

# **OBJECTIFS DE FORMATION ET PROGRAMME DE SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES CLASSES SPECIALES ATS**

## **OBJECTIFS DE FORMATION**

Depuis plusieurs années, les grandes écoles d'ingénieurs accueillent des étudiants titulaires d'un BTS ou d'un DUT. La plupart d'entre eux ont besoin d'un enseignement de réorientation pour suivre avec profit les études d'ingénieur. C'est à eux que s'adresse la filière ATS.

Pendant leurs années d'étude en section de techniciens supérieurs ou en institut universitaire de technologie, les étudiants ont bénéficié d'une formation en physique adaptée aux besoins de la spécialité choisie. Cette formation met davantage l'accent sur l'étude des applications que sur celle des concepts théoriques des champs de la physique sur lesquels s'appuient ces applications ; la démarche de la modélisation a ainsi été privilégiée.

En classe de spéciales ATS, il est demandé aux étudiants de prendre du recul par rapport à leurs savoirs opérationnels afin de progresser vers une approche plus conceptuelle. C'est cette greffe d'un enseignement plus théorique sur une pratique professionnelle maîtrisée à un certain niveau qui fait l'originalité et la richesse de cette filière. L'enseignement des sciences physiques et chimiques s'inscrit dans cette perspective ; il a vocation à apporter les connaissances fondamentales indispensables à la formation générale du futur ingénieur.

La formation dispensée au cours de l'année de préparation doit, par une approche équilibrée entre théorie et expérience, apporter à l'étudiant les outils conceptuels et méthodologiques, pour lui permettre de mieux comprendre le monde naturel et technique qui l'entoure, et de faire l'analyse critique des phénomènes étudiés.

Dans un monde en évolution rapide, où une somme énorme de connaissances est disponible, l'enseignement dispensé par le professeur doit éveiller la curiosité face au monde réel, promouvoir le sens de l'observation qui est à l'origine de la plupart des grandes découvertes, et développer chez l'étudiant le goût de l'expérience et du concret. L'objectif essentiel est que l'étudiant comprenne mieux l'impact de la science et que, plus assuré dans ses connaissances, il soit préparé à poursuivre son cursus d'études dans une grande école.

La méthode scientifique utilisée, empreinte de rigueur et de sens critique permanent, doit permettre à l'étudiant, sur toute question du programme :

- de communiquer l'essentiel des résultats sous forme claire et concise, tant à l'oral qu'à l'écrit ;
- d'en analyser la pertinence : modèle utilisé, limites du modèle, influence des paramètres, homogénéité des formules, symétries, interprétation des cas limites, ordres de grandeur et précision ;
- d'en rechercher sans encyclopédisme l'impact pratique.

La modélisation, la mise en équations, la résolution mathématique (souvent algorithmique à ce stade) sont essentielles, mais ne doivent en aucun cas devenir prioritaires par rapport à la compréhension physique du phénomène étudié. Les exercices et les problèmes nécessitant le recours à une technicité mathématique excessive sont à éviter.

## PROGRAMME

### Préambule

Le programme, dans son approche théorique, est soigneusement articulé. Cela ne préjuge en rien de l'ordre de présentation, pour lequel le professeur a toute latitude.

Le programme de sciences physiques et chimiques s'articule, autour de connaissances fondamentales, en six parties : l'architecture de la matière, la mécanique, l'électromagnétisme, l'optique, la thermodynamique et les équilibres chimiques en solutions aqueuses.

Les applications aux systèmes industriels ont été privilégiées. D'une manière générale, pour chacun des champs disciplinaires au programme, les applications sont étudiées, lorsque cela s'avère possible, en liaison avec les connaissances théoriques et pratiques, acquises par les étudiants durant leurs années d'étude en section de techniciens supérieurs ou en institut universitaire de technologie.

Le programme a été rédigé et abondamment commenté dans le but d'éviter toute dérive inflationniste.

Les spécificités de la démarche expérimentale (approche expérimentale, raisonnement qualitatif ou par analogie) sont soulignées. L'expérimentation occupe une place importante dans les activités des étudiants. Certaines parties du programme, comme l'étude de l'électrocinétique, sont traitées, en ce qui concerne les sciences physiques, exclusivement en travaux pratiques, en liaison avec leur enseignement en génie électrique.

L'utilisation de l'ordinateur en travaux pratiques ou lors d'expériences de cours, pour l'acquisition et le traitement de données expérimentales, de façon à tester des modèles de divers niveaux d'élaboration, renforce le lien entre la théorie et les travaux expérimentaux. Dans des situations qui se prêtent mal à une expérimentation personnelle, l'ordinateur pourra être utilisé pour présenter des résultats expérimentaux ou des simulations ; ces dernières ne pourront cependant jamais se substituer à l'expérience. Plus généralement, on pourra utiliser l'ordinateur à chaque fois que celui-ci peut apporter un gain de temps ou une amélioration de la compréhension. Selon les circonstances, il pourra être fait appel aux divers services offerts par l'appareil, notamment par des logiciels traitant de problèmes scientifiques, des logiciels de calcul formel et de présentation graphique, ainsi que des logiciels généraux (traitement de texte, tableur, base de données).

