

Table des matières

Sommaire

ii

Partie Physique

1

1 Ondes mécaniques progressives	1
2 Ondes mécaniques progressives périodiques	1
3 La lumière, modèle ondulatoire	2
4 La radioactivité	3
5 Noyaux, masse & énergie	3
6 La décroissance radioactive	4
7 La mécanique de Newton	5
8 Chutes verticales	6
9 Mouvements dans le champ de pesanteur	7
10 Satellites, planètes & mouvement circulaire	7
11 Condensateur. Dipôle RC	8
12 Courant électrique dans une bobine	9
13 Oscillations dans un dipôle RLC	9
14 Systèmes mécaniques oscillants	10
15 Le système solide-ressort et la résonance	11
16 Étude énergétique des systèmes mécaniques	12
17 Physique quantique	12

Partie Chimie

14

1 Transformations lentes ou rapides	14
2 Vitesse de réaction	14
3 La spectrophotométrie	14
4 Les deux sens d'une réaction chimique	15
5 État d'équilibre d'un système chimique	16
6 Réactions acido-basiques en solution	16
7 Titrages pH-métriques	17
8 Les piles, une évolution spontanée	18
9 L'électrolyse, une transformation forcée	18
10 Estérification et hydrolyse	19
11 Contrôle par les réactifs	20
12 Contrôle par la catalyse	21

Table des matières

22

Résumés de cours de Physique-Chimie Terminale S

P.-M. CHAURAND
Lycée de Chamalières

Année scolaire 2009-2010

Sommaire

Partie Physique	Page 1
Partie Chimie	Page 14

Chapitre 12 — Contrôle par la catalyse

Catalyseur Un catalyseur est une substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique. Le catalyseur participe à la réaction, mais ne fait partie ni des réactifs, ni des produits, et donc n'apparaît pas dans l'équation-bilan (on l'indique au dessus de la flèche ou du égal).

Homogène Lorsque le catalyseur et les réactifs sont dans la même *phase* (solide, liquide ou gaz), on parle de catalyse *homogène*.

Hétérogène Lorsque le catalyseur et les réactifs ne sont pas dans la même phase, on parle de catalyse *hétérogène*. Dans ce cas, le catalyseur est souvent un solide, et les réactifs des liquides ou des gaz (exemple : pot catalytique).

Enzyme En biochimie, certaines protéines possèdent une activité catalytique : ces protéines sont appelées enzymes. On parle alors de catalyse *enzymatique*.

Spontanéité Un catalyseur ne peut intervenir que sur des réactions spontanées.

Spécificité Contrairement aux deux facteurs cinétiques température et concentration, qui agissent sur la probabilité de chocs efficaces entre molécules, le catalyseur modifie le mécanisme réactionnel, c'est-à-dire la façon dont la réaction s'effectue (on parle d'un nouveau *chemin de réaction*). Conséquence, un catalyseur est spécifique à une réaction.

Équilibre Un catalyseur ne modifie pas l'état d'équilibre, car il accélère à la fois les réactions directe

et inverse. En conséquence, la transformation chimique est simplement plus rapide, l'état final est le même.

Sélectivité Dans l'industrie, le choix d'un catalyseur spécifique permet d'orienter une synthèse vers un produit particulier lorsque plusieurs produits sont susceptibles de se former.

Alcools Lors de l'oxydation *ménagée* d'un alcool primaire, il se forme un aldéhyde puis un acide carboxylique ;

Lors de l'oxydation ménagée d'un alcool secondaire, il se forme une cétone ;

L'oxydation ménagée d'un alcool tertiaire n'est pas possible.

Pour réaliser de telles oxydations, on a recours au dichromate ou au permanganate de potassium, acidifié, dilué, à chaud.

Tests Vous devez connaître la mise en œuvre et le résultat des tests suivants :

- liqueur de Fehling : solution bleue qui forme un précipité rouge brique à chaud avec un aldéhyde ;
- DNPH ou 2,4-dinitrophénylhydrazine : réagit avec les aldéhydes et les cétones pour former un précipité jaune-orangé ;
- Bases de Schiff : réagissent avec les aldéhydes et les cétones pour former une solution rose fuchsia ;
- Miroir d'argent : solution de nitrate d'argent ammoniacal (réactif de Tollens) qui forme un précipité d'argent métallique avec un aldéhyde.

**
**

Équilibre Les réactions d'estérification et d'hydrolyse sont inverses l'une de l'autre, et conduisent à un état d'équilibre.

Estérification À partir de la formule développée d'un ester, vous devez être capable de retrouver la formule développée de l'alcool et de l'acide carboxylique ayant servi à synthétiser l'ester : la chaîne carbonée de l'alcool remplace l'hydrogène porté par l'oxygène de l'acide carboxylique.

Contrôle n°1 Il est possible de modifier la vitesse des réactions d'estérification et d'hydrolyse :

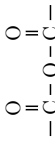
- En utilisant la température, facteur cinétique ;
- En utilisant un catalyseur.

Contrôle n°2 Il est possible de modifier le taux d'avancement.

Chapitre 11

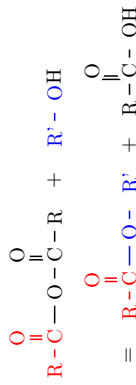
Contrôle par les réactifs

Anhydride d'acide Les anhydrides d'acide sont une nouvelle famille de composés, dont le groupe caractéristique est $-\text{CO}-\text{O}-\text{CO}-$, de formule développée :



Nomenclature Vous devez savoir nommer tous les esters comportant un maximum de cinq atomes de carbone (essayez de tous les écrire).

Estérification La réaction entre un anhydride d'acide et un alcool est rapide, elle donne un ester et l'avancement maximal est atteint.



Vous devez savoir écrire l'équation de cette réaction, à partir de la donnée des formules de l'anhydride d'acide et de l'alcool.

Inversement, vous devez savoir retrouver les formules semi-développées de l'anhydride d'acide et l'alcool, à partir de la donnée de la formule semi-développée de l'ester.

Expérimental Vous devez savoir mener, en justifiant le matériel utilisé :

- un chauffage à reflux ;
- une distillation fractionnée ;
- une recristallisation ;
- une filtration sous vide ;
- une chromatographie sur couche mince.

ement final des réactions d'estérification et d'hydrolyse :

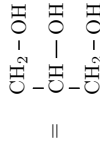
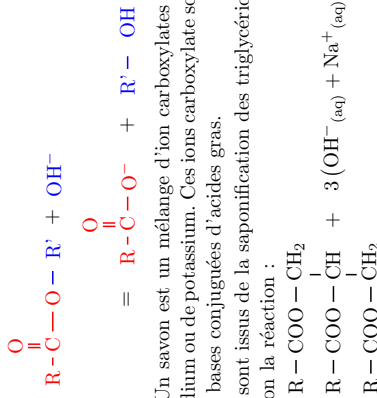
- Par ajout d'un réactif ;
 - Par élimination d'un produit (distillation...).
- On parle dans ces cas de *déplacement d'équilibre*.

Rendement Le rendement η d'une transformation chimique est le rapport :

$$\eta = \frac{n_{\text{éq}}}{n_{\text{max}}}$$

où $n_{\text{éq}}$ est la quantité de matière obtenue, et n_{max} la quantité de matière dans l'hypothèse d'une réaction totale.

Hydrolyse basique La réaction d'hydrolyse basique d'un ester, ou saponification, est rapide, exothermique, et l'avancement maximal est atteint. Cette réaction conduit à un alcool et un ion carboxylate (base conjuguée de l'acide carboxylique) :



Acides gras Les acides gras sont des acides carboxyliques à longue chaîne carbonée non ramifiée.

Ions carboxylate Les ions carboxylate à longue chaîne $\text{R}-\text{COO}^-$ qui constituent le savon sont des molécules *amphiphiles*, qui possèdent :

- une longue chaîne carbonée hydrophobe ;
- une tête polaire hydrophile.



Partie Physique

Chapitre 1

Ondes mécaniques progressives

Onde Une onde correspond au déplacement d'une perturbation, contenant de l'énergie, sans déplacement net de matière.

