

Petit Formulaire de Physique Chimie

Ces formules sont extraites du cours de Physique Chimie de Terminale S (enseignement général) de M.LOUBOT, professeur de Physique Chimie au lycée M.Montaigne à Bordeaux.

Elles sont en conformité avec le programme officiel.

Vincent ZANOTTI

Résumé

L'objet de ce formulaire est de rassembler l'ensemble des formules du cours de Physique et de Chimie afin de posséder une base de travail pour le bac.

Pour tout commentaire, ou simplement pour faire part d'une faute de frappe, contactez-moi à l'adresse suivante : *vinZ2@world-informatique.com*.

Copyright ©2002 vinZ2 <vinZ2@world-informatique.com>.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.1 or any later version published by the Free Software Foundation.

A copy of the license is included, or can be found at : “GNU Free Documentation License” ([http ://www.gnu.org/copyleft/fdl.html](http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)).

Première partie

Chimie

Ph, Réaction acido-basique, Cinétique Chimique, Chimie

Organique

Chapitre 1

Le pH , Acide/Base

1.1 Le pH

1.1.1 Le pH

On a : $pH = -\log[H_3O^+]$
et donc : $[H_3O^+] = 10^{-pH}$
(Rappel sur les logarithmes :

$$\begin{aligned}\log(10^n) &= n \\ \log ab &= \log a + \log b \\ \log \frac{a}{b} &= \log a - \log b\end{aligned}$$

Echelle de pH : Acide si $pH < 7$, basique si $pH > 7$.

1.1.2 Acides forts

Pour un acide fort, $pH = -\log(C_{acide})$, et $C_{acide} = [H_3O^+]$. La réaction de dissolution d'un acide fort dans l'eau est totale.

1.1.3 Bases fortes

Pour une base forte, $pH = 14 + \log(C_{base})$.

1.1.4 Produit ionique de l'eau

On a : $[H_3O^+][HO^-] = 10^{-14} SI = K_e$

1.2 Couple acide base

1.2.1 Acide faible

Ionisation d'un acide faible dans l'eau

Lorsque l'on ionise un acide faible dans l'eau, on a : $pH > -\log C_a$. La réaction d'ionisation d'un acide faible dans l'eau est limitée.

Coefficient de dissociation d'un acide faible

C'est le rapport de la quantité de matière en acide faible ionisé sur la quantité de matière en acide initiale. $\alpha = \frac{\text{Nb. de molécules dissociées}}{\text{Nb de molécules}}$
D'où :

$$\alpha = \frac{[H_3O^+]}{C_a} = \frac{10^{-pH}}{C_a}$$

Le coefficient de dissociation est aussi appelé coefficient d'ionisation, ou d'avancement de la réaction.

1.2.2 Base faible

Expression du pH

La réaction d'une base faible avec l'eau est limitée.
Donc : $pH < 14 - \log[H_3O^+]$

Coefficient de protonation

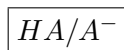
Aussi appelé coefficient d'avancement de la réaction.

$$\alpha = \frac{[HO^-]}{C_b} = \frac{10^{-14}}{[H_3O^+]C_b}$$

1.2.3 Les couples Acide/Base

1^{ère} méthode

Si HA est l'acide, alors la base du couple s'écrit A^- . Donc le couple s'écrit :

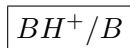


Les deux espèces sont liées par l'équation suivante :

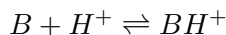


2^{ème} méthode

Si B est la base, alors l'acide du couple s'écrit BH^+ . Donc le couple s'écrit :



Les deux espèces sont liées par l'équation suivante :



On dira que :

- * BH^+ est l'acide conjugué de B (respectivement HA et A^-) ;
- * B est la base conjuguée de BH^+ (resp. A^- et HA) ;
- * les deux espèces BH^+ et B (resp. HA et A^-) sont des espèces conjuguées.

Les couples acide-base de l'eau

Couple H_3O^+/H_2O ($H_3O^+ \rightleftharpoons H_2O + H^+$).

Couple H_2O/OH^- ($H_2O + \rightleftharpoons OH^- + H^+$).

On dit que l'eau est une espèce amphotère (à la fois base et acide).

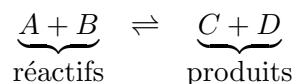
Réaction acide/base faible et eau

La base conjuguée de tout acide fort est une espèce indifférente dans l'eau.

L'acide conjugué de toute base forte est une espèce indifférente dans l'eau.

1.3 Constante d'équilibre, constante d'acidité**1.3.1 Constante d'équilibre****Réaction limitée**

On constate parfois qu'aucun des deux réactifs ne disparaît complètement, et que les produits formés réagissent ensemble.



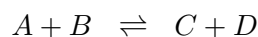
La constante d'équilibre est égale au quotient du produit des concentrations molaires des produits de la réaction, et du produit de la concentration des réactifs.

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

Cette constante ne dépend que de la température.

Solutions aqueuses

Lorsque l'eau intervient, on a :



Et alors :

$$K_R = \frac{[C][D]}{[A]}$$

1.3.2 Constante d'acidité**Dissociation d'un acide faible dans l'eau**

Couple AH / A^- ($AH + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$). Les espèces à l'équilibre sont liées par une constante réduite appelée ici constante d'acidité.

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

Ou plus couramment :

$$pK_A = \log K_A$$

$$K_A = 10^{-pK_A}$$

On a aussi :

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

Protonation d'une base faible

Couple BH^+ / B (AH / A^-).

Équation : $B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$ ($A^- + H_2O \rightleftharpoons AH + OH^-$).

Donc la constante de basicité vaut :

$$K_B = \frac{[AH][OH^-]}{[A^-]} = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]}$$

$$K_B = \frac{K_E}{K_A} = \frac{10^{-14}}{K_A}$$

Pour ces réaction base faible/eau, la connaissance du K_A est suffisante, puisque l'on a : $K_E = K_B * K_A$.

1.4 Propriétés et classement des couples acide/base

1.4.1 Zones de pH et espèce majoritaire en solution

pH et espèce majoritaire

Rappel : on a $pH = pH_A + \log \frac{[base]}{[acide]}$.

- Si $\frac{[base]}{[acide]} = 1$ alors $\log \frac{[base]}{[acide]} = 0$ donc $pH = pK_A$.
- Si $pH < pK_A$, alors $\log \frac{[base]}{[acide]} < 0$, et donc $[base] < [acide]$.
Si $[acide] > 10 * [base]$ (ou bien $pH < pK_A - 1$) alors on dit que l'acide est l'espèce majoritaire (prédominante) dans la solution.
- Si $pH > pK_A$, alors $\log \frac{[base]}{[acide]} > 0$, et donc $[base] > [acide]$.
Si $[base] > 10 * [acide]$ (ou bien $pH > pK_A + 1$) alors on dit que la base est l'espèce majoritaire (prédominante) dans la solution.

Cas d'un indicateur coloré

Un indicateur coloré, c'est la forme acide ou basique d'un couple acide/base : les couleurs ou les teintes de ces deux formes (acide ou basique) sont différentes.

1.4.2 Classement des couples acide base

Bornes du pKa

Pour l'eau :

- Couple H_3O^+ / H_2O , $K_A = 1$ et donc $pK_A = 0$;
- Couple H_2O / HO^- , $K_A = 10^{-14}$ et donc $pK_A = 14$.

On donne une échelle de pK_A croissante verticalement de 0 à 14, avec les acides à droite et les bases à gauche.

Conséquence de ce classement

Dans une solution, la base la plus forte est toujours celle qui est située le plus haut sur cette échelle.

Inversement, si on a deux acides, l'acide le plus fort est celui situé le plus bas.

Pour deux acides faibles en solution aqueuse, le plus fort correspond à la base la plus faible et inversement.

1.4.3 Réaction entre un acide et une base

Constante de réaction

Soient deux couples acide/base :

- Couple A_1 / B_1 , et $[A_1] + [H_2O] \rightleftharpoons [B_1] + [H_3O^+]$;
- Couple A_2 / B_2 , et $[A_2] + [H_2O] \rightleftharpoons [B_2] + [H_3O^+]$.

On considère la réaction entre A_1 et B_2 . On a donc K_R , que l'on peut exprimer en fonction de K_{A_1} et de K_{A_2} .

$$K_R = \frac{[B_1][A_2]}{[A_1][B_2]}$$

$$K_R = \frac{K_{A_1}}{K_{A_2}}$$

K_{A_1} est la constante d'acidité de l'acide du membre de gauche.

Avancement à l'équilibre

$K_R < 1$ La réaction es très peu avancée à droite.

Les concentrations des réactifs sont pratiquement égales aux concentrations de départ.

$K_R > 1$ Dans ce cas l'équilibre est déplacé vers la droite, et ceci d'autant plus que K_R est grand devant 1.

Si $K_R > 10^4$, on considère que la réaction est pratiquement totale.

Règle du Gamma (γ)

Lorsque l'on a deux couples en présence, la réaction qui a lieu se fait toujours entre la base la plus forte, et l'acide le plus fort. C'est ce que l'on appelle la réaction prépondérante.

1.5 Réactions acido-basiques

1.5.1 Réaction acide fort/base forte

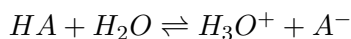
$\left. \begin{array}{l} \text{L'acide fort} \\ \text{La base forte} \end{array} \right\}$ en solution est totalement ionisé en $\left\{ \begin{array}{l} \text{ion } H_3O^+ \\ \text{ion } HO^- \end{array} \right.$

La réaction est une réaction exothermique totale, d'équation réduite : $H_3O^+ + HO^- \rightarrow 2H_2O$ (réaction inverse de l'autoprotolyse de l'eau).

