériques. Forces attractives et forces répulsives. Fonction énergie potentielle associée.	<i>Dans l'hypothèse où l'une des particules est fixe, l'énergie potentielle est introduite à partir du travail élémentaire de la force <math>\mathbf{F} = F(r) \mathbf{u}_r</math>. La seule relation utile à ce stade est <math>d(r \mathbf{u}_r) = dr \mathbf{u}_r + r d\mathbf{u}_r</math> avec <math>\mathbf{u}_r \cdot d\mathbf{u}_r = 0</math>.</i>
Exemple des forces de gravitation entre deux masses ponctuelles et des forces électrostatiques entre deux charges ponctuelles. Énergies potentielles associées	<i>La masse gravitationnelle et la charge sont définies au travers des lois d'interaction correspondantes.</i>
2.2 - Lois générales de conservation	
Conservation du moment cinétique par rapport au centre de forces et planéité du mouvement. Cas particulier des mouvements rectilignes.	<i>On souligne, de façon plus large mais non exhaustive, l'intérêt du physicien pour la prévision et l'exploitation du caractère conservatif de certaines grandeurs.</i>
Utilisation des coordonnées polaires.	
Intégrale première associée.	
Interprétation cinématique : loi des aires.	
Conservation de l'énergie et intégrale première associée.	<i>C'est l'occasion de signaler une des limites de la mécanique newtonienne : en relation avec le cours de chimie, on souligne que toute valeur de l'énergie mécanique est a priori permise, contrairement à ce qui se passe dans l'atome où les valeurs de l'énergie sont quantifiées.</i>
Utilisation d'une énergie potentielle effective pour ramener, grâce aux lois de conservation, le problème primitif à l'étude du mouvement radial. Relation entre l'énergie mécanique et le type de trajectoire : états liés, états de diffusion.	<i>On prend comme exemples les interactions gravitationnelle et coulombienne. L'expérience de Rutherford est hors programme ; elle peut être mentionnée seulement pour son intérêt historique.</i>

2.3 - Mouvement dans un champ de forces centrales newtonien attractif.

Énoncé des lois de Kepler.

Vitesse de libération.

Étude directe et propriétés particulières des trajectoires circulaires : relation entre énergie cinétique et énergie potentielle, relation entre rayon et vitesse, troisième loi de Kepler.

*L'assimilation du champ gravitationnel d'un astre à symétrie sphérique à celui d'une masse ponctuelle est justifiée dans le cours d'électromagnétisme (théorème de Gauss).*

*Cette rubrique est abordée essentiellement en raison de son importance culturelle. L'étude est limitée au cas des trajectoires circulaires. Toute étude géométrique des trajectoires elliptiques, hyperbolique ou parabolique est hors programme. On signale simplement que la troisième loi de Kepler ainsi que la relation entre l'énergie et le demi grand axe, peuvent être généralisées aux trajectoires elliptiques.*

*L'étude des mouvements dans un champ gravitationnel est l'occasion de souligner l'identité de la masse inerte et de la masse gravitationnelle.*

*Les formules de Binet, le vecteur excentricité, les invariants dynamiques de Laplace ou Runge-Lenz, sont hors programme.*

### 3. Changements de référentiel.

#### 3.1 - Cinématique

Mouvement d'un référentiel par rapport à un autre. Cas particuliers du mouvement de translation et du mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe.

Définition des vitesses et des accélérations dans les deux référentiels.

*L'ensemble du paragraphe 3.1) ne peut faire l'objet d'aucune question de cours.*

Lois de composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'une translation ou d'une rotation uniforme autour d'un axe fixe : vitesse d'entraînement, accélérations d'entraînement et de Coriolis.

*La vitesse et l'accélération d'entraînement sont interprétées comme la vitesse et l'accélération d'un point d'un référentiel par rapport à l'autre (vitesse et accélération du point coïncident).*

*On fait remarquer que les champs des vitesses d'entraînement et des accélérations d'entraînement sont uniformes lorsque le référentiel « relatif » est en translation.*

#### 3.2 - Dynamique en référentiel non galiléen.

Principe de relativité galiléenne, référentiels galiléens. Invariance galiléenne des forces d'interaction.

Loi fondamentale de la dynamique du point en référentiel non galiléen : forces d'inertie (ou pseudo forces)

Les applications concernent uniquement le cas où le référentiel entraîné est en translation ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe.

3.3 - Caractère galiléen approché de quelques référentiels d'utilisation courante : référentiel de Copernic, référentiel de Kepler (héliocentrique), référentiel géocentrique, référentiel lié à la Terre.

*On insiste sur le fait que l'écriture des lois de la dynamique dans un référentiel non galiléen nécessite la connaissance de son mouvement par rapport à un référentiel galiléen.*

*Les théorèmes du moment cinétique et de l'énergie cinétique en référentiel non galiléen sont hors programme.*

*On remarque que les termes nouveaux qui apparaissent dans la traduction de la loi fondamentale de la dynamique ont les dimensions de forces et qu'ils ne résultent pas d'une interaction mais du caractère non galiléen du référentiel utilisé.*

*On indique les conditions dans lesquelles on peut considérer certains référentiels comme galiléens et on fait mieux comprendre les choix des référentiels supposés galiléens dans les différents exemples traités antérieurement.*

*On donne la définition du poids d'un point matériel mais toute étude du champ de pesanteur est hors programme.*

*Les conséquences de la rotation de la terre sur le mouvement relatif d'un point matériel sont hors programme.*