# 1 - L'architecture de la matière

## Programme

## Commentaires

### 1.1 L'atome

- Electrons, protons, neutrons.
- Le noyau : nombres  $Z$ ,  $A$ , isotopes.
- Masse molaire atomique : constante d'Avogadro, mole

### 1.2 Classification périodique des éléments

- Interprétation du spectre de l'atome d'hydrogène ; quantification de l'énergie.
- Définition des nombres quantiques ; construction des premières lignes de la classification périodique à l'aide du principe de Pauli et des règles de Hund et de Klechkowsky.
- Périodicité des propriétés.

*On mettra en évidence les évolutions et les analogies dans les colonnes et dans les lignes, y compris dans les séries de transition.*

*Les nombres quantiques seront définis à la seule fin de construire les premières lignes de la classification périodique.*

*On présentera seulement la classification en 18 colonnes recommandée par l'UICPA (1989). On citera des exemples aussi variés que possible.*

### 1.3 Les ions

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

### 1.4 Les molécules

- Liaison de valence localisée ; notation de Lewis ; règle de l'octet.

*La méthode VSEPR et toute théorie de la liaison covalente sont hors programme.*

### 1.5 L'état cristallin

- Exemples de cristaux métalliques, ioniques, covalents et moléculaires.

*Il s'agit ici de donner un aperçu rapide de la structure des édifices chimiques cristallins en s'appuyant sur quelques exemples, et d'indiquer la formule chimique qui représente le solide dans une équation bilan. Toute théorie concernant les types de liaison rencontrés dans les solides est hors programme ainsi que tout calcul de cristallographie.*

### 1.6 La réaction chimique

- Coefficients stœchiométriques, équation bilan.
- Description d'un système fermé en réaction chimique : avancement  $\xi$  de la réaction.

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

## 2 - Mécanique

Le programme de mécanique est centré sur la mécanique newtonienne du point matériel.

L'étude de la mécanique du solide sera menée en liaison avec l'enseignement dispensé en génie mécanique.

La mécanique des fluides est hors programme.

La mécanique du solide ne peut intervenir dans un problème qu'en tant que partie non prépondérante.

### Programme

### Commentaires

#### 2.1 Mécanique newtonienne du point matériel

- Domaine de validité de la mécanique newtonienne.
- Espace et temps. Vitesse et accélération dans un référentiel.
- Exemples de mouvements : rectiligne, circulaire, hélicoïdal.
- Changement de référentiel ; lois de composition des vitesses et des accélérations.
  
- Les trois lois de Newton de la mécanique :
  - principe d'inertie,
  - relation fondamentale de la dynamique,
  - principe dit "de l'action et de la réaction" ou "des actions mutuelles".
- Relativité galiléenne, référentiels non galiléens, forces d'inertie.
- Quantité de mouvement, moment cinétique.
- Théorème du moment cinétique en un point fixe.
- Puissance et travail d'une force, énergie cinétique, énergie potentielle, énergie mécanique.
- Théorèmes de la puissance et de l'énergie cinétiques.
- Lois de conservation : conditions et implications de la conservation de la quantité de mouvement, du moment cinétique, et de l'énergie mécanique.

*On fera la distinction entre base de projection et référentiel ; on donnera des exemples de bases mobiles dans le référentiel d'étude.*

*On distinguera le point mobile et le point d'un référentiel avec lequel il y a coïncidence instantanée (point coïncidant). On introduira la notion de mouvement d'entraînement. Les formules de changement de référentiel ne concerneront que le cas de la translation, et celui où l'un des référentiels est animé par rapport à l'autre d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe.*

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

*On donnera des exemples de forces conservatives, c'est-à-dire dérivant d'une fonction énergie potentielle.*

*Les chocs de particules et la notion de masse réduite sont hors programme, de même que les systèmes ouverts (notamment les systèmes faisant intervenir une masse variable avec le temps, tels les fusées). L'étude de l'équilibre d'un point matériel et de la stabilité de cet équilibre est faite à partir de l'énergie potentielle.*

#### 2.2 Applications

- Mouvement à force centrale.
- Cas des forces centrales conservatives ; états liés et états de diffusion.
- Potentiel newtonien.
  
- Force de Lorentz, mouvement d'une particule chargée non relativiste dans un champ électrique ou magnétique uniforme(s) et indépendant(s) du temps.

*Le pôle d'attraction ou de répulsion est considéré comme fixe.*

*On dégagera les notions d'états liés et d'états de diffusion en utilisant les intégrales premières du mouvement.*

*L'établissement de l'équation polaire de la trajectoire est hors programme, de même que le calcul de la déviation par diffusion de Rutherford. On mentionnera l'analogie entre champ gravitationnel et champ électrostatique.*

- Oscillateurs linéaires :

*Un oscillateur linéaire est régi par une - ou plusieurs - équation(s) différentielle(s) que l'on peut mettre sous la forme canonique :*

$$\ddot{X} + 2M\omega_0\dot{X} + \omega_0^2 X = F(t) \text{ ou } \ddot{X} + \frac{\omega_0}{Q}\dot{X} + \omega_0^2 X = F(t)$$

avec :

$\omega_0$  : pulsation propre ;

$M$  : facteur d'amortissement relatif ;  $Q$  : facteur de qualité

- Oscillateur harmonique non amorti.