Onde mécanique Une onde mécanique se propage dans un milieu matériel ; la perturbation associée à l'onde fait intervenir un mouvement local de la matière. La matière revient à sa position d'origine dès que l'onde s'est propagée.

Ondes transversales Perturbation perpendiculaire à la direction de propagation.

Ondes longitudinales Perturbation parallèle à la direction de propagation.

Célérité La célérité d'une onde mécanique est donnée par (notations évidentes) :

$$v = \frac{d}{t}$$

Onde progressive Une onde progressive correspond au déplacement d'une perturbation sans déforma-

tion. La perturbation d'un point du milieu à l'instant t est identique à celle de la source au temps $t' = t - \tau$, τ étant le retard du point par rapport à la source (définition valable aussi entre deux points quelconques).

Espace & temps sont alors liés, puisque l'on retrouve la même forme d'onde plus loin, un peu plus tard, une fois qu'elle a « progressé ».

Generis 5+ Vous devez être aptes à mener des mesures de distances, de vitesses et de retards, sur des chronophotographies ou sur des enregistrements étudiiés à l'aide d'un logiciel informatique (comme Generis 5+ au lycée).

Oscilloscope Vous devez être capable de mesurer le retard d'un clap sonore ou d'une salve d'ultrasons à l'aide d'un oscilloscope. Notez bien que deux montages sont possibles, suivant que l'on dispose d'un ou de deux récepteurs.

Chapitre 2

Ondes mécaniques progressives périodiques

Onde progressive périodique Une onde progressive périodique a toutes les caractéristiques de l'onde progressive, avec en plus un caractère périodique.

Il faut savoir reconnaître une telle onde (mettre en évidence la répétition d'un motif élémentaire), et savoir mesurer sa période T (qui est la durée d'émission d'un motif élémentaire).

Période temporelle Chaque point du milieu subit la même perturbation à intervalles de temps égaux à T .

Période spatiale La même perturbation se reproduit identique à elle-même dans la direction de propagation. La plus petite distance entre motifs identiques consécutifs est la période spatiale.

Cas des ondes sinusoïdales Une onde progressive périodique est dite sinusoïdale si l'évolution périodique de la source peut être associée à une fonction sinusoïdale.

Longueur d'onde La période spatiale est appelée longueur d'onde et notée λ .

$$\lambda = vT \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

Équation aux dimensions Vous devez savoir justifier la formule ci-dessus par une équation aux dimensions, montrant que la formule est *homogène* :

$$\begin{cases} [\lambda] = \text{m} \\ [vT] = \text{m.s}^{-1} \times \text{s} = \text{m} \end{cases}$$

Diffraction La diffraction est l'étalement des directions de propagation de l'onde lors de sa rencontre avec un obstacle ou une ouverture. C'est également est d'autant plus marqué que les dimensions de l'obstacle ou de l'ouverture sont proches de la longueur d'onde (signe \sim signifiant « du même ordre de grandeur ») :

$$d \sim \lambda$$

Dispersion Le milieu est dispersif si la célérité des ondes dépend de leur fréquence.

La lumière, modèle ondulatoire

Description de la lumière Le phénomène de diffraction de la lumière prouve qu'elle peut être décrite comme une onde.

Conditions d'observation de la diffraction La diffraction de la lumière a lieu lorsque les dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle sont du même ordre de grandeur que la longueur d'onde :

$$a \sim \lambda$$

Ouverture du faisceau diffracté Le demi-diamètre apparent — ou demi-ouverture angulaire θ d'un faisceau de lumière de longueur d'onde λ , diffracté par une fente de dimension a , est donnée par la relation :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

où θ est un angle exprimé en radians (rad), λ et a étant des longueurs en mètres (m).

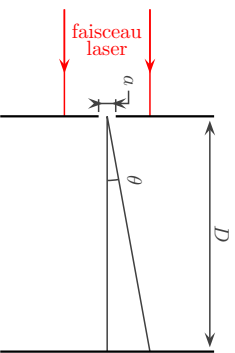


Figure de diffraction horizontale

Figure de diffraction La figure de diffraction obtenue est la suivante (des franges) :



La largeur ℓ de la tâche centrale de diffraction est mesurée au niveau des points de lumière nulle (ex-fonction), pas au niveau des limites apparentes de la tâche, qui dépendent des conditions d'éclairage !

Lumière monochromatique Une lumière monochromatique est une onde électromagnétique de fréquence ν (lecture grecque « nu ») déterminée.

Quantité d'électricité La quantité d'électricité Δq qui a circulé pendant la durée Δt de l'électrolyse est reliée à l'intensité I du courant continu débité par l'alimentation et à la quantité de matière d'électrons échangés $n(e^-)$:

$$\Delta q = I \cdot \Delta t = n(e^-) \cdot \mathcal{F}$$

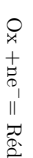
La quantité d'électrons échangés $n(e^-)$ peut s'écrire comme le produit du nombre y d'électrons apparaissant lors de l'écriture des demi-équations rédox, par l'avancement x de l'équation rédox : $n(e^-) = xy$.

Forcée L'électrolyse est une transformation forcée (elle se produit dans le sens inverse du sens spontané).

Électrodes L'électrode où a lieu la réduction est appelée cathode, l'anode étant l'électrode où a lieu l'oxydation.

Lorsque l'on veut éviter des réactions parasites, on utilise des électrodes *inertes*, par exemple en graphite ($C(s)$ quasiment pur) ou en platine (Pt).

Oxydation & réduction À partir de la donnée du sens du courant imposé par le générateur, vous devez savoir expliquer où se produit l'oxydation (anode) et où se produit la réduction (cathode).



Sur la demi-équation, on voit que la réduction est une consommation d'électron, donc côté \oplus du générateur ; et l'inverse, côté \ominus , pour l'oxydation.

Réactions Vous devez être capable de retrouver les réactions, à partir de la description de ce qui a lieu pendant l'expérience aux électrodes et de la donnée d'une liste de couples oxydant/réducteur.

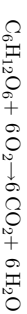
Accumulateurs Dans une électrolyse, la réaction est inverse (= sens spontané) à celle ayant lieu dans une pile (= sens spontané). On peut donc envisager de recharger les piles. En pratique cela ne marche que pour certains couples (en partie à cause de réactions parasites comme l'électrolyse de l'eau), et

dans ce cas on parle de pile rechargeable ou accumulateur.

Le fait que la réaction d'électrolyse soit exactement l'inverse de la réaction de débit de la pile implique que l'on peut ré-utiliser les formules :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{et} \quad Q = xy\mathcal{F} = n_e \cdot \mathcal{F}$$

Bio Dans une cellule, la respiration est une transformation spontanée :



La photosynthèse étant la transformation inverse, forcée :



Tests Voici un rappel de quelques tests d'identification courants en chimie des solutions, que vous devez connaître et savoir mener :

- Dihydrogène $H_2(g)$: détonation au contact d'une flamme ;
 - Dioxygène $O_2(g)$: ravive une braise ;
 - Dichlore, gazeux $Cl_2(g)$ ou dissous $Cl_2(aq)$: décolorer un colorant comme l'indigo ;
 - Dépôt de cuivre $Cu(s)$: couleur cuivrée (= rouge) ;
 - Ions hydroxyde $OH^-(aq)$: pH > 7, teinte basique rose pour la phénolphaléine ;
 - Ions oxonium $H_3O^+(aq)$: pH < 7, teinte acide jaune pour le bleu de bromothymol (BBT) ;
 - Ions cuivre $Cu^{2+}(aq)$: teinte bleue en solution aqueuse, précipité blanc $Cu(OH)_2(s)$ avec les ions hydroxyde ;
 - Ions chlorure $Cl^-(aq)$: précipité blanc $AgCl(s)$ qui noircit à la lumière avec les ions argent $Ag^+(aq)$.
- Applications** Les applications de l'électrolyse sont l'électroaffinage par anode soluble, la protection par galvanoplastie, et la production de métaux comme l'aluminium ou le sodium.

