

# PHYSIQUE-CHIMIE

## Terminale S

v 07/10

PRIMAIRE  
COLLÈGE  
LYCÉE  
SUPÉRIEUR

**complétude**   
soutien scolaire

donner envie d'apprendre

# Sommaire

SOMMAIRE .....	1
<b>Partie A : Cours de physique.....</b>	<b>3</b>
Chapitre I : Ondes mécaniques progressives .....	4
Chapitre II : Ondes mécaniques progressives et périodiques.....	5
Chapitre III : La lumière .....	6
Chapitre IV : La radioactivité.....	8
Chapitre V : Noyaux, Masse, Energie.....	11
Chapitre VI : Condensateur – Circuit (R,C) .....	13
Chapitre VII : Bobine – Circuit (R,L) .....	16
Chapitre VIII : Oscillations électriques libres .....	18
Chapitre IX : Mécanique de Newton .....	20
Chapitre X : Mouvements de chute verticale .....	23
Chapitre XI : Mouvements plans.....	27
Chapitre XII : Systèmes oscillants .....	30
Chapitre XIII : Aspects énergétiques .....	33
<b>Partie B : Spécialité physique .....</b>	<b>35</b>
Chapitre XIV: Formation d'une image .....	36
Chapitre XV : Les instruments d'optique.....	38
Chapitre XVI : Onde stationnaire. Modes propres. ....	40
Chapitre XVII : Acoustique musicale.....	41
Chapitre XVIII : Production de signaux de communication. Réception d'une onde modulée en amplitude.....	42
<b>Partie C : Cours de chimie.....</b>	<b>45</b>
Chapitre I : Cinétique chimique .....	46
Chapitre II : L'équilibre chimique .....	49
Chapitre III : Réactions acido-basiques.....	50
Chapitre IV : Sens d'évolution d'un système chimique.....	52
Chapitre V : Les piles.....	53
Chapitre VI : Transformations forcées : Electrolyse. ....	54
Chapitre VII : Estérification – Hydrolyse. ....	56
Chapitre VIII : Contrôle de l'évolution d'un système chimique. ....	58
<b>Partie D : Spécialité chimie .....</b>	<b>59</b>
Chapitre IX : Extraction et identification de composés chimiques.....	60
Chapitre X : Elaboration des composés chimiques.....	62
Chapitre XI : Effectuer des contrôles de qualité : les techniques de dosage. ....	62
Chapitre XII : Séparation et électrolyse. ....	63
<b>Partie E : Exercices Physique .....</b>	<b>65</b>
Chapitre I : Ondes mécaniques progressives. ....	66
Chapitre II : Ondes mécaniques progressives et périodiques.....	68
Chapitre III : La lumière .....	69
Chapitre IV : La Radioactivité. ....	71
Chapitre V : Noyaux, Masse, Energie.....	72
Chapitre VI : Condensateur – Circuit (R,C) .....	75
Chapitre VII : Bobine – Circuit (R,L) .....	78
Chapitre VIII : Oscillations Electriques libres .....	81
Chapitre IX : Mécanique de Newton .....	84
Chapitre X : Mouvements de chute verticale.....	86
Chapitre XI : Mouvements plans.....	89
Chapitre XII : Systèmes oscillants. ....	91
Chapitre XIII : Aspects énergétiques. ....	93
Chapitre XIV : Formation d'une image.....	94
Chapitre XV : Les instruments d'optique.....	94
Chapitre XVI : Onde stationnaire. Modes propres. ....	95
Chapitre XVII : Acoustique musicale.....	97

Chapitre XVIII : Production de signaux de communication. Réception d'une onde modulée en amplitude.....	101
---	-----

## **Partie F : Exercices Chimie..... 105**

Chapitre I : Cinétique chimique.....	106
Chapitre II : L'équilibre chimique.....	108
Chapitre III : Réactions acido-basiques.....	109
Chapitre IV : Sens d'évolution d'un système chimique.....	112
Chapitre V : Les piles.....	113
Chapitre VI : Transformations forcées : Electrolyse.....	115
Chapitre VII : Estérification – Hydrolyse.....	116
Chapitre VIII : Contrôle de l'évolution d'un système chimique.....	117
Chapitre IX : Extraction et identification de composés chimiques.....	118
Chapitre X : Elaboration des composés chimiques.....	119
Chapitre XI : Effectuer des contrôles de qualité : les techniques de dosage.....	122
Chapitre XII : Séparation et électrolyse.....	124