*On montrera que la conservation de l'énergie limite l'amplitude des oscillations libres, et peut suffire à entraîner, dans un cas à une dimension, leur caractère périodique, sans qu'elles soient nécessairement sinusoïdales.*

- Oscillateur harmonique à une dimension, amorti par frottement fluide ; temps de relaxation, facteur de qualité.

*L'étude des oscillateurs permettra de revenir sur la stabilité de l'équilibre et la notion de puits d'énergie potentielle. L'oscillateur paramétrique, les oscillateurs couplés et les notions d'espace et de portrait de phase sont hors programme.*

- Oscillations libres, oscillations forcées, résonance.

*On se limitera à l'étude des résonances d'amplitude et de vitesse.*

- Analogies électromécaniques.

*Quand l'état d'avancement du cours de génie électrique le permettra, on dégagera des analogies électromécaniques et on présentera divers oscillateurs en travaux pratiques d'électronique. On se limitera aux analogies formelles force-tension, élongation-charge, et vitesse-intensité.*

### 2.3 Mécanique du solide

- Centre de masse. Quantité de mouvement totale – ou résultante cinétique –, moment cinétique et énergie cinétique.
- Actions extérieures et intérieures. Principe des actions mutuelles.
- Théorème de la résultante cinétique et du mouvement du centre de masse.
- Théorème du moment cinétique en un point fixe, et en projection sur un axe fixe.
- Puissance et travail d'un ensemble d'actions ; énergie potentielle. Théorème de l'énergie cinétique. Énergie mécanique ; conditions et implications de sa conservation.

*On s'intéresse au solide en translation ou en rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel d'étude.*

*On insistera sur le fait que le théorème de la résultante cinétique ne concerne que le mouvement du centre de masse du système et on soulignera le lien avec la relation fondamentale de la dynamique.*

### 3 - Electromagnétisme

L'ensemble de l'électrostatique et de la magnétostatique n'est pas centré sur les calculs, mais sur les propriétés des champs. L'intérêt des propriétés de symétrie et d'invariance des champs polaires et axiaux sera souligné. Aucune technicité mathématique superflue ne sera recherchée dans les calculs ; on privilégiera les situations proches du cours et d'intérêt pratique évident. L'accent sera mis sur la comparaison des propriétés respectives du champ électrostatique et du champ magnétostatique. Les applications industrielles des forces magnétiques et du phénomène d'induction électromagnétique seront soulignées.

#### Programme

#### Commentaires

#### 3.1 Electrostatique du vide

##### a) Champ et potentiel électrostatiques

- Distributions et densités de charges. Loi de Coulomb. Champ électrostatique  $\vec{E}$ , sa topographie ; théorème de superposition. Propriétés de symétrie et caractère polaire du champ  $\vec{E}$ .
- Potentiel électrostatique, théorème de superposition.
- Flux du champ électrostatique, théorème de Gauss.
- Formulation locale des lois de l'électrostatique.

##### b) Aspect énergétique

- Energie potentielle d'une charge dans un champ électrostatique extérieur.

##### c) Dipôle électrostatique

- Dipôle électrostatique : moment dipolaire électrique ; actions subies par le dipôle dans un champ électrique uniforme.

##### d) Les condensateurs

- Conducteur en équilibre électrostatique, propriétés de l'état d'équilibre, théorème de Coulomb.
- Le condensateur : système de deux conducteurs en équilibre électrostatique et influence totale.

Condensateur plan idéal.

Energie d'un condensateur.

*On se limitera à des distributions de charges simples.*

*On pourra présenter quelques exemples de topographie du champ à l'aide d'un logiciel.*

*On se limitera à la recherche des invariances par translation et par rotation, et à la recherche des plans de symétrie et d'antisymétrie de la distribution de charges.*

*On insistera sur l'intérêt du théorème de Gauss et on évitera toute dérivation calculatoire.*

*Il s'agit ici d'un ensemble rigide de deux charges  $-q$  et  $+q$ . Des exemples seront choisis dans le domaine de la chimie.*

*Les expressions du champ et du potentiel créés sont hors programme, de même que tout développement multipolaire.*

*Une étude théorique générale de l'équilibre d'un système de conducteurs (théorème d'unicité, coefficients d'influence, pression électrostatique...) est exclue.*

*On mentionnera les limites du modèle.*

*On introduira, dans le cas du condensateur plan idéal, la valeur de la densité volumique  $\epsilon_0 E^2/2$  ; on admettra la validité générale de cette expression ; l'expression de l'énergie électrostatique en fonction du potentiel et de la densité volumique de charge est en dehors du programme, de même que la détermination d'actions mécaniques d'origine électrostatiques par des bilans énergétiques.*

*On mentionnera pour un condensateur à diélectrique linéaire homogène isotrope la relation  $C = C_0 \epsilon_r$ , dans laquelle  $\epsilon_r$  représente la permittivité relative du diélectrique.*

### 3.2 Lois générales de l'électrocinétique dans le cadre de l'approximation des états quasi stationnaires

- Courant, intensité, densité de courant, conservation de la charge, tension, loi des nœuds, loi des mailles.
- Caractéristique d'un dipôle ; conductivité, loi d'Ohm.
- Puissance électrocinétique reçue par un dipôle. Caractères générateur et récepteur. Bilans de charge et d'énergie.