1.5.2 Théorie de Brönsted

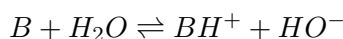
Acide de Brönsted

Un acide de Brönsted est une espèce chimique (molécule ou ion), susceptible de céder un proton H^+ , qui, en solution aqueuse, est capté par une molécule d'eau du solvant pour donner l'ion hydronium H_3O^+ .



Base de Brönsted

Une base de Brönsted est une espèce chimique susceptible de capter un proton H^+ . En solution aqueuse, ce proton provient d'une molécule d'eau du solvant.



Réaction acide/base

Dans la théorie de Brönsted, au cours de la réaction acide/base, il y a transfert d'un proton entre un donneur de proton (l'acide), et un accepteur de proton (la base).

Remarque : L'eau peut jouer à la fois le rôle d'accepteur de proton, et de donneur de proton. La molécule d'eau a donc un caractère ampholyte.

1.5.3 Point d'équivalence

À l'équivalence, les réactifs sont mélangés dans les proportions stœchiométriques de l'équation de réaction.

À l'équivalence, il y a autant de moles d'acide versé, que de moles de base versée.

Méthode de détermination du point d'équivalence

Deux méthodes : la méthode des tangentes, et la méthode de la dérivée première.

Pour les dosages Dans le cas d'un dosage, on a :

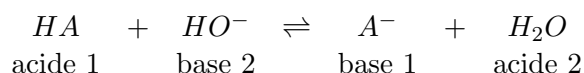
$$C_B = \frac{C_A V_{AE}}{V_B}$$

avec C_B et C_A en $mol.L^{-1}$, et V_{AE} et V_B dans la même unité.

1.5.4 Réaction acide faible/base forte

Équation et constante de réaction

Voici l'équation de réaction d'un acide faible HA , dans l'eau (hydrolyse de l'acide).



La condition de totalité de cette réaction est : $pK_{A_1} \leq 10$.

1.5.5 Solution tampon¹

Définition

Une solution tampon est une solution dont le pH varie faiblement (ΔpH de l'ordre de $\frac{1}{10}$), quand on ajoute un acide fort ou une base forte, ou quand on dilue.

Préparation

- On mélange n moles d'un acide faible avec n moles de sa base conjuguée ;
- On mélange $2n$ moles d'un acide faible, avec n moles d'une base forte quelconque.

Solution tampon de pH donné

Pour obtenir une solution tampon de pH donné, on utilise pour la préparer un couple acide/base de pK_A de valeur le pH recherché.

Utilisations

Il est principalement utilisé pour l'étalonnage des pH -mètres, et pour permettre des réactions qui n'ont lieu qu'à un pH donné.

¹Ce chapitre n'est pas nécessairement traité par tous les professeurs, mais il est susceptible de questions au bac.

Chapitre 2

Cinétique chimique

2.1 Facteurs cinétiques

2.1.1 Interprétation

Une réaction chimique résulte d'une collision entre les particules constituant les différentes espèces chimiques en présence.

La probabilité de collision dépend :

- de la concentration ;
- de la température ;
- la présence ou non d'un catalyseur.

2.1.2 Concentration des réactifs et température

Concentration des réactifs

Lorsque l'on augmente la concentration des réactifs, la vitesse de réaction augmente.

Température

Plus la température est élevée, plus la vitesse de réaction est grande. Néanmoins, la concentration finale des réactifs est toujours la même, quelque soit la température.

2.1.3 Catalyse et catalyseur

Définition

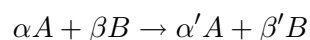
Un catalyseur est une substance qui accélère (ou permet) une réaction chimique possible, mais qui ne réagit pas (ou mal). Le catalyseur n'intervient pas dans la réaction.

Types de catalyse

- Catalyse homogène : lorsque les réactifs et le catalyseur ne forment qu'une seule phase ;
- Catalyse hétérogène : lorsque les réactifs et le catalyseur forment des phases différentes ;
- Autocatalyse : lorsque d'un des produits formés sert de catalyseur.

2.1.4 Propriétés

- Phénomène spécifique : un catalyseur ne peut catalyser que une ou plusieurs réactions spécifiques ;
- Faible quantité : une faible quantité de catalyseur peut suffire pour catalyser ;
- Non participation : le catalyseur peut intervenir dans certaines étapes de la réaction, mais n'est pas consommé par la réaction.

2.2 Cinétique chimique**2.2.1 Vitesse moyenne****Formation d'un produit (C)**

$$V_{f(C)_{\text{moy}}} = \frac{\Delta n(C)}{\Delta t} = \frac{n(C)_{t_2} - n(C)_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

Disparition d'un réactif (A)

$$V_{d(A)_{\text{moy}}} = \frac{\Delta n(A)}{\Delta t} = \frac{n(A)_{t_2} - n(A)_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

2.2.2 Vitesse instantanée

Exemple : formation de C .

$$V_{f(C)_t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta n(C)}{\Delta t} \right) = \frac{dn(C)}{dt}$$

Chapitre 3

Chimie Organique

3.1 Les parfums

3.1.1 Chimie des Parfums

Un parfum contient en général un grand nombre de molécules, avec en général les fonctions suivantes :

- Alcène (par exemple l'éthane : $H_2C - CH_2$) ;
- Alcool (par exemple l'éthanol : $H_2C - CHOH$) ;
- Aldéhyde, cétone ;
- Composés aromatiques (benzène, ...) ;
- Esters.

3.1.2 Techniques d'extraction

Extraction directe par solvant

On fait macérer les plantes dans un solvant approprié, puis on filtre, et on évapore le solvant ; on obtient alors un extrait brute appelé concrète. Cette concrète est traitée à l'éthanol. Puis on évapore l'alcool, et on obtient un extrait plus pur appelé absolu.

Hydrodistillation

Une plante odorante est mise dans l'eau, et on distille. Les molécules odorantes sont entraînées par la vapeur d'eau. On obtient un distillat constitué en général de deux phases : une phase aqueuse, et une phase organique appelée huile essentielle.

3.2 Généralités sur la chimie organique

3.2.1 La chimie organique

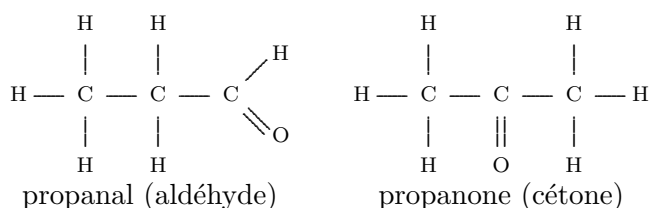
On appelle chimie organique la chimie des composées du carbone, à l'exclusion de CO , CO_2 , et $CaCO_3$. La chimie organique concerne donc tous les composés intervenant dans des processus biologiques, ainsi que les hydrocarbures et leurs dérivés, ainsi que toutes les molécules synthétiques (matières plastiques, parfums, colorants, médicaments, ...).

3.2.2 Isomérisie

Deux molécules ayant même formule brute, mais une structure, une fonction, ou une conformation spatiale sont appelés des isomères.

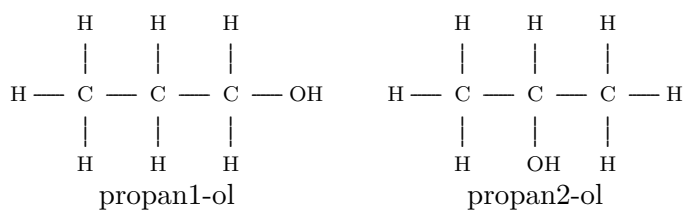
Isomérisie de fonction

Exemple : C_3H_6O



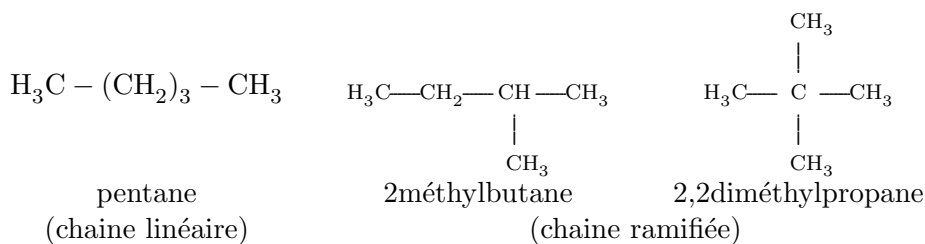
Isomérisie de position

Exemple : C_3H_8O , alcool.



Isomérisie de chaîne

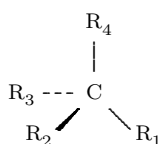
Exemple : C_5H_{12} , pentane.



Remarque : une molécule à n atomes de carbone en chaîne linéaire n'est *jamais* isomère d'une chaîne cyclique de même nombre de carbones.

3.2.3 Carbone tétraédrique

Lorsque le carbone n'a que des liaisons simples avec les atomes voisins, il a une structure tétraédrique, et il occupe le centre de ce tétraèdre :



3.2.4 Stéréoisométrie

On appelle stéréo-isomère des molécules qui ont le même enchaînement d'atomes et de liaisons, mais un agencement spatial différent.