## **Partie G : Corrigés physique ..... 127**

Chapitre I : Ondes mécaniques progressives.....	128
Chapitre II : Ondes mécaniques progressives périodiques.....	128
Chapitre III : La lumière.....	129
Chapitre IV : La radioactivité.....	129
Chapitre V : Noyaux, Masse, Energie.....	130
Chapitre VI : Condensateur – Circuit (R,C).....	131
Chapitre VII : Bobine – Circuit (R,L).....	132
Chapitre VIII : Oscillations électriques libres.....	132
Chapitre IX : Mécanique de Newton.....	133
Chapitre X : Mouvements de chute verticale.....	135
Chapitre XI : Mouvements plans.....	136
Chapitre XII : Systèmes oscillants.....	137
Chapitre XIII : Aspects énergétiques.....	137
Chapitre XIV : Formation d'une image.....	138
Chapitre XV : Les instruments d'optique.....	138
Chapitre XVI : Ondes stationnaires. Modes propres.....	139
Chapitre XVII : Acoustique musicale.....	139
Chapitre XVIII : Production des signaux de communication. Réception d'une onde modulée en amplitude.....	139

## **Partie H : Corrigés Chimie..... 141**

Chapitre I : Cinétique chimique.....	142
Chapitre II : L'équilibre chimique.....	143
Chapitre III : Réactions acido-basiques.....	143
Chapitre IV : Sens d'évolution d'un système chimique.....	144
Chapitre V : Les piles.....	145
Chapitre VI : Electrolyse.....	145
Chapitre VII : Esterification – hydrolyse.....	146
Chapitre VIII : Contrôle de l'évolution d'un système chimique.....	146
Chapitre IX : Extraction et identification de composés chimiques.....	147
Chapitre X : Elaboration des composés chimiques.....	147
Chapitre XI : Effectuer des contrôles de qualité.....	147
Chapitre XII : Séparation et électrolyse.....	147

# Partie A : COURS DE PHYSIQUE

## I. DIFFERENTS TYPES D'ONDES.

On appelle **onde mécanique progressive**, le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière, mais avec transport d'énergie.

Remarque: Pour mettre en évidence le transport d'énergie sans transport de matière, il suffit de placer sur une cuve à ondes des confettis à la surface de l'eau et de mettre en marche l'excitateur. On voit que seul l'onde se propage et non les confettis.

On distingue deux types d'ondes :

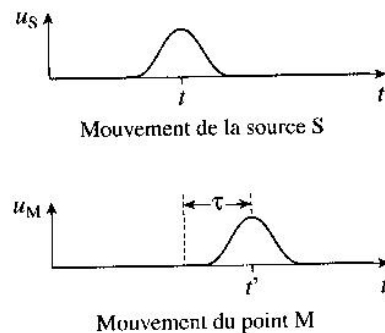
Ondes transversales	Ondes longitudinales
<p><b>Une onde est transversale quand la direction du mouvement des éléments du milieu de propagation est orthogonale à la direction de propagation.</b></p> <p><u>Exemple</u> : une onde se propageant à la surface de l'eau.</p>	<p><b>Une onde est longitudinale quand la direction du mouvement des éléments de propagation est parallèle à la direction de propagation.</b></p> <p><u>Exemple</u> : une onde se propageant dans un ressort.</p>

Etude de la propagation du son : La propagation d'une onde acoustique dans l'air se fait avec des « tranches d'air » qui subissent, les unes après les autres, des **compressions – dilatations**, autour d'une position moyenne dans la direction de propagation.

## II. CELERITE D'UNE ONDE.

### 1° Dimension d'un milieu.

Une onde se propage dans un **milieu de dimension 1**, si on connaît la position d'un point M par son abscisse mesurée. ( Exemple : propagation dans un ressort). Une onde se propage dans un **milieu de dimension 2**, si on connaît la position d'un point M par son abscisse et son ordonné mesurées. ( Exemple : propagation à la surface de l'eau). Une onde se propage dans un **milieu de dimension 3**, si on connaît la position d'un point M par ses trois coordonnées mesurées. ( Exemple : propagation du son dans l'air).