## C) Thermodynamique

*Le but recherché en première année est la compréhension des deux principes de la thermodynamique et l'étude de leurs applications à des systèmes fermés simples. Le professeur s'attache, chaque fois que cela est possible, à choisir des exemples concrets. Il insiste sur l'intérêt de l'utilisation de modèles destinés à représenter les phénomènes réels. L'accent est mis sur les bilans et les échanges d'énergie et d'entropie.*

*En première année, l'enseignement de la thermodynamique est limité à l'étude du corps pur. Toute étude des mélanges monophasés ou diphasés, notamment de l'air humide est hors programme.*

*Cet enseignement est fondé sur le concept de fonction d'état d'équilibre : les différents concepts utilisés dérivent donc des fonctions d'état. On définit notamment les capacités thermiques comme des dérivées partielles de l'énergie interne et de l'enthalpie. Lorsque le fluide étudié ne relève pas du modèle du gaz parfait ou du modèle d'une phase condensée incompressible et indilatable, les expressions des équations d'état et des fonctions d'état doivent être fournies.*

*Pour une grandeur extensive « A » on note « a » la grandeur massique associée et « A<sub>m</sub> » la grandeur molaire associée.*

*Les coefficients calorimétriques l, h (ou k), λ, μ, ainsi que les expressions générales de l et h (relations de Clapeyron) et de C<sub>p</sub>-C<sub>v</sub> sont hors-programme.*

*Cette partie fait appel aux notions élémentaires sur les fonctions de deux variables : différentielles, dérivées partielles. Il convient de savoir exprimer les principes de la thermodynamique au cours d'une évolution infinitésimale. Aucune dextérité ne doit être recherchée dans la manipulation des dérivées partielles : l'obtention d'une équation d'état à partir de coefficients thermoélastiques et le calcul de coefficients thermoélastiques à partir d'une équation d'état ne sont pas des objectifs du programme. La traduction différentielle des principes via le théorème de Schwartz est hors-programme. L'intégration d'une différentielle  $df = A(x,y)dx + B(x,y)dy$  dans le cas général où A dépend de y et où B dépend de x est hors-programme.*

*Toute notion de thermodynamique statistique est hors programme.*

### Programme

### Commentaires

#### 1. Eléments de statique des fluides dans le champ de pesanteur

Pression.

*La définition cinétique de la pression est hors programme.*

Relation  $dP/dz = -\rho g$ .

*On se limite au cas du champ de pesanteur uniforme. La relation générale faisant intervenir le gradient du champ de pression est hors programme en première année.*

Application au cas d'un fluide incompressible et homogène.

*L'étude de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait peut faire l'objet d'un exercice lorsqu'on dispose de l'équation d'état des gaz parfaits.*

*La tension superficielle est hors programme.*

*On indique, à l'aide d'un calcul d'ordre de grandeur, que l'influence de la pesanteur sur la répartition de la pression est négligeable dans les systèmes usuellement étudiés en thermodynamique.*

*Le calcul du torseur des forces de pression exercées par un fluide sur une paroi solide est hors programme*

Poussée d'Archimède

*L'étude des rotations des corps flottants (roulis, tangage) est hors programme.*

## 2. Température absolue – le gaz parfait comme limite à faible pression du gaz réel

Échelle légale de température, grandeur thermométrique associée.  
L'échelle Celsius associée.

*L'étude d'autres échelles thermométriques et de la thermométrie en général est hors programme.*

*La définition cinétique de la température est hors programme.*

Le modèle du gaz parfait – Équation d'état.

*La théorie cinétique des gaz et la loi de distribution des vitesses sont hors programme.*

*L'équation d'état massique  $Pv=rT$  est utilisée lors de travaux dirigés.*

Notions qualitatives sur les fluides réels. Équation d'état.

*Aucune équation d'état de gaz réel n'est exigible.*

Notion de dilatation et de compressibilité d'un fluide.

*On se borne à définir les coefficients  $\alpha$  et  $\chi_T$ ; le coefficient  $\beta$  est hors-programme. L'utilisation des coefficients  $\alpha$  et  $\chi_T$  en liaison avec l'équation d'état est hors programme en première année.*

## 3. Système thermodynamique

*On introduit le vocabulaire de la thermodynamique sans formalisme excessif*

Système en équilibre thermodynamique, système ouvert ou fermé, système homogène, hétérogène; phase.  
Variables thermodynamiques d'état ; variables extensives et variables intensives.

Équation d'état, fonction d'état.

*On insiste sur le fait que la valeur d'une fonction d'état d'un système est seulement fonction de l'état macroscopique de ce système.*

## 4. Premier principe (systèmes fermés). Bilans d'énergie.

*Aucune démarche n'est imposée. Un objectif majeur est d'apprendre aux étudiants à évaluer le transfert thermique lors d'une évolution non adiabatique en utilisant le premier principe.*

Premier principe. Énergie interne.

*Le premier principe est énoncé dans le cas général faisant intervenir un terme d'énergie cinétique macroscopique. On se limite aux cas où la séparation entre l'énergie interne et l'énergie cinétique macroscopique ne soulève pas de difficulté. Pour les transferts (travail, chaleur) on adopte les notations  $W$ ,  $Q$ ,  $\delta W$  et  $\delta Q$  et pour les variations des fonctions d'état les notations  $\Delta U$ ,  $\Delta H$ ,  $dU$  et  $dH$ . On insiste sur la signification de ces notations et sur le fait que les notations  $\Delta W$  et  $\Delta Q$  sont prosrites.*

Transferts : transfert thermique (ou chaleur), travail

*A ce stade, on suppose négligeable le travail des forces de pesanteur.*

Cas particulier du travail des forces de pression.

