

Chapitre 0 – Analyse dimensionnelle

- ▷ Connaître les 7 dimensions de base du système international, leur symbole et l'unité associée dans le SI :
 - ▷ le temps de symbole T, d'unité la seconde de symbole s ;
 - ▷ la longueur de symbole L, d'unité le mètre de symbole m ;
 - ▷ la masse de symbole M, d'unité le kilogramme de symbole kg ;
 - ▷ l'intensité électrique de symbole I, d'unité l'ampère de symbole A ;
 - ▷ la température de symbole Θ , d'unité le kelvin de symbole K ;
 - ▷ la quantité de matière de symbole N, d'unité la mole de symbole mol ;
 - ▷ l'intensité lumineuse de symbole J, d'unité la candela de symbole cd.
- ▷ Savoir vérifier l'homogénéité d'une expression par analyse dimensionnelle.
- ▷ Dimension d'un produit, d'un quotient, d'une dérivée et d'une intégrale.
- ▷ Déterminer les dimensions et les unités associées d'une énergie, d'une puissance, d'une force, d'une tension.
- ▷ Utiliser l'analyse dimensionnelle pour déterminer l'expression possible d'une grandeur physique dimensionnée dépendant d'autres grandeurs dimensionnées. Le théorème de Vaschy-Buckingham est hors-programme.

Chapitre 1 – Circuits électriques dans l'ARQS

- ▷ Définition du courant électrique comme mouvement d'ensemble de porteurs de charges électriques, et de son intensité comme le nombre de charges traversant une section du circuit, par unité de temps : $1 \text{ A} = 1 \text{ C} \cdot \text{s}^{-1}$.
- ▷ Définition de la tension électrique entre deux points d'un circuit comme différence de potentiel ($U_{AB} = V_A - V_B$, flèche de B vers A).
- ▷ Définitions : mailles, nœuds, branche, courant électrique, intensité, tension.
- ▷ Description d'un dipôle : conventions d'orientation générateur et récepteur pour le courant et la tension, et définitions de puissance reçue et fournie.
- ▷ **Surtout** comprendre que ces conventions sont un choix ! La signification physique d'une grandeur est donnée par la convention **combinée** au signe de la grandeur. Par exemple, une puissance reçue positive signifie que le dipôle reçoit effectivement de l'énergie.
- ▷ Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS) : énoncé et conséquences : le circuit doit être de taille $L \ll c/f$ où f est la fréquence d'un signal électrique dans le circuit, ou $L \ll c\tau$, où τ est un temps caractéristique de variation des signaux dans le circuit (c est la célérité de la lumière dans le vide, qui correspond approximativement à la célérité des ondes électriques dans le circuit) ; cette ARQS permet l'utilisation des lois de Kirchhoff.
- ▷ Expliquer que le courant est le même dans l'ensemble d'une branche dans l'ARQS (pas d'accumulation de charge en un point).
- ▷ Loi des nœuds ; interprétation comme conservation de la charge.
- ▷ Loi des mailles ; interprétation comme somme de différences de potentiels globalement nulle en faisant un tour complet de la maille ($V_A - V_A = 0$).
- ▷ Notion de caractéristique d'un dipôle.
- ▷ Loi d'Ohm pour une résistance. Conventions définies à l'aide d'un **schéma**.
- ▷ Associations en série ou en parallèle de résistances :
 - ▷ en série les résistances s'ajoutent ;
 - ▷ en parallèle les conductances s'ajoutent.
- ▷ Pont diviseur de tension : formule et démonstration (à partir d'un **schéma**), à utiliser pour des résistances en série (donc parcourues par le même courant).
- ▷ Pont diviseur de courant : formule et démonstration (à partir d'un **schéma**), à utiliser pour des résistances en parallèle (donc ayant la même tension à leurs bornes).
- ▷ Définition d'une source idéale de tension (les sources de courant ne sont pas explicitement au programme mais, si introduites, peuvent être utilisées dans les exercices).
- ▷ Modèle d'une source de tension réelle (comprenant une source de tension idéale et une résistance interne) dit modèle de Thévenin.
- ▷ Notion de point de fonctionnement de deux dipôles branchés l'un aux bornes de l'autre ; savoir déterminer le point de fonctionnement analytiquement ou par une méthode graphique.

Chapitre 2 – Circuits linéaires du premier ordre

- ▷ Relation $q = C u$ (q et u étant définis correctement sur un schéma) pour le condensateur.
- ▷ Relations entre intensité et tension pour un condensateur, une bobine.
- ▷ Savoir établir l'expression de l'énergie stockée dans une bobine/un condensateur à partir de la puissance qu'elle/il reçoit.
- ▷ Connaître les conditions de continuité dans un circuit électrique : courant traversant une bobine et tension aux bornes d'un condensateur.
- ▷ Connaître le comportement équivalent des condensateurs/bobines en régime stationnaire (ou permanent).
- ▷ Savoir établir l'équation différentielle (ED) sur une grandeur électrique à partir d'une loi de Kirchhoff, puis des relations u/i des dipôles du circuit, puis la mettre sous forme canonique. Ont été vus en détails en cours : la charge et la décharge d'un condensateur, la charge d'une bobine.
- ▷ Vocabulaire : savoir distinguer régime transitoire/régime stationnaire, réponse à un échelon et régime libre.
- ▷ Connaître l'ensemble des solutions d'une ED d'ordre 1 à coefficients constants comme l'ensemble des fonctions qui sont somme d'une solution particulière et d'une solution de l'équation homogène, contenant un paramètre à déterminer par conditions initiales (CI) avec l'expression de la solution **GÉNÉRALE**, donc à la fin.
- ▷ Savoir déterminer la solution particulière constante à partir de l'analyse du circuit en régime stationnaire.
- ▷ Savoir interpréter le temps caractéristique τ et le déterminer à partir d'une représentation graphique ou d'un relevé expérimental.
- ▷ Bilans énergétiques simples (énergie stockée dans un condensateur/une bobine par différence entre énergie initiale/finale) et plus compliqués (énergie reçue/fournie par un dipôle comme intégrale de la puissance reçue/fournie) :

$$\mathcal{E}_{\text{reçue}} = \int_0^{\infty} \mathcal{P}_{\text{reçue}}(t) dt \quad (1)$$

Chapitre 3 – Équilibre chimique

- ▷ Reconnaître la nature d'une transformation : nucléaire, physique ou chimique.
- ▷ Savoir recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système.
- ▷ Déterminer l'état physique dans lequel se trouve un corps pur à pression et température donnée à partir d'un diagramme de phase.
- ▷ Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
- ▷ Connaître la distinction entre **transformation chimique** (ce qu'on observe dans la réalité) et **réaction chimique** (la modélisation de la transformation observée à partir d'une **équation de réaction** qui traduit la conservation de la matière).
- ▷ Savoir équilibrer une réaction chimique.
- ▷ Utiliser la notion d'avancement d'une réaction chimique pour construire le tableau d'avancement de cette réaction.
- ▷ Déterminer l'avancement final de la réaction si la transformation est totale.
- ▷ Exprimer l'**activité** d'une espèce chimique pure ou dans un mélange, dans le cas de solutions aqueuses très diluées (l'activité s'identifie alors à la concentration exprimée en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) ou de mélanges de gaz parfaits (l'activité s'identifie alors à la pression partielle exprimée en bar).
- ▷ Exprimer le **quotient réactionnel** d'une réaction donnée et prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système chimique.
- ▷ La constante d'équilibre thermodynamique étant donnée, déterminer la composition chimique du système dans l'état final (et à l'inverse, savoir calculer la constante d'équilibre d'une réaction étant donnée la composition du système à l'équilibre).
- ▷ Si la réaction est quantitative ou quasi-totale (constante d'équilibre très grande devant 1), faire l'hypothèse $\xi_{\text{final}} \simeq \xi_{\text{max}}$ pour les produits et savoir utiliser la loi d'action de masse pour déterminer l'activité du réactif limitant.
- ▷ Si le réactif limitant est un solide ou un liquide, savoir déterminer si l'équilibre est atteint en comparant l'avancement à l'équilibre $\xi_{\text{éq}}$ à l'avancement maximal ξ_{max} .

Chapitre 4 – Bases de l'optique géométrique

- ▷ Connaître les différents types de sources lumineuses (primaire, secondaire), et les caractéristiques de leurs spectres (continu, raies).
- ▷ Indice d'un milieu, relations avec la longueur d'onde et la célérité de l'onde dans le milieu.
- ▷ Donner le cadre de l'optique géométrique : notion de rayon lumineux pour décrire la propagation de la lumière, et étude dans des milieux milieux transparents, homogènes et isotropes.

- ▷ Donner le modèle de l'optique géométrique : les rayons se propagent en ligne droite tant qu'ils ne rencontrent pas d'obstacle, respectent le principe de retour inverse et les lois de Snell-Descartes à l'interface entre deux milieux.
- ▷ Connaître les limites du modèle : absence de description de la polarisation, de la diffraction, des interférences (on considère donc que les intensités lumineuses issus de deux rayons s'ajoutent), et propagation en milieu non homogène nécessitant un traitement plus fin.
- ▷ Principe de retour inverse de la lumière : si la lumière émise en un point A parvient en un point B, alors de la lumière émise au point B le long du même rayon en sens inverse parvient au point A en suivant le même chemin.
- ▷ Réflexion et réfraction : énoncé des lois de Snell-Descartes.
- ▷ Phénomène de réflexion totale et angle de réfraction limite.
- ▷ Fibre optique à saut d'indice : connaître et savoir démontrer l'expression de l'ouverture numérique et du cône d'acceptance. Savoir expliquer le phénomène de dispersion intermodale et calculer la différence de temps de parcours entre deux rayons d'inclinaison différente.