### 2° Notion de retard.

Soit une onde progressive se propageant dans un milieu de dimension 1 sans amortissement. Le mouvement du point M reproduit le mouvement de la source S, mais avec un décalage dans le temps ou **retard**  $\tau$ . L'élongation du point M à la date  $t'$  est identique à celle qu'avait la source S à la date  $t = t' - \tau$ .

### 3° Définition de la célérité.

La **célérité**  $v$  d'une onde progressive, dans un milieu de dimension 1, est égale au quotient de la distance séparant deux points  $M_1$  et  $M_2$  du milieu par la durée qui sépare les dates de passage de l'onde en ces points.

$$v = \frac{M_1 M_2}{t_2 - t_1}$$

### 4° Facteurs influençant la célérité.

- Dans un milieu linéaire, la célérité est indépendante de la forme et de l'amplitude du signal.
- Pour un même milieu, la célérité dépend du type d'onde considéré (  $v_{\text{transversale}} \neq v_{\text{longitudinale}}$  )
- La célérité d'une onde progressive est plus grande dans un solide, que dans un liquide, que dans un gaz. Elle dépend de la compressibilité du fluide. ( $v_{\text{cuivre}} = 3600 \text{ms}^{-1}$  ;  $v_{\text{eau}} = 1500 \text{ms}^{-1}$  ;  $v_{\text{air}} = 340 \text{ms}^{-1}$ ).

# Chapitre II : ONDES MECANIKES PROGRESSIVES ET PERIODIQUES

## I. ONDE PROGRESSIVE PERIODIQUE.

### 1° Définition.

Une onde progressive mécanique périodique est le phénomène qui accompagne la propagation, dans un milieu matériel supposé linéaire et illimité, d'une perturbation se répétant indéfiniment.

### 2° Double périodicité du phénomène.

#### a - Périodicité temporelle.

La durée séparant l'arrivée de deux perturbations successives en un point est appelée **période temporelle**  $T$  (en secondes). La fréquence  $\nu$  du phénomène, exprimée en Hertz, est l'inverse de la période  $T$ .

#### b - Périodicité spatiale.

La distance, notée  $\lambda$  (en mètres) séparant deux perturbations consécutives est appelée **période spatiale**.

### 3° Onde progressive mécanique sinusoïdale.

**Toute onde périodique peut être considérée comme la superposition d'ondes sinusoïdales.**

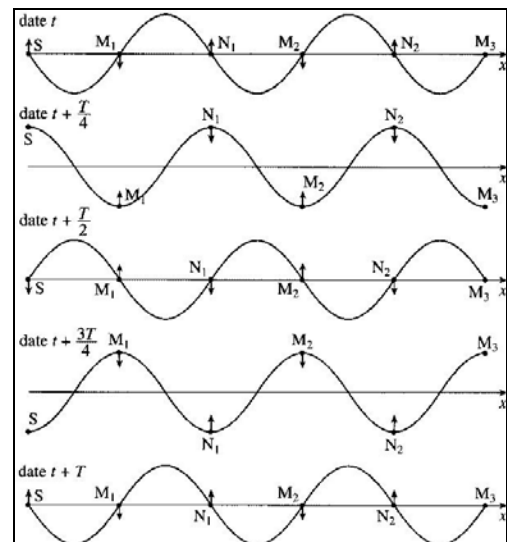
Evolution avec le temps de l'allure d'une corde :

- à  $t$ ,  $M_1$  et  $M_2$  ont une élongation nulle.
- à  $t + \frac{T}{4}$ , l'élongation de  $M_1$  et  $M_2$  est négative et minimale.
- à  $t + \frac{T}{2}$ ,  $M_1$  et  $M_2$  ont une élongation nulle.
- à  $t + \frac{3T}{4}$ , l'élongation de  $M_1$  et  $M_2$  est positive et maximale.
- A  $t+T$ ,  $M_1$  et  $M_2$  se retrouvent à la même position qu'à la date  $t$ .