Chapitre 10 Estérification et hydrolyse

Groupes caractéristiques Dans une formule développée donnée, vous devez être capable de reconnaître les groupes caractéristiques suivants :

- Alcools -OH
- Aldéhydes -CO-H

Réactions lentes Les réactions d'estérification et d'hydrolyse sont lentes.

Les piles, une évolution spontanée

Spontanéité Un système chimique évolue spontanément vers l'état d'équilibre.

Quotient Vous devez savoir écrire l'expression littérale du quotient de réaction Q_r et savoir calculer sa valeur dans un état donné du système.

Critère Critère d'évolution spontanée : au cours du temps, la valeur du quotient de réaction Q_r tend vers la constante d'équilibre K .

$Q_r < K \Leftrightarrow$ Évolution sens direct \rightarrow ;

$Q_r > K \Leftrightarrow$ Évolution sens indirect \leftarrow ;

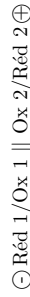
$Q_r = K \Leftrightarrow$ Équilibre.

Pile Une pile est un dispositif mettant en jeu des transformations chimiques spontanées permettant de récupérer de l'énergie électrique. Cette récupération est rendue possible en séparant les espèces chimiques, espèces connues comme donnant lieu à une transformation chimique spontanée.

Demi-pile Chaque demi-pile est constituée des deux espèces du couple (Ox/Réd) considéré. Si les deux espèces sont en solution, on rajoute une électrode inerte (graphite ou tungstène) afin de pouvoir connecter le circuit électrique.

Pont salin Le pont salin assure l'électroneutralité des solutions, en permettant le transfert de charges (anions et cations) entre les deux demi-piles.

Schématisation Vous devez être capable de donner le schéma d'une pile : deux demi-piles, pont salin, circuit électrique. Vous devez être capable de donner le schéma formel :



Électrodes L'électrode où a lieu la réduction est appelée cathode, l'anode étant l'électrode où a lieu l'oxydation (toujours vrai).

Fonctionnement Vous devez être capable de tout retrouver sur le fonctionnement d'une pile à partir de la donnée d'un seul renseignement. Une seule des indications de la liste suivante permet de retrouver toutes les autres : la polarité, la position

L'électrolyse, une transformation forcée

Électrolyse L'électrolyse est la transformation électrochimique forcée qui se produit lorsqu'un générateur externe débite un courant dans une cuve

de la cathode ou de l'anode, le sens du courant, le sens des électrons, la réaction aux électrodes, le sens de déplacement des ions, la réaction ayant lieu lorsque la pile débite.

fém La force électromotrice e d'une pile correspond à sa tension « à vide ». Elle s'exprime en volts, se mesure avec un voltmètre, et ne dépend que des couples en jeux et des concentrations des solutions utilisées.

Débit Lorsque la pile débite un courant I sous une tension U_{PN} , on a :

$$U_{PN} = e - rI$$

où r est la résistance interne de la pile, en ohms (Ω).

Hors-équilibre Une pile est un système hors-équilibre, qui débite un courant tant que la réaction chimique n'est pas terminée. Lorsque l'équilibre est atteint, la pile est usée.

Intensité L'intensité d'un courant est le quotient de la charge sur le temps :

$$I = \frac{dq}{dt} \simeq \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Faraday Le Faraday correspond à la charge d'une mole d'électrons :

$$1 \mathcal{F} = eN_A \simeq 96\,500 \text{ C}$$

Quantité de matière Si on note x l'avancement de la réaction ayant lieu dans la pile, y le nombre d'électrons échangés entre les deux espèces des couples (Ox/Réd), la quantité de charges Δq débitée vaut :

$$\Delta q = xy\mathcal{F}$$

Capacité La capacité C d'une pile est le produit de l'intensité I par la durée de fonctionnement t :

$$C = It$$

contenant un électrolyte et deux électrodes : la cathode où se produit la réduction et l'anode où se produit une oxydation.

La radioactivité

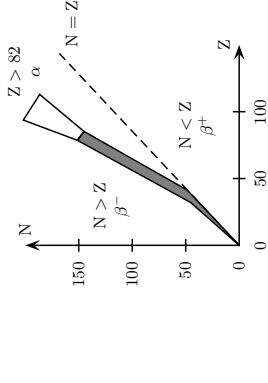
Symbole du noyau Le noyau est symbolisé par A_ZX , où X est le symbole de l'élément chimique correspondant, A est le nombre de nucléons ou nombre de masse, et Z le nombre de protons ou numéro atomique, ou encore nombre de charges.

Isotopes Deux nucléides A_ZX et ${}^{A'}_Z'X$ sont isotopes si ils ont le même nombre de protons Z , mais des nombres de nucléons A et A' différents.

Un noyau radioactif est un noyau instable, dont la désintégration est inéluctable, spontanée et aléatoire.

Lois de conservation Lors des désintégrations nucléaires, il y a conservation du nombre de nucléons A et du nombre de protons Z (lois de SODDY).

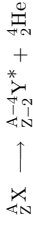
Diagramme (N,Z) Il faut être capable de construire les domaines de stabilité et d'instabilité sur un diagramme (N,Z), dit « vallée de stabilité ».



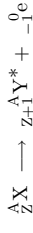
L'émission γ correspond à la désexcitation d'un noyau fils créé dans un état excité, avec émission d'un photon γ de très courte longueur d'onde :



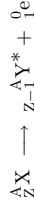
La radioactivité α correspond à l'émission d'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$, selon l'équation nucléaire :



La radioactivité β^- correspond à l'émission d'un électron e^- , selon l'équation nucléaire :



La radioactivité β^+ correspond à l'émission d'un positon, selon l'équation nucléaire :



Noyaux, masse & énergie

Défaut de masse On appelle défaut de masse la grandeur Δm , différence entre la somme des masses des constituants, et la masse du noyau :

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{noyau}}$$

Énergie de liaison C est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau immobile, pour le dissocier en nucléons libres et immobiles. Cette énergie E_l est *équivalente* au défaut de masse Δm :

$$E_l = \Delta m \cdot c^2$$

L'électron-volt 1 électron-volt (symbole eV) correspond à $1,60218 \cdot 10^{-19}$ J. Souvent, on utilise le keV (10^3) et le MeV (10^6).

$$E_0 = mc^2$$

L'unité de masse atomique Par définition, la masse d'un atome de carbone 12 (le nucléide ${}^{12}_6\text{C}$) vaut 12 u. La masse d'une mole de carbone 12 étant 12 g/mol, on obtient :

$$1 \text{ u} = \frac{10^{-3}}{6,02214 \cdot 10^{23}} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Équivalent énergétique À l'aide de la relation d'Einstein, on peut exprimer la masse d'une unité atomique en MeV/c^2 :

$$1 \text{ u} = \frac{1,66054 \cdot 10^{-27} \times (2,99792 \cdot 10^8)^2}{1,60218 \cdot 10^{-19} \times 10^6}$$

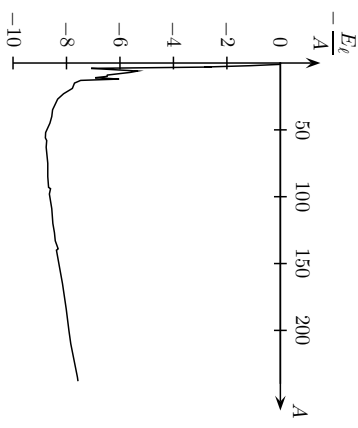
$$1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV}/c^2$$

Vous devez comprendre et savoir retenir ces calculs de conversion.

Intérêt de la courbe d'Aston La courbe d'Aston $E_f/A = f(A)$ permet d'illustrer la stabilité relative des noyaux.

Les noyaux légers ($A < 20$) et les noyaux lourds ($A > 190$) sont instables, car ils correspondent à des valeurs d'énergie de liaison par nucléon basses. On a ainsi deux domaines sur la courbe : fusion favorable pour les noyaux légers, fission pour les noyaux lourds.

Les noyaux stables sont ceux qui ont la plus grande énergie de liaison par nucléon.