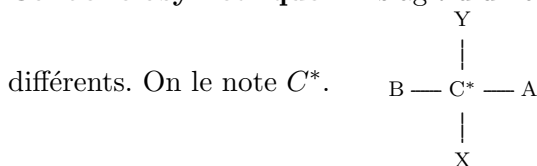
Stéréo-isomères de conformation

Cette isomérisie est due au fait que deux carbones voisins peuvent tourner autour de la liaison qui les lie.

Isomérisie de configuration

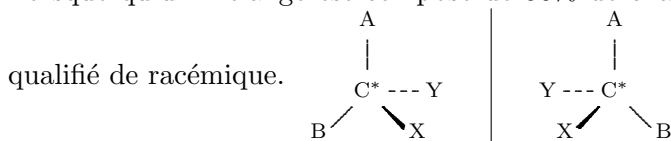
On appelle configuration d'une molécule la disposition spatiale de ses atomes, sans tenir compte des éventuelles rotations des carbones autour des liaisons simples. Les stéréo-isomères de configuration sont des composés distincts.

Carbone asymétrique Il s'agit d'un carbone directement lié à 4 atomes



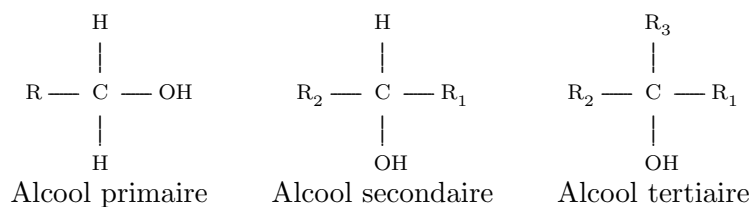
Notion d'énantiomérisie On appelle énantiomères deux stéréo-isomères dont les configurations sont symétriques l'une par rapport à l'autre, par rapport à un plan. On dit que chacun des énantiomères est chiral.

Lorsque qu'un mélange est composé de 50% de chaque énantiomère, il est

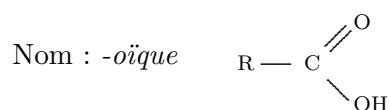


3.2.5 Rappel : alcool, et acide carboxylique

Les 3 classes d'alcool



Acide carboxylique

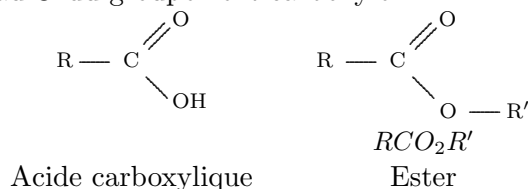


3.3 Les esters

3.3.1 Généralités

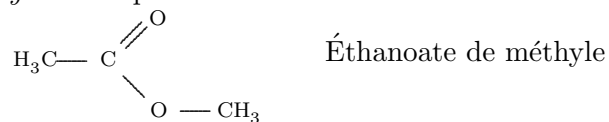
Fonction ester

Un ester est dérivé d'un acide carboxylique, en remplaçant l'hydrogène de l'acide par un groupe alkyle R' . On appelle chaîne principale celle reliée au C du groupement carboxyle.



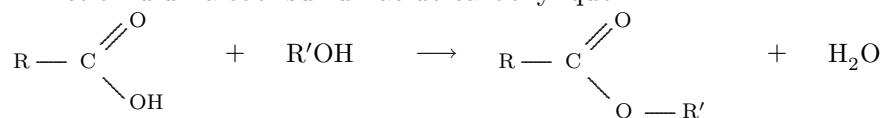
Nomenclature

Le nom est composé de deux parties : le nom de la chaîne principale, en remplaçant *-oïque* par *-oate*, et le nom de la chaîne R' , avec pour terminaison *-yle*. Exemple :



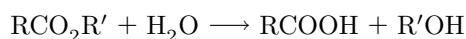
L'estérification

Action d'un alcool sur un acide carboxylique.



Hydrolyse d'un ester

Il s'agit de l'action de l'eau sur un ester.



3.3.2 Rendement d'une estérification

Il s'agit du rapport entre la quantité d'ester réellement formé, et la quantité d'ester que l'on obtiendrait si la réaction était totale. Dans le cas d'un mélange équimolaire, avec un acide primaire, ce rendement est de 67%. Si l'acide a peu d'influence sur le rendement, celui ci diminue lorsque l'on passe d'un alcool primaire à un secondaire, puis quand on passe d'un secondaire à un tertiaire.

Facteurs influençant une estérification

Concentration Plus le mélange est loin de l'équimolarité, plus le rendement augmente. On peut aussi déplacer l'équilibre dans le sens de l'estérification en éliminant un produit formé au cours de l'estérification.

Température L'estérification, et l'hydrolyse sont des réactions pratiquement athermiques. Par conséquent, modifier la température ne change pas l'équilibre final. Par contre la température modifie la vitesse de réaction.

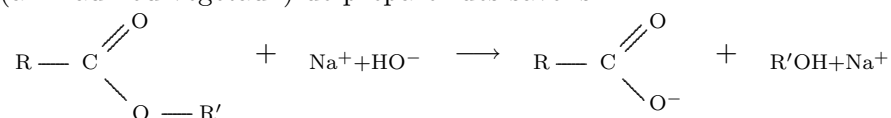
Catalyseur Le catalyseur approprié modifie de la même façon et en même temps l'estérification et l'hydrolyse.

3.4 Saponification

On appelle saponification l'action des ion HO^- d'une base forte sur un ester : il se forme alors un alcool et un ion carboxylate (base conjuguée d'un acide carboxylique).

3.4.1 Généralités

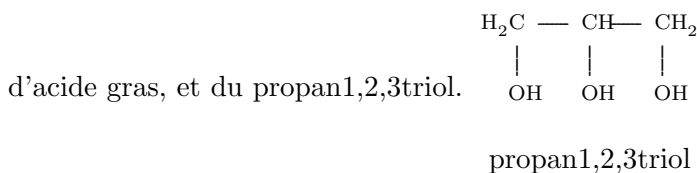
Réaction de saponification d'un ester : cette réaction est lente, mais totale; elle permet à partir d'esters naturels présents dans les corps gras (animaux ou végétaux) de préparer des savons.



3.4.2 Saponification des corps gras

Les corps gras

Tous les corps gras ont des structures analogues : ce sont des triesters

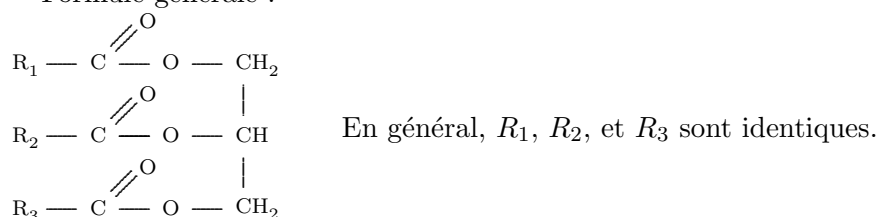


Acide gras

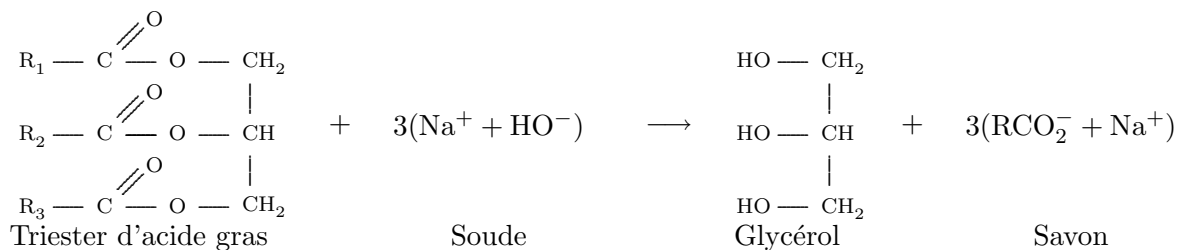
Ils ont en général une chaîne carbonée longue, non ramifiée, saturée ou non. Ils sont gras, visqueux, et ils tachent. Nom courants : acides carboxyliques (radical $-\text{COOH}$).

Triester d'acide gras

Formule générale :

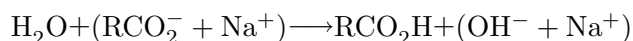


Saponification des corps gras



Remarques :

- On peut aussi utiliser de la potasse au lieu de la soude : la soude fait du savon dur, la potasse du savon mou ;
- La saponification permet d'obtenir du glycérol, mais aussi indirectement des acides gras non naturels : il suffit de faire l'hydrolyse du savon en milieu acide :



3.4.3 Propriétés des savons

Principe d'obtention

On chauffe à reflux assez longtemps un corps gras et de la soude. On laisse refroidir, puis on verse le mélange obtenu dans de l'eau salée (relargage). Le savon, peu soluble dans l'eau, est précipité, récupéré, filtré et déshydraté.

Principe d'action d'un savon

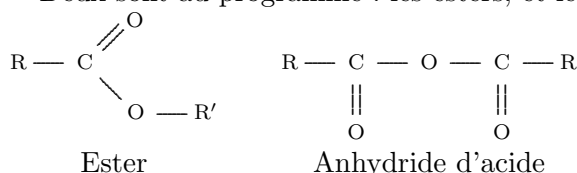
La chaîne carbonée (RCO_2^-) est très peu soluble dans l'eau (elle est hydrophobe), mais elle présente une affinité pour les graisses (elle est lipophile). Au contraire, le groupe carboxyle (RCO_2^-) est hydrophile et lipophobe. Principe d'action : Les têtes lipophiles s'implantent dans la graisse. Puis les têtes hydrophile attirent les ions Na^+ du savon : ainsi l'ensemble graisse + savon s'entoure d'une couronne positive, et les différents groupements vont alors se repousser et ainsi désagréger l'amas gras. On parle de pouvoir dispersant pour des salissures solides, et de pouvoir émulsionnant pour les salissures d'origine liquide.