La distance  $M_1M_2$  est la période spatiale appelée **longueur d'onde**  $\lambda$ . Pendant une période  $T$ , l'onde s'est propagée de  $\lambda$ .

Par définition :

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu}$$



## II. PHENOMENE DE DISPERSION.

### 1° Mise en évidence.

- Milieu 1 : l'air.

Des ondes sonores de fréquences différentes se propagent à la même vitesse : l'air est un milieu non dispersif sauf si l'amplitude de l'onde devient importante. (exemple : roulement de tonnerre )

- Milieu 2 : l'eau.

Des ondes se propageant à la surface de l'eau ont une vitesse différente selon la fréquence.

### 2° Définition.

**Un milieu de propagation est dispersif quand la célérité de propagation d'une onde périodique dépend de sa fréquence.**

## I. LA DIFFRACTION DE LA LUMIERE.

### 1° Mise en évidence du phénomène de diffraction.

Soit une onde plane rencontrant une **fente rectangulaire de largeur  $a$** , normale à la direction de propagation. On distingue plusieurs cas de figure suivant la taille de  $a$  :

- $a$  faible devant  $\lambda$ .

Une onde diffractée sphérique d'amplitude non uniforme centrée sur la fente.

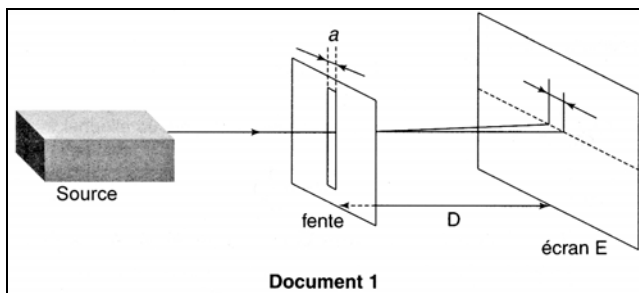
- $a$  de l'ordre de quelques  $\lambda$ .

Dans certaines directions de propagation, l'amplitude de l'onde diffractée est nulle. On observe les premières franges de diffraction à un angle  $\theta$  par rapport à l'axe de symétrie de la fente, où :  $\theta = \frac{\lambda}{a}$

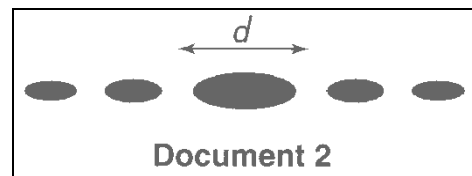
- $a$  beaucoup plus grand que  $\lambda$ .

Le phénomène de diffraction est négligeable.

Ainsi, la lumière subit le phénomène de diffraction lorsqu'elle rencontre une ouverture de très petite dimension. La lumière est une onde qui se propage.



*Diffraction d'une lumière laser de longueur d'onde  $\lambda$  devant une fente de largeur  $a$ .*



*Figure de diffraction obtenue*

### 2° Définition.

Le phénomène de diffraction se manifeste si les dimensions d'une ouverture ou d'un obstacle sont du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. L'onde diffractée a la même fréquence et la même longueur d'onde que l'onde incidente.

### 3° Diffraction en lumière blanche.

Un réseau permet de décomposer la lumière par diffraction et d'en obtenir le spectre.

- En lumière blanche, on observe des spectres continus présentant toutes les couleurs du violet au rouge. C'est une **lumière polychromatique**.
- Avec une lampe au mercure, on observe des spectres de raies. Elle est polychromatique.
- Avec un laser, on obtient UNE seule raie. C'est une **lumière monochromatique**.

Exemple de diffraction au quotidien : Les gouttelettes d'eau dans les nuages diffractent la lumière solaire.