Chapitre 6 ————— **La décroissance radioactive**

Loi de décroissance radioactive Au niveau macroscopique, le nombre moyen N de noyaux restant dans l'échantillon suit la loi :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

où N_0 est le nombre de noyaux radioactifs au temps initial $t = 0$, et λ la constante radioactive, homogène à l'inverse d'un temps, et τ la constante de temps.

La constante radioactive λ s'interprète comme la probabilité de désintégration d'un noyau, dans un temps Δt :

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

La demi-vie radioactive $t_{1/2}$ est la durée au bout de

$$K_A = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[AH]}$$

Si l'on préfère noter le couple acido-basique (BH^+/B) au lieu de (AH/A^-) :



$$K_A = \frac{[B][H_3O^+]}{[BH^+]}$$

Réaction entre acides Imaginons la réaction entre l'acide A_1H d'un couple (A_1H/A_1^-) , de constante d'acidité K_{A1} , et la base A_2^- d'un couple (A_2H/A_2^-) de constante d'acidité K_{A2} :



Vous devez savoir démontrer que la constante d'équilibre de cette équation s'écrit :

$$K = \frac{K_{A1}}{K_{A2}}$$

Relation Vous devez savoir démontrer la relation :

$$pH = pK_A + \log \frac{[A^-]}{[AH]}$$

Chapitre 7 ————— **Titrages pH-métriques**

Indicateur coloré Un indicateur coloré acido-basique est une espèce dont la couleur des formes acide $HInd_{(aq)}$ et basique $Ind^-_{(aq)}$ sont différentes.

Zone de virage Dans la zone de virage, $pK_A - 1 < pH < pK_A + 1$, les formes acides et basiques sont en concentrations proches et l'indicateur a sa teinte sensible, mélange des couleurs des teintes acide et basique.

Choix d'un indicateur À partir d'une courbe $pH = f(V)$, vous devez être capable de choisir un indicateur coloré adapté au dosage colorimétrique. Pour avoir un virage à la goutte près, le saut de pH doit être dans la zone de virage de l'indicateur.

Réaction de dosage Totale, rapide, unique, équivalente facile à repérer.

Reperage de l'équivalence Le point E d'équivalence est un *point d'inflexion* de la courbe $pH = f(V)$: la concavité de la courbe change en ce point.

Le volume à l'équivalence V_E s'obtient en repérant le maximum de la courbe dérivée :

$$\frac{dpH}{dV} = g(V)$$

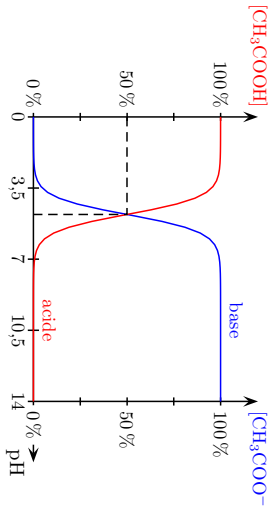
Par intersection de V_E avec la courbe de pH, on

Domaines de prédominance Vous devez être capable, connaissant le pH d'une solution aqueuse et le pK_A du couple acide/base, d'indiquer l'espèce prédominante :

- $pH < pK_A - 1 \Rightarrow AH$ prédomine ;
- $pH > pK_A + 1 \Rightarrow A^-$ prédomine.



Diagramme de distribution Exemple pour l'acide éthanoinique CH_3COOH tel que $pK_A = 4,8$:



place alors le point équivalent.

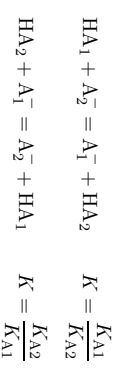
pH à l'équivalence Le pH à l'équivalence vaut :

- 7 pour un dosage acide fort-base forte ; le point d'équivalence s'obtient :
 - grâce à la valeur 7 du pH ;
 - grâce au maximum de la courbe dérivée ;
 - grâce à la méthode des tangentes.
- Supérieur à 7 pour un dosage acide faible-base forte ;
- Inférieur à 7 pour un dosage acide fort-base faible.

Réactions acido-basique Soit deux couples acido-basiques $n^o 1$ et $n^o 2$:



On peut envisager comme réactions :



État d'équilibre d'un système chimique

Conductance La conductance G en siemens (S) d'une solution est proportionnelle à la conductivité σ en siemens par mètre (S.m⁻¹) :

$$G = k\sigma \text{ avec } k = \frac{S}{l}$$

Conductivité La conductivité σ d'une solution électrolytique est liée aux concentrations molaires C_i des ions par la relation :

$$\sigma = \sum_i |z_i| \lambda_i C_i$$

où les λ_i sont les conductivités molaires partielles des ions, et z_i la charge de chaque ion ($|z_i| = 1$ voir 2, exceptionnellement 3 — bien prendre la valeur absolue, pour ne pas compter négativement la contribution des anions...).

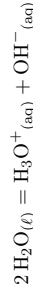
Unités : σ en siemens par mètre (S.m⁻¹), λ_i en siemens mètre carré, par mole (S.m².mol⁻¹), C_i en mole par mètres-cube (mol.m⁻³) — des conversions entre les mol.L⁻¹ et les mol.m⁻³ sont souvent nécessaires.

État d'équilibre À l'état d'équilibre, les quantités de matières n'évoluent plus.

Cet état d'équilibre est dynamique.

Réactions acido-basiques en solution

Autoprotolyse L'eau est capable de s'ioniser partiellement selon l'équation :



appelée autoprotolyse de l'eau. Cet équilibre est caractérisé par une constante d'équilibre appelée produit ionique de l'eau, et notée K_e , telle que :

$$K_{r,\text{éq}} = K_e = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

À 25°C, $K_e = 10^{-14}$.

Notation p On note :

$$pK_e = -\log K_e \text{ et } pK_A = -\log K_A$$

À 25°C, $pK_e = 14$.

Calcul du pH À partir de la concentration en ions oxonium :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Quotient de réaction Vous devez être capable d'écrire le quotient de réaction Q_r pour n'importe quelle réaction. Un quotient de réaction doit toujours être accompagné d'une équation de la réaction :



Constante d'équilibre Le quotient de réaction pris à l'équilibre une valeur particulière, indépendante de la composition initiale, qui est appelée constante d'équilibre K :

$$Q_{r,\text{éq}} = K$$

Détermination La mesure de la conductivité σ d'une solution permet parfois (dans les bonnes copies...) de déterminer toutes les concentrations des ions, et par suite de calculer la constante d'équilibre.

Taux d'avancement final Pour une transformation donnée, le taux d'avancement dépend :

- de la constante d'équilibre ;
- de l'état initial du système.

Homogène à un temps, la valeur de τ correspond au point où la tangente à l'origine de la courbe $N(t)$ coupe l'axe (O τ) :

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$$

Les effets biologiques dépendent de l'activité A de la source, de l'énergie du rayonnement émis et de la manière dont ce rayonnement est absorbé.

La datation nécessite :

- de connaître la constante radioactive ;
- de connaître la population N_0 de noyaux à la date $t=0$;
- de déterminer la population N de noyaux radioactifs à la date t .

La durée est alors donnée par :

$$A(t) = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda_0 e^{-\lambda t}$$

Elle s'exprime en Becquerels, avec 1 Bq = 1 désintégration par seconde.

relation à savoir redémontrer.

La mécanique de Newton

Force & mouvement Il existe un lien entre la *résultante* des forces extérieures appliquées et la *variation* du vecteur vitesse du centre d'inertie :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} \propto \Delta \vec{v}$$

En d'autres termes, les effets d'une force peuvent être une *variation* dans le mouvement d'un objet (à contrario, il n'y a pas forcément de lien entre mouvement et force appliquée — penser à l'exemple du *mouvement perpétuel* qui perdure pour un corps isolé dans le vide).

Force & masse Plus la masse d'un corps est élevée, plus la force appliquée doit être élevée, pour une modification du mouvement identique. On nomme cet effet *inertie*.