*L'étude de la conduction thermique est hors programme.*

Énergie interne du gaz parfait : capacité thermique à volume constant, 1<sup>ère</sup> loi de Joule ; cas du gaz parfait monoatomique, puis du gaz parfait non monoatomique.

*On admet que l'énergie interne du gaz parfait ne dépend que de la température.*

*On indique que pour un gaz parfait non monoatomique  $C_V$  dépend de la température mais on ne développe pas l'étude des capacités thermiques molaires en fonction de la température ; on donne les valeurs couramment admises, aux températures usuelles, dans les cas monoatomiques et diatomiques :  $C_{Vm} = 3R/2$  et  $C_{Vm} = 5R/2$ .*

Modèle d'une phase condensée incompressible et indilatable : énergie interne.

*La théorie des capacités thermiques, le principe d'équipartition de l'énergie et le théorème du viriel sont hors programme.*

*Il s'agit simplement d'utiliser la relation approchée :*

$$dU = C_V(T) dT.$$

Enthalpie ; capacité thermique à pression constante

*L'enthalpie est utilisée d'une part pour l'étude de la détente de Joule-Kelvin et d'autre part pour exprimer le transfert thermique lors d'une évolution à pression constante, situation courante en chimie.*

Enthalpie d'un gaz parfait, 2<sup>ème</sup> loi de Joule. Relation de Mayer d'un gaz parfait.

Enthalpie d'une phase condensée dans le modèle incompressible et indilatable.

*Pour les phases condensées, on se limite aux cas où on peut confondre les capacités thermiques isobare  $C_P$  et isochore  $C_V$  (alors notées  $C$ ). Il s'agit simplement d'utiliser la relation approchée  $dU \approx dH$ .*

Détente de Joule - Gay Lussac .  
Détente de Joule-Kelvin (ou Joule-Thomson).

*On insiste sur l'intérêt de ces détentes pour l'étude des fluides réels.*

## **5. Deuxième principe (systèmes fermés). Bilans d'entropie.**

Deuxième principe. Évolutions réversibles et irréversibles. Fonction d'état entropie. Entropie créée, entropie échangée.

*L'interprétation statistique de l'entropie est hors programme.*

*On montrera, sur des exemples simples, en quoi le second principe est un principe d'évolution.*

*L'objectif ne se limite pas au calcul de l'entropie créée par irréversibilité : il convient également d'identifier le(s) type(s) d'irréversibilité.*

*L'étude des conséquences de la stabilité de l'équilibre thermodynamique sur les coefficients calorimétriques ou thermoélastiques est strictement hors programme.*

Identité thermodynamique fondamentale  $dU = TdS - PdV$ , température thermodynamique.

*On en déduit l'identité thermodynamique  $dH = TdS + VdP$ .*

*On admet l'identité entre la température thermodynamique et la température des gaz parfaits.*

*L'énergie libre  $F$  et l'enthalpie libre  $G$  ne sont pas abordées en classe de première année.*

Entropie du gaz parfait. Loi de Laplace.

*L'étude du mélange idéal de gaz parfaits n'est pas abordée en première année.*

Entropie d'une phase condensée dans le modèle incompressible et indilatable.

*Pour les phases condensées, il s'agit simplement d'utiliser la relation approchée  $dS = CdT/T$  (on se limite aux cas où on peut confondre  $C_P$  et  $C_V$  alors notés  $C$ )*

*Le troisième principe de la thermodynamique est hors programme.*

## **6. Machines thermiques**

Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes ; rendement, efficacité, théorème de Carnot.

*On insiste sur les applications pratiques de cette étude, en précisant la modélisation des évolutions : moteurs et centrales thermiques, thermopompes, installations frigorifiques.*

*Le diagramme de Raveau est hors programme.*

*L'étude des fluides en écoulement se limite, en première année, à la détente de Joule-Thomson. La formulation systématique des principes de la thermodynamique des fluides en écoulement est hors programme en première année, mais figure au programme de seconde année.*

*La notion de travail de transvasement est hors programme.*

## **7. Notions sur les changements d'état du corps pur.**

Diagramme (P,T), point triple, point critique.

*L'approche est descriptive ; on se limite aux changements d'état solide – liquide – gaz.*

*L'étude de l'équilibre liquide-vapeur en diagramme (P,v) dit de Clapeyron, et le diagramme entropique (T,s) sont hors programme en première année.*

Enthalpie de changement d'état (ou chaleur latente).

*La formule de Clapeyron est hors programme.*

## D) Électromagnétisme

*L'étude de l'électrostatique est centrée sur les propriétés des champs  $E$  et non sur les calculs. Aucune technicité de calcul n'est donc recherchée dans l'évaluation de ce champ.*

*Hormis le gradient, toute utilisation des opérateurs d'analyse vectorielle est exclue en première année.*

*On peut avantageusement utiliser un logiciel pour obtenir des cartes de lignes de champ. En revanche, l'utilisation d'un logiciel de calcul formel pour calculer des champs n'est pas un objectif du programme.*

*Cette partie fait appel à des notions mathématiques nouvelles qu'il convient de présenter simplement en insistant sur leur contenu physique : les intégrales, simples, doubles, triples, curvilignes doivent être présentées comme des sommes d'une grandeur physique élémentaire (flux, circulation, charge...). Le calcul d'intégrales doubles et triples doit être évité en se limitant aux cas où les symétries permettent de ramener le calcul à celui d'une seule intégrale simple. On se limite en première année à une approche élémentaire : ces notions seront approfondies en deuxième année.*