## II. MODELE ONDULATOIRE DE LA LUMIERE.

### 1° Célérité de la lumière.

La **célérité d'une onde lumineuse dans le vide** est une constante universelle. Sa valeur est :

$$c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$$

## 2° Fréquence et longueur d'onde.

### a - Les couleurs de la lumière.

A chaque valeur de fréquence, l'œil associe une sensation de couleur. L'onde lumineuse n'est détectée que si sa fréquence est comprise entre  $3,8 \cdot 10^{14}$  Hz (sensation de rouge) et  $7,9 \cdot 10^{14}$  Hz (sensation de violet). La lumière blanche résulte de la superposition d'un ensemble continu d'ondes monochromatiques :

$$380nm \leq \lambda_{visible} \leq 780nm$$

### b - Le rayonnement infrarouge.

Présent dans le rayonnement solaire, il est presque émis par tous les corps (exemple : caméra infrarouge).

Situé entre le visible et les micro-ondes, on a :  $780nm \leq \lambda_{infrarouge} \leq 1mm$

### c - Le rayonnement ultraviolet.

Présent dans le rayonnement solaire, il intervient dans le processus de formation d'ozone dans la haute atmosphère. Situé entre le visible et le rayonnement X, on a :  $5nm \leq \lambda_{ultraviolet} \leq 380nm$

## III. DISPERSION DE LA LUMIERE.

### 1° Indice.

L'indice de réfraction d'un milieu transparent est le rapport de la célérité  $c$  de la lumière dans le vide à la vitesse  $v$  de propagation de la lumière dans ce milieu :

$$n = \frac{c}{v}$$

### 2° Dispersion par un prisme.

Le caractère dispersif de la lumière a été mis en évidence par Newton en 1666. Après avoir traversé un prisme de verre, les différentes radiations colorées constituant la lumière blanche sont déviées différemment et peuvent être séparées. Ce phénomène, appelé **dispersion de la lumière**, explique la décomposition de la lumière par un prisme.



## I. STABILITE ET INSTABILITE DES NOYAUX.

### 1° Composition d'un noyau.

Le noyau d'un atome correspondant à un élément X comportant A nucléons et Z protons est noté  ${}^A_ZX$ .

Exemple : l'hélium  ${}^4_2\text{He}$ , le noyau est composé de 2 protons et 2 neutrons. Le nuage électronique est composé de 2 électrons.

La masse d'un noyau ou d'un atome est souvent exprimée en **unité de masse atomique**, notée u.

(1 u =  $1,660 \cdot 10^{-27}$  kg).

Rappel : La compétition entre l'interaction forte (attraction entre nucléons) et l'interaction électromagnétique (répulsion entre protons) est à l'origine de la cohésion du noyau.

### 2° Isotopie.

**Des noyaux possédant le même nombre de protons, mais des nombres de neutrons différents, sont appelés isotopes.**

Exemple : élément oxygène  ${}^{16}_8\text{O}$  (abondance dans la nature : 99,76%),  ${}^{17}_8\text{O}$  (0,04%),  ${}^{18}_8\text{O}$  (0,2%)

Le calcul de la masse atomique d'un élément tient compte de l'abondance des différents isotopes de ce dernier. Des atomes isotopes possèdent le même cortège électronique (Z identiques) : ils ont les mêmes propriétés chimiques.

### 3° Stabilité et instabilité des noyaux : diagramme (N, Z).

Chaque type de noyau est repéré, dans un diagramme, par le nombre Z de protons en abscisse et le nombre N de neutrons en ordonnée. Ce diagramme permet de distinguer deux familles de noyaux :

#### a - Noyaux stables.

Certains noyaux gardent indéfiniment la même composition : ce sont des noyaux stables.

- Pour  $Z < 20$ , les noyaux stables se situent **au voisinage** de la droite d'équation  $N = Z$ . Ils comportent à peu près autant de protons que de neutrons.
- Pour  $Z > 20$ , le nombre de neutrons augmente plus vite que le nombre de protons ; les points se répartissent **au-dessus** de la droite  $N=Z$

#### b - Noyaux instables.

**Un noyau radioactif (appelé noyau-père) est un noyau instable qui se désintègre spontanément en donnant un noyau différent (appelé noyau-fils).**

L'instabilité du noyau a lieu si :

- Le noyau-père est **au-dessous** du domaine de stabilité : il possède trop de neutrons par rapport au nombre de protons.
- Le noyau-père est **au-dessus** du domaine de stabilité : il possède trop de protons par rapport au nombre de neutrons.
- Le noyau-père possède un grand nombre de nucléons ( $A > 208$ ).