Accélération Le vecteur accélération \vec{a} est la dérivée par rapport au temps du vecteur accélération :

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Ce vecteur a une valeur notée $a = \|\vec{a}\|$, appelée *accélération*, en mètres par seconde carré (m.s⁻²). Ses autres caractéristiques sont sa direction et son sens.

2^{ème} loi de Newton La résultante des forces extérieures appliquées à un corps est égale à sa masse

multipliée par l'accélération de son centre d'inertie :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \vec{a}_G$$

On peut aussi appeler cette loi « Principe Fondamental de la Dynamique » (PDF en abrégé).

3^{ème} loi de Newton La force $\vec{F}_{A/B}$ exercée par un corps A sur un corps B, est égale et opposée à la force $\vec{F}_{B/A}$ exercée par le corps B sur le corps A :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} \Leftrightarrow \vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{B/A} = 0$$

En conséquence, ces deux forces ont même direction (la droite reliant les centres d'inertie A et B des corps), sens opposés et même valeur. Cette loi est aussi appelée *loi des actions réciproques*.

Référentiels Pour appliquer les lois de Newton, il faut se placer dans un référentiel galiléen.

Un *référentiel* est un repère, associé à une horloge. Cet ensemble permet de repérer un corps autant dans l'espace (repère (Oxyz)) que dans le temps (date t sur l'horloge).

Un référentiel est *galiléen* quand on peut négliger les mouvements des masses qui entourent le référentiel. Plus prosaïquement, on peut dire qu'un

référentiel est galiléen quand on peut appliquer les lois de Newton.

Appliquer du PDF

1. Choisir le système sur lequel l'étude va porter ;
2. Choisir le référentiel, que l'on prendra galiléen ;
3. Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au système ;
4. Écrire le PFD ;

Chutes verticales

Chapitre 8

Force de pesanteur La discussion sur le champ de pesanteur terrestre \vec{g} sera menée au chapitre 10.

Pour l'instant on se contente de $\vec{P} = m \vec{g}$.

Chute libre verticale Cas théorique, elle correspond à une chute sous le seul effet de la pesanteur. Vous devez savoir qu'elle correspond à un mouvement rectiligne uniformément accéléré :

$$\vec{a} = \vec{g}$$

Vous devez savoir mener la résolution *analytique* de bout en bout, pour aboutir *in fine* à l'équation horaire du mouvement après double intégration.

Importance des C. I. Vous devez comprendre que toute la physique du problème est contenue d'une part dans l'écriture de la deuxième loi de Newton (équation différentielle du second ordre), d'autre part dans les conditions initiales (position & vitesse).

Poussée d'Archimède Pour un corps de masse volumique ρ , déplaçant un volume V_{fluid} de fluide de masse volumique ρ_{fluide} , la poussée d'Archimède est :

$$\vec{\Pi} = -\rho_{\text{fluide}} V_{\text{fluide}} \vec{g}$$

Frottements fluide Les forces de frottement fluides sont décrites par une loi *phénoménologique*, les deux cas les plus simples étant une dépendance linéaire ou quadratique avec la vitesse v :

$$\vec{f} = -k \vec{v} \quad \text{ou} \quad \vec{f} = -k v \vec{v}$$

Traditionnellement, on réserve la première formule aux vitesses faibles, la seconde aux vitesses plus élevées, ce que l'on entend par *faible* ou *élevé* restant à préciser (car dépendant de très nombreux facteurs).

Dans tous les cas, la force de frottement est tangente et opposée au mouvement.

5. Projeter l'expression vectorielle sur des axes convenablement choisis.

Exploitation Vous devez savoir exploiter une série de photos (chronophotographie), un film (pointés sur une vidéo) ou un enregistrement (table à cossin d'air) :

- Reconnaître si le mouvement du centre d'inertie est rectiligne uniforme ou pas ;
- Déterminer les vecteurs vitesse et accélération ;
- Mettre en relation accélération et somme des forces.

Chute verticale avec frottement Vous devez savoir

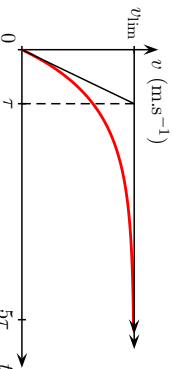
écrire l'équation différentielle à partir de la deuxième loi de Newton, l'expression de la force de frottement étant donnée. À partir de l'équation différentielle, vous devez savoir en déduire la vitesse limite, telle que :

$$\frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = v_{\text{lim}}$$

Deux régimes Vous devez savoir que l'on observe deux régimes, un régime initial, accéléré, puis un régime asymptotique ou permanent, à la vitesse limite.

Exploitation d'un enregistrement Sur un enregistrement $v = f(t)$, vous devez être capable de :

- reconnaître le régime initial (= exponentielle) et le régime permanent (= asymptote) ;
- évaluer le temps caractéristique pour obtenir le régime permanent (typiquement 5τ avec τ que l'on trouve grâce à la tangente à l'origine de la courbe $v = f(t)$;
- déterminer la vitesse limite (= ordonnée de l'asymptote horizontale).



Méthode d'Euler Vous devez savoir appliquer la méthode itérative d'Euler pour résoudre *numériquement* l'équation différentielle.

Vous devez savoir discuter de la pertinence des résultats numériques obtenus, par comparaison avec des résultats expérimentaux (choix du pas de résolution, choix du modèle proposé pour la force de frottement).

$$A = kc$$

Méthodes de suivi d'une réaction On utilise :

- un manomètre lorsque la réaction s'accompagne d'un dégagement de gaz, pour un montage à volume constant (= clos) ;
- une mesure de volume lorsque la réaction s'accompagne d'un dégagement de gaz, pour un montage à pression constante ;
- un conductimètre lorsque la réaction fait intervenir des ions ;
- un pH-mètre lorsque la réaction fait intervenir des ions oxonium H_3O^+ (aq), ou proton hydraté H^+ (ne pas laisser les H^+ dans l'équation finale) ;
- Un spectrophotomètre (ou à défaut, la comparaison avec une échelle de teinte) lorsque la réaction fait intervenir une espèce colorée.

Chapitre 4 Les deux sens d'une réaction chimique

Le pH et sa mesure Le pH est lié à la concentration des ions oxonium H_3O^+ par :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Solution d'acide chlorhydrique Dans une telle solution, on a vu en TP que : $[\text{H}_3\text{O}^+] = c$.

La transformation entre le chlorure d'hydrogène gazeux $\text{HCl}_{(g)}$ et l'eau est **totale** :



On dit que l'acide chlorhydrique est un **acide fort** dans l'eau (le chlorure d'hydrogène $\text{HCl}_{(g)}$ n'existe pas dans l'eau, ne jamais écrire $\text{H}^+ + \text{Cl}^-$).

Solution d'acide éthanoïque Dans une telle solution, on a vu en TP que $[\text{H}_3\text{O}^+] < c$.

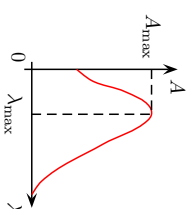
La transformation entre l'acide éthanoïque et l'eau n'est pas totale, elle conduit à un équilibre :



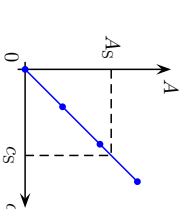
On dit que l'acide éthanoïque est un **acide faible** dans l'eau.

Titrage à l'aide d'un spectrophotomètre

- On trace le spectre d'absorption, courbe $A = f(\lambda)$ d'une solution contenant l'espèce colorée, et on recherche la longueur d'onde λ_{max} correspondant au maximum d'absorption.



- À partir de solutions étalons de concentrations connues, on mesure l'absorbance de chaque solution et on trace la droite d'étalonnage $A = f(c)$ pour la longueur d'onde λ_{max} .



- On mesure alors l'absorbance A_S de la solution inconnue, et on en déduit sa concentration c_S par lecture graphique sur la droite d'étalonnage ci-dessus.

Équilibre chimique

Équilibre chimique Une transformation non-totale et réversible donne lieu à un équilibre chimique, c'est-à-dire une situation dans laquelle les réactifs et les produits coexistent à des concentrations fixes, constantes.