### D.1) Electrostatique

*La notion d'angle solide est hors programme.*

<b>Programme</b>	<b>Commentaires</b>
Interaction de deux charges ponctuelles : loi de Coulomb. Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle et par un ensemble de charges ponctuelles ; additivité des champs.	<i>L'introduction de la notion de champ est ici un objectif essentiel.</i>
Distributions macroscopiques de charges réparties ; densité volumique de charge (ou charge volumique). Modélisation à l'aide d'une densité surfacique ou linéique de charge.	
Exemples de champ électrostatique créé par une distribution de charges continûment répartie : <ul style="list-style-type: none"><li>- champ dans le plan médiateur d'un segment uniformément chargé</li><li>- champ sur l'axe d'un disque uniformément chargé.</li></ul>	<i>On se limite à des exemples de distributions de charge dont la symétrie permet de ramener le calcul à une intégrale simple. Sur ces exemples, on met en évidence le fait que le champ électrostatique en un point des sources n'est pas défini lorsqu'elles sont modélisées par une densité surfacique ou linéique de charge. On fait remarquer la discontinuité du champ à la traversée du disque mais les expressions générales des relations de passage ne sont pas au programme de première année.</i>
Recherche des plans de symétrie et d'antisymétrie, recherche des invariances par rotation, par translation, pour les distributions de charges.	<i>On appelle antisymétrie une symétrie par rapport à un plan accompagnée du changement du signe de toutes les charges. On fait remarquer que l'invariance par translation ne peut résulter que d'une modélisation des sources par une distribution de charges illimitée.</i>
Circulation du champ électrostatique ; potentiel électrostatique. Relation locale $E = -\text{grad}(V)$ . Additivité des potentiels.	<i>On relie la circulation du champ électrostatique au travail de la force électrostatique. On fait le lien avec la notion de potentiel utilisée dans le cours d'électrocinétique.</i>
Énergie potentielle d'une charge ponctuelle dans un champ électrostatique extérieur. Relation entre la force et le gradient de l'énergie potentielle.	<i>On indique que la relation entre la force conservative et le gradient de l'énergie potentielle est équivalente à celle qui est introduite par l'expression de son travail dans la partie mécanique.</i>



Énergie potentielle d'interaction d'un système de deux charges ponctuelles.

*L'énergie potentielle électrostatique d'une distribution de plus de deux charges, a fortiori d'une distribution continue, est hors programme.*

Topographie : lignes de champ, tubes de champ, surfaces équipotentiels ; propriétés de symétrie du champ et du potentiel électrostatiques.

*Les équations différentielles des lignes de champ et leur intégration sont hors programme. Sur des exemples de cartes de champ et de potentiel électrostatiques, on fait apparaître le lien entre les propriétés de symétrie des sources et celles du champ et du potentiel créés.*

Flux du champ électrostatique.

*On définit d'abord le flux élémentaire. Le symbolisme de l'intégrale de surface ne représente à ce stade que l'écriture d'une sommation.*

Théorème de Gauss.

*La démonstration du théorème de Gauss et la notion d'angle solide sont hors programme. Propriété fondamentale, le théorème de Gauss est aussi un outil opérationnel permettant de calculer le champ électrostatique dans des situations de haute symétrie. Sur les deux exemples du fil rectiligne et du plan, illimités et uniformément chargés, on montre la cohérence entre le passage à la limite et les résultats du théorème de Gauss.*

Modélisation du condensateur plan à l'aide de deux plans parallèles uniformément chargés.

*À l'aide de ce modèle, on justifie, dans le cadre restreint de l'électrostatique, la relation  $q = C u$  qui est utilisée dans le cours d'électrocinétique dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires. L'étude des conducteurs en équilibre électrostatique est hors programme.*

Analogie formelle avec le champ de gravitation ; théorème de Gauss pour le champ de gravitation.  
Application : équivalence du champ de gravitation d'une distribution de masse à symétrie sphérique à celui d'une masse ponctuelle.

## D.2) Mouvement des particules chargées non-relativistes dans les champs E et B

Dans cette partie, on introduit, à partir de la force de Lorentz, la notion de champ magnétique. Les exemples choisis s'appuient sur des dispositifs réels (accélérateurs de particules, spectromètres) ou des expériences historiques.

Programme	Commentaires
2.1) Force de Lorentz	
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champ électrique $\mathbf{E}$ , champ magnétique $\mathbf{B}$ .	<i>On exclut tout changement de référentiel galiléen en électromagnétisme. On signale que pour une particule chargée, les effets de la pesanteur ou de la gravitation sont presque toujours négligeables en regard de la force électromagnétique.</i>
Puissance de la force de Lorentz.	
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	<i>C'est l'occasion de signaler une limite du domaine de validité de la mécanique newtonienne.</i>
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme et indépendant du temps.	<i>L'utilisation de la base de Frenet est exclue en première année.</i>
2.2) Applications à l'électrocinétique.	
	<i>On note que dans un conducteur, homogène et à température uniforme, à l'absence de courant correspond l'uniformité de son potentiel électrique. Le modèle statistique des collisions pour la loi d'Ohm locale dans un métal est hors programme. On fait juste remarquer que l'effet moyen des collisions sur la vitesse des électrons de conduction est analogue à celui d'un freinage visqueux.</i>
Milieux conducteurs, porteurs de charge. Densité de courant électrique, intensité. Loi d'Ohm locale dans un conducteur. Conductivité, résistivité.	
Résistance électrique d'un conducteur « filiforme ».	<i>Tout autre calcul de résistance électrique est exclu.</i>