Chapitre 5 – Systèmes optiques

- ▷ Définition du stigmatisme rigoureux : l'image d'un point A est un point A' (unique).
- ▷ Définition du stigmatisme approché et son lien avec le capteur utilisé : l'image d'un point A est sur une zone suffisamment petite pour être considérée comme ponctuelle : plus petite que le grain du capteur.
- ▷ Connaître les conditions de Gauss et leurs conséquences (aplanétisme et surtout stigmatisme approché).
- ▷ Construire à l'aide de rayons l'image d'un objet ponctuel par un miroir plan.
- ▷ Savoir caractériser un objet/une image à l'infini, sur l'axe optique ou hors de l'axe optique (faisceaux de rayons parallèles entre eux, parallèles ou non à l'axe optique).
- ▷ Lentilles minces : connaître les types de lentilles minces et les formes associées (convergentes pour les bords minces, divergentes pour les bords épais) ; savoir la définition des points focaux objet et image, des plans focaux objet et image, du centre optique, et les propriétés des rayons y passant.
- ▷ Savoir qu'un objet/une image à l'infini sur l'axe optique est conjugué au foyer image/objet.
- ▷ Manipulation élémentaire de distances algébriques et conséquence de leur signe.
- ▷ Définition de la distance focale et de la vergence d'une lentille.
- ▷ Définition du grandissement (transversal)

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

- ▷ Connaître et savoir démontrer la relation de conjugaison de Newton et la relation de conjugaison de Descartes.
- ▷ Savoir utiliser les relations de grandissement ou de conjugaison à bon escient.
- ▷ **Connaître et savoir établir** la condition de projection d'un objet sur un écran distant de D avec une lentille de focale f' : $D \geq 4f'$.
- ▷ Notion d'image intermédiaire dans un système optique constitué de plusieurs sous-systèmes.
- ▷ Constructions d'images successives à travers un système optique (simple) constitué de miroirs et de lentilles.
- ▷ Modélisation de l'œil : savoir nommer les différentes parties et leur rôle (surtout : cristallin, pupille et iris, rétine).
- ▷ Pouvoir séparateur de l'œil : définition et ordre de grandeur ($\alpha \simeq 3 \times 10^{-4}$ rad pour un œil emmétrope).
- ▷ Connaître les définitions des punctum proximum/punctum remotum, et connaître leurs positions pour un œil emmétrope, ainsi que le sens de leur déplacement par rapport à ces positions (considérées comme référence) pour un œil myope/hypermétrope.
- ▷ Connaître et justifier le type de lentilles utilisées pour corriger la myopie/l'hypermétropie.
- ▷ Définition d'un système afocal (système optique pour lequel l'image d'un objet à l'infini est située à l'infini). Caractéristiques de l'image d'un objet à l'infini par un système afocal.

Chapitre 6 – Cinétique chimique

- ▷ Cadre de la cinétique chimique : constituants dans une même phase homogène (liquide ou gazeuse), volume constant, transformation totale sauf indication explicite du contraire, température constante au cours de la transformation.
- ▷ Vitesse de réaction chimique ; lien avec les vitesses de disparition et d'apparition des différents constituants.
- ▷ Ordre d'une réaction chimique, ordres partiels pour les réactifs, constante de vitesse.
- ▷ Lorsque la réaction admet un ordre, dépendance de la constante de vitesse avec la température : loi d'Arrhenius.
- ▷ Réactions d'ordre 0, d'ordre 1 et d'ordre 2 pour un seul réactif : savoir obtenir l'expression de $[A](t)$ et du temps de demi-réaction.
- ▷ Analogie avec la désintégration radioactive : savoir établir l'expression de la population $N(t)$ d'atomes radioactifs ainsi que le temps de demi-vie, analogue au temps de demi-réaction.

- ▷ Méthode de séparation des variables pour la résolution d'équations différentielles.
- ▷ Méthode de dégénérescence de l'ordre : lorsque tous les réactifs sauf un sont en excès, l'ordre de la réaction s'assimile à l'ordre partiel correspondant à ce réactif.
- ▷ Savoir que lorsque les réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques tout se passe comme si la réaction admettait un ordre global relativement à un seul des réactifs.
- ▷ Savoir déterminer l'ordre d'une réaction chimique à partir d'un relevé expérimental ; méthode différentielle, méthode intégrale, méthode des temps de demi-réaction.

Chapitre 7 – Oscillateurs

Oscillateur harmonique

- ▷ Savoir établir (**uniquement** dans le cadre du circuit LC) et reconnaître dans le cas général l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique. La résoudre compte tenu des conditions initiales.
- ▷ Savoir passer d'une expression somme d'un sinus et d'un cosinus à une expression à un cosinus avec une phase.
- ▷ Caractériser un signal sinusoïdal en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.
- ▷ Déphasage entre deux signaux de même pulsation ; signaux en phase, en opposition de phase, en quadrature de phase (la représentation de Fresnel n'est pas explicitement au programme mais a été traitée en classe).
- ▷ Dans le cadre du circuit LC libre, conservation et équipartition de l'énergie.

Oscillateur amorti

- ▷ Savoir établir l'équation différentielle d'un oscillateur amorti sur une grandeur électrique.
- ▷ Connaître la forme canonique de l'équation différentielle d'ordre 2 faisant intervenir pulsation propre ω_0 et facteur de qualité Q.
- ▷ Connaître et/ou savoir obtenir rapidement leurs expressions dans le cas du circuit RLC série).
- ▷ De manière générale, savoir identifier ces coefficients à partir d'une équation d'ordre 2 quelconque fournie.
- ▷ Savoir que l'élément dissipatif intervient comme un terme d'ordre 1 dans l'équation différentielle.
- ▷ Connaître les **trois régimes** de réponse d'un oscillateur amorti, et la condition sur le facteur de qualité Q pour leur existence, liée au discriminant du polynôme caractéristique P(X) de l'équation différentielle :
 - ▷ $Q > 1/2$: régime sous-amorti ou pseudo-périodique, racines complexes de P(X) ;
 - ▷ $Q < 1/2$: régime sur-amorti ou apériodique, racines réelles de P(X) ;
 - ▷ $Q = 1/2$: régime critique (non atteignable en pratique), racine double de P(X).
- ▷ Savoir résoudre cette équation différentielle dans les deux cas physiquement pertinents (apériodique et pseudo-périodique), avec un second membre nul ou constant ; connaître la **forme** des solutions.
- ▷ Utilisation des conditions initiales pour l'expression de la solution ; il en faut 2 pour un système d'ordre 2.
- ▷ Savoir que Q est un bon ordre de grandeur du nombre d'oscillations visibles au cours d'un régime transitoire pseudo-périodique, éventuellement le prouver lorsque $Q \gg 1$.
- ▷ Savoir qu'en régime permanent, seule la solution particulière (constante) subsiste.
- ▷ Connaître ou savoir retrouver la durée du régime transitoire en fonction de ω_0 et Q, dans un régime pseudo-périodique ou pour $Q \ll 1$.
- ▷ Savoir obtenir puis interpréter physiquement les différents termes intervenant dans le bilan énergétique d'un circuit électrique (puissance reçue, énergie stockée, etc.).

Chapitre 8 – Propagation d'un signal

- ▷ Savoir citer différents exemples d'ondes avec leur type (onde transverse ou longitudinale), leur milieu de propagation et l'ordre de grandeur de leur célérité.
- ▷ Connaître la forme générale des ondes progressives unidimensionnelles : elles font apparaître les **variables de propagation**

$$s(x, t) = f(x - ct) \quad \text{ou} \quad F(t - x/c) \quad \text{ou} \quad g(x + ct) \quad \text{ou} \quad G(t + x/c)$$

avec f, g, F et G des fonctions quelconques. Savoir à quel sens de propagation correspond chaque variable.

- ▷ Représentation spatiale et représentation temporelle d'une onde progressive unidimensionnelle.
- ▷ Onde progressive sinusoïdale (ou harmonique, ou monochromatique) : connaître la forme de l'onde unidimensionnelle $s(x, t) = S_m \cos(\omega t - kx + \phi)$ et la relation $k = \omega/c$.
- ▷ Savoir que $k = 2\pi/\lambda$, comme $\omega = 2\pi/T$ (relation entre pulsation et période, pour des variables temporelles et spatiales).
- ▷ Connaître la relation $\lambda = cT$ et les autres relations « spatio-temporelles » équivalentes ($c = \lambda f$, $\lambda = c/f$, $k = \omega/c$, $\omega = kc$, etc.).

Chapitre 9 – Phénomènes ondulatoires

Diffraction

- ▷ Savoir que la diffraction provoque une déviation d'une onde à la traversée d'un obstacle de taille comparable à sa longueur d'onde.
- ▷ Connaître la relation donnant la demi-largeur angulaire θ de la tâche centrale de diffraction par une fente de largeur a , avec une lumière de longueur d'onde λ :

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a} \quad (2)$$

et savoir que pour $\theta \ll 1$, on a $\sin \theta \sim \theta$.