3.5 Médicaments

Beaucoup de médicaments sont fabriqués à partir de dérivés d'acides carboxyliques (RCOOH).

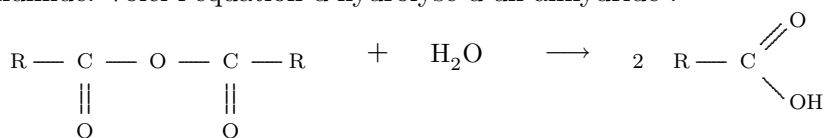
3.5.1 Dérivés d'acides

Deux sont au programme : les esters, et les *anhydrides d'acide*.

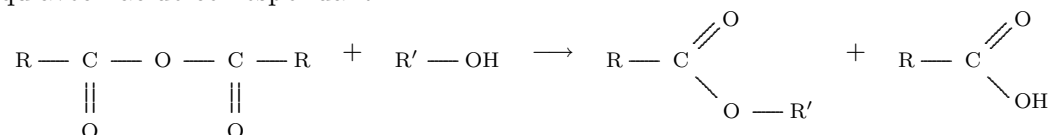


3.5.2 Anhydrides d'acide

Leur nom s'obtient en remplaçant "acide" par "anhydride" dans le nom de l'acide carboxylique duquel l'anhydride est dérivé. Les anhydrides sont des composés très réactifs, et qui n'existent pas à l'état naturel. À température ambiante, la plupart sont liquides, et assez volatiles. Les vapeurs sont très irritantes, car les anhydrides s'hydrolysent spontanément au contact d'air humide. Voici l'équation d'hydrolyse d'un anhydride :

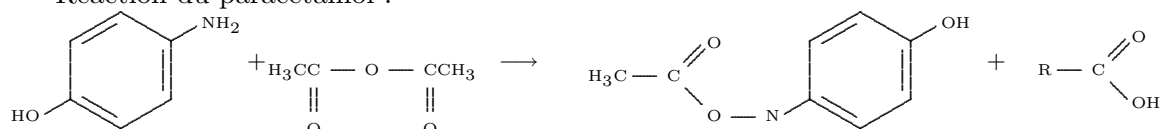


On peut aussi obtenir des esters à partir des anhydrides, et plus facilement qu'avec l'acide correspondant :



3.5.3 Exemple de réactions chimiques avec des anhydrides

Réaction du paracétamol :



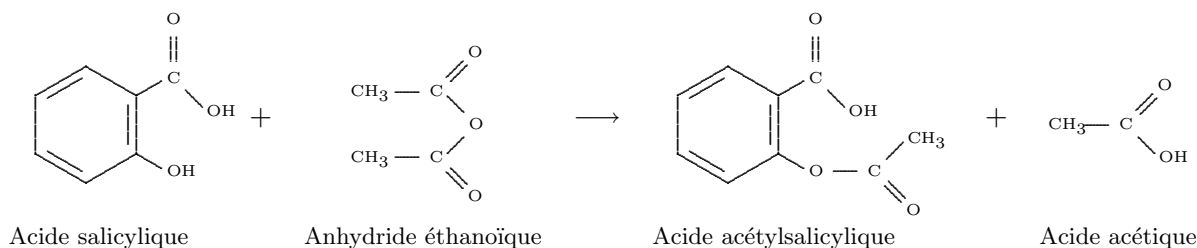
3.6 Aspirine

L'aspirine pure a été élaborée pour la première fois en 1899. C'est un solide blanc, qui s'hydrolyse facilement, et qui doit donc être conservé à l'abri de l'air.

Pour améliorer son absorption, sa tolérance, et son efficacité, on peut l'associer dans des proportions définies à d'autres composés dépourvus d'activité pharmacologique (des excipients). On obtient alors des formes galéniques de l'aspirine.

3.6.1 Préparation de l'aspirine

C'est un dérivé du phénol, celui-ci étant un dérivé du benzène, un hydrocarbure. Voici l'équation de formation du benzène :



Deuxième partie

Physique

Champs, Mécanique, et Systèmes oscillants

Chapitre 4

Champs

4.1 La Gravitation universelle

4.1.1 Mouvement des planètes

- Référentiel héliocentrique : a pour centre le soleil, et pour direction 3 étoiles considérées comme fixes ;
- Référentiel géocentrique : a pour centre le centre de la Terre, et pour axes, 3 axes parallèles aux axes du repère héliocentrique.
- Plan de l'écliptique : plan contenant les deux axes horizontaux.

Toutes les planètes sauf une tournent dans le plan de l'écliptique du Soleil.

- Terre : – Période de rotation : 23 heures, 56 minutes, et 4 secondes (soit 86164 secondes) ;
- Période de révolution (année sidérale) : 365,25 jours.

Grandeurs associées à la rotation des planètes

On suppose le mouvement des planètes circulaire.

- Vitesse linéaire : $V = \frac{R \cdot \Delta\alpha}{\Delta t} = R\omega$ en $m.s^{-1}$;
- Vitesse angulaire : $\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$ en $rad.s^{-1}$;
- Période : $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Loi de Kepler

$\frac{T^2}{R^3}$ est une constante, et T est la période de révolution de la planète, et R est la longueur du plus petit axe de l'ellipse que décrit cette planète. Cette constante ne dépend que de la planète autour de laquelle les autres planètes gravitent.

4.1.2 Interactions gravitationnelles

Expression de la loi de gravitation universelle : deux objets de masse m_1 et m_2 , et distants de d exercent l'un sur l'autre une force dite gravitationnelle :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{F_{1/2}} &= \text{Force exercée par l'objet 1 sur l'objet 2} \\ \overrightarrow{F_{1/2}} &= -G \frac{m_1 m_2}{d^2} \vec{u} \\ \overrightarrow{F_{2/1}} &= G \frac{m_1 m_2}{d^2} \vec{u}\end{aligned}$$

$\overrightarrow{F_{1/2}}$ et $\overrightarrow{F_{2/1}}$ sont des forces centripètes.

4.1.3 Champ de gravitation

Notion de champ

Un champ est une région de l'espace dont les propriétés sont modifiées par la présence d'un corps appelé "source du champ". Cette modification peut-être mise en évidence avec un 2^e corps placé dans ce champ.

Champ de gravitation

Si on place un objet de masse m , dans un champ gravitationnel G , alors cet objet subit une force de gravitation $\vec{F} = m \vec{G}$. Et : $\vec{G} = -G \frac{m_0}{d^2} \vec{u}$, avec m_0 masse de la source, et d distance à la source. G est exprimé en $N.kg^{-1}$.

Lignes de champ

Ce sont des courbes admettant en chaque point une tangente de même direction que celle de $\vec{G}$, et orientée comme lui.

Champ de pesanteur

On a : $\vec{P} = m \vec{g}$, et g est la caractéristique du champ de gravitation. En négligeant l'effet de rotation, on a $\vec{g} = \vec{G}$.
Donc dans le cas de la terre :

$$\begin{aligned}\text{Surface de la Terre : } g_0 &= G_0 = G \frac{m_T}{R^2} \\ \text{Altitude } z : g_z &= G_z = G \frac{m_T}{(R+z)^2} = \frac{G_0 R^2}{R+z^2}\end{aligned}$$

4.2 Mouvement dans le champ de pesanteur

4.2.1 Mouvement avec $\vec{v}_0$ non-vertical

On lance un objet avec une vitesse $\vec{v}_0$ formant un angle α avec l'horizontale. On se place alors dans le plan formé par $\vec{v}_0$ et son projeté sur l'horizontale.

Équations horaires du mouvement

En dérivant deux fois l'accélération, on obtient les équations horaires suivantes :

$$\overrightarrow{OM} \left| \begin{array}{l} x = (v_0 \cos \alpha)t + x_0 \\ z = \frac{-gt^2}{2} + (v_0 \sin \alpha)t + z_0 \end{array} \right.$$

Équation de la trajectoire

En reprenant les équations horaires ci-dessus, on a :

$$z = \frac{-g}{2} \frac{(x - x_0)^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha + z_0$$

et si on prends l'origine du repère comme point de départ de l'objet, on obtient l'équation réduite :

$$z = \frac{-gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha$$

Caractères du mouvement

Flèche C'est l'altitude maximale de l'objet.

$$z = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2z_0 g}{2g}$$

La flèche est au maximum lorsque l'angle est de $\alpha = \frac{\pi}{2}$.

Flèche horizontale C'est l'endroit où la trajectoire recoupe (Ox). On pose que le point de départ a pour ordonnée $z = 0$. Dans ce cas, l'abscisse du point d'intersection est :

$$x = \frac{V_0^2}{g} \sin(2\alpha)$$

La portée (flèche horizontale) est maximum lorsque $\alpha = \frac{\pi}{4}$.

4.2.2 Mouvement des satellites et des planètes

On se limitera au simple cas des satellites terrestres ayant une trajectoire circulaire dans un référentiel géocentrique.