On utilise un signe égal (=) pour indiquer l'existence d'un équilibre dans une équation-bilan.

Équilibre dynamique À l'état d'équilibre, il y a constamment des réactifs qui se transforment en produits (sens \rightarrow) et inversement des produits qui se transforment en réactifs (sens \leftarrow).

Les vitesses de ces deux transformations étant *égales*, les concentrations respectives des réactifs et des produits restent constantes et fixes.

Taux d'avancement Le taux d'avancement τ d'une réaction est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal :

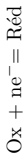
$$\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$$

Partie Chimie

Chapitre 1

Transformations lentes ou rapides

Demi-équation Forme générale d'une demi-équation électronique :



Reportez-vous à la méthode distribuée en cours à connaître par cœur.

Équations d'oxydoréduction Vous devez être capable d'écrire rapidement et surtout sans erreur l'équation d'oxydoréduction associée à une transformation chimique.

Oxydants et réducteurs Vous devez être capable d'identifier un oxydant (= une espèce capable de

capturer un électron) et un réducteur (= une espèce capable de céder un électron).

Dans une équation, vous devez savoir trouver les deux couples mis en jeux.

Facteurs cinétiques La température et la concentration sont, parmi d'autres, deux facteurs cinétiques, *i. e.* leur augmentation s'accompagne *en général* d'une augmentation de la vitesse de réaction.

À partir de résultats expérimentaux (courbes, concentrations, etc.), vous devez être capable d'identifier l'effet de l'un ou de l'autre de ces deux facteurs cinétiques.

Chapitre 2

Vitesse de réaction

Vitesse La vitesse v d'une réaction dont l'avancement est noté x , de volume réactionnel V , est donnée par :

$$v = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt}$$

Temps de 1/2 réaction Le temps de demi-réaction

est le temps au bout duquel la moitié de la quantité de réactif limitant a disparu.

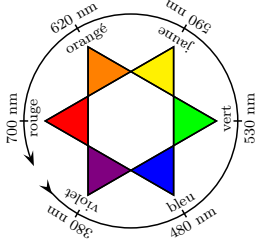
En notant x_{max} l'avancement maximal de la réaction, et $t_{1/2}$ le temps de demi-réaction, l'avancement de réaction x au temps $t_{1/2}$ est :

$$x(t_{1/2}) = \frac{x_{\text{max}}}{2}$$

Chapitre 3

La spectrophotométrie

Couleur d'une solution Une solution est colorée si elle absorbe une partie des radiations de la lumière blanche. La couleur observée est la couleur complémentaire de la couleur absorbée.



Loi de Beer-Lambert À une longueur d'onde λ donnée, la relation entre l'absorbance A d'une solution et sa concentration c en espèce colorée est donnée par :

$$A = \varepsilon \ell c$$

où ε est le coefficient d'extinction molaire, typique de chaque espèce colorée, et ℓ est la longueur de solution traversée par le faisceau lumineux. On a ainsi, dans l'hypothèse de concentrations faibles, proportionnalité entre l'absorbance A et la concentration c en espèce colorée :

Chapitre 9

Mouvements dans le champ de pesanteur

Aucune formule de cours à apprendre dans ce chapitre, uniquement des démonstrations de cours à connaître sur le bout des doigts.

Équations paramétriques Vous devez être capable de retrouver les équations horaires paramétriques $x(t)$, $y(t)$ et $z(t)$ à partir de l'application de la seconde loi de Newton.

Mouvement plan Le mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur est plan. Plus précisément, le plan du mouvement sera celui défini par le vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 et le vecteur champ de pesanteur \vec{g} (et donc il s'agit d'un plan vertical).

Équation de la trajectoire L'équation de la trajectoire s'obtient à partir des équations horaires paramétriques, en éliminant le temps. Vous devez être

capable de retrouver cette équation. Cette équation correspond à celle d'une parabole, dans le cas d'un mouvement sans frottement.

Document expérimental Sur un document expérimental reproduisant la trajectoire d'un projectile, vous devez être capable de :

- tracer le vecteur vitesse initial \vec{v}_0 et déterminer sa norme v_0 et l'angle α par rapport à l'axe horizontal ;
- tracer les vecteurs vitesses et accélérations ;
- déterminer les caractéristiques du vecteur accélération.

Chapitre 10

Satellites, planètes & mouvement circulaire

Lois de Képler

1. Les planètes ou satellites décrivent des orbites elliptiques, l'astre attracteur étant l'un des foyers de l'ellipse ;
2. Les aires balayées par le segment reliant le satellite à l'astre attracteur pendant des durées égales, sont égales ;
3. Le rapport entre le carré de la période de révolution T et le cube du demi-grand axe a de l'orbite elliptique est constant :

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

Circulaire uniforme La trajectoire d'un tel mouvement est un cercle, décrit à vitesse constante (le vecteur vitesse change constamment de direction, tout en restant tangent à la trajectoire et de valeur constante).

Ce mouvement a lieu sous l'effet d'une force *radiale*, c'est-à-dire dirigée selon le rayon de la trajectoire circulaire, et la vitesse initiale est non nulle. Voir les simulations de satellisation pour ce convaincre de ces deux points importants.

Le vecteur accélération est alors *centripète*, c'est-à-dire dirigé vers le centre du cercle. Sa valeur est :

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Gravitation universelle Deux corps dont la répartition des masses est à symétrie sphérique, de centres A et B, et dont la distance $d = AB$ est grande devant leur taille, exercent l'un sur l'autre une force attractive :

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

où \vec{u}_{AB} est un vecteur unitaire, porté par la droite (AB), dirigé de A vers B.

2^e loi de Newton Vous devez savoir appliquer la deuxième loi de Newton aux satellites et planètes, en utilisant les deux formules précédentes. Vous devez alors savoir montrer que le mouvement circulaire uniforme est solution de l'équation obtenue.

Période Vous devez savoir retrouver l'expression de la période de révolution d'un satellite ou d'une planète en mouvement circulaire uniforme (ce qui revient à démontrer Képler 3), sans confondre avec la période de rotation propre (1 an \neq 1 jour).

Géostationnaire Un satellite est géostationnaire si il parcourt son orbite dans le plan équatorial de la Terre, dans le même sens et avec la même période que la rotation propre de la Terre.

Ces conditions impliquent une immobilité par rapport à un point du sol, et une altitude de 36 000 km environ à la verticale de l'équateur.

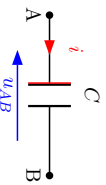
Condensateur. Dipôle RC

Orientation d'un circuit En utilisant la convention récepteur, vous devez savoir orienter un circuit et placer les flèches de tension et d'intensité.

Condensateur Un condensateur est constitué de deux surface métalliques en regard, appelées armatures, séparées par un isolant ou diélectrique. La tension u_{AB} aux bornes du condensateur est proportionnelle à la charge q_A :

$$q_A = C u_{AB}$$

En convention récepteur, on représente le condensateur par :



ou la flèche de l'intensité pointe vers l'armature q_A . La constante de proportionnalité C est la capacité, en farad (F).

Intensité L'intensité i correspond à un débit de charges q par unité de temps t :

$$i = \frac{dq_A}{dt}$$

On en déduit la relation liant intensité et tension :

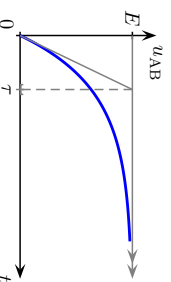
$$i = C \frac{du_{AB}}{dt}$$

Sens conventionnel Si le courant passe dans le sens de la flèche de l'intensité i , alors i est positif, et l'armature A du condensateur acquiert une charge q_A positive — ou, au minimum, augmente : $i > 0$ implique $q_A \nearrow$.

Inversement si le courant passe en sens inverse, alors $i < 0$ implique $q_A \searrow$.

Dipôle RC Vous devez savoir trouver l'équation différentielle de charge ou de décharge d'un circuit RC, ainsi que la tension aux bornes du condensateur.