- ▷ Savoir déterminer la largeur de la tâche de diffraction sur un écran situé à une distance D d'une fente de largeur a frappée par un laser de longueur d'onde λ , dans la limite d'un angle de diffraction petit.

Interférences

- ▷ Savoir définir deux sources synchrones.
- ▷ Connaître les conditions d'interférences *constructives* et *destructives* en fonction du déphasage en un point entre deux ondes issues de sources synchrones :
 - ▷ si $\Delta\Phi = 0 + 2n\pi$ (n entier relatif) les interférences sont constructives et les ondes sont en phase ;
 - ▷ si $\Delta\Phi = \pi + 2n\pi$ (n entier relatif) les interférences sont destructives et les ondes sont en opposition de phase.
- ▷ Connaître les formules équivalentes en fonction de la différence de marche δ (différence de distance parcourue par les deux ondes depuis des endroits où elles sont en phase) :
 - ▷ si $\delta = 0 + n\lambda$ (n entier relatif) les interférences sont constructives et les ondes sont en phase ;
 - ▷ si $\delta = \lambda/2 + n\lambda$ (n entier relatif) les interférences sont destructives et les ondes sont en opposition de phase.
- ▷ Utiliser la formule de Fresnel (fournie) pour déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage $\Delta\Phi$:

$$A_{\text{tot}}^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos(\Delta\Phi) \quad (3)$$

Savoir la redémontrer dans le cas de deux amplitudes égales.

Cas des ondes lumineuses

- ▷ Savoir expliquer pourquoi un capteur lumineux n'est sensible qu'à des moyennes de signaux lumineux.
- ▷ Connaître le lien entre intensité lumineuse I et amplitude A du signal lumineux $s(t) = A \cos(\omega t + \phi)$:

$$I = \alpha \langle s^2(t) \rangle = \frac{\alpha A^2}{2} \quad (4)$$

avec α une constante dimensionnée.

- ▷ Expérience des trous d'Young : savoir déterminer la différence de marche à partir du DL fourni

$$(1 + \theta)^\alpha \simeq 1 + \alpha \theta \quad \text{pour} \quad \theta \ll 1 \quad (5)$$

Franges d'interférences et détermination de l'interfrange.

Chapitre 10 – Structure des entités chimiques

- ▷ Connaître les définitions des notions suivantes : élément, atome, ion, isotope.
- ▷ Ordres de grandeur de la taille d'un atome et de son noyau, des masses et des charges de l'électron, du proton et du neutron.
- ▷ Masse molaire d'un élément : c'est la moyenne des masses molaires atomiques de ses différents isotopes pondérée par leur abondance naturelle. La masse molaire d'une variété isotopique étant donnée approximativement par

$$M \left({}^A X \right) \simeq A \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (6)$$

- ▷ Connaître les deux premiers nombres quantiques (les deux autres sont hors programme). Savoir que
 - ▷ n définit une *couche électronique* ;
 - ▷ (n, ℓ) définit une *sous-couche électronique* ;
- ▷ Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (les notions de stabilité de sous-couche à moitié remplie et d'inversion de couches sont explicitement hors-programme). Pour les éléments autres que ceux des trois premières périodes, sa place dans la classification périodique doit être fournie.
- ▷ Électrons de cœur et de valence.
- ▷ Prédire dans les cas simples l'ion préférentiellement formé par un atome donné et savoir établir la configuration électronique de cet ion.

Classification périodique des éléments

- ▷ Connaître la structure en bloc du tableau périodique.
- ▷ Relier la position d'un élément dans le tableau périodique à la configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant (et inversement pour les trois premières périodes).
- ▷ Pouvoir citer les éléments des trois premières périodes de la classification et de la colonne des halogènes (nom, symbole, numéro atomique).
- ▷ Situer dans le tableau les familles suivantes : métaux alcalins, halogènes et gaz nobles.
- ▷ Définir (qualitativement) l'électronégativité, et savoir décrire l'évolution de l'électronégativité dans le tableau périodique.

Représentation de Lewis

- ▷ Savoir définir une liaison covalente et une énergie de liaison.
- ▷ Connaître les ordres de grandeur de la longueur et de l'énergie d'une liaison covalente.
- ▷ Énoncé des règles du duet et de l'octet pour les atomes des deux premières périodes.
- ▷ Méthode de détermination du modèle de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique (détermination du nombre d'électrons de valence – donc du nombre de doublets à placer –, calcul des éventuelles charges formelles).
- ▷ Connaître les exceptions aux règles du duet et de l'octet : composés radicalaires, composés déficients en électrons (atomes lacunaires), composés hypervalents.
- ▷ Savoir déterminer dans les cas simples la structure la plus stable parmi plusieurs structures possibles (la notion de mésomérie n'est pas explicitement au programme).

Chapitre 11 – Cinématique du point matériel

- ▷ Définition d'un solide indéformable et d'un point matériel.
- ▷ Définition de référentiel : un repère (une origine + 3 axes de référence) + une horloge.
- ▷ Référentiels héliocentrique, géocentrique et terrestre (dit « du laboratoire »).
- ▷ Identification sur un schéma des coordonnées cartésiennes, cylindriques, et sphériques d'un point M de l'espace, et savoir dessiner les bases de vecteurs associées à ces repères.
- ▷ Connaître l'expression du vecteur position \overrightarrow{OM} dans ces bases.
- ▷ Projection d'un vecteur sur un vecteur unitaire, composantes d'un vecteur dans une base orthonormée directe (BOND).
- ▷ Expressions et propriétés du produit scalaire, en fonction des composantes dans une BOND ou des propriétés géométriques des vecteurs. Le produit vectoriel n'a pas été revu.
- ▷ Expression et interprétation du vecteur déplacement infinitésimal $d\overrightarrow{OM}$ d'un point M dans les trois systèmes de coordonnées.
- ▷ Savoir en déduire l'expression de la vitesse d'un point par la formule $\vec{v}(t) = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$ dans les trois systèmes de coordonnées.
- ▷ **Connaître et savoir démontrer** l'expression des dérivées temporelles des vecteurs radial \vec{u}_r et orthoradial \vec{u}_θ de la base cylindrique lors d'un mouvement :

$$\frac{d\vec{u}_r}{dt} = \frac{d\theta}{dt} \vec{u}_\theta \quad \text{et} \quad \frac{d\vec{u}_\theta}{dt} = -\frac{d\theta}{dt} \vec{u}_r \quad (7)$$

- ▷ **Connaître et savoir démontrer** à partir de ce qui précède l'expression des vecteurs vitesse et accélération dans les bases cartésienne et cylindrique.
- ▷ Savoir représenter qualitativement la vitesse et l'accélération d'un point à partir d'une trajectoire : vitesse tangente à la trajectoire, accélération vers l'intérieur de la courbure de la trajectoire.
- ▷ Repère de Frenet.
- ▷ Définition de l'*équation horaire* (la fonction $\overrightarrow{OM}(t)$) et de la *trajectoire* d'un mouvement (l'ensemble des points occupés par le point M au cours du mouvement).
- ▷ Reconnaître et savoir retrouver l'équation horaire et la trajectoire d'un mouvement à accélération constante (choisir de manière adaptée le repère si on le peut ; équation horaire quadratique en t dans la direction de l'accélération, linéaire en t dans les autres directions).
- ▷ Savoir retrouver le vecteur vitesse et le vecteur accélération dans le cas d'un mouvement circulaire et circulaire uniforme (en coordonnées polaires).

Chapitre 12 – Dynamique du point matériel

- ▷ Définition de la quantité de mouvement d'un point matériel de masse m .
- ▷ Notion de système (pseudo-)isolé, de référentiel galiléen, et lien entre référentiels galiléens : deux référentiels galiléens sont en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre.
- ▷ Trois lois de Newton : principe d'inertie, principe fondamental de la dynamique (préciser que le référentiel doit être **galiléen**), principe des actions réciproques.
- ▷ Connaître et surtout savoir appliquer la démarche à suivre pour résoudre un problème de mécanique (c'est-à-dire bien souvent, trouver l'équation horaire du mouvement) :
 1. Faire un **schéma**.
 2. Décrire le système, le référentiel (supposé galiléen), le système de coordonnées choisi.
 3. Faire un bilan des forces en donnant leurs expressions dans le repère choisi.
 4. Décrire la cinématique du mouvement : écrire le vecteur vitesse et le vecteur accélération en fonction des coordonnées du système.
 5. Écrire le PFD et projeter sur les axes ; trouver l'équation différentielle (ED) qui donne le mouvement : c'est l'équation du mouvement.
 6. Résoudre l'ED et appliquer les conditions initiales pour trouver l'équation horaire du mouvement.
- ▷ Expression des forces usuelles (la force de Lorentz n'a pas été revue) :
 - ▷ gravitationnelle entre deux masses ponctuelles ;
 - ▷ poids dans un champ de pesanteur constant ;
 - ▷ force de rappel élastique d'un ressort (loi de Hooke).
 - ▷ poussée d'Archimède ;
 - ▷ force de frottement fluide linéaire ($\vec{F} = -\alpha \vec{v}$) ou quadratique ($\vec{F} = -\beta \|\vec{v}\| \vec{v}$).
- ▷ Tension d'un fil inextensible :
 - ▷ force dirigée vers le fil l'exerçant, dans la direction du fil ;
 - ▷ quand la tension du fil devient nulle, le fil se détend.
- ▷ Réaction d'un support :
 - ▷ savoir déterminer l'expression de la réaction normale d'un support en compensant avec l'accélération et les autres forces ;
 - ▷ quand la réaction normale s'annule, le système se décolle du support ;
 - ▷ lois de Coulomb pour le frottement solide (non explicitement au programme : doivent être rappelées en début d'exercice).
- ▷ Exemple d'application du **pendule simple**, approximation des petits angles et savoir reconnaître l'oscillateur harmonique.