Pour le mouvement des planètes, on considère le référentiel héliocentrique.

Vitesse V

Il s'agit d'un mouvement circulaire uniforme. Donc $a = a_n = \frac{V^2}{r}$. Donc, si r est le rayon de la trajectoire, $\mathcal{G}_0$ la valeur du champs gravitationnel à la surface de la Terre, et R le rayon de la Terre, on a :

$$V = R\sqrt{\frac{\mathcal{G}_0}{r}}$$

Période T du satellite

En reprenant l'équation précédente de la vitesse, et en sachant que $T = \frac{2\pi r}{V}$, on a :

$$T = \frac{2\pi r^{\frac{3}{2}}}{R\sqrt{\mathcal{G}_0}}$$

Loi de kepler

On a :

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{R^2\mathcal{G}_0}$$

4.3 Champ électrique

4.3.1 Les charges électriques

Unité de charge : le coulomb C . la charge peut s'exprimer en fonction de l'intensité et du temps :

$$Q = I * t$$

avec Q en coulomb, I en ampère, et t en seconde.

la chargr élémentaire (charge d'un électron/proton), vaut :

$$\begin{aligned} e &= 1,6.10^{-19} \quad C \\ \text{électron} \quad q_e &= -e \\ \text{proton} \quad q_p &= +e \end{aligned}$$

4.3.2 Les forces électriques

Deux charges électriques ponctuelles, placées en A et B, notées q_A et q_B , à une distance r l'une de l'autre, exerce l'une sur l'autre des forces électriques, directement opposées, et dirigées suivant la droite (AB), attractives si elles sont de signe contraire, répulsive si elles sont de même signe.

$$\begin{aligned}\overrightarrow{F_{A/B}} &= \overrightarrow{F_{B/A}} \\ F_{A/B} = F_{B/A} &= k \frac{|q_A q_B|}{r^2}\end{aligned}$$

et k est une constante de proportionnalité ($k > 0$). $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, et ϵ_0 est la permittivité du vide ($\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9}$). Remarque : en général, et plus particulièrement dans un noyau, les forces de gravitation sont négligeables devant les forces électriques.

4.3.3 Le champ électrique

Il existe un champ électrique dans une région de l'espace, si une charge électrique est soumise à une force électrique. En un point P de l'espace, où règne un champ électrique dû à une charge ponctuelle q, P est soumis à une force électrique $\overrightarrow{F(p)}$. Le vecteur champ électrique en p, $\overrightarrow{E(p)}$ est tel que :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{F(p)} &= q \cdot \overrightarrow{E(p)} \\ \text{d'où : } E(p) &= \frac{1}{|q|} F(p)\end{aligned}$$

Et si la source du champs est O, avec pour charge Q, alors on a :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{E(p)} &= \frac{kQ}{r^2} \overrightarrow{u_{O/P}} \\ E(p) &= \frac{k|Q|}{r^2}\end{aligned}$$

Champ électrique uniforme

Un champ électrique est uniforme dans un domaine d'espace si dans ce domaine, le vecteur champ électrique $\vec{E}$ conserve même direction, même sens, et même valeur. L'ensemble constitué de deux plaques planes et parallèles entre lesquelles on établit une tension constante, est un condensateur plan. Les plaques portent le nom d'armatures. Ce champ a pour valeur $E = \frac{U_{PN}}{d}$, exprimé en $N.m^{-1}$. Les deux armatures de ce champ sont des surfaces équipotentielles. La différence de potentiel entre deux points A et B situé entre les deux armatures à pour valeur $U_{AB} = \vec{E} \cdot \overrightarrow{AB}$.

4.4 Particule chargée dans un champ $\vec{E}$ uniforme

Pour les particules de poids faible, et de charge importante (par exemple les électrons), on rappelle que le poids est *négligeable* devant la force électrique.

4.4.1 Émission et accélération d'électrons

Il s'agit d'un canon à électron. Le filament, chauffé, émet des électrons, qui passent entre les deux armatures d'un condensateur plan. Ces électrons sont accélérés, et le vecteur accélération a pour valeur $\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E}$. Si V_T est la vitesse de sortie du tube, on a :

$$V_T = \sqrt{\frac{2eU - TS}{m}} + V_S^2$$

Avec e la charge de l'électron, m sa masse, V_S la vitesse à l'entrée, et U_{TS} la valeur de la différence de potentiel entre les deux armatures.

Remarque : cette vitesse est *toujours* inférieure à $3.10^8 \dots$

4.4.2 Particules dans $\vec{E}$ avec $\vec{E} \perp \vec{V}_0$

Équations horaires

On a :

$$\overrightarrow{OM} \left| \begin{array}{l} x = V_0 t \text{ (mouvement uniforme en x)} \\ y = \frac{q}{2m} E t^2 \text{ (mouvement accéléré en y)} \end{array} \right.$$

Équation de la trajectoire

$$y = \frac{qEx^2}{2mV_0^2}$$

Déviation électrostatique

Dans le champ E , la particule a une trajectoire parabolique, et lorsqu'elle sort de ce champ, elle a une trajectoire (pratiquement) rectiligne. Condition de sortie l'armature :

$$U \leq \frac{d^2 m V_0^2}{q l^2}$$

et d est la distance entre les deux armatures (la particule part du milieu des armatures), l est la longueur de l'armature, et la particule a pour masse m et pour charge q . La vitesse initiale est V_0 . Expression de la déviation :

$$\delta = \frac{qUl(2D-l)}{2mdV_0^2}$$

en utilisant les valeurs de la précédente équation, et avec D distance entre le point de départ et l'écran.

4.5 Champ magnétique

4.5.1 Champ magnétique crée par un aimant

Un aimant possède un pôle nord, et un pôle sud. Deux pôles de même nom se repoussent, alors que deux pôles de noms différents s'attirent. L'aiguille aimantée d'une boussole nous renseigne sur le nom du pôle.

4.5.2 Vecteur champ magnétique

Ce vecteur a pour direction celle prise par l'aiguille aimantée mobile, pour sens, du Sud vers le Nord, et pour valeur B , exprimé en tesla (T). L'ordre de grandeur moyen de ce vecteur est de quelques milli tesla pour les aimants, jusqu'à 5-10 teslas pour les accélérateurs à particule.

4.5.3 Les spectres magnétiques

Il s'agit de la représentation des lignes de champs. Ces lignes vont du nord vers le sud. Dans le cas d'un aimant en U, on admet que le champ magnétique est uniforme entre les deux branches du U.

4.5.4 Champ magnétique crée par un courant électrique

Champ magnétique du solénoïde

Soit l la longueur, et r le rayon du solénoïde. Si $l \gg r$, alors il s'agit d'un solénoïde, sinon, il s'agit d'une bobine plate. À l'intérieur du solénoïde, les lignes de champ sont parallèles au solénoïde. À l'extérieur, elles sont comme pour un aimant droit.

Par analogie à un aimant droit, on attribue des faces nord et sud à un solénoïde.

- Règles : – Un tir bouchon que l'on tourne dans le sens du courant va du sud vers le nord ;
 – La main droite posée sur le solénoïde avec le courant circulant du poignet vers le bout de la main indique avec le pouce le sens du vecteur $\vec{B}$, donc de la face nord.

À l'intérieur du solénoïde, le vecteur champ magnétique est uniforme (même direction, même sens, même valeur). La valeur de B en tesla (avec I en ampère) est :

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{l} I$$

$$\begin{aligned}
\mu_0 &= \text{perméabilité du vide} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI} \\
n &= \text{nb de spires.m}^{-1} \\
N &= \text{nb de spires} \\
l &= \text{longueur du solénoïde}
\end{aligned}$$

Bobines de Helmholtz

Le dispositif est constitué de deux bobines plates identiques séparées par une distance l égale à leur rayon, et parcouru par des courants d'intensité I de même direction, et de même sens. À l'intérieur de l'espace entre les deux bobines, le champ magnétique est uniforme, et a pour valeur :

$$B = 0,715 * \mu_0 n I$$

4.6 Particule chargée dans un champ $\vec{B}$ uniforme

4.6.1 Force magnétique

Une particule de charge Q , ayant une vitesse V , placée dans un champ magnétique $\vec{B}$, subit une force donnée par ma relation :

$$\vec{f}_m = q\vec{V} \wedge \vec{B}$$

Caractères de $\vec{f}_m$:

- Origine : le centre de la particule ;
- Direction : orthogonale à $\vec{B}$ et $\vec{V}$, donc du plan défini par ces deux vecteurs ;
- Sens : Règle de la main droite ($\vec{B}$ sort de la paume de la main, $q\vec{V}$ est dans le sens de la main, et alors $\vec{f}_m$ est désigné par le pouce à angle droit) ;
- Valeur : $f_m = |q|.V.B.\sin(\vec{V}, \vec{B})$.

$\vec{f}_m$ est appelée force de Lorentz.

Aspect énergétique

$\vec{f}_m$ étant constamment perpendiculaire à $\vec{V}$, et la puissance $\mathcal{P}_{\vec{f}_m}$ étant égal à $\vec{f}_m \cdot \vec{V}$, donc $\mathcal{P}_{\vec{f}_m} = 0$. Or $\mathcal{P}_{\vec{f}_m}$ est la dérivée de l'énergie cinétique par rapport au temps, donc cette dérivée est nulle, et donc la vitesse de la particule v est constante.