## II. LA RADIOACTIVITE

### 1° Définition.

Lorsqu'un noyau  ${}^A_ZX$  est instable, il subit une transformation spontanée aboutissant à la formation d'un nouveau noyau  ${}^A_ZY$  et elle s'accompagne de l'émission de particules  $\alpha$  et  $\beta$  et souvent d'un rayonnement  $\gamma$ . Ce phénomène porte le nom de radioactivité.

## 2° Lois de conservation.

Au nombre de deux, elles permettent d'écrire correctement les équations bilans de réactions nucléaires.

### a - Loi de conservation du nombre de charge.

La somme des nombres de charge du noyau-fils et de la particule qui sont formés est égale au nombre de charge du noyau désintégré (noyau-père).

### b - Loi de conservation du nombre de nucléons.

La somme des nombres de nucléons du noyau-fils et de la particule qui sont formés est égale au nombre de nucléons du noyau désintégré (noyau-père).

## 3° Les différentes désintégrations nucléaires.

<b>Radioactivité <math>\alpha</math></b>		La radioactivité $\alpha$ concerne les noyaux lourds instables à cause d'un excès de nucléons. Elle se traduit par l'émission d'une particule $\alpha$ (noyau d'hélium).	$\frac{{}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He}$ <u>Exemple :</u> $\frac{{}^{226}_{88} Ra \rightarrow {}^{222}_{86} Rn + {}^4_2 He}$
<b>Radioactivité <math>\beta</math></b>	Radioactivité $\beta^-$	Elle concerne les noyaux instables à cause d'un excès de neutrons. Elle se traduit par l'émission d'un électron.	$\frac{{}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e}$ <u>Exemple :</u> $\frac{{}^{14}_6 C \rightarrow {}^{14}_7 N + {}^0_{-1} e}$
	Radioactivité $\beta^+$	Elle concerne les noyaux instables à cause d'un excès de protons. Elle se traduit par l'émission d'un positon.	$\frac{{}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_1 e}$ <u>Exemple :</u> $\frac{{}^{30}_{15} P \rightarrow {}^{30}_{14} Si + {}^0_1 e}$
<b>Emission <math>\gamma</math></b>		Le noyau issu d'une désintégration $\alpha$ ou $\beta$ est souvent dans un état instable (état excité). Il devient stable en libérant l'excédent d'énergie sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, le rayonnement $\gamma$ .	$\frac{{}^A_Z Y^* \rightarrow {}^A_Z Y + \gamma}$

## 4° Effets biologiques des rayonnements.

### a - Les dangers.

Lorsque les rayonnements sont absorbés, ils perdent leur énergie en ionisant la matière provoquant ainsi une mutation ou une destruction des cellules.

- Les rayons  $\alpha$  sont très peu pénétrants mais très ionisants.
- Les rayons  $\beta$  sont assez pénétrants mais peu ionisants.
- Les rayons  $\gamma$  sont très pénétrants mais très faiblement ionisants.

### b - Les utilisations pour l'homme.

- En radiothérapie (destruction de cellules cancérogènes) et en imagerie médicale, avec des échantillons radioactifs bien choisis.
- Destruction à froid de micro-organismes (virus, champignons...)

## III. LOI DE DECROISSANCE

### 1° Evolution du nombre de noyaux radioactifs.

#### a - Hypothèses statistiques.

- Un noyau radioactif ne vieillit pas : la probabilité qu'a un noyau radioactif de disparaître pendant une durée donnée est indépendante de son âge, elle ne dépend que du type de noyau considéré.
- Le nombre de désintégrations mesuré est proportionnel au nombre total de désintégrations.