*Le cadre précis de l'approximation des états quasi stationnaires est hors programme – on se contentera d'affirmer les modalités d'application pratique des lois. On établira la formulation locale de la loi de conservation de la charge dans le cas à une dimension. On insistera sur la nécessité d'une convention d'orientation des courants et des tensions.*

*La forme locale de la loi d'Ohm sera présentée comme phénoménologique, sans justification microscopique.*

*On se limite à la conductibilité électrique des métaux.*

*Les différents domaines de la physique et de la chimie où apparaissent des bilans-conservations sont suffisamment étendus pour que le programme revienne fréquemment sur ces bilans.*

### 3.3 Magnétostatique du vide

- Distributions et densités de courants.
- Le champ magnétique  $\vec{B}$  ; sa topographie.
- Loi de Biot et Savart pour un circuit filiforme. Théorème de superposition.
- Propriétés de symétrie et caractère axial du champ magnétique  $\vec{B}$ . Comparaison avec les propriétés de symétrie du champ électrique.
- Circulation de  $\vec{B}$  ; théorème d'Ampère ; formulation locale.
- Champs magnétiques d'une spire circulaire et d'un solénoïde circulaire ; limite du long solénoïde. Champ magnétique d'un fil rectiligne illimité.
- Conservation du flux de  $\vec{B}$ . Formulation locale.

*On se limitera à des distributions de courants simples.*

*On se bornera à présenter des cartes de champ en tant que résultats expérimentaux, ou obtenus à l'aide d'un logiciel, et à commenter l'allure de celles-ci.*

*La loi de Biot et Savart sera admise sans démonstration.*

*On se limitera à la recherche des invariances par translation et par rotation, et à la recherche des plans de symétrie et d'antisymétrie de la distribution de courants.*

*On montrera l'intérêt du théorème d'Ampère et on évitera toute dérive calculatoire.*

*Aucune technicité mathématique ne sera recherchée en tant que telle dans les calculs ; ces derniers ne concerneront que des situations proches de celles décrites dans le cours, et d'intérêt pratique évident.*

### 3.4 Action d'un champ magnétique sur un courant

- Force de Lorentz ; effet Hall.
- Force de Laplace, travail des forces de Laplace.
- Dipôle magnétique : actions subies dans un champ magnétique uniforme, moment dipolaire magnétique.

*On pourra, en travaux dirigés, étudier l'exemple du moteur à courant continu, et du moteur pas-à-pas.*

*Il s'agit ici d'une "petite" boucle de courant.*

*Les expressions du potentiel-vecteur et du champ magnétique créés sont hors programme.*

### 3.5 Phénomènes d'induction électromagnétique

- Loi de Lenz-Faraday, force électromotrice d'induction pour un circuit filiforme, champ électromoteur.
- Induction propre, induction mutuelle.
- Energie magnétique.

*On soulignera les applications industrielles des phénomènes d'induction électromagnétique.*

*On considérera le cas du déplacement d'un circuit dans un champ magnétique stationnaire et le cas d'un circuit fixe dans un champ magnétique variable. La notion de champ électromoteur n'est pas exigible. Lors des travaux dirigés, on pourra étudier le principe de fonctionnement du convertisseur asynchrone.*

*Les coefficients d'auto-inductance seront calculés dans des cas de géométries simples, ne nécessitant aucune technicité mathématique ; le coefficient de mutuelle inductance sera défini dans le cas de deux circuits filiformes.*

*On se limitera au cas d'un ou deux circuits filiformes fixes ; on reliera cette énergie à la valeur des intensités. On introduira à propos du solénoïde infini la densité d'énergie  $B^2/2\mu_0$  et on admettra la validité générale de cette expression.*



### 3.6 Equations de Maxwell dans le vide

- Forme locale et forme intégrale des équations de Maxwell dans le vide. Formulation locale du principe de conservation de la charge.
- Cas particulier des champs permanents.
- Existence des potentiels vecteur  $\vec{A}$  et scalaire  $V$ .
- Densité volumique d'énergie électromagnétique.
- Vecteur de Poynting et puissance rayonnée.

*Le formalisme quadridimensionnel et les transformations relativistes des champs sont hors programme.*

*Tout calcul de  $\vec{A}$  est exclu.*

*L'expression de la densité volumique d'énergie électromagnétique sera postulée ; sa validité pourra être vérifiée sur les exemples du condensateur plan idéal et du solénoïde illimité. L'identité de Poynting est hors programme.*

### 3.7 Ondes électromagnétiques

- Equation de propagation du champ électromagnétique dans une région sans charge ni courant. Structure de l'onde plane ; onde plane progressive. Cas particulier de l'onde plane progressive monochromatique ; pulsation, vecteur d'onde, célérité (ou vitesse de phase).