4.6.2 Étude du mouvement

Soit une particule de masse m , de charge Q , pénétrant dans un champ magnétique $\vec{B}$ constant, avec une vitesse $\vec{V}_0$. On se place dans le cas où le poids est négligeable devant la force magnétique.

D'après le point précédent, la vitesse est constante, mais la particule subit une déviation. Et comme le poids est négligeable, on a : $\vec{a} = \vec{a}_n = \frac{q}{m} \vec{V} \wedge \vec{B}$. Et $a_n = \frac{V^2}{R}$, donc on a le rayon de la déviation R :

$$R = \frac{mV}{|q|B}$$

et R est constant. La déviation est donc un mouvement circulaire uniforme. Contrairement au champ électrique, le champ magnétique n'accélère pas les particules.

Énergie cinétique de la particule

On a :

$$\mathcal{E}_k = \frac{1}{2} \frac{q^2}{m} (RB)^2$$

Remarque : dans les accélérateurs à particules, pour obtenir des énergies énormes, et puisque la masse et le poids des particules est fixé, il faut obtenir le produit RB le plus grand possible. Or, B est limité à quelques dizaines de Tesla, donc le principe est de construire des accélérateurs toujours plus grands.

4.6.3 Déviation d'une particule par un champ magnétique

Principe du spectromètre de masse : on lance les particules dans un champ magnétique. Elles sont déviées circulairement, et leur rayon vaut $R = \frac{mV}{|q|B}$. cela permet donc de trier les particules, puisque le rayon dépend de leur nature.

Chapitre 5

Mécanique

5.1 Lois de Newton

5.1.1 1^{re} Loi de Newton (Principe d'inertie)

Dans un référentiel galiléen, lorsqu'un solide est isolé, ou pseudo isolé ($\sum \vec{F} = \vec{0}$), son centre d'inertie G est **soit** immobile ($\vec{V}_G = 0$), **soit** animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

Néanmoins, ce principe ne permet pas de connaître la nature des mouvements qui animent les points autres que le centre d'inertie. Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié.

5.1.2 Vitesse et accélération

Vecteur vitesse

Le vecteur vitesse, dans un référentiel donné, en un point donné, à un temps donné, est égal à la dérivée de la distance parcourue par rapport au temps.

$$\vec{v} = \frac{d(\overrightarrow{OM})}{dt}$$

Accélération – Vecteur accélération

Dans un référentiel donnée, le vecteur accélération $\vec{a}$ d'un point mobile, à un instant et à un temps donné, est égal à la dérivée de la vitesse par rapport au temps.

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{d(\vec{v})}{dt} \\ &= \frac{d^2(\overrightarrow{OM})}{dt^2}\end{aligned}$$

On utilise un repère liée au mouvement, appelé repère de Freinet, défini par deux vecteurs unitaires :

- $\vec{t}$, vecteur tangent à la trajectoire, et de même sens qu'elle ;
- $\vec{n}$, vecteur normal à $\vec{t}$, dirigé vers la concavité.

On a alors :

$$\begin{aligned}\vec{a} &= a_t \vec{t} + a_n \vec{n} \\ \text{et : } a_t &= \frac{d(v)}{dt} \\ a_n &= \frac{v^2}{R}\end{aligned}$$

R étant le rayon de la trajectoire au point donné. On a donc :

$$\vec{a} = v \vec{t} + \frac{v^2}{R} \vec{n}$$

5.1.3 2^e Loi de Newton (Théorème du centre d'inertie)

Ce théorème précise la relation qui existe entre la somme des forces s'exerçant sur un solide, et l'accélération de son centre d'inertie.

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures appliquées à un solide est égale au produit de la masse du solide, par l'accélération de son centre d'inertie :

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}_G$$

- Remarques : – Ce théorème n'est valable que pour le centre d'inertie ;
- On peut considérer que le centre d'inertie du solide a le même mouvement qu'un point matériel située au centre d'inertie du solide, et où seraient appliquées toutes les forces s'exerçant sur le solide.

5.1.4 3^e Loi de Newton (Actions réciproques)

Si un solide A exerce sur un autre solide B une force $\vec{f}_{A/B}$, alors l'objet B exerce sur A une force $\vec{f}_{B/A} = -\vec{f}_{A/B}$, ceci étant vrai pour les interactions de contact, et à distance.

5.2 Travail, énergie, et puissance

5.2.1 Théorème de l'énergie cinétique

Rappels

Énergie totale d'un système :

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_k + \mathcal{E}_p + \mathcal{E}_{micr}$$

et $\mathcal{E}_k$ est l'énergie cinétique, $\mathcal{E}_p$ l'énergie de pesanteur (ou potentielle), et $\mathcal{E}_{micr}$ l'énergie microscopique.

Et on a : $\mathcal{E}_k = \frac{1}{2}mv^2$.

Énoncé

Dans un référentiel galiléen, entre deux instants donnés, la variation de l'énergie cinétique d'un solide est égale à la somme des travaux des forces extérieures appliquées à ce solide entre ces deux mêmes instants.

5.2.2 Travail d'une force constante

Lorsque le point d'application de $\vec{F}$ se déplace de A en B , le travail effectué par cette force :

$$W = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$

$$W_{AB}(\vec{F}) \quad \text{en Joule}$$

Travail du poids d'un solide

Si A , et B ont pour hauteur respective z_a et z_b , alors :

$$W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_a - z_b)$$

Travail d'une force électrique

Soit U_{AB} la différence de potentiel entre A et B , alors on a :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q \cdot U_{AB}$$

Très souvent, on utilise une autre unité que le joule :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q' \cdot U_{AB}$$

$$W_{AB}(\vec{F}_e) \text{ en } eV$$

$$q' \text{ en } |e|$$

$$U_{AB} \text{ en } V$$

Et on a : $1 eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J$.

5.2.3 Puissance

Puissance moyenne

La puissance mécanique moyenne, transférée à un système pendant une durée Δt est :

$$\mathcal{P}_{moy} = \frac{W}{\Delta t}$$

W étant le travail en Joule. $\mathcal{P}$ est alors en $J.s^{-1}$ (appelé W , Watt).

Puissance instantanée

Soit $\vec{F}$ une force constante, dont le point d'application effectue un mouvement rectiligne uniforme, à la vitesse $\vec{v}$, alors, à l'instant t :

$$\mathcal{P}_t = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Chapitre 6

Systèmes oscillants

6.1 Généralités sur les oscillateurs

6.1.1 Différentes sortes d'oscillateurs

Oscillateurs libres

Lorsque l'on les écarte de leur position d'équilibre, ils oscillent librement, avec une période qui leur est propre. En général, ces oscillateurs s'amortissent rapidement.

Oscillateurs entretenus

Pour entretenir de façon durable les oscillations, il faut fournir de l'énergie à l'oscillateur : cet apport d'énergie peut se faire de plusieurs méthodes :

- Oscillateurs autoentretenus : l'oscillateur prend de l'énergie à une source à son propre rythme (Ex. muscle cardiaque) ;
- Oscillateurs de relaxation : pas d'état d'équilibre, mais oscillation entre deux états extrêmes (Ex. geysers) ;
- Oscillateurs paramétriques : Ex. balançoire ;
- Oscillateurs forcés : ils reçoivent périodiquement de l'énergie, généralement avec une période très différentes de la période d'oscillation.

6.1.2 Grandeurs caractéristiques d'un oscillateur

- Élongation : valeur à un instant donné quelconque du paramètre qui varie au cours du temps ;
- Amplitude : valeur maximale de cette élongation ;
- Période : durée entre deux passages successifs, dans des mêmes conditions (notée T) ;
- Fréquence : nombre d'oscillations par seconde ($f = \frac{1}{T}$).

6.2 Oscillateurs mécaniques

6.2.1 Ressort élastique en translation

Période du mouvement

Période d'oscillation d'un ressort, sans frottements :

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

k étant la constante de raideur du ressort, en $N.m^{-1}$.

Aspect énergétique

On constate que comme x (élongation) et v (vitesse), les énergies sont sinusoïdales. Néanmoins, leur période est la moitié de la période des sinusoïdes x et v .

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E}_k = \frac{1}{2}mv^2 \\ \mathcal{E}_p = \frac{1}{2}kx^2 \end{array} \right. \text{ et : } \mathcal{E}_m = \mathcal{E}_k + \mathcal{E}_p$$

6.2.2 Pendule simple

Un objet de masse m est fixé à l'extrémité d'une ficelle inextensible. Ce pendule peut osciller dans un plan vertical. Seule la position verticale permet une immobilité spontanée du mobile.

Période des oscillations

La période ne dépend ni de l'angle initial d'écart (à condition qu'il reste raisonnable), ni de la masse accrochée (à condition que les frottements restent négligeables). Alors :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

avec l longueur du fil, et g constante de gravitation ($9,8 m.s^{-2}$).

6.2.3 Oscillations amorties

Lorsqu'un oscillateur oscille dans l'air, ou à plus forte raison dans un liquide (fluide), il existe des frottements plus ou moins importants, donc un amortissement. Au cours des oscillations, l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m$ décroît. Pour compenser les pertes d'énergie par frottements, il faut un système qui fournisse périodiquement de l'énergie à un oscillateur.

6.2.4 Oscillations forcées : phénomène de résonance

Un oscillateur est en régime forcé si un autre oscillateur appelé exciteur lui impose des oscillations de fréquence F . On dit qu'il y a résonance lorsque l'oscillateur excité a une amplitude maximum. Dans ce cas, les deux oscillateurs vibrent en phase, et à la résonance, la fréquence de l'excitateur est égale à la fréquence propre de l'oscillateur excité.