Chapitre 13 – Travail et énergie

Ce chapitre, dans lequel on étudie un point matériel, contient 4 théorèmes principaux : TEC, TPC, TEM et TPM, qui sont équivalents mathématiquement.

- ▷ Définition de la puissance $\mathcal{P}(t)$ d'une force à un instant donné et du travail infinitésimal δW .
- ▷ Définition du travail d'une force sur un chemin quelconque comme le bilan de l'énergie apportée au système par cette force pendant un mouvement.
- ▷ Théorèmes de la puissance et de l'énergie cinétique (à savoir démontrer pour un point matériel à partir de la 2^e loi de Newton).
- ▷ Définition d'une force conservative : force dont le travail entre deux points est indépendant du chemin suivi.
- ▷ Définition de l'énergie potentielle associée à une force conservative \vec{F} : $d\mathcal{E}_p = -\delta W = -\mathcal{P}(t) dt = -\vec{F} \cdot d\overrightarrow{OM}$, ainsi que $\vec{F} = -\overrightarrow{\text{grad}} \mathcal{E}_p$.
- ▷ Savoir que cela implique que la variation de l'énergie potentielle au cours d'un mouvement est l'opposé du travail la force conservative entre la position initiale et la position finale (qui ne dépend que des points extrémaux et pas du chemin suivi).
- ▷ Connaître et savoir démontrer les théorèmes de la puissance et de l'énergie mécanique.
- ▷ Savoir ce qu'est un mouvement conservatif (définition et surtout conséquence : l'énergie mécanique est conservée).
- ▷ Savoir que le poids, la force de rappel d'un ressort et l'attraction gravitationnelle sont des forces conservatives, et **connaître** les expressions des énergies potentielles associées (les forces électriques n'ont pas été revues).
- ▷ Savoir que les frottements (fluides ou solides) ne sont pas des forces conservatives (exemple de différence entre un système immobile et le même système parcourant une boucle/un aller-retour).

- ▷ Pour un mouvement conservatif *unidimensionnel* (dimension notée x) :
 - ▷ Définition d'une position d'équilibre.
 - ▷ Critère pour trouver la position d'équilibre $x_{\text{éq}}$: dérivée de l'énergie potentielle nulle en ce point $\frac{d\mathcal{E}_p}{dx}(x_{\text{éq}}) = 0$.
 - ▷ Critère de stabilité de cette position d'équilibre $x_{\text{éq}}$ en fonction du fait que l'extremum soit un maximum ou un minimum, et donc en fonction du signe de $\frac{d^2\mathcal{E}_p}{dx^2}(x_{\text{éq}})$.
 - ▷ Savoir repérer des positions d'équilibre sur un graphe d'énergie potentielle et leur stabilité.
 - ▷ Interprétation sur une courbe d'énergie potentielle du caractère libre (non borné) ou lié (borné) d'un mouvement en fonction des conditions initiales : ces dernières nous permettent de déterminer l'énergie mécanique (qui est conservée) et donc les positions accessibles au système pendant son mouvement, en la comparant à la courbe d'énergie potentielle.
 - ▷ Savoir montrer et exploiter que le mouvement au voisinage d'une position d'équilibre stable est celui d'un oscillateur harmonique, et déterminer la pulsation propre de cet OH en fonction de $\frac{d^2\mathcal{E}_p}{dx^2}(x_{\text{éq}})$.

Chapitre 14 – Mouvements de particules chargées

- ▷ Connaître l'expression de la force d'interaction de Coulomb s'exerçant entre deux charges q_1 et q_2 , ainsi que l'énergie potentielle associée.
- ▷ Connaître l'expression de la force de Lorentz s'appliquant sur une charge q de vitesse \vec{v} plongée dans un champ \vec{E} et un champ \vec{B} .
- ▷ Savoir donner quelques ordres de grandeur de champs magnétiques (champ magnétique terrestre, aimant usuel).
- ▷ Savoir donner quelques ordres de grandeur de champs électriques.
- ▷ Savoir que la force de pesanteur est presque toujours négligeable devant la force de Lorentz.
- ▷ Montrer qu'un champ magnétique seul ne peut pas modifier la vitesse d'une particule chargée.
- ▷ Montrer que le mouvement d'une charge q uniquement soumise à un champ électrostatique est parabolique.
- ▷ Connaître et savoir exploiter le lien entre champ électrostatique \vec{E} et potentiel électrique V , et donc entre potentiel électrique et énergie potentielle V :

$$\vec{E} \cdot d\vec{OM} = -dV \quad \text{et donc} \quad \mathcal{E}_p(M) = qV(M) \quad (8)$$

- ▷ Savoir utiliser le gradient pour déterminer \vec{E} à partir de \mathcal{E}_p :

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}(V) \quad (9)$$

- ▷ En règle générale, savoir que le champ va toujours des zones de fort potentiel aux zones de faible potentiel.
- ▷ En utilisant le TEC, relier la variation d'énergie cinétique à la différence de potentiel.
- ▷ En admettant que le champ électrique entre deux plaques d'un condensateur de tension U est uniforme et perpendiculaire au plan des plaques, en déduire l'expression de \vec{E} en fonction de U et de a , la distance entre les plaques.
- ▷ Savoir montrer que la composante de la vitesse parallèle à un champ \vec{B} n'est pas modifiée par ce dernier.
- ▷ Définition et signification de la pulsation cyclotron ω_c .
- ▷ Pour une charge q de masse m et de vitesse initiale \vec{v}_0 plongée dans un champ magnétostatique \vec{B} , savoir établir l'expression du rayon de la trajectoire en fonction de m , B , q et v_0 .
- ▷ Savoir justifier le sens de parcours en fonction de la charge q , de \vec{v}_0 et de \vec{B} (règle de la main droite).

Chapitre 15 – Interactions intermoléculaires

- ▷ Savoir déterminer la géométrie d'une molécule en fonction du nombre de doublets (liants ou non-liants) entourant l'atome central ; théorie VSEPR.
- ▷ Expliquer l'origine physique du moment dipolaire.
- ▷ Déterminer la direction et le sens du moment dipolaire d'une liaison.
- ▷ Déterminer la direction et le sens du moment dipolaire d'une molécule (en première approximation, somme *vectorielle* des moments dipolaires de chacune des liaisons).
- ▷ Savoir définir l'énergie d'interaction (molaire ou pas) entre deux corps (énergie minimale à fournir pour éloigner les deux corps à l'infini l'un de l'autre).
- ▷ Connaître les caractéristiques des trois types d'interactions de van der Waals (Keesom, Debye, London) : dipôles permanents ou dipôles induits, ordre de grandeur des énergies de liaison.

- ▷ Savoir que ces trois interactions sont caractérisés par une énergie en $1/r^6$.
- ▷ Savoir pourquoi il est nécessaire d'introduire une énergie répulsive (prise conventionnellement en $1/r^{12}$).
- ▷ Connaître les caractéristiques d'une liaison hydrogène : liaison entre un hydrogène lié à un petit atome très électronégatif (O, N ou F) et un doublet non liant porté par ces mêmes atomes ; ordre de grandeur de l'énergie de liaison ; caractère protique d'une molécule.
- ▷ Savoir que les liaisons hydrogènes peuvent avoir lieu entre deux molécules, ou au sein d'une même molécule.
- ▷ Connaître le lien qualitatif entre l'énergie d'interaction d'une liaison et sa longueur : plus il faut d'énergie pour « casser » une liaison, plus cette dernière est de faible longueur.
- ▷ Lier qualitativement la valeur plus ou moins grande des forces intermoléculaires à la polarité et la polarisabilité des molécules.
- ▷ Connaître le lien entre température et vitesse d'agitation moléculaire.
- ▷ Savoir qu'un changement d'état s'interprète comme la rupture de liaisons entre molécules, et donc qu'une température de changement d'état est associée à une énergie cinétique suffisante pour briser ces liaisons.
- ▷ Prévoir ou interpréter les propriétés physiques de corps purs par l'existence d'interactions de van der Waals ou de liaisons hydrogène intermoléculaires.
- ▷ Interpréter des différences de solubilité ou de miscibilité entre espèces chimiques dans un solvant.
- ▷ Expliquer qualitativement le mécanisme microscopique de mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.
- ▷ Comparer deux solvants en terme de polarité, proticité et pouvoir dispersif.
- ▷ Justifier le choix d'un solvant adapté à la dissolution d'une espèce donnée, à la réalisation d'une extraction et aux principes de la chimie verte.

Chapitre 16 – Équilibres acido-basiques

Dans le cadre du programme, on se limite à **une** réaction prépondérante et l'autoprotolyse négligeable.