## ANNEXE COMMUNE AUX DEUX PARTIES DU PROGRAMME : THEMES DE TRAVAUX PRATIQUES PROPOSES

*A la différence des TP-cours nécessairement très cadrés, les séances de travaux pratiques sont orientées vers l'acquisition d'une autonomie progressive dans la démarche expérimentale. Elles favorisent l'appropriation des connaissances ainsi que le développement d'une certaine dextérité expérimentale.*

*Il est nécessaire, en TSI, d'adapter le contenu et la méthode à chaque étudiant selon sa filière d'origine. Les thèmes de travaux pratiques ci-dessous ne sont que des propositions ; la liste suivante n'est pas limitative. Les sujets, le contenu et l'organisation des travaux pratiques relèvent de l'initiative pédagogique du professeur et ne doivent faire appel qu'aux connaissances du programme de la classe. La connaissance des dispositifs mentionnés ci-dessous n'est donc pas exigible.*

*Aucun découpage entre première et deuxième partie n'est imposé.*

*Les contraintes de matériel peuvent conduire à organiser des séries de TP tournants.*

*A chaque fois que le matériel le permet, le professeur peut organiser le travail expérimental des étudiants sous la forme de TP-cours.*

Thèmes	Commentaires
Focométrie élémentaire : mesures de distances focales de lentilles minces.	
Réalisation d'un système afocal : élargisseur de faisceau utilisant une lentille divergente et une lentille convergente.	
Étude expérimentale du prisme.	<i>Pour interpréter le minimum de déviation, une approche par le calcul différentiel est exclue : l'égalité des angles d'incidence et d'émergence se déduit de la loi du retour inverse de la lumière et de l'unicité du minimum qu'on fait constater.</i>
Etude des circuits RC, RL et RLC série en régime sinusoïdal forcé.	
Etude de quelques montages simples à amplificateur opérationnel : suiveur, amplificateur non inverseur de tension, amplificateur inverseur de tension, sommateur inverseur, intégrateur et pseudo-intégrateur.	<i>Les amplificateurs opérationnels sont ici supposés idéaux, en fonctionnement linéaire et de gain infini.</i>
Étude de filtres simples passifs et actifs: passe-bas, passe-haut, passe-bande, déphaseur...	<i>Les filtres actifs proposés ici comportent des amplificateurs opérationnels supposés idéaux, en fonctionnement linéaire et de gain infini.</i>
Étude d'un oscillateur mécanique.	
Exemples de mesures calorimétriques.	
Étude du changement d'état d'un corps pur.	
Mesures de champ magnétique (sonde de Hall).	

## PROGRAMME DE CHIMIE

*L'enseignement de la chimie vise à faire acquérir à des étudiants qui n'ont pas pratiqué cette science dans le cycle terminal de leurs filières d'origine des connaissances et des savoir-faire tant expérimentaux que théoriques, afin que les futurs ingénieurs, chercheurs ou enseignants soient initiés à une véritable attitude scientifique. Les spécificités de cette démarche (approche expérimentale, raisonnement qualitatif ou par analogie, modélisation) sont soulignées. Les travaux pratiques et les TP-cours, sont les temps forts de cet enseignement. Le découpage en une approche théorique et une partie fondée sur les TP-cours prend acte du fait que les travaux pratiques représentent une part importante de l'horaire de chimie de la classe.*

*Un autre objectif est de faire prendre conscience aux étudiants que la chimie participe au développement des sciences et débouche sur d'importantes réalisations industrielles. Chaque fois que cela est possible, on présente les applications pratiques des notions abordées.*

*Le programme forme un ensemble cohérent réparti sur les deux années. La démarche expérimentale qui s'inscrit dans la continuité du cycle terminal du lycée doit être privilégiée. La réflexion sur les phénomènes doit primer sur toute dérive calculatoire. Les exercices qui ne font place qu'à l'application des mathématiques doivent être bannis.*

*Chaque fois que cela est possible, le micro-ordinateur interfacé doit être employé pour l'acquisition et le traitement des données expérimentales. Plus généralement, l'outil informatique est utilisé chaque fois qu'il apporte un gain de temps ou permet une amélioration de la compréhension. L'emploi de banques de données ou de logiciels scientifiques est signalé dans les différentes rubriques du programme.*

*Les TP-cours sont mis en place pour favoriser l'acquisition de connaissances dans le cadre d'un travail interactif : au tableau et sur la paillasse de démonstration pour le professeur, au tableau et sur le poste de TP pour l'étudiant. Leur durée est limitée à 2 heures prises sur la plage horaire des séances de TP. Le contenu des TP reste, dans un cadre plus souple, de la responsabilité et de la liberté pédagogique du professeur.*

*Le programme, dans son approche théorique, est soigneusement articulé et abondamment commenté, afin de bien délimiter les connaissances exigibles. Sa longueur ne présume en rien de sa lourdeur, bien au contraire.*

*Les pratiques d'évaluation impliquent la connaissance de tout le programme. Elles doivent limiter la technicité et la longueur des calculs, et être proches des réalités expérimentales ou technologiques et des applications pratiques. Les connaissances exigibles sont strictement limitées à la partie théorique du programme et aux TP-cours. Les thèmes des TP n'étant que des propositions, ils ne correspondent pas à des connaissances ou à des savoir-faire exigibles.*

# PREMIÈRE PARTIE

## I APPROCHE THÉORIQUE

### A) Architecture de la matière

Historiquement, la classification périodique émerge du constat des analogies entre les propriétés chimiques, aujourd'hui complété par celui des analogies entre propriétés atomiques.

Dans la partie I, on accède à la configuration électronique des atomes et les propriétés chimiques sont reliées aux électrons de valence.