6.3 La Bobine

6.3.1 Induction électromagnétique

L'induction électromagnétique, c'est la création d'une force électromotrice induite dans un circuit "extérieur" à la variation de $\vec{B}$.

6.3.2 Auto-induction

Soit une bobine dans un circuit. Lorsque l'on ferme le circuit, le champ magnétique créé par la bobine passe rapidement de 0 à B , donc il varie : il apparaît alors dans cette bobine un courant de sens contraire à I , qui retarde l'établissement de I .

On dit qu'il y a auto-induction quand la variation du champ magnétique $\vec{B}$, et le courant induit ont lieu dans le même circuit.

Expression de la fém. d'induction

Dans un circuit électrique où apparaît un courant induit, tout ce passe comme si on avait créé une force électromotrice d'auto-induction, ayant pour expression :

$$E = -L \frac{di}{dt}$$

e est la fém d'auto-induction (V)
 L est l'inductance de la bobine (H)

Inductance (solénoïde long)

Une bobine est caractérisée par son inductance L , exprimée en Henri (H), et par sa résistance r .

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l}$$

μ_0 perméabilité du vide ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI)
 N nombre de spires

- l longueur de la bobine (m)
 S surface d'un spire (m^2)

Tension aux bornes d'une bobine

On a :

$$\begin{aligned}
 U_{AB} &= ri - e \\
 &= ri + L \frac{di}{dt}
 \end{aligned}$$

- Si i est constante, on a $\frac{di}{dt} = 0$, donc $U_{AB} = ri$ (loi d'Ohm), en régime permanent ;
- Si i varie assez rapidement, et L est assez grand, on a : $L \frac{di}{dt} \gg ri$.

6.3.3 Circuit RL

On met dans un circuit alimenté par un générateur de tension en créneau, une résistance et une bobine en série. On étudie les tensions U_R et U_B respectivement dans la résistance et dans la bobine. La tension U_B dans la bobine est une tension périodique, mais non continue, alors que la tension U_R dans la résistance est période, de même période que U_B .

La constante de temps τ de ce circuit vaut :

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

À l'instant τ , on atteint 63% de la valeur de E fournie par le générateur.

6.3.4 Énergie d'une bobine chargée

$$\mathcal{E}_B = \frac{1}{2} LI^2$$

Si L est grand, $\mathcal{E}_B$ a une grande valeur. Lorsque l'on ouvre le circuit comportant cette bobine, cette énergie est récupérée pendant le temps d'ouverture Δt de l'interrupteur. Si Δt est très petit, on a alors une puissance ($\frac{\mathcal{E}_B}{\Delta t}$) très importante, et on obtient alors une surtension très importante au bornes de la bobine.

6.4 Le condensateur

6.4.1 Définition

On appelle condensateur deux conducteurs électriques appelés armatures, séparés par un isolant. Les condensateurs électrochimiques sont polarisés.

6.4.2 Capacité d'un condensateur

Charge d'un condensateur

La charge d'un condensateur nous est donnée par la différence de potentiel U entre les deux bornes du condensateur, et par la capacité C du condensateur :

$$q = U.C$$

Capacité d'un condensateur plan

La capacité nous est donnée par :

$$C = \frac{\mathcal{E}S}{d}$$

$\mathcal{E}$ perméabilité de l'isolant (SI)
 C capacité en Farad (F)
 S surface commune au deux armatures (m^2)
 d distance des deux armatures (m)

6.4.3 Charge du condensateur d'un dipôle RC

On constate que la charge d'un condensateur tend vers une même valeur limite quelque soit la valeur de la résistance r du condensateur, mais plus r est petit, plus la charge est rapide.

Constante de temps d'un dipôle RC

Pour chaque dipôle RC, la durée de charge dépend du produit $R.C$. Cette constante $\tau = R.C$ est appelée constante de temps du dipôle RC. À l'instant τ , le condensateur est chargé à 63%, et on considère que le condensateur est complètement chargé si $t > 5\tau$.

Intensité et tension

À tout moment, l'intensité dans le circuit est égale à la dérivée de la charge q par rapport au temps.

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

D'où l'expression de l'intensité i à la charge puis à la décharge du condensateur :

– À la charge, on a :

$$i = \frac{E - U_C}{r}$$

avec E , valeur de la tension délivrée par le générateur.

– À la décharge, on a :

$$i = \frac{-U_C}{r}$$

Donc la tension aux bornes de la résistance change brutalement de signe lorsque l'on enlève le générateur du circuit.

6.4.4 Énergie d'un condensateur chargé

L'énergie d'un condensateur chargé nous est donné en fonction de la capacité C du condensateur, et de la tension U à ses bornes, par :

$$\mathcal{E}_C = \frac{1}{2}CU^2$$

6.5 Oscillations libres dans un circuit RLC

6.5.1 Montage expérimental

On observe la tension en crêteaux aux bornes du générateur, et aux bornes du dipôle RC, on observe des oscillations amorties de période T_0 de part et d'autre de la valeur de E à la charge, et de part et d'autre de 0 à la décharge. C'est la bobine qui est la cause de ces oscillations.

Influence de R

Lorsque R augmente, l'amortissement augmente, et réciproquement lorsque R diminue, l'amortissement est moindre. Néanmoins, la valeur de R n'influe pas sur la fréquence de ces oscillations.

Lorsque R est très grand, on a un régime apériodique. Lorsque R est très petit, on a un régime pseudopériodique.

Influence de L et de C

La pseudo période T_0 des oscillations varie dans le même sens que C et L .

6.5.2 Pseudo période T_0 des oscillations libres

On dit que les oscillations sont libres car elles ne sont pas imposées par le générateur. Ce sont des oscillations entre la bobine et le condensateur.

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

6.5.3 Aspect énergétique d'un circuit RLC

Les deux tensions U_C et U_R ont la même période T_0 , mais elles sont déphasées d'un quart de période.

Voici les expressions des énergies :

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_C &= \frac{1}{2}CU_C^2 \\ \mathcal{E}_B &= \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}L\left(\frac{U_R}{R}\right)^2\end{aligned}$$

D'où :

U_R	0	maxi	0	mini
$\mathcal{E}_B$	0	maxi	0	maxi
$\mathcal{E}_C$	maxi	0	maxi	0

Il y a donc échange d'énergie entre la bobine et le condensateur en permanence : il y a perte d'énergie à chaque passage par effet Joule, d'où l'amortissement.

6.6 Oscillations forcées dans un circuit RLC

6.6.1 U et i en courant alternatif

En courant alternatif, U et i ont des valeurs variables. Cependant, un ampèremètre ou un voltmètre placé dans le circuit indique une valeur constante appelée valeur efficace. La tension (resp. intensité) efficace U_{eff} (resp. I_{eff}) est liée à la tension (resp. intensité) maximale U_m (resp. I_m) par la relation :

$$\begin{aligned}U_{eff} &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} \\ I_{eff} &= \frac{I_m}{\sqrt{2}}\end{aligned}$$

6.6.2 Résonance d'intensité

En maintenant constant la tension sinusoïdale U_{AM} du générateur, on fait varier sa fréquence. On constate que I_{eff} varie en passant par un maximum. D'autre part, à ce maximum, la tension aux bornes du générateur et l'intensité sont en phase. Pour cette raison, on appelle cela résonance d'intensité.

À ce moment là, la fréquence propre du circuit f_0 est la même que la fréquence de la tension sinusoïdale délivrée par le générateur.

6.6.3 Courbe de résonance

On fait varier, et on trace la courbe donnant I_{eff} en fonction de f , pour deux valeurs de R . La valeur maximum de I_{eff} à la résonance diminue

lorsque R augmente. On dit que la résonance est *aigüe* lorsque R est petite, et elle est *grave* lorsque R est grande. Remarque : la fréquence de résonance f_0 ne dépend pas de R .

6.6.4 Bande passante à 3dB

Définition

On appelle bande passante à 3dB l'intervalle de fréquence Δf pour lesquelles la valeur I_{eff} est supérieure ou égale à $\frac{I_{effmax}}{2}$.

“Largeur” de la bande passante

La largeur de la bande passante est Δf_0 . Plus R est grande, plus la bande passante est large.

Facteur de qualité du circuit

On appelle facteur de qualité d'un circuit RLC, Q , défini par :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{f_0}{\Delta f} \\ &= \frac{L\omega_0}{R} \end{aligned}$$

avec ω_0 pulsation du mouvement ($\omega_0 = 2\pi f_0$).

6.6.5 Surtension à la résonance

Dans le circuit, à la résonance, on a : $U_C = QU_{AM}$ (U_{AM} est la tension délivrée par le générateur). Donc si Q est grand, la tension aux bornes du condensateur peut-être beaucoup plus élevée que celle du générateur.

6.6.6 Impédance du circuit

On calcule le rapport $Z = \frac{U_{AM}}{I}$ pour différentes valeurs de U_{AM} , mais pour la même fréquence de f . Ce rapport Z est appelé impédance du circuit. On constate que ce rapport Z est à peu près constant. L'impédance en courant alternatif joue le même rôle que la résistance en courant continu.

À la résonance, Z est minimal, et à pour valeur la résistance totale du circuit. Pour toute fréquence différente de la fréquence de résonance, l'impédance est supérieure à la résistance totale du circuit.