*Les potentiels retardés sont hors programme. La propagation des ondes électromagnétiques concerne les seuls milieux assimilables au vide pour la propagation.*

*Les notions de paquet d'onde et de vitesse de groupe sont hors programme. On présentera la structure de l'onde plane en polarisation rectiligne seulement.*

### 3.8 Optique physique : interférences non localisées de deux ondes cohérentes

- Différence de phase, différence de marche, ordre d'interférence et intensité lumineuse en un point du champ d'interférence de deux ondes monochromatiques cohérentes.

*On se limitera, lors de l'étude de l'optique physique, au domaine d'approximation où une description par des ondes scalaires est suffisante. Toute étude générale de la cohérence est exclue ainsi qu'une description exhaustive des dispositifs diviseurs d'onde.*

*Le calcul n'est développé que dans le cas des fentes d'Young.*

*L'étude du concept de localisation des franges est hors programme.*

## 4 - Optique géométrique

L'enseignement de l'optique géométrique est essentiellement expérimental ; seules des épreuves à caractère expérimental pourront avoir comme objet principal l'optique géométrique.

L'étude de cette partie sera menée essentiellement dans le cadre de travaux pratiques, au cours desquels les étudiants se familiariseront avec des montages simples. De cette approche empirique et expérimentale, on dégagera et on énoncera quelques lois générales. Le caractère expérimental de l'enseignement donnera inévitablement au professeur l'occasion de faire observer des phénomènes tels que les aberrations, dont le traitement est hors programme. On se bornera, dans ces conditions, à l'observation de ces phénomènes, en l'accompagnant éventuellement d'un bref commentaire, mais on ne cherchera pas à en rendre compte par une théorie détaillée.

#### Programme

- Approximation de l'optique géométrique, rayon lumineux .
- Réflexion, réfraction, indice de réfraction, lois de Snell-Descartes.
- Objet et image, stigmatisme.
- Miroir plan.
- Dioptré plan, lentilles sphériques minces dans l'approximation de Gauss.

#### Commentaires

*On se limitera à une présentation qualitative de l'approximation de l'optique géométrique. Le principe de Fermat est hors programme.*

*On mentionnera l'existence de milieux dispersifs. L'étude du prisme sera conduite en travaux pratiques.*

*Dans le cas des lentilles minces, les milieux extrêmes seront supposés d'indices égaux et on se contentera d'établir les relations de conjugaison avec origine au centre optique, la propriété et la position des plans focaux étant admises : l'essentiel est de maîtriser la construction de l'image d'un objet.*

*L'étude du dioptré sphérique est hors programme.*



## **5 - Thermodynamique**

Le but recherché est la compréhension des deux principes de la thermodynamique et l'étude de leurs applications à des systèmes simples, notamment industriels.

Le professeur s'attachera, chaque fois que cela sera possible, à choisir des exemples concrets. Il insistera sur l'intérêt de l'utilisation de modèles destinés à représenter les phénomènes réels. Toute dérivation calculatoire – dans l'utilisation de dérivées partielles, notamment – sera évitée, et l'accent sera mis sur les bilans et les échanges d'énergie et d'entropie.

Les grandeurs massiques seront notées en lettres minuscules (par exemple  $h$  pour l'enthalpie massique) et les grandeurs molaires seront notées en majuscules avec l'indice  $m$  (par exemple  $H_m$  pour l'enthalpie molaire).

Toute notion de thermodynamique statistique est hors programme.

### **Programme**

### **Commentaires**

#### **5.1 Systèmes thermodynamiques**

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Système en équilibre thermodynamique, système ouvert ou fermé, système homogène, hétérogène, isotrope ; phase.</li> <li>- Variables thermodynamiques d'état ; variables extensives et intensives.<br/>Pression.<br/>Température.</li> <li>- Equation d'état.</li> <li>- Evolution d'un système : vitesse d'évolution, temps caractéristique associé aux divers paramètres d'un système évoluant vers un état final d'équilibre.</li> <li>- Transformations réversibles et irréversibles ; évolutions quasistatiques.</li> <li>- Systèmes isolés. Systèmes non isolés : systèmes pour lesquels se produit avec l'extérieur un transfert.</li> </ul> | <p><i>On s'attachera à dégager le but et l'universalité de la thermodynamique. Le passage d'une description microscopique à une description macroscopique conduit à des grandeurs, moyennes des grandeurs microscopiques, mais de plus nécessite l'introduction de grandeurs thermodynamiques spécifiques (température, entropie). On présentera sans développement des exemples de systèmes les plus variés possibles (fluides, systèmes électrostatiques, électrochimiques, chimiques, machines thermiques...).</i></p> <p><i>On indiquera que l'influence de la pesanteur sur la répartition de la pression est négligeable dans les systèmes usuellement étudiés en thermodynamique.</i></p> <p><i>Une équation d'état relie certains paramètres du système à l'équilibre. On donnera d'autres exemples que celui des fluides : condensateur plan avec diélectrique, fil élastique...</i></p> <p><i>On donnera sous forme exclusivement descriptive des exemples de situations pour lesquelles le système peut être considéré comme en équilibre vis-à-vis de certaines variables à constantes de temps brèves et hors d'équilibre vis-à-vis d'une ou plusieurs variables à évolution beaucoup plus lente.</i></p> <p><i>Une évolution quasistatique est définie comme une évolution très lente, au cours de laquelle les paramètres intensifs du système restent définis à tout instant ; on donnera un exemple d'évolution quasistatique, mais non réversible.</i></p> <p><i>Transfert : par exemple de chaleur, de travail mécanique ou électrique, de quantité de mouvement, de matière, de rayonnement, de charge électrique.</i></p> |
|---|--|