#### b - Mise en équation du phénomène.

Soit un échantillon contenant **un seul type** de noyaux radioactifs. La variation du nombre de noyaux  $\Delta N(t)$  entre deux instants très proches  $t$  et  $t+\Delta t$  est **négative**, donnée par la relation :

$\Delta N(t) = -\lambda \cdot N(t)$  où  $\lambda$  est la constante radioactive (en  $s^{-1}$ )

Si  $\Delta t \rightarrow 0$ , on obtient l'équation différentielle :  $\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \cdot N(t) = 0$  (E)

### C - Résolution de l'équation différentielle.



La loi de décroissance radioactive, solution de l'équation (E), est :  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

$N_0$  est le nombre de noyaux présents à la date  $t=0$  et  $N(t)$  le nombre de noyaux encore présents à l'instant  $t$ .

#### 2° Demi - vie .

La demi - vie, notée  $t_{\frac{1}{2}}$ , d'un type de noyaux radioactifs est la durée au bout de laquelle une population de noyaux est divisée par 2. Elle s'exprime en seconde (s).

A  $t_{\frac{1}{2}}$ , on a :  $N(t_{\frac{1}{2}}) = \frac{N_0}{2}$  d'où  $t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$

#### 3° Activité d'un échantillon.

L'activité moyenne d'un échantillon radioactif, notée  $A$ , est le nombre moyen de désintégration qu'il produit par seconde. Ainsi :  $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$

L'unité de l'activité est le becquerel (Bq). Un becquerel correspond à une désintégration par seconde.

On obtient le même type de décroissance radioactive avec l'activité :  $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$  où  $A_0 = \lambda \cdot N_0$ .

#### 4° La datation au carbone 14.

La datation de matériaux organiques (végétaux ou animaux) est possible en mesurant l'activité du carbone 14 dans l'échantillon (l'isotope naturel du carbone est le carbone 12. Pour le carbone 14,  $t_{\frac{1}{2}} = 5568$  ans.

Dès qu'un être vivant meurt, le carbone 14 n'est plus renouvelé : sa proportion se met à décroître.

Pour déterminer l'âge du matériau mort, on mesure l'activité  $A(t)$  du carbone 14 d'un échantillon de matériau mort et on applique la formule :  $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$

# Chapitre V : NOYAUX, MASSE, ENERGIE

## I. EQUIVALENCE MASSE – ENERGIE.

### 1° Energie de masse.

Tout système matériel, du fait de sa masse, possède une énergie potentielle au repos appelé énergie de masse, notée E. Par définition :  $E = m \cdot c^2$  avec m, la masse du corps au repos et c, la célérité de la lumière dans le vide.

**Remarque :** L'énergie étant une grandeur qui se conserve, une diminution de l'énergie de masse d'un système se traduit par l'apparition d'une autre forme d'énergie (énergie cinétique).

### 2° Défaut de masse.

La masse d'un noyau est inférieure à la somme des masses de ses constituants pris isolément. Par définition, le **défaut de masse d'un noyau  $\Delta m$**  est la différence entre la somme des masses de ses nucléons pris séparément et la masse du noyau. **C'est une grandeur positive.**

Pour un noyau de symbole  ${}^A_Z X$ , on a :  $\Delta m = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n) - m$

### 3° Energie de liaison.

L'**énergie de liaison  $E_l$  d'un noyau** est la différence entre la somme des énergies de masse de ses nucléons pris séparément et son énergie de masse. **C'est une grandeur positive.**

Par définition :  $E_l = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n) \cdot c^2 - m \cdot c^2 = \Delta m \cdot c^2$

**Remarque :** Le Joule n'est pas une unité adaptée aux échelles atomique et nucléaire. On utilise de préférence l'électronvolt (eV) et ses multiples (keV et MeV). Par définition, **1 eV = 1,6 10<sup>-19</sup> J**

### 4° Energie moyenne de liaison par nucléon.

L'**énergie moyenne de liaison par nucléon,  $\frac{E_l}{A}$** , d'un noyau est le rapport de l'énergie de liaison du noyau par son nombre de masse. Un noyau est d'autant plus stable que son énergie de liaison est élevée.

## II. FUSION ET FISSION

### 1° Courbe d'Aston.

La courbe représentant les variations de  $-\frac{E_l}{A}$  en fonction de A s'appelle **courbe d'Aston**.