- ▷ Savoir définir un acide et une base selon Brønsted. Notion de polyacide.
- ▷ Connaître quelques couples acido-basiques « classiques » : couples de l'eau, acide chlorhydrique, acide éthanoïque, ammoniac, soude, etc.
- ▷ Savoir écrire une réaction acido-basique.
- ▷ Savoir définir l'autoprotolyse de l'eau (AP), le produit ionique de l'eau ainsi que sa valeur à 25 °C.
- ▷ Connaître la définition du pH à partir de l'activité de l'ion H_3O^+ .
- ▷ Savoir justifier pourquoi un pH est compris entre 0 et 14 en solution aqueuse : cela correspond aux plages de concentrations sur lesquelles l'activité est assimilable à la concentration en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- ▷ Savoir définir une solution acide, neutre et basique.
- ▷ Notion d'acide fort, de base forte, d'acide faible et de base faible.
- ▷ Savoir définir une constante d'acidité et une constante de basicité ; connaître le lien entre les deux.
- ▷ Connaître et savoir démontrer la formule du pH en fonction des concentrations en acide et base d'un couple à l'équilibre en solution (relation d'Henderson-Hasselbalch)

$$\text{pH} = \text{pK}_a(\text{AH}/\text{A}^-) + \log \left(\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{AH}]_{\text{éq}}} \right) \quad (10)$$

- ▷ Savoir définir et tracer un diagramme de prédominance ($[\text{AH}] > [\text{A}^-]$) et de majorité ($[\text{AH}] > 10[\text{A}^-]$). Savoir exploiter un diagramme de distribution.
- ▷ Savoir relier qualitativement la force d'un acide (ou d'une base) à son pK_a .
- ▷ Savoir exprimer la constante de réaction d'une réaction acido-basique en fonction (de la différence) des pK_a des différents couples.
- ▷ En utilisant un diagramme de pK_a , savoir déterminer si une réaction acido-basique est favorable ($K^\circ > 1$) ou défavorable ($K^\circ < 1$) en utilisant la règle du « gamma ».
- ▷ Savoir expliquer qualitativement ce que signifie « négliger l'autoprotolyse de l'eau ». Savoir dans quel domaine de pH on peut le faire ($\text{pH} < 6,5$ ou $\text{pH} > 7,5$).
- ▷ Savoir calculer le pH d'une solution d'acide fort, de base forte, d'acide faible ou de base faible.
- ▷ **Important** : savoir réaliser les approximations nécessaires pour limiter les calculs au maximum.
- ▷ **Important (bis)** : savoir vérifier *a posteriori* les approximations effectuées.

Titrages

- ▷ Savoir définir un titrage/dosage (la distinction n'est pas pertinente).
- ▷ Connaître les propriétés que doit vérifier une réaction de titrage (quantitative/totale, rapide, repérable, univoque).
- ▷ Savoir définir l'équivalence.
- ▷ Savoir étudier un titrage acido-basique par conductimétrie ; savoir comparer qualitativement les conductivités molaires de H_3O^+ et HO^- avec celles des autres ions en solution.
- ▷ Savoir étudier un titrage acido-basique par pH-métrie (acide fort/base forte et acide faible/base forte traités en cours) :
 - ▷ définir proprement le volume équivalent ;
 - ▷ tracer qualitativement l'allure de la courbe de titrage (pH en fonction de V) ;
 - ▷ savoir utiliser cette courbe si elle est donnée dans un exercice.
- ▷ Savoir définir un indicateur coloré acido-basique, connaître si possible quelques indicateurs « usuels ».
- ▷ Savoir que pour utiliser un IC lors d'un titrage, le pH à l'équivalence doit se situer dans la zone de virage de l'indicateur.

Chapitre 17 – Régime sinusoïdal forcé

- ▷ Forme générale d'un signal réel en Régime Sinusoïdal Forcé (ou « régime sinusoïdal permanent », ou « régime sinusoïdal établi ») à une pulsation ω : c'est un signal sinusoïdal de **même pulsation** dont l'amplitude (réelle) et la phase par rapport au signal d'excitation sont à déterminer.
- ▷ Notation/grandeur complexe associée à un signal sinusoïdal réel ; amplitude complexe, définie en fonction de l'amplitude réelle et de la phase.
- ▷ Dérivation ou intégration d'un signal en notation complexe : multiplication ou division par un facteur $j\omega$.
- ▷ Définition d'une impédance (et d'une admittance) complexe. **Connaître** et **savoir démontrer** les expressions des impédances des dipôles usuels (résistor, bobine et condensateur).
- ▷ Équivalents à haute fréquence/basse fréquence d'un condensateur ou d'une bobine.
- ▷ Association d'impédances en série ou parallèle (les résultats sont les mêmes que pour des résistances).
- ▷ Pont diviseur de tension (pour les tensions aux bornes de dipôles en série) et pont diviseur de courant (pour les courants dans des dipôles en parallèle).
- ▷ Savoir déterminer l'amplitude complexe d'une grandeur électrocinétique dans un circuit en RSF à partir de l'équation différentielle, des lois de Kirchhoff, ou d'un pont diviseur.
- ▷ Savoir faire de même en mécanique à l'aide de l'équation différentielle obtenue par le PFD.
- ▷ Représentation de Fresnel des termes de l'équation différentielle, résolution « géométrique ».
- ▷ Définition de la résonance : existence, en fonction de la pulsation (ou de la fréquence), d'un maximum de l'amplitude réelle d'une grandeur du système, à amplitude d'excitation fixée. La pulsation du maximum est appelée pulsation de résonance.
- ▷ En utilisant les notations complexes, savoir montrer l'existence d'une résonance en RSF :
 - ▷ en intensité et en tension (aux bornes du condensateur) dans un circuit RLC série ;
 - ▷ en vitesse et en élongation pour un système mécanique masse-ressort amorti excité par un moteur/pot vibrant.
- ▷ Définir la largeur d'un pic de résonance $\Delta\omega$ à l'aide des pulsations telles que l'amplitude de la réponse est égale à l'amplitude maximale divisée par $\sqrt{2}$.
- ▷ Dans le cas d'une résonance en vitesse/intensité, relier l'acuité ($\omega_{\text{résonance}}/\Delta\omega$) de la résonance et le facteur de qualité du circuit.

Chapitre 18 – Filtrage linéaire

- ▷ Savoir définir la fonction de transfert d'un système.
- ▷ Pour une tension d'entrée sinusoïdale, savoir que le module (resp. l'argument) de la fonction de transfert donne accès à l'amplitude (resp. au déphasage) de la tension de sortie.
- ▷ Savoir utiliser la linéarité pour une tension d'entrée comportant plusieurs composantes sinusoïdales.
- ▷ Savoir définir l'ordre d'un filtre à l'aide de la fonction de transfert ; savoir que qualitativement plus l'ordre est élevé, plus le filtrage est « efficace ».
- ▷ Être capable de prévoir le comportement du filtre en raisonnant uniquement sur les équivalents BF et HF des composants.
- ▷ Savoir déterminer l'expression de la fonction de transfert (il faut presque toujours repérer un pont diviseur de tension).
- ▷ Savoir étudier les comportements asymptotiques en donnant un équivalent de la fonction de transfert et retrouver les résultats déterminés avec les circuits équivalents.

- ▷ Savoir définir, calculer et tracer le gain en fonction de la fréquence du signal d'entrée.
- ▷ Savoir définir et déterminer, à partir du gain, la (ou les) fréquence(s) de coupure et la bande passante.
- ▷ Savoir approximer la courbe de gain par une courbe simple pour raisonner rapidement sur le filtre.
- ▷ Savoir définir et calculer le gain en décibels (sans oublier l'*unité*).
- ▷ Savoir utiliser une échelle semi-logarithmique ; en particulier savoir que représenter x en échelle logarithmique est équivalent à représenter $\log(x)$ en échelle linéaire.
- ▷ Savoir que le gain en dB à la pulsation de coupure correspond au gain maximal en dB diminué de 3 dB.
- ▷ Savoir tracer le diagramme de Bode asymptotique en donnant un équivalent de la fonction de transfert puis savoir tracer *qualitativement* l'allure du diagramme de Bode réel (pour les filtres d'ordre 2, savoir comment le facteur de qualité influence les courbes).

Ont été traités en cours de manière exhaustive :

- ▷ Le filtre RC série (tension aux bornes de C), filtre passe-bas d'ordre 1.
 - ▷ Savoir montrer que ce circuit est *intégrateur* en HF mais que l'amplitude du signal de sortie est « faible ».
 - ▷ Savoir montrer que ce circuit peut être utilisé comme moyenneur.
- ▷ Le circuit RL série (tension aux bornes de L), filtre passe-haut d'ordre 1.
 - ▷ Savoir montrer que le circuit RL est *dérivateur* en BF mais que l'amplitude du signal de sortie est « faible ».
- ▷ Le circuit RLC série (tension aux bornes de C), filtre passe-bas d'ordre 2.
- ▷ Le circuit RLC série (tension aux bornes de R), filtre passe-bande d'ordre 2.
 - ▷ Savoir montrer que ce circuit est intégrateur en HF, dérivateur en BF et savoir discuter le rôle du facteur de qualité.