#### **5.2 Le premier principe ou principe de conservation (système fermé) ; bilans d'énergie**

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail reçu par un système thermodynamique ; travail des forces de pression.</li> <li>- Energie interne <math>U</math>, notion de fonction d'état thermodynamique ; premier principe ; chaleur reçue par un système thermodynamique.</li> <li>- Enthalpie <math>H</math>.</li> </ul> | <p><i>On donnera la forme générale de l'écriture du premier principe (faisant intervenir la variation de l'énergie cinétique macroscopique) pour un système fermé. On insistera sur le fait que la valeur d'une fonction d'état d'un système est seulement fonction de l'état macroscopique de ce système.</i></p> <p><i>On utilisera, au choix, le terme de "chaleur", ou celui de "transfert thermique". On calculera les valeurs de la chaleur reçue pour des évolutions non adiabatiques en utilisant le premier principe. On insistera sur le fait que travail et chaleur correspondent à des échanges d'énergie. L'étude de la conduction thermique est hors programme.</i></p> <p><i>En liaison avec le cours de chimie, on soulignera l'intérêt d'utiliser l'enthalpie lors de l'étude d'évolutions isobares. Les détentes "de Joule/Gay-Lussac" à énergie interne constante et "de Joule/Thomson" à enthalpie constante seront étudiées en travaux dirigés.</i></p> |
|--|--|

### 5.3 Le gaz parfait

- Le modèle du gaz parfait; équation d'état.
- Energie interne et enthalpie du gaz parfait.  
Relation de Mayer.

*On admettra, à ce stade de l'étude, que l'énergie interne d'un gaz parfait est fonction de la seule température. On ne développera pas l'étude des capacités thermiques molaires en fonction de la température : on donnera les valeurs couramment admises, aux températures usuelles, dans les cas monoatomique et diatomique ( $C_{Vm} = 3R/2$  et  $C_{Pm} = 5R/2$ ).*

*Le principe d'équipartition de l'énergie est hors programme.*

*Les équations d'état des gaz réels sont hors programme.*

- Les limites du modèle.

### 5.4 Application du premier principe à la réaction chimique en système fermé

- Etats standard d'un constituant pur : gaz parfait et état condensé ; grandeurs molaires standard.
- Système fermé siège d'une transformation physico-chimique :
  - enthalpie standard de formation ;
  - enthalpie standard de réaction ;
  - énergie interne standard de réaction ;
  - variations de ces grandeurs avec la température (relations de Kirchhoff).

### 5.5 Le second principe, ou principe d'évolution (système fermé) ; bilans d'entropie

- Entropie d'un système ; entropie créée par irréversibilité, entropie reçue par transfert thermique.
- Définition thermodynamique de la température.  
Entropie d'un gaz parfait ; loi de Laplace.

*On admettra la relation  $dS = \delta Q_{\text{rév}} / T$ , permettant de calculer une variation d'entropie, et on insistera sur le fait que l'entropie  $S$  d'un système est une fonction d'état.*

*Les notions de réversibilité et d'irréversibilité seront approfondies à cette occasion. On montrera, sur des exemples simples, que le second principe est bien un principe d'évolution.*

*On admettra l'identité entre température absolue et température des gaz parfaits.*

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

### 5.6 Applications des deux principes

- Coefficients calorimétriques d'un fluide homogène : capacités thermiques massiques isobare et isochore  $c_p$  et  $c_v$ , coefficients  $l$  et  $h$  ; relations de Clapeyron pour un fluide homogène.
- Machines thermiques motrices et réceptrices.  
Rendement des moteurs. Coefficient d'efficacité – ou de performance – des récepteurs. Théorème de Carnot.

*Les fonctions  $F$  et  $G$  sont hors programme.*

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

*On pourra proposer en travaux dirigés l'étude d'un système non fluide tel que le fil métallique élastique.*

*On insistera sur les applications pratiques de cette étude, en précisant la modélisation des évolutions : moteurs et centrales thermiques, thermopompes, installations frigorifiques : on étudiera, en exercice, le cas de sources de températures variables.*

### 5.7 Changement d'état d'un corps pur

- Chaleur latente, enthalpie et entropie de changement d'état.
- Diagrammes température-pression d'équilibre. Point triple ; point critique.
- Diagrammes de Clapeyron dans le cas liquide-vapeur. Palier de saturation, liquide saturant, vapeur saturante sèche.