Réponse en tension Soumis à un échelon de tension $0 \rightarrow E$, la tension du condensateur initialement déchargé est de la forme suivante :



où $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ est la constante diélectrique du vide.

Identités Interactions gravitationnelle (chapitre 10) et électrique sont en $1/r^2$ et interviennent pour la première dans les systèmes planétaires, la seconde dans les systèmes atomiques & moléculaires.

Différences On peut placer un satellite en orbite à n'importe quelle altitude ; on ne peut placer les électrons d'un atome que dans des couches électroniques bien précises, selon des règles identiques pour tous les atomes.

Quantification L'énergie de l'atome est quantifiée, c'est-à-dire que l'atome ne peut se trouver que dans un état d'énergie bien précis. La mécanique de Newton ne permet pas d'expliquer cette quantification.

Énergie L'énergie d'un atome ne peut varier que selon un multiple du quanta d'énergie :

$$\Delta E = h\nu$$

• ΔE variation d'énergie, en joules (J) ;

• h est la constante de Planck :

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

• ν est la fréquence de la radiation (photon) émise ou absorbée par l'atome, en hertz (Hz).

État Le niveau d'énergie le plus bas d'un atome est appelé *état fondamental*. Les autres niveaux d'énergie sont les états excités. Les niveaux d'énergie des molécules et les noyaux sont eux aussi quantifiés.

Spéctre de raies Un spectre de raies est le résultat de

la décomposition (= dispersion par un prisme ou un réseau) des différentes radiations monochromatiques émises par un gaz d'atome chaud lors de sa désexcitation.

Chaque élément produit un spectre qui lui est propre, comme une signature.

Un spectre d'absorption, correspondant à l'excitation d'atomes ou de molécules, est complémentaire du spectre d'émission correspondant à la désexcitation des mêmes atomes ou molécules.

Transition À chaque raie du spectre correspond une transition dans l'état énergétique de l'atome. Lorsque qu'un atome passe du niveau d'énergie E_1 à un niveau d'énergie supérieur E_2 , il absorbe lors de cette excitation un quantum d'énergie égal à :

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$$

Lors de la désexcitation, le même quantum d'énergie est émis.

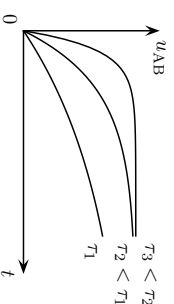
Échanges d'énergie Les échanges d'énergies sont de l'ordre :

• de l'eV pour le cortège électronique ;

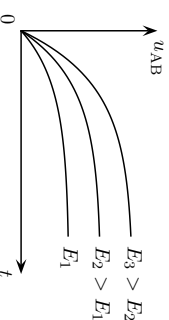
• du MeV pour le noyau.

Ces échanges d'énergie ont lieu sous forme d'absorption ou d'émission de particules, principalement des électrons. Le point fondamentalement n'est pas la forme sous laquelle l'énergie est absorbée ou émise, mais le fait que cet échange ne peut se faire que par quantités discrètes — par quanta.

Influence de R ou de C Elle est identique pour les deux valeurs, et influence directement τ :



Influence de E Pour trois cas de même constante de temps τ :



Résonance La résonance mécanique se produit lorsque la période de l'excitateur est voisine de la période propre du résonateur.

L'amortissement limite l'amplitude des oscillations à la résonance. À contrario, en l'absence d'un amortissement suffisant, rien ne viendrait limiter les amplitudes des oscillations à la résonance, risque de destruction du résonateur.

Chapitre 16

Étude énergétique des systèmes mécaniques

Travail Le travail d'une force constante \vec{F} , appliquée entre le point A et le point B de la trajectoire quelconque du mobile, vaut :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos(\vec{F}, \vec{AB})$$

Travail élémentaire Le travail d'une force quelconque \vec{F} sur un déplacement élémentaire $d\vec{l}$ est appelé travail élémentaire et se note δW :

$$\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

Somme Le travail d'une force quelconque \vec{F} , appliquée entre le point A et le point B de la trajectoire quelconque du mobile, est la somme des travaux élémentaires entre A et B :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \int_A^B \delta W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

Travail du poids Le travail du poids, lors du passage d'une altitude z_A à une altitude z_B par une *chemin* quelconque, vaut :

$$W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$$

Ressort La travail d'une force appliquée à une extrémité d'un ressort pour passer d'un allongement x_A à l'allongement x_B , s'exprime par :

- enregistrer le mouvement oscillant $x = f(t)$;
- mesurer une amplitude ;
- mesurer une pseudo-période ;
- faire varier l'amortissement, la masse ou la constante de raideur du ressort.

Épreuve expérimentale Vous devez savoir :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \frac{1}{2}k(x_B^2 - x_A^2)$$

Vous devez savoir démontrer cette relation, par méthode graphique (aire sous la courbe, surface d'un triangle rectangle de côtés x et kx) et par intégration.

Énergie potentielle L'énergie potentielle élastique d'un ressort vaut :

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2$$

Énergie mécanique $E_m = E_c + E_p$

- Ressort : $E_m = \frac{1}{2}kx_m^2$;
- Projectile : $E_m = mgh$ avec h altitude à laquelle le projectile est lâché sans vitesse initiale.

Conservation La conservation de l'énergie mécanique, en l'absence de frottements, s'exprime comme :

$$E_m = \text{cte} \Leftrightarrow \Delta E_m = 0$$

On peut utiliser cette dernière égalité pour calculer l'énergie cinétique lorsque l'on connaît l'énergie potentielle, et vice-versa.

Vous devez savoir reconnaître la conservation ou la non-conservation de l'énergie mécanique sur un document expérimental.

Chapitre 17

Physique quantique

Force 4 Traditionnellement, on indique que la Physique fait intervenir quatre forces : l'interaction gravitationnelle, l'interaction électrique, l'interaction faible (qui explique la radioactivité α) et l'interaction forte (qui explique la cohésion des noyaux).

Interaction électrostatique La force d'interaction électrostatique entre deux particules chargées mobiles, de charges q_1 et q_2 , s'écrit :

$$F_{\text{élec}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

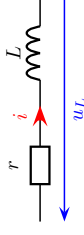
Chapitre 12

Courant électrique dans une bobine

Bobine en convention récepteur La relation entre la tension aux bornes de la bobine et l'intensité qui la traverse s'écrit :

$$u_L = ri + L \frac{di}{dt}$$

avec L inductance de la bobine en henrys (H) et r résistance interne de la bobine en ohms (Ω). La convention récepteur est respectée sur le schéma suivant :



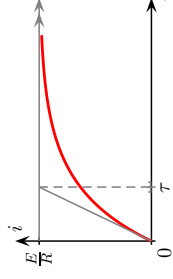
Continuité de l'intensité Une bobine s'oppose aux variations brusques de l'intensité du courant dans le circuit où elle se trouve. L'intensité du courant dans le circuit ne peut pas subir de discontinuité. On ne manquera pas de comparer ce comportement avec celui du condensateur.

Dipôle RL Un dipôle RL est constitué par l'association en série d'une bobine d'inductance L et d'un conducteur ohmique de résistance R ; on suppose que la résistance interne r de la bobine est négligeable devant R .

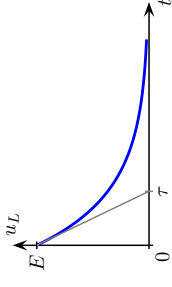
Réponse en courant Il faut être capable de retrouver l'équation différentielle de la réponse en courant :

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{E}{R}$$

La solution de cette équation a une courbe de la forme suivante, lors de l'établissement du courant :



Réponse en tension À partir de la réponse en courant précédente, et de la relation entre la tension u_L et l'intensité i , on peut déduire la forme de la réponse en tension u_L :



Constante de temps Le rapport :

$$\tau = \frac{L}{R}$$

est appelé constante de temps du dipôle RL. Elle est homogène à une durée.

Il faut connaître cette formule, savoir vérifier son unité par analyse dimensionnelle, et savoir retrouver sa valeur à partir des courbes ci-dessus, en traçant la tangente à l'origine.