Chapitre 19 – Réactions de précipitation

- ▷ Définition d'un précipité ; méthodes pour obtenir un précipité (placer en excès un solide dans l'eau ou mélanger deux solutions réagissant pour former un précipité).
- ▷ Définition d'un solide ionique.
- ▷ Produit de solubilité ; solubilité d'un solide en solution.
- ▷ Condition de précipitation (et donc de non-précipitation) d'un précipité.
- ▷ Savoir écrire l'équilibre en présence du précipité.
- ▷ Diagramme d'existence : définition et tracé sur un cas simple fourni.
- ▷ Facteurs d'influence sur la solubilité :
 - ▷ Savoir décrire qualitativement l'effet d'ions communs sur la solubilité, et quantitativement sur un exemple fourni.
 - ▷ Savoir décrire qualitativement l'influence d'une consommation d'une des espèces du précipité sur la solubilité, et quantitativement sur un exemple fourni ;
 - ▷ Savoir étudier l'influence du pH sur la solubilité.

Chapitre 20 – Oxydoréduction

- ▷ Savoir définir un oxydant et un réducteur.
- ▷ Connaître et savoir utiliser la méthode pour écrire une demi-équation électronique associée à un couple Ox/Red.
- ▷ Savoir écrire une réaction d'oxydoréduction en utilisant les demi-équations électroniques.
- ▷ Connaître et savoir écrire les demi-équations électroniques des couples de l'eau.
- ▷ Pouvoir citer quelques couples « usuels » : Na^+/Na , Cu^{2+}/Cu , Cl_2/Cl^- , $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$, etc.
- ▷ Savoir définir, calculer et connaître la signification qualitative d'un nombre d'oxydation. Savoir que généralement dans un édifice $n_o(\text{O}) = -II$ et $n_o(\text{H}) = +I$; connaître les exceptions.
- ▷ Savoir que la variation du nombre d'oxydation au cours d'une réaction rédox correspond au nombre d'électrons échangés.
- ▷ Pour les piles :
 - ▷ Savoir dessiner une pile.
 - ▷ Savoir ce que signifie la tension à vide (f.é.m.).
 - ▷ Connaître le rôle du pont salin.
 - ▷ Savoir décrire le déplacement des charges (ions et électrons) en fonction de la valeur de la f.é.m.
 - ▷ Définition de l'anode et de la cathode.
 - ▷ Écriture conventionnelle d'une pile.
 - ▷ Les électrolyseurs sont hors-programme en première année.

- ▷ Savoir définir l'ESH.
- ▷ Connaître la formule de Nernst associé à un couple rédox et la formule simplifiée à température ambiante.
- ▷ Savoir définir une électrode de mesure et une électrode de référence.
- ▷ Savoir prévoir le sens d'évolution d'une pile en utilisant la formule de Nernst.
- ▷ Diagrammes de prédominance/d'existence de couples rédox. Savoir expliquer la nécessité de convention de tracé.
- ▷ Déterminer qualitativement le sens d'une réaction rédox avec une échelle de potentiels standard.
- ▷ Connaître et savoir démontrer le lien entre constante d'équilibre d'une réaction rédox et potentiel standard, en utilisant le fait que le potentiel d'une solution est unique.
- ▷ Savoir définir et reconnaître une dismutation et une médiamutation.
- ▷ Savoir déterminer un potentiel standard inconnu en fonction de potentiels standards et/ou de constantes d'équilibre fournies.

Chapitre 21 – Théorème du moment cinétique

- ▷ Définition du moment cinétique $\vec{\sigma}_O$ (ou \vec{L}_O) **par rapport à un point O** d'un point matériel M de masse m et animé d'une vitesse \vec{v} .
- ▷ Savoir démontrer la relation entre le moment cinétique de M par rapport à O et le moment cinétique de M par rapport à un autre point O'.
- ▷ Moment cinétique d'un point M par rapport à un axe orienté (Δ, \vec{u}) . Savoir que le moment cinétique par rapport à un point est une grandeur **vectorielle** alors que le moment cinétique par rapport à un axe est une grandeur **scalaire**.
- ▷ Moment par rapport à O (ou « en O ») d'une force dont le point d'application est M.
- ▷ Moment d'une force par rapport à un axe orienté (Δ, \vec{u}) . Notion de bras de levier. Savoir utiliser le bras de levier pour déterminer le moment.
- ▷ Savoir énoncer puis démontrer le théorème du moment cinétique vectoriel pour un point matériel.
- ▷ Pour un point M en rotation circulaire (de centre O et de rayon R) autour d'un axe fixe (Δ, \vec{u}) , savoir établir l'expression du moment cinétique de M par rapport à O, puis par rapport à Δ .

Chapitre 22 – Mouvements à forces centrales

- ▷ Définition d'une force centrale ; savoir reconnaître une force centrale attractive ou répulsive.
- ▷ Travail élémentaire d'une force centrale.
- ▷ Force centrale newtonienne : définition et exemples.
- ▷ Savoir qu'une force centrale newtonienne est conservative et savoir déterminer l'énergie potentielle associée.
- ▷ Savoir démontrer la conservation du moment cinétique pour un point matériel soumis à une force centrale. Connaître et savoir démontrer les conséquences :
 - ▷ le mouvement est plan ; ce plan passe par O et est orthogonal à $\vec{\sigma}_O$;
 - ▷ la constante des aires est une... constante ;
 - ▷ expression de l'aire balayée et deuxième loi de Kepler.
- ▷ Pour un mouvement à force centrale newtonienne :
 - ▷ Savoir introduire la notion d'énergie potentielle effective et connaître son intérêt.
 - ▷ Savoir tracer l'allure de l'énergie potentielle effective en fonction de la distance dans les cas attractif et répulsif.
 - ▷ Connaître les différentes trajectoires possibles en fonction du signe de K et de la valeur de l'énergie mécanique.
- ▷ Pour les trajectoires circulaires et elliptiques d'un mouvement à force centrale newtonienne
 - ▷ savoir étudier précisément le cas circulaire (vitesse, accélération, énergie mécanique...);
 - ▷ connaître et savoir redémontrer la troisième loi de Kepler ;
 - ▷ savoir comment cette loi se généralise aux mouvements elliptiques et connaître l'expression de l'énergie mécanique ;
 - ▷ maîtriser les propriétés géométriques « simples » des ellipses.
- ▷ Définition d'un satellite géostationnaire, conditions nécessaires pour l'obtenir, ordre de grandeur de l'altitude.
- ▷ Première vitesse cosmique et vitesse de libération (seconde vitesse cosmique). Ordres de grandeur pour la Terre.

Chapitre 23 – Introduction à la physique quantique

- ▷ Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière. Savoir établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence du rayonnement.

- ▷ Expliquer en quoi l'expérience des fentes d'Young, utilisées avec des électrons, impliquent que ces électrons possèdent un comportement ondulatoire.
- ▷ **Relations de Planck-Einstein** pour un photon constituant une lumière de fréquence ν :

$$\varepsilon = h\nu \quad \text{et} \quad p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \hbar k$$

- ▷ **Longueur d'onde de de Broglie** (prononcé de Broye) pour une particule de vitesse v (non relativiste) ayant une masse :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad \text{avec toujours l'énergie cinétique} \quad \mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$$

- ▷ Savoir déterminer si des aspects ondulatoires de la matière se manifesteront dans une situation en comparant les longueurs d'ondes de de Broglie aux longueurs caractéristiques de la situation.
- ▷ Interprétation probabiliste de la fonction d'onde : $|\Psi(x, t)|^2 dx$ est la probabilité qu'on détecte la particule dans un intervalle dx autour du point de coordonnée x à un instant t donné.
- ▷ Comprendre de cette interprétation que l'état précis d'une particule ne peut jamais être exactement connu. La position ou l'impulsion d'une particule, mesurées séparément, ne peuvent alors pas être connues simultanément, chaque mesure influant sur l'état du système.
- ▷ Ces indéterminations sont de plus liées, dans le cas de position et impulsion sur un même axe : si on mesure de plus en plus précisément l'un des deux, l'indétermination de l'autre augmente. Cela est exprimé par l'**inégalité de Heisenberg** :

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2} \quad (\text{idem dans les autres directions})$$

- ▷ Modèle de Bohr :

- ▷ Hypothèses mécaniques (électron particule ponctuelle, proton immobile, trajectoire circulaire, force électrostatique) et de quantification ($\|\vec{\sigma}_O\| = n\hbar$).
- ▷ Expression du *rayon* et de l'*énergie mécanique* en fonction de n .
- ▷ Formule de Rydberg permettant de déterminer les longueurs d'onde d'émission et d'absorption :

$$\frac{1}{\lambda_{\text{émis}}} = R_\infty \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (11)$$

Chapitre 24 – Diagrammes E-pH

- ▷ Principe d'un diagramme E-pH. Savoir expliquer l'utilité de conventions de tracé et savoir utiliser les conventions de tracé données.
- ▷ Seul le tracé *ab nihilo* du diagramme de l'eau est exigible, en connaissant les conventions « classiques » : pressions partielles égales à la pression standard. Savoir interpréter ce diagramme.
- ▷ Définition d'un hydroxyde métallique. Savoir expliquer pourquoi un hydroxyde métallique a un comportement basique en solution (libération d'ions HO^-).

Les compétences qui suivent s'appliquent à un (ou plusieurs) diagrammes fournis, en précisant la liste des espèces présentes mais pas forcément leur domaine de stabilité.