#### Programme

#### Commentaires

### 1 - De la structure électronique de l'atome à la classification périodique

#### a) L'atome

Electrons, protons, neutrons

Le noyau : nombres Z et A, isotopes

Notion d'élément chimique.

La mole ; constante d'Avogadro, masse molaire atomique

*Du fait de l'hétérogénéité de la formation en chimie des étudiants dans le cycle secondaire technologique, on introduit ou on reprend les notions de base de structure atomique.*

#### b) Classification périodique des éléments.

Interprétation du spectre de l'hydrogène ; quantification de l'énergie ; constante de Rydberg ; Niveaux d'énergie électroniques :

$$E_n/eV = -13,6/n^2.$$

Existence de niveaux d'énergie quantifiés dans l'atome

Les nombres quantiques :  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  et  $m_s$ .

Principe de Pauli.

Configuration électronique d'un atome à l'état fondamental : règles de remplissage des cases quantiques (Hund et Klechkowski).

Électrons de cœur, électrons de valence.

Lecture de la classification périodique : familles chimiques, structure en blocs.

Périodicité des propriétés.

Évolution de quelques propriétés atomiques : énergie d'ionisation, rayons atomiques, électronégativité de Pauling.

*L'équation de Schrödinger, la notion de fonction d'onde et le modèle de Bohr ne sont pas au programme.*

*L'expérience permet de relier, dans le cas de l'hydrogène, l'énergie au nombre quantique principal  $n$ .*

*On évoque la dégénérescence de ces niveaux.*

*On affirme que l'état d'un électron peut être décrit par le quadruplet ( $n$ ,  $l$ ,  $m_l$ ,  $m_s$ ).*

*Les exceptions aux règles de remplissage sont hors programme ainsi que le modèle de Slater.*

*On présente la classification périodique en 18 colonnes recommandée par l'UICPA. La classification est très simplement justifiée par l'observation de périodicités dans la configuration fondamentale des atomes.*

*Cette rubrique s'appuie sur l'utilisation d'un logiciel ou d'une banque de données sur les éléments chimiques.*

#### c) Les ions

Définition, charges, exemples d'ions simples et d'ions complexes.

*Pour les ions simples des colonnes I, II et VII, on fait le lien avec la position de l'élément dans la classification périodique.*

## 2 - Structure électronique des molécules

Liaison covalente localisée : règle de l'octet.

*Toute théorie de la liaison covalente est hors programme.*

*Des exemples montrent les limites de la règle de l'octet.*

Formules de Lewis de molécules et d'ions polyatomiques simples.

*Les structures étudiées ne font intervenir aucun élément chimique au-delà de l'argon, à l'exception du brome et de l'iode.*

*On rencontre des espèces pour lesquelles plusieurs formules de Lewis peuvent être proposées, mais l'étude en tant que telle de la mésomérie est hors programme.*

*La prévision de la géométrie de molécules ou d'ions par la méthode VSEPR est hors programme.*

## 3 – La réaction chimique

Équation bilan, coefficients stoechiométriques, avancement d'une réaction, avancement maximum, taux d'avancement.

*Les coefficients stoechiométriques sont des nombres sans dimension ; on insiste sur l'absence de lien entre les coefficients stoechiométriques et les quantités initiales.*

Notion d'équilibre chimique.

*On note  $\xi$  l'avancement de réaction.*

## 4 – L'état solide cristallin

Exemples de cristaux métalliques, ioniques, covalents et moléculaires.

*On présente la structure cristalline comme un cas particulier de l'état solide.*

*Il s'agit ici de donner un aperçu rapide de la structure des édifices chimiques cristallins uniquement sur les structures cubique centrée et cubique faces centrées, et d'indiquer la formule chimique qui représente le solide dans une équation bilan.*

*Toute théorie concernant les types de liaisons rencontrés dans les solides est hors programme ainsi que tout calcul de cristallographie (compacité, masse volumique ...).*

*La notion de site interstitiel est hors programme.*

## DEUXIÈME PARTIE

### II APPROCHE THÉORIQUE (DEUXIÈME PARTIE)

#### B) Réactions en solutions

*Ce paragraphe est traité en relation étroite avec les travaux pratiques : les méthodes physiques de suivi d'une réaction en solution aqueuse (conductimétrie, potentiométrie, pH-métrie) sont privilégiées.*

*L'objectif du programme est de fournir les bases nécessaires à la compréhension des réactions en solution aqueuse en mettant l'accent sur les réactions acido-basiques et les processus d'oxydoréduction.*

*En première année, l'étude des piles a comme objectif essentiel de fonder les connaissances de base et les méthodes expérimentales en potentiométrie.*

*La réflexion sur les phénomènes est privilégiée en évitant tout calcul excessif.*