6.7 Modélisation des systèmes oscillants

6.7.1 Oscillateurs mécaniques

Équation du mouvement

On se base sur un mouvement sans frottement. Le solide est soumis à trois forces : le poids $\vec{P}$, la réaction $\vec{R}$ opposée au poids, et la tension $\vec{T}$, perpendiculaire au poids et à la réaction. $\vec{T}$ a pour valeur : $\vec{T} = -kx\vec{i}$, k étant la constante de raideur. On a donc :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\sum_F} &= \vec{P} + \vec{R} + \vec{T} \\ &= m\vec{a}_G \\ &\text{Et en projetant sur } (Ox) : \\ \vec{0} + \vec{0} - kx\vec{i} &= m\ddot{x}\vec{i}\end{aligned}$$

D'où :

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \quad \omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

Et ω_0 est la pulsation du mouvement.

Conservation de l'énergie

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_p + \mathcal{E}_k = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}m\dot{x}^2$$

Si le mouvement considéré est sans frottement, on peut considérer que $\mathcal{E}_m$ est constante. Donc en dérivant $\mathcal{E}_m$, on a :

$$0 = kx + m\ddot{x} = 0$$

6.7.2 Oscillateurs électriques

Équations des oscillations libres

Dans un circuit LC, on a : $0 = U_C + U_L$, et comme $U_C = \frac{q}{C}$ et $U_L = L\frac{di}{dt}$. D'où :

$$\frac{1}{LC}q + \ddot{q} = 0 \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

Aspect énergétique

On prend le cas d'un circuit sans pertes par effet Joule.

$$\mathcal{E}_{tot} = \mathcal{E}_C + \mathcal{E}_L = \frac{1}{2} \frac{q^2}{c} + \frac{1}{2} L \dot{q}^2$$

Et $\mathcal{E}_{tot}$ est constante. Donc en dérivant $\mathcal{E}_{tot}$, on a :

$$q + CL\ddot{q} = 0$$

6.7.3 Solutions de ces équations différentielles

L'équation est une équation différentielle de la forme :

$$\ddot{z} + \omega_0^2 z = 0$$

Une de ses solutions est de la forme :

$$z = z_m \cos(\omega t + \phi)$$

Donc les oscillations sont bien sinusoïdales, avec une pulsation ω , et une amplitude z_m . ϕ est le déphasage.

Période T

L'élongation étant la même à $t = t_1$ et $t = t_1 + T$, donc on résout l'équation. On trouve alors :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

6.7.4 Oscillateurs amortis**Oscillateurs électrique**

Dans le circuit on a maintenant : $U_C + U_R + U_L = 0$, donc :

$$\frac{1}{C}q + R\dot{q} + L\ddot{q} = 0$$

Énergétiquement, on a $\mathcal{E} = \mathcal{E}_C + \mathcal{E}_L$. En dérivant, et en remplaçant $\frac{1}{C}q + L\ddot{q}$ par $-R\dot{q}$, on obtient :

$$\frac{d\mathcal{E}}{dt} = -Ri^2$$

Or, par définition, la dérivée de l'énergie par rapport au temps, c'est la puissance. Il y a donc une perte d'énergie de valeur $-Ri^2 W$.

Oscillateurs mécaniques

Le mouvement se fait avec une force de frottement $\vec{f}$, proportionnelle à la vitesse. On a $\vec{f} = -h\vec{v}$. Donc en projetant sur l'horizontale la somme des forces, on obtient :

$$kq + h\dot{q} + m\ddot{q} = 0$$

Énergétiquement, cela donne :

$$\frac{d\mathcal{E}_m}{dt} = -hx^2$$

L'oscillateur cède de l'énergie au milieu extérieur, par perte de chaleur, sous forme de frottements.

Table des matières

I	Chimie	1
1	Le pH, Acide/Base	2
1.1	Le pH	2
1.1.1	Le pH	2
1.1.2	Acides forts	2
1.1.3	Bases fortes	2
1.1.4	Produit ionique de l'eau	2
1.2	Couple acide base	3
1.2.1	Acide faible	3
1.2.2	Base faible	3
1.2.3	Les couples Acide/Base	3
1.3	Constante d'équilibre, constante d'acidité	4
1.3.1	Constante d'équilibre	4
1.3.2	Constante d'acidité	5
1.4	Propriétés et classement des couples acide/base	6
1.4.1	Zones de pH et espèce majoritaire en solution	6
1.4.2	Classement des couples acide base	6
1.4.3	Réaction entre un acide et une base	6
1.5	Réactions acido-basiques	7
1.5.1	Réaction acide fort/base forte	7
1.5.2	Théorie de Brönsted	7
1.5.3	Point d'équivalence	8
1.5.4	Réaction acide faible/base forte	8
1.5.5	Solution tampon	9
2	Cinétique chimique	10
2.1	Facteurs cinétiques	10
2.1.1	Interprétation	10
2.1.2	Concentration des réactifs et température	10
2.1.3	Catalyse et catalyseur	10
2.1.4	Propriétés	11
2.2	Cinétique chimique	11
2.2.1	Vitesse moyenne	11

2.2.2	Vitesse instantanée	11
3	Chimie Organique	12
3.1	Les parfums	12
3.1.1	Chimie des Parfums	12
3.1.2	Techniques d'extraction	12
3.2	Généralités sur la chimie organique	13
3.2.1	La chimie organique	13
3.2.2	Isomérisation	13
3.2.3	Carbone tétraédrique	14
3.2.4	Stéréoisomérisation	14
3.2.5	Rappel : alcool, et acide carboxylique	15
3.3	Les esters	15
3.3.1	Généralités	15
3.3.2	Rendement d'une estérification	16
3.4	Saponification	16
3.4.1	Généralités	16
3.4.2	Saponification des corps gras	17
3.4.3	Propriétés des savons	18
3.5	Médicaments	18
3.5.1	Dérivés d'acides	18
3.5.2	Anhydrides d'acide	18
3.5.3	Exemple de réactions chimiques avec des anhydrides	19
3.6	Aspirine	19
3.6.1	Préparation de l'aspirine	19
II	Physique	20
4	Champs	21
4.1	La Gravitation universelle	21
4.1.1	Mouvement des planètes	21
4.1.2	Interactions gravitationnelles	22
4.1.3	Champ de gravitation	22
4.2	Mouvement dans le champ de pesanteur	23
4.2.1	Mouvement avec $\vec{v}_0$ non-vertical	23
4.2.2	Mouvement des satellites et des planètes	24
4.3	Champ électrique	24
4.3.1	Les charges électriques	24
4.3.2	Les forces électriques	25
4.3.3	Le champ électrique	25
4.4	Particule chargée dans un champ $\vec{E}$ uniforme	26
4.4.1	Émission et accélération d'électrons	26
4.4.2	Particules dans un champ électrique	26

4.5	Champ magnétique	27
4.5.1	Champ magnétique créé par un aimant	27
4.5.2	Vecteur champ magnétique	27
4.5.3	Les spectres magnétiques	27
4.5.4	Champ magnétique créé par un courant électrique	27
4.6	Particule chargée dans un champ $\vec{B}$ uniforme	28
4.6.1	Force magnétique	28
4.6.2	Étude du mouvement	28
4.6.3	Déviation d'une particule par un champ magnétique	29
5	Mécanique	30
5.1	Lois de Newton	30
5.1.1	1 ^{re} Loi de Newton	30
5.1.2	Vitesse et accélération	30
5.1.3	2 ^e Loi de Newton	31
5.1.4	3 ^e Loi de Newton	31
5.2	Travail, énergie, et puissance	31
5.2.1	Théorème de l'énergie cinétique	31
5.2.2	Travail d'une force constante	32
5.2.3	Puissance	32
6	Systèmes oscillants	34
6.1	Généralités sur les oscillateurs	34
6.1.1	Différentes sortes d'oscillateurs	34
6.1.2	Grandeurs caractéristiques d'un oscillateur	34
6.2	Oscillateurs mécaniques	35
6.2.1	Ressort élastique en translation	35
6.2.2	Pendule simple	35
6.2.3	Oscillations amorties	35
6.2.4	Oscillations forcées : phénomène de résonance	36
6.3	La Bobine	36
6.3.1	Induction électromagnétique	36
6.3.2	Auto-induction	36
6.3.3	Circuit RL	37
6.3.4	Énergie d'une bobine chargée	37
6.4	Le condensateur	37
6.4.1	Définition	37
6.4.2	Capacité d'un condensateur	38
6.4.3	Charge du condensateur d'un dipôle RC	38
6.4.4	Énergie d'un condensateur chargé	39
6.5	Oscillations libres dans un circuit RLC	39
6.5.1	Montage expérimental	39
6.5.2	Pseudo période T_0 des oscillations libres	39
6.5.3	Aspect énergétique d'un circuit RLC	40

6.6	Oscillations forcées dans un circuit RLC	40
6.6.1	U et i en courant alternatif	40
6.6.2	Résonance d'intensité	40
6.6.3	Courbe de résonance	40
6.6.4	Bande passante à $3dB$	41
6.6.5	Surtension à la résonance	41
6.6.6	Impédance du circuit	41
6.7	Modélisation des systèmes oscillants	42
6.7.1	Oscillateurs mécaniques	42
6.7.2	Oscillateurs électriques	42
6.7.3	Solutions de ces équations différentielles	43
6.7.4	Oscillateurs amortis	43