Influence de R et de L Il faut savoir quelles sont les modifications qualitatives qui ont lieu sur les courbes ci-dessus, si l'on modifie les valeurs de R ou de L .

Énergie emmagasinée Une bobine d'inductance L traversée par un courant d'intensité i emmagasine l'énergie :

$$E_L = \frac{1}{2}Li^2$$

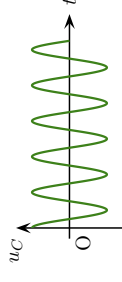
avec E_L l'énergie emmagasinée en joules, L l'inductance en henrys (H) et i l'intensité du courant en ampères (A).

Chapitre 13

Oscillations dans un dipôle RLC

Différents régimes La tension aux bornes du condensateur peut évoluer selon trois régimes : périodique, pseudo-périodique et apériodique.

- Le régime périodique correspond à l'absence d'atténuation (donc une résistance R nulle) :



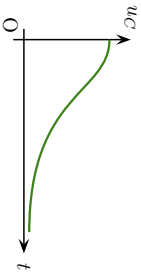
On obtient une sinusoïde de période propre T_0 .

En pratique à défaut d'annuler la résistance R du dipôle RLC , on utilise un système d'entre-tien des oscillations.

- Le régime pseudo-périodique correspond à une atténuation faible ($R < R_{critique}$). On obtient une sinusoïde amortie, de pseudo-période T quasiment égale à la période propre T_0 .



- Le régime aperiodique correspond à une atténuation élevée ($R > R_{critique}$). Il y a disparition des oscillations.



Réponse en tension Vous devez savoir redémontrer l'équation différentielle de la réponse en tension $u_C(t)$ d'un circuit LC :

$$\ddot{u}_C + \frac{1}{LC}u_C = 0$$

Vous devez mémoriser la solution $u_C(t)$ de l'équation différentielle :

$$u_C(t) = U_m \cos\left(2\pi\frac{t}{T_0} + \varphi_0\right)$$

où U_m est l'amplitude ou tension maximale, T_0 la période propre et φ_0 la phase à l'origine des dates ($t = 0$) des oscillations.

Réponse en courant De la réponse en tension u_C , on déduit la réponse en courant i dans le circuit :

$$i = I_m \cos\left(2\pi\frac{t}{T_0} + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right)$$

Période propre En injectant la solution $u_C(t)$ dans l'équation différentielle, vous devez savoir établir la formule de la période propre T_0 des oscillations :

Chapitre 14

Systèmes mécaniques oscillants

Oscillations libres Si le système est abandonné à son mouvement, on parle d'oscillations libres; et elles s'effectuent à la fréquence propre f_0 .

Oscillations forcées Si le système est soumis à une

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

formule qu'il faut aussi mémoriser. Dans toutes les formules précédentes, on peut utiliser la pulsation propre ω_0 telle que :

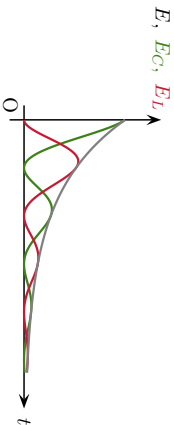
$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \Leftrightarrow \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

Influence de R Lorsque l'on augmente la valeur de la résistance R , on observe successivement un régime pseudo-périodique puis aperiodique. Vous devez savoir reconnaître l'effet d'une variation de R .

Influences de C et de L Les valeurs de C et de L influent sur la pseudo-période T_0 . Vous devez savoir reconnaître leurs effets.

Mesure de la pseudo-période Vous devez être capable de mesurer une pseudo-période T sur un enregistrement expérimental des oscillations amorties (mesure sur l'axe et pas sur les crêtes dans ce cas particulier + mesure sur plusieurs périodes si possible).

Énergie totale L'énergie totale $E = E_L + E_C$ du circuit décroît en l'absence de dispositif d'entretien des oscillations.



- En régime périodique, l'éventuel dispositif d'entretien des oscillations fournit exactement l'énergie qui est dissipée par effet Joule dans la résistance R . L'énergie contenue dans le circuit est constante.

- En régime pseudo-périodique, l'énergie contenue alternativement dans le condensateur et dans la bobine se dissipe sous forme d'effet Joule dans la résistance :

$$E_J = r i^2$$

Systèmes mécaniques oscillants

force d'excitation extérieure, les oscillations sont forcées, et elles s'effectuent à la fréquence d'excitation f , imposée par la force extérieure.

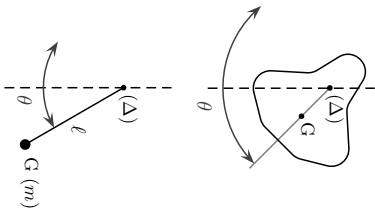
Régimes Les différents régimes d'oscillations (péri-

dique, pseudo-périodique, aperiodique, critique) vus lors de l'étude du circuit RLC se retrouvent aussi dans le cas des oscillateurs mécaniques.

Pendule pesant On appelle pendule pesant un solide lié à un axe de rotation (Δ), placé dans le champ de pesanteur.

Pendule simple Le pendule simple est une modélisation du pendule pesant : une masse m

ponctuelle, centrée sur G , liée à l'axe de rotation (Δ) par un fil inextensible, de longueur ℓ , de masse négligeable.



Amplitude Le pendule oscille avec une certaine amplitude angulaire maximale θ_{max} . La valeur de cette amplitude maximale dépend des conditions initiales : vitesse initiale et angle initial de lâché.

Période propre C'est la période T_0 des oscillations libres du pendule simple :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \text{et} \quad f_0 = \frac{1}{T_0}$$

Pseudo-période C'est la période T des oscillations amorties du pendule. Dans le cas des petites

Chapitre 15

Le système solide-ressort et la résonance

Force de rappel La force de rappel \vec{F} d'un ressort est reliée à l'allongement x du ressort par rapport à sa position d'équilibre par :

$$\vec{F} = -kx \vec{\tau}$$

où $\vec{\tau}$ est le vecteur unitaire de l'axe (Ox) du ressort. x est aussi appelé écart à l'équilibre.

Solide-ressort Un système composé d'un solide de masse m , accroché à un ressort de constante de raideur k , peut être le siège d'oscillations libres de période propre :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Vous devez savoir vérifier l'homogénéité de cette formule par analyse dimensionnelle.

oscillations ($\theta < 10^\circ$) et d'un amortissement faible, cette pseudo-période est égale à la période propre T_0 .

Positions d'équilibre Seule une position d'équilibre stable (① ci-dessous) permet des oscillations, à contrario d'une position d'équilibre instable (② ci-dessous).



Loi d'isochronisme Dans le cas d'une amplitude maximale faible ($\theta_{max} < 10^\circ$), la période propre est indépendante de l'amplitude des oscillations.

Analyse dimensionnelle Vous devez être capable de justifier la forme de l'expression de la période propre par analyse dimensionnelle :

$$\begin{aligned} [T_0] &= s \\ \left[\sqrt{\frac{\ell}{g}} \right] &= \left(\frac{m}{m \cdot s^{-2}} \right)^{\frac{1}{2}} = (s^2)^{\frac{1}{2}} = s \\ \Rightarrow T_0 &= 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \text{correct} \end{aligned}$$

Vérification expérimentale Vous devez être capable de vérifier la forme de T_0 ci-dessus à partir de résultats expérimentaux, par exemple en traçant T_0^2 en fonction de ℓ (une droite, dont on donnera pente, ordonnée à l'origine et coefficient de corrélation).

Amplitude L'amplitude des oscillations est la valeur maximale x_{max} atteinte par la valeur absolue de l'élongation $|x|$ lors des oscillations.

À tout instant, $-x_{max} \leq x \leq x_{max}$.

Amortissement Selon la valeur des forces de frottement, les oscillations peuvent être faiblement amorties (oscillations pseudo-périodiques) ou fortement amorties (mouvement aperiodique).

Étude dynamique Vous devez connaître l'étude dynamique du système { solide accroché à un ressort } : choix du référentiel, bilan des forces, application de l'équation différentielle, solution analytique dans le cas d'un frottement nul, période propre.