*L'étude des réactions de précipitation et de complexation n'est pas abordée.*

Programme	Commentaires
<b>1. Évolution d'un système chimique vers un état d'équilibre. Loi de l'équilibre chimique.</b>	<i>Ce paragraphe est une introduction à traiter brièvement : les notions sont établies et précisées en seconde année. L'enthalpie libre et l'affinité chimique sont hors programme en première année.</i>
Expression du quotient de réaction $Q$ . Activité d'une espèce chimique.	<i>L'évolution d'un système chimique (qu'on relie à l'avancement) est associée à la variation de son quotient de réaction <math>Q</math>. Pour chaque cas, on affirme l'expression de l'activité qui tient compte de l'état physique de l'espèce considérée. La loi d'évolution est admise sous la forme suivante : le système évolue de façon que le quotient de réaction <math>Q</math> tend vers une valeur <math>K^0</math> qui ne dépend que de la température pour une réaction donnée. À l'équilibre chimique, <math>Q = K^0</math>.</i>
Constante thermodynamique (constante d'équilibre) $K^0(T)$ .	
Notion d'état d'équilibre chimique. Cas des réactions totales ou nulles.	
<b>2 – L'eau liquide et l'eau solvant</b>	
Propriétés de l'eau liquide ; paramètres caractérisant l'eau en tant que solvant polaire ionisé et ionisant ; dissolution ; hydratation ; produit ionique de l'eau.	
<b>3 – Réactions acido-basiques</b>	
<b>3 -1 Équilibres acido-basiques.</b>	
Couple acide-base.	<i>Il s'agit d'une introduction à partir d'exemples concrets, destinée à faire acquérir aux étudiants un peu de culture chimique.</i>
Couples acido-basiques de l'eau.	<i>L'usage distingue les acides forts et les acides faibles, ainsi que les bases fortes et les bases faibles.</i>
Réaction acido-basique par transfert de proton entre l'acide d'un couple et la base d'un autre couple.	
Constante d'acidité d'un couple en solution aqueuse, $pK_a$	<i>On se limite aux espèces solubles.</i>
Domaines de prédominance des espèces acido-basiques en fonction du pH.	
Classification des couples acide/base.	

### 3 -2 Préviation des réactions acido-basiques

Calcul de la constante d'équilibre d'une réaction acide-base à partir des  $pK_a$  ; prévision du caractère total ou nul de la réaction par évaluation de  $\Delta pK_a$ .  
Règle du  $\gamma$  .

Cas où plusieurs réactions acide-base sont possibles, réaction prépondérante.

$pH$  d'une solution d'un acide fort, d'une base forte, d'un acide faible, d'une base faible.

### 4. Oxydoréduction.

#### 4.1 Équilibres d'oxydo-réduction.

Couple oxydant-réducteur.

Couples oxydant-réducteur de l'eau.

Réaction d'oxydo-réduction par transfert d'électron entre le réducteur d'un couple et l'oxydant d'un autre couple.

#### 4.2 Piles électrochimiques.

Approche phénoménologique d'une pile électrochimique : existence d'un courant, déroulement d'une réaction chimique, polarité des électrodes, anode et cathode, force électromotrice.

Notion de potentiel d'électrode.

Nécessité d'un potentiel origine : électrode standard à hydrogène.

Potentiels standard.

Formule de Nernst.

Calcul de la constante d'équilibre à partir des potentiels standard.

#### 4.3 Préviation d'une réaction d'oxydo-réduction.

Domaines de prédominance de l'oxydant et du réducteur en fonction du potentiel. Application à la préviation d'une réaction d'oxydo-réduction.

Intérêt d'une échelle de potentiels standard pour la préviation des réactions d'oxydo-réduction.

Règle du  $\gamma$ .

*À l'aide de quelques exemples, on dégage un critère thermodynamique opérationnel simple (écart de  $pK_a$  d'au moins 4) qui permet de considérer la réaction comme quantitative dans un sens précis.*

*La réflexion sur les phénomènes est privilégiée, on évite tout calcul excessif en se limitant à des situations où une réaction, la réaction prépondérante, permet simplement de déterminer l'état final d'un système.*

*Tout autre calcul de  $pH$  est hors programme.*

*Seule la méthode de la réaction prépondérante est exigible.*

*On rapproche cette étude de celle des réactions acide-base*

*On introduit les nombres d'oxydation au fil des besoins.*

*La formule de Nernst est admise.*

*On se limite aux espèces dissoutes.*

*À l'aide de quelques exemples, on dégage un critère thermodynamique opérationnel simple (écart de potentiels standard de l'ordre de quelques dixièmes de Volt) qui permet de considérer la réaction comme quantitative dans un sens précis.*



## C) Thermodynamique des systèmes chimiques

Cette partie est développée en relation avec le programme de thermodynamique physique. L'objectif est double :

- illustrer sur les systèmes chimiques la pertinence du bilan enthalpique pour accéder aux effets thermiques en réacteur isobare,
- apprendre à calculer l'enthalpie standard de réaction pour une température quelconque.

### Programme

### Commentaires

#### 1. Modèles de transformation.

Réacteurs isobares, réacteurs isothermes ou adiabatiques. Chaleur reçue lors d'une évolution isobare.

*Ces modèles de réacteur sont simplement cités pour mieux expliciter le lien avec le cours de physique.*

#### 2. Grandeurs standard de réaction.

État standard et grandeurs molaires standard d'un constituant pur.

*Le programme se limite à l'étude des transformations isobares et privilégie l'enthalpie par rapport à l'énergie interne.*

Grandeur standard  $\Delta_r H^0(T)$  de réaction chimique.

*On ne se préoccupe pas dans un premier temps d'utiliser des tables de grandeurs standard : les grandeurs  $\Delta_r H^0(T)$  nécessaires aux applications sont simplement données.*

Signe de  $\Delta_r H^0(T)$  : définition d'une réaction endothermique ou exothermique.

Effets thermiques en réacteur isobare :

*La mesure d'une enthalpie standard de réaction fait l'objet d'un TP-cours.*

chaleur reçue (ou transfert thermique)  $Q$  en réacteur isobare isotherme :

relation  $\Delta H = Q = \xi \Delta_r H^0$ .

Variation de température en réacteur adiabatique isobare : bilan enthalpique et échauffement du réacteur siège d'une réaction exothermique.