*La relation de Clapeyron est exclue, de même que la "chaleur interne" (variation d'énergie interne).*

*On se limitera aux changements d'état solide-liquide-gaz.*

## 5.8 Systèmes en écoulement permanent

- Utilisation d'un diagramme ou de valeurs expérimentales.

*On se limitera à l'étude simple d'un compresseur ou d'une turbine – on montrera l'intérêt des écoulements permanents dans le cadre de systèmes industriels. On mentionnera la distinction entre diagramme de Clapeyron et diagramme de Watt.*

*On établira la relation  $\Delta(h + e_c) = w_{\text{utile}} + q$ , où  $w_{\text{utile}}$  (également noté  $w_i$ ) est le travail massique indiqué. Aucune connaissance des diagrammes de Mollier n'est exigible.*

## 6 - Equilibres chimiques en solutions aqueuses

L'objet du présent chapitre est de fournir les bases nécessaires à la compréhension des réactions en solutions aqueuses, en mettant l'accent sur les processus d'oxydoréduction.

La réflexion sur les phénomènes sera privilégiée en évitant toute dérive calculatoire. En particulier, on évitera les calculs dont le seul objectif est la détermination d'un pH. L'outil informatique sera utilisé comme aide à l'interprétation des résultats expérimentaux.

### Programme

### Commentaires

#### 6.1 L'eau liquide et l'eau solvant

- Propriétés de l'eau liquide, paramètres caractérisant l'eau en tant que solvant, dissolution, solvatation, l'eau solvant polaire, ionisé et ionisant.

*On reviendra sur la notion de moment dipolaire électrostatique.*

#### 6.2 Notion d'équilibre chimique en solution aqueuse

- Constantes d'équilibre. On définira la constante d'équilibre d'une réaction en solution aqueuse directement à partir des concentrations.

*On mentionnera que les constantes d'équilibre ne dépendent que de la température.*

#### 6.3 Réactions acide-base en solution aqueuse

- Définitions, exemples de couples acide-base, espèces fortes et faibles, définition de la constante d'acidité  $K_a$ , classification des couples acide/base ; domaines de prédominance de la forme acide et de la forme basique ; les couples de l'eau.
- Calcul du pH des solutions suivantes :
  - solution d'un monoacide fort,
  - solution d'une monobase forte,
  - solution d'un monoacide faible,
  - solution d'une monobase faible.
- Réactions acide-base dans les cas suivants :
  - monoacide fort / monobase forte,
  - monoacide faible / monobase forte,
  - monoacide fort / monobase faible.

*Le professeur insistera sur la justification des approximations.*

*A partir de mesures expérimentales de pH, on dégagera le concept de réaction acide/base, échange de  $H^+$ . Quelques dosages acido-basiques simples seront effectués en travaux pratiques.*

#### 6.4 Equilibres d'oxydoréduction en solution aqueuse

- Présentation des équilibres et réactions d'oxydoréduction en solution aqueuse ; bilan d'échange des électrons, dans un couple accepteur/donneur.
- Couple oxydant-réducteur ; potentiel d'électrode ; formule de Nernst, prévision des réactions d'oxydoréduction. Cas des couples oxydant-réducteur de l'eau.
- Dosages d'oxydoréduction par potentiométrie.

*On rapprochera cette étude de celle des réactions acide-base.*

*La formule de Nernst ne sera pas démontrée. La notion de nombre d'oxydation sera exploitée au fur et à mesure des besoins.*

*Cette partie sera abordée en travaux pratiques, sans développement.*

#### 6.5 Réactions de précipitation

- Formation de précipités ; domaines d'existence ; produit de solubilité ; influence du pH sur la précipitation.

*Cette présentation sera faite en vue de l'étude des diagrammes potentiel-pH.*

#### 6.6 Diagrammes potentiel-pH

- Construction et utilisation du diagramme potentiel-pH du fer.

*En dehors du cas du fer, on ne pourra exiger que l'exploitation des diagrammes potentiel-pH.*

## **Travaux pratiques**

Les étudiants des classes de ATS ont suivi leurs études antérieures dans des filières très différentes. Certains ont atteint un bon niveau de connaissances et de savoir-faire dans telle ou telle partie du domaine expérimental, compte tenu du temps qui était imparti aux travaux pratiques. D'autres ont moins développé ce domaine.

Il convient maintenant que les sujets de travaux pratiques proposés permettent à tous les étudiants d'acquérir une bonne maîtrise de l'ensemble des appareils et des méthodes du programme et les habituent à les utiliser en faisant preuve d'initiative et d'esprit critique. Ces sujets doivent donc tenir compte de la filière d'origine de l'étudiant afin de lui assurer le nécessaire complément de formation.