- ▷ Savoir placer les différentes espèces en raisonnant uniquement sur les nombres d'oxydation et sur le caractère acido-basique.
- ▷ Savoir établir l'équation des différentes frontières en utilisant les conventions fournies.
- ▷ Savoir utiliser les propriétés de continuité du diagramme.
- ▷ Savoir prédire, à l'aide des diagrammes, si deux espèces peuvent (ou non) coexister et les conséquences.
- ▷ Savoir repérer une dismutation sur un diagramme E-pH.

Chapitre 25 – Mécanique du solide

- ▷ Définition d'un solide (indéformable). Description cinématique d'un solide pour deux types de mouvements :
 - ▷ Solide en translation : tous les points du solide ont la même vitesse instantanée ; translation rectiligne et translation circulaire.
 - ▷ Solide en rotation autour d'un axe Δ : tous les points du solide ont la même *vitesse de rotation* ; vecteur vitesse angulaire $\vec{\Omega}$; lien entre la vitesse \vec{v}_i d'un point M_i du solide et $\vec{\Omega}$:

$$\vec{v}_i = \vec{\Omega} \wedge \overrightarrow{OM_i} \quad \text{où } O \in \Delta \quad (12)$$

- ▷ Savoir donner la définition générale d'un moment d'inertie par rapport à un axe Δ

$$J_{\Delta} = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2 \quad (13)$$

sa dimension, sa signification physique (résistance du solide à sa mise en rotation). Aucune expression de moment d'inertie n'est à connaître ni à savoir démontrer.

- ▷ Expliquer qualitativement pourquoi, si on considère une boule homogène et une sphère de même masse, $J_{\Delta}(\text{boule}) < J_{\Delta}(\text{sphère})$, où Δ passe par le centre de la boule/sphère.
- ▷ Pour un solide en rotation autour d'un axe fixe (Δ, \vec{u}) , savoir donner (**sans démonstration**) la relation entre le moment cinétique scalaire du solide σ_{Δ} , la vitesse angulaire de rotation ω et le moment d'inertie du solide J_{Δ} :

$$\sigma_{\Delta} = J_{\Delta} \omega \quad (14)$$

- ▷ Expression du théorème du moment cinétique pour un solide de moment d'inertie J_{Δ} en rotation autour d'un axe fixe Δ .
- ▷ Cas particulier du poids s'exerçant sur un solide : son action mécanique est équivalente au poids exercé sur le centre d'inertie G affublé de la masse totale du solide (résultante des forces et somme des moments).
- ▷ Définition d'un couple. Définition d'une liaison pivot idéale (ou parfaite).
- ▷ Pour un solide en rotation autour d'un axe fixe (Δ, \vec{u}) , de moment d'inertie J_{Δ} , savoir donner (**sans démonstration**) l'expression de son énergie cinétique.
- ▷ Savoir montrer que, pour un solide en rotation autour d'un axe fixe, il y a équivalence entre la loi scalaire du moment cinétique et le théorème de la puissance cinétique (on passe de l'une à l'autre en dérivant ou en intégrant par rapport au temps, à un facteur θ près).
- ▷ Exemple du pendule pesant de moment d'inertie J_{Δ} par rapport à son axe de rotation constitué d'une liaison parfaite :
 - ▷ Savoir établir l'équation du mouvement en utilisant le théorème du moment cinétique.
 - ▷ Savoir établir une intégrale première du mouvement (correspondant à la conservation de l'énergie mécanique).

Chapitre 26 – Introduction à la thermodynamique

- ▷ Savoir définir un système, le milieu extérieur, la frontière. Système fermé, isolé, ouvert.
- ▷ Savoir définir les différentes échelles d'étude (microscopique, macroscopique et mésoscopique)
- ▷ Savoir définir une variable d'état et connaître les principales (P , T , V et n) ainsi que leurs unités SI.
- ▷ Savoir définir une variable extensive ou intensive, règles de calcul.
- ▷ Savoir que l'état macroscopique du système peut être connu grâce aux variables d'état.
- ▷ Savoir ce qu'est une équation et une fonction d'état.
- ▷ Savoir définir un système **thermoélastique** (système ne nécessitant pour être décrit que les variables P , T , V et n).
- ▷ Savoir définir l'équilibre thermodynamique, correspondant à la donnée **conjointe** de
 - ▷ l'équilibre mécanique, qui implique l'égalité des pressions (interne et externe au système) au niveau d'une paroi mobile ;
 - ▷ l'équilibre thermique, qui implique l'égalité des températures (interne et externe au système) au niveau d'une paroi diathermane.
- ▷ Dans le cas d'un système constitué de particules ponctuelles en interaction, savoir décomposer l'énergie mécanique en sa partie « microscopique » et sa partie « macroscopique ».
- ▷ Définition de l'énergie interne. Définition de l'enthalpie $H = U + P V$.
- ▷ Grandeurs massiques (notées en minuscules : x) et grandeurs molaires (notées en majuscule avec indice : X_m) associées à une grandeur extensive X .
- ▷ Capacité thermique à volume constant C_V et capacité thermique à pression constante C_P . Grandeurs intensives associées.
- ▷ Étude des gaz.
 - ▷ Savoir décrire le modèle du gaz parfait (GP), définition du GP monoatomique (GPM) et diatomique (GPD).
 - ▷ Pour un GPM, savoir définir T et exprimer U en fonction de T et C_V (la pression cinétique est hors programme).
 - ▷ Savoir trouver rapidement quelques ordres de grandeur (densité particulaire, volume molaire, distance interparticulaire, etc.).
 - ▷ Savoir et savoir montrer qu'un GPM vérifie la première loi de Joule et la seconde loi de Joule.
 - ▷ Utiliser le fait que pour un GP quelconque, si C_V et C_P sont indépendantes de la température on a

$$\Delta U = C_V \Delta T \quad \text{et} \quad \Delta H = C_P \Delta T \quad (15)$$

- ▷ Connaître les valeurs de C_V et C_P pour un GPM et GPD.
- ▷ Coefficient adiabatique γ . Loi de Mayer. Valeurs de γ pour un GPM et GPD.
- ▷ Savoir que le GP est un modèle « basse pression » de gaz réel. Diagrammes d'Amagat.
- ▷ Modèle du gaz de van der Waals à partir de l'équation d'état *fournie*. Interprétation qualitative des termes.
- ▷ Étude des phases condensées.
 - ▷ Modèle de la phase condensée incompressible et indilatable (PC2I) : $V = \text{cte}$.
 - ▷ Savoir que pour une PC2I U ne dépend que de T ; savoir que si C_V est indépendante de T on a

$$\Delta U = C_V \Delta T \quad (16)$$

- ▷ Savoir que pour une phase condensée réelle, U est une fonction de T et V (on admet l'existence d'une équation d'état). Savoir que pour une phase condensée $\Delta U \simeq \Delta H$.
- ▷ Savoir définir les coefficients thermoélastiques α et χ_T . Savoir les déterminer pour un GP.

Chapitre 27 – Corps pur diphasé

- ▷ Connaître les noms des transitions de phase entre les trois états de la matière liquide, solide et gaz.
- ▷ Savoir tracer qualitativement le diagramme (P, T) d'un corps pur. Car particulier de l'eau. Point triple, point critique.
- ▷ Connaître la définition de la pression de vapeur saturante à une température donnée T .
- ▷ Savoir qu'en présence d'une atmosphère il faut prendre en compte la *pression partielle* du corps pur.
- ▷ Savoir tracer qualitativement le diagramme de Clapeyron d'un corps pur pour l'équilibre liquide-vapeur. Courbe de saturation, qui est la réunion de la courbe de rosée et de la courbe d'ébullition.
- ▷ Isothermes d'Andrews. Savoir déterminer l'état d'un corps pur subissant une transformation isotherme.
- ▷ Connaître et savoir démontrer la règle (ou le théorème, ou la loi) des moments dans un diagramme de Clapeyron. Savoir l'utiliser pour déterminer la composition d'un mélange diphasé, en raisonnant par hypothèse sur la composition du système à l'équilibre.