*On traite en travaux dirigés l'exemple d'une transformation isobare rapide (température de flamme) en insistant sur le fait que la démarche (bilan enthalpique en réacteur isobare adiabatique) est identique à celle qui traduit le bilan enthalpique dans un calorimètre isobare.*

*On se limite au cas où les  $C_{p,m}$  sont indépendants de la température et on admet l'additivité des capacités thermiques isobares des constituants gazeux du mélange.*

#### 3. Utilisation des tables de grandeurs thermodynamiques standard.

Enthalpie standard de formation d'un corps pur ; état standard de référence.

*Application au calcul d'une enthalpie standard de réaction à 298 K à l'aide des tables d'enthalpies standard de formation.*

Variation de  $\Delta_r H^0$  avec la température (relation de Kirchhoff) en l'absence de changement d'état.

*On se limite au cas où  $\Delta_r C_p^0$  est indépendant de la température.*

Discontinuité de  $\Delta_r H^0$  lors du changement d'état physique d'une espèce figurant dans l'équation de réaction.

*Les enthalpies standard de liaison, d'ionisation, d'attachement électronique et réticulaire sont hors programme.*

Enthalpies de changement d'état (ou chaleurs latentes) : fusion, vaporisation et sublimation

### III APPROCHE EXPÉRIMENTALE (DEUXIÈME PARTIE)

*L'utilisation d'un ordinateur, pour l'acquisition et le traitement de données expérimentales ou pour comparer les résultats des mesures aux données théoriques évite des calculs répétitifs et favorise la représentation graphique des résultats. On peut ainsi faire varier les conditions d'expérimentation, montrer l'influence de certains paramètres et renforcer le lien entre les modèles mis en jeu par la théorie et les travaux expérimentaux.*

*La méthode de régression linéaire est exploitée sur ordinateur ou calculatrice.*

*Aucune connaissance spécifique sur les appareils (réglage, standardisation) et sur la constitution des électrodes utilisées n'est exigible. En particulier, le principe et la description de l'électrode indicatrice du pH et de l'électrode de référence sont hors programme.*

*Toute étude systématique des équations des courbes de dosage en fonction du volume versé est hors programme. Si les équations de ces courbes sont nécessaires, elles doivent être données.*

#### A. TP-COURS.

*La rédaction des rubriques TP-cours est détaillée car elles constituent un ensemble de connaissances et de compétences exigibles.*

#### Programme

#### Commentaire

##### **TP-cours : Suivi d'un dosage acido-basique par conductimétrie.**

Principe des méthodes conductimétriques.

Notion de dosage : réaction quasi-totale

Tracé de la courbe de dosage.

Détermination et exploitation de l'équivalence pour le calcul d'une concentration.

*Ce TP-cours est traité en continuité avec le cours de physique. Il s'agit essentiellement d'utiliser la relation entre la conductivité de la solution et la résistance d'une portion de cette solution, pour fonder le principe des mesures en conductimétrie.*

##### **TP-cours : Suivi d'un dosage par pH-métrie**

Tracé de la courbe d'évolution du pH lors du dosage.

Détermination et exploitation de l'équivalence pour le calcul d'une concentration.

Indicateurs colorés. Application au dosage par colorimétrie.

*On se limite aux situations où l'espèce titrante est forte.*

##### **TP-cours : Suivi d'un dosage par potentiométrie.**

Principe des méthodes potentiométriques : mise en œuvre d'une pile.

Exploitation de la courbe de dosage pour le calcul de constantes thermodynamiques : potentiels standard .

*Il s'agit de montrer que seules des réactions dont la constante d'équilibre est suffisamment grande peuvent donner lieu à un dosage.*

*On explicite sur un schéma le principe de la pile utilisée.*

*L'utilisation d'une carte d'acquisition et les outils numériques peuvent aider au tracé de la courbe de dosage et à la détermination graphique des points particuliers.*

##### **TP-cours : Mesure d'une enthalpie standard de réaction.**

Réalisation d'une transformation chimique en réacteur adiabatique isobare (calorimètre).

Bilan enthalpique.

*On revient sur la distinction entre la transformation chimique et l'équation de réaction et on explicite le bilan enthalpique; on admet l'additivité des capacités thermiques isobares des constituants de la solution diluée.*

## **B. TRAVAUX PRATIQUES**

*Les thèmes de travaux pratiques ne sont que des propositions ; les sujets, le contenu et l'organisation des séances relèvent de l'initiative pédagogique du professeur. Les thèmes, méthodes et montages mentionnés ici ne sont donc pas exigibles.*

### **Thèmes**

Présentation et utilisation du matériel et de la verrerie du laboratoire de chimie.

*Cette séance de TP donne aux étudiants l'occasion de réaliser quelques manipulations (dilution, dissolution, ...) et d'observer quelques caractéristiques de réactions simples (thermiques, cinétiques, de précipitation, ...).*

Méthodes de dosage volumétrique à l'aide d'indicateurs colorés.

Réactions de précipitation; dosages par précipitation.

Détermination de constantes thermodynamiques en solution aqueuse : constante d'acidité, potentiels standard.

Étude cinétique d'une réaction.

### **Annexe : matériel et supports logiciels**

*La liste explicite le matériel et les outils logiciels qui permettent la mise en œuvre du programme.*

#### **Matériel :**

*PH-mètre*

*Millivoltmètre*

*Électrode indicatrice du pH.*

*Électrodes d'argent et de platine.*

*Électrode de référence.*

*Conductimètre.*

*Bain thermostatique.*

*Verrerie courante de laboratoire.*

*Balance électronique.*

*Modèles cristallins.*

#### **Outils logiciels**

*Base de données sur la classification périodique.*

*Logiciel de visualisation de modèles cristallins.*

*Logiciel de simulation de réactions chimiques en solution aqueuse.*

*Outils de régression linéaire et de modélisation.*