On doit s'efforcer de développer chez les étudiants une bonne faculté d'adaptation à un problème qui peut être nouveau, à condition qu'il soit présenté de façon progressive. La nouveauté peut résider dans le phénomène étudié, dans la méthode particulière ou dans l'appareillage. Dans cette hypothèse, la séance doit comporter, non seulement la manipulation proprement dite, mais aussi des temps de réflexion, de construction intellectuelle, de retour en arrière, d'échanges avec le professeur. C'est pourquoi ce dernier choisira les sujets d'études plus en raison de leurs qualités formatrices que des phénomènes particuliers qui en constituent le support. Aidé par un commentaire suffisamment précis, surtout si le sujet traité fait intervenir un concept nouveau (ou un appareil nouveau), l'étudiant sera amené à réfléchir, à comprendre le phénomène par une série d'hypothèses, de vérifications expérimentales qui exigeront de lui initiative, savoir-faire et rigueur. La séance de travaux pratiques donnera lieu à une synthèse écrite comportant, sous forme succincte, l'indication et l'exploitation des résultats. A cet égard, on attachera de l'importance à l'interprétation des mesures, à leur précision et à l'analyse des causes d'erreur. On favorisera la présentation graphique.

Une trop grande exigence sur le savoir-faire théorique et expérimental ne pourrait que conduire à une inflation qui irait à l'encontre du but recherché. La liste figurant in fine définit les limites du programme. A dessein, elle ne fixe pas une liste de travaux pratiques à exécuter, mais elle indique les méthodes expérimentales ainsi que les appareils spécifiques à la section, accompagnés de leurs spécifications techniques, qui seront utilisés au cours des séances de travaux pratiques. La connaissance du principe ou du fonctionnement interne de ces appareils n'est pas exigible. Le professeur définira un cadre compatible avec les règles de sécurité au laboratoire aussi large que possible en soulignant les nombreuses implications des sciences physiques et chimiques dans la vie courante.

L'utilisation d'un ordinateur, soit pour l'acquisition et le traitement de données expérimentales, soit pour la comparaison des résultats de mesures aux données théoriques, évitera des calculs longs et répétitifs, et favorisera le tracé de courbes. On pourra ainsi multiplier les expériences en faisant varier les conditions d'expérimentation et en montrant, en particulier, l'influence des paramètres pertinents sur le phénomène étudié, et renforcer ainsi le lien entre la théorie et les travaux expérimentaux, par référence à des modèles de divers niveaux d'élaboration. Le recours à l'ordinateur permettra, en liaison avec la démarche expérimentale, de dégager l'intérêt et les limites d'une modélisation.

Une liaison internet par le réseau de l'établissement devra être disponible sur chaque poste de T.P. et permettre un accès aisé aux bases de données nécessaires.

Thèmes et méthodes	Matériel et logiciels
<p><b>1 - L'architecture de la matière</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation des modèles moléculaires et cristallins.</li> <li>- La réaction chimique : illustration, sur des exemples simples, de divers types de réactions.</li> </ul>	<p><i>Seuls sont cités ici les matériel et logiciels spécifiques à la section.</i></p> <p><i>Logiciel de cristallographie.</i></p>
<p><b>2 - Mécanique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude de mouvements simples.</li> <li>- Mesure des grandeurs caractéristiques d'un système oscillant, mécanique (ou électrique) ; étude des régimes transitoires et forcés ; oscillations entretenues, résonance.</li> </ul>	<p><i>On pourra utiliser un logiciel de simulation.</i></p>
<p><b>3 - Electromagnétisme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- On pourra, en liaison avec l'enseignement de génie électrique, compléter les connaissances et méthodes préalablement acquises en matière de mesures courantes de grandeurs et paramètres électriques ainsi que de caractérisation d'opérateurs linéaires simples.</li> <li>- Illustration du phénomène d'interférences lumineuses (fentes d'Young).</li> </ul>	<p><i>Oscilloscope à mémoire, numérique, avec interface ordinateur et logiciels associés.</i></p> <p><i>On pourra observer les analogies avec les interférences mécaniques et sonores.</i></p>
<p><b>4 - Optique géométrique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Illustration des lois de Descartes ; le prisme.</li> <li>- Formation d'images par un système optique simple : on se limitera à l'utilisation d'un viseur et à la modélisation d'une lunette.</li> <li>- Méthodes de focométrie : détermination des focales d'une lentille mince convergente ou divergente.</li> </ul>	<p><i>Collimateur.</i>  <i>Lunette autocollimatrice.</i>  <i>Viseur à frontale fixe.</i>  <i>Spectrogoniomètre.</i>  <i>Lampe spectrale.</i></p>
<p><b>5 - Thermodynamique</b></p>	
<p><b>6 - Equilibres chimiques en solutions aqueuses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthodes de dosages volumétriques à l'aide d'indicateurs de fin de réaction.</li> <li>- Tracé et exploitation des courbes de titrage par pH-métrie et potentiométrie.</li> <li>- Détermination de constantes thermodynamiques en solution aqueuse : <ul style="list-style-type: none"> <li>- constante d'acidité ;</li> <li>- potentiel standard d'oxydoréduction.</li> </ul> </li> </ul>	