Chapitre 28 – Premier Principe de la Thermodynamique

- ▷ Définition d'un équilibre interne (variables d'état intensives définies).
- ▷ Définition d'une transformation monotherme, isotherme, monobare, isobare, isochore et adiabatique.
- ▷ Définition d'un thermostat (système gardant une température constante quelle que soit la transformation subie) et d'un pressostat (système gardant une pression constante quelle que soit la transformation subie).
- ▷ Savoir définir une transformation quasi-statique : suffisamment lente pour qu'il y ait équilibre interne à tout instant dans le système.
- ▷ Savoir énoncer le premier principe pour un système macroscopiquement au repos, en expliquant la signification de tous les termes. En particulier, savoir que U est une fonction d'état (extensive) et les conséquences sur sa variation.
- ▷ Savoir exprimer le premier principe de manière élémentaire, et comprendre la distinction entre dX et δX .
- ▷ Travail des forces de pression.
 - ▷ Savoir établir le travail des forces de pression sur une géométrie simple, en étant précis sur la notion de pression extérieure P_{ext} .
 - ▷ Savoir que dans le cas d'une transformation quasistatique $P_{\text{ext}} = P$ et savoir le justifier.
 - ▷ Savoir établir le travail des forces de pression pour une transformation isochore, monobare ou isobare.
 - ▷ Savoir interpréter graphiquement le travail dans un diagramme de Watt (P, V) pour une transformation quasistatique. Notion de cycle moteur ou récepteur.
- ▷ Transfert thermique.
 - ▷ Connaître les trois types de transfert thermique (conduction, convection, rayonnement).
 - ▷ Savoir qu'il faut déterminer le transfert thermique Q en faisant la différence entre ΔU et W .
 - ▷ Savoir déterminer Q pour une transformation adiabatique, isochore, isotherme.
- ▷ Détente de Joule-Gay-Lussac : dispositif, mise en équation et conséquence pour un GP.
- ▷ Savoir établir la loi de Laplace et ses hypothèses (GP, transformation quasistatique et adiabatique).
- ▷ Savoir comparer la pente d'une adiabatique quasistatique et d'une isotherme (d'un GP) dans un diagramme de Watt.
- ▷ Variation d'enthalpie au cours d'une transformation monobare et en équilibre mécanique à l'EI et EF.
- ▷ Application aux transitions de phase : enthalpie massique de changement d'état (« chaleur latente »). Connaître les signes de L_{fusion} et $L_{\text{vaporisation}}$ pour un corps pur.
- ▷ Calorimétrie.

- ▷ Définition et description schématique d'un calorimètre.
- ▷ Savoir effectuer un bilan d'enthalpie pour déterminer l'état final d'un mélange présent dans un calorimètre (en fonctionnant par hypothèse).

Chapitre 29 – Second Principe de la Thermodynamique

- ▷ Savoir énoncer le second principe (pour une transformation élémentaire ou non).
- ▷ Notion de transformation réversible ; causes possibles d'irréversibilité.
- ▷ Conséquence sur un système isolé : l'entropie d'un tel système ne peut que croître.
- ▷ Savoir calculer l'entropie créée et échangée pour une transformation adiabatique, monotherme, isotherme, réversible.
- ▷ Savoir utiliser les propriétés de *fonction d'état* de l'entropie.
- ▷ Connaître et savoir déterminer la variation d'entropie d'une PC2I et d'un gaz parfait au cours d'une transformation quelconque.
- ▷ Savoir qu'une transformation adiabatique et réversible implique qu'elle est isentropique.
- ▷ Interprétation statistique de l'entropie : notion de micro état et de macro-état, formule de Boltzmann (admise).
- ▷ Application à la variation d'entropie d'un GP au cours d'une détente de Joule-Gay-Lussac.
- ▷ Définition de l'entropie de changement d'état ; lien avec l'enthalpie de changement d'état.

Chapitre 30 – Machines thermiques

- ▷ Connaître la définition d'une machine thermique, savoir tracer le schéma conventionnel avec sens des échanges d'énergie.
- ▷ Connaître le lien entre la nature de la machine et le signe du travail reçu.
- ▷ Savoir réaliser un bilan d'énergie et d'entropie sur un cycle.
- ▷ Connaître et savoir démontrer l'inégalité de Clausius.
- ▷ Savoir expliquer pourquoi un moteur monotherme est impossible.
- ▷ Savoir établir le diagramme de Paveau et identifier les zones pertinentes.
- ▷ Savoir déterminer les signes des transferts thermiques et du travail pour un moteur, un frigo (ou un climatiseur) et une pompe à chaleur (PAC).
- ▷ Savoir définir un rendement (pour un moteur) et une efficacité (pour un frigo ou une PAC).
- ▷ Savoir obtenir les inégalités de Carnot (aussi appelé théorème de Carnot) sur le rendement/efficacité pour les trois machines.
- ▷ Connaître les rendements/efficacités de Carnot.
- ▷ Connaître le cycle de Carnot et savoir le tracer dans un diagramme de Watt (le diagramme T-S n'a pas été vu en cours).
- ▷ Savoir décrire qualitativement le moteur 4 temps et savoir calculer le rendement à partir de données **fournies** sur les transformations.

Chapitre 31 – Champ magnétique

- ▷ Savoir analyser une représentation graphique des lignes de champ d'un champ magnétique : identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources.
- ▷ Connaître l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant, une spire circulaire et une bobine longue (solénoïde).
- ▷ Connaître les propriétés générales des lignes de champ magnétique.
- ▷ Connaître quelques ordres de grandeur de champs magnétiques, en particulier pour le champ magnétique terrestre.
- ▷ Connaître et savoir exploiter le lien qualitatif entre le champ magnétique et l'intensité du courant qui le crée. Connaître l'expression du champ créé dans un solénoïde « infini ».
- ▷ Définition du moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Par analogie, moment magnétique associé à un aimant.
- ▷ Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Chapitre 32 – Actions du champ magnétique

- ▷ Connaître l'expression des forces de Laplace s'exerçant sur une portion élémentaire de conducteur $d\vec{\ell}$ parcourue par un courant i :

$$d\vec{F} = i d\vec{\ell} \wedge \vec{B} \quad (17)$$

- ▷ Savoir en déduire l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.
- ▷ Dispositif des rails de Laplace : savoir calculer la résultante des forces de Laplace sur la tige mobile. Savoir évaluer la puissance des forces de Laplace.
- ▷ Connaître l'expression du moment du couple subi par une spire rectangulaire en rotation autour d'un axe fixe en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire.
- ▷ Par généralisation, connaître l'action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Savoir analyser les positions d'équilibre et leur stabilité.
- ▷ Effet moteur d'un champ magnétique tournant sur un aimant.

Chapitre 33 – Induction – Circuit fixe

- ▷ Savoir évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé **orienté**.
- ▷ Savoir décrire qualitativement des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
- ▷ Loi de modération de Lenz.
- ▷ Force électromotrice induite, loi de Faraday. Savoir utiliser cette loi en précisant les **conventions** d'algébrisation.
- ▷ Savoir utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
- ▷ Auto-induction :
 - ▷ Différencier le flux propre des flux extérieurs. Définition de l'inductance propre d'une boucle de courant.
 - ▷ Connaître et savoir évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur.
 - ▷ Savoir effectuer un bilan de puissance (et d'énergie) dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
- ▷ Induction mutuelle :
 - ▷ Définition de l'inductance mutuelle entre deux circuits.
 - ▷ Savoir analyser deux circuits électriques couplés par induction mutuelle en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.
 - ▷ Savoir établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé.
 - ▷ Connaître (qualitativement) des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.
- ▷ Transformateur idéal : schéma équivalent et relation de fonctionnement.

Chapitre 34 – Induction – Circuit mobile

Ce chapitre est constitué d'exemples détaillés de dispositifs de conversion électromécanique. À connaître :

- ▷ rails de Laplace (conversion mécanique → électrique et inversement) ;
- ▷ spire en rotation (conversion mécanique → électrique) ;

Pour chaque situation, savoir

- ▷ Dessiner un schéma (éventuellement simplifié) du dispositif.
- ▷ Effectuer la mise en équation électrique avec schéma équivalent.
- ▷ Effectuer la mise en équation mécanique (utilisation du TRD ou TMC).
- ▷ Déterminer l'évolution temporelle des paramètres pertinents (généralement vitesse et/ou courant électrique) à partir éventuellement de conditions initiales données.
- ▷ Effectuer un bilan de puissance en identifiant chaque terme, puis éventuellement d'énergie par intégration.

Chapitre 35 – Cristallographie

- ▷ Connaître les définitions d'un cristal parfait, d'un réseau, d'une maille, d'un motif.
- ▷ Connaître les empilements compacts de type ABA et ABC.
- ▷ Maille cubique face centrée.
 - ▷ Savoir dessiner **proprement** la maille CFC.
 - ▷ Définition et calcul de la coordinence, de la population, de la compacité, de la masse volumique.
 - ▷ Définition et calcul d'habitabilité des sites interstitiels tétraédriques et octaédriques.
 - ▷ Les mailles hexagonale compacte et cubique centrée ont été évoquées mais sont à connaître moins en détails que la CFC ; les sites interstitiels de ces mailles n'ont pas été traités.
- ▷ Cristaux métalliques.

- ▷ Connaître les caractéristiques de la liaison métallique (modélisation, directivité, ordre de grandeur de l'énergie d'interaction).
- ▷ Savoir en déduire les conséquences sur les propriétés physiques et chimiques générales des métaux.
- ▷ Cristaux ioniques.
 - ▷ Connaître les caractéristiques de la liaison ionique (modélisation, directivité, ordre de grandeur de l'énergie d'interaction).
 - ▷ Savoir en déduire les propriétés physiques et chimiques générales des cristaux ioniques.
 - ▷ Connaître les hypothèses du modèle de cristal ionique.
 - ▷ Connaître les trois structures classiques de cristallisation : CsCl, NaCl et ZnS.
- ▷ Cristaux covalents.
 - ▷ Connaître les caractéristiques de la liaison covalente (modélisation, directivité, ordre de grandeur de l'énergie d'interaction).
 - ▷ Savoir en déduire les propriétés physiques et chimiques générales des cristaux covalents.
- ▷ Cristaux moléculaires.
 - ▷ Connaître les caractéristiques des liaisons intermoléculaires (modélisation, directivité, ordre de grandeur de l'énergie d'interaction).
 - ▷ Savoir en déduire les propriétés physiques et chimiques générales des cristaux moléculaires.