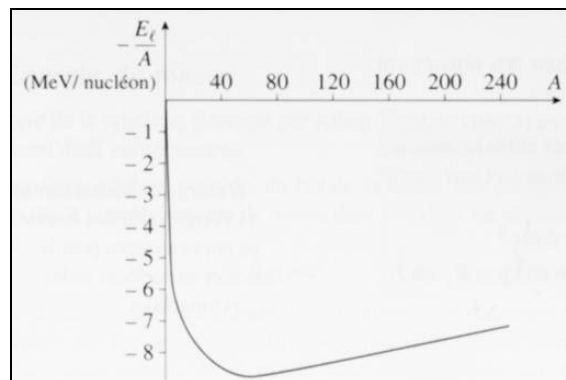
Cette courbe présente un minimum pour A de l'ordre de 60, cette zone correspond aux noyaux les plus stables.

Pour les noyaux :

- Légers (A<30),  $-\frac{E_l}{A}$  décroît fortement quand A augmente.
- Lourds (A>100),  $-\frac{E_l}{A}$  croît lentement quand A augmente.

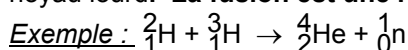
D'après la courbe d'Aston, il existe DEUX possibilités pour faire diminuer l'énergie de masse et faire apparaître de l'énergie susceptible d'être exploitée :

- Fusion de deux noyaux légers.
- Fission d'un noyau lourd.



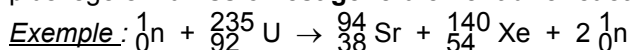
## 2° Fusion nucléaire.

La fusion est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd. **La fusion est une réaction nucléaire provoquée.**



## 3° Fission nucléaire.

La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd se brise pour former deux noyaux plus légers. **La fission est généralement une réaction nucléaire provoquée.**



# III. BILAN DE MASSE OU D'ENERGIE D'UNE REACTION NUCLEAIRE.

## 1° Méthode de résolution.

- Le bilan d'énergie s'effectue pour toutes les réactions nucléaires : désintégrations radioactives, fusion et fission.
- Ces réactions nucléaires s'accompagnent d'une perte d'énergie de masse entraînant l'apparition d'énergie cinétique et d'énergie emportée par le rayonnement  $\gamma$ .

## 2° Exemples de bilan énergétique.

### a - Désintégration $\alpha$ .

*Bilan d'énergie effectué à partir de la donnée des masses.*

Noyau	Masse du noyau (kg)
${}^4_2\text{He}$	$6,6447 \cdot 10^{-27}$
${}^{222}_{86}\text{Rn}$	$368,5907 \cdot 10^{-27}$
${}^{226}_{88}\text{Ra}$	$375,2441 \cdot 10^{-27}$

- Equation :  ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$
- Perte de masse lors de la réaction :  
 $\Delta m = 8,6 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$
- Perte d'énergie de masse :  
 $\Delta E = \Delta m c^2 = 7,8 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 4,9 \text{ MeV}$

### b - Fission.

*Bilan d'énergie effectué à partir de la donnée des énergies moyennes par nucléon.*

Noyau	Energie moyenne de liaison par nucléon (MeV/nucléon)
${}^{94}_{38}\text{Sr}$	8,593
${}^{140}_{54}\text{Xe}$	8,290
${}^{235}_{92}\text{U}$	7,590

- Equation :  
 ${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{140}_{54}\text{Xe} + 2 {}^1_0\text{n}$
- Energies de liaison des noyaux en MeV :  
 $E_1 = 1784, E_2 = 1161, E_3 = 808$
- La réaction libère l'énergie :  
 $E = (E_2 + E_3) - E_1 = 185 \text{ MeV}$ .

### c - Fusion.

*Bilan d'énergie effectué à partir de la donnée des masses.*

Noyau	Masse du noyau ( u )
${}^4_2\text{He}$	4,00150
${}^2_1\text{H}$	2,01355
${}^3_1\text{H}$	3,01550
${}^1_0\text{n}$	1,00866

- Equation :  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
- Perte de masse lors de la réaction :  
 $\Delta m = 1,889 \cdot 10^{-2} \text{ u}$ .
- Perte d'énergie de masse :  
 $\Delta E = \Delta m c^2 = 17,6 \text{ MeV}$

# Chapitre VI : CONDENSATEUR – CIRCUIT (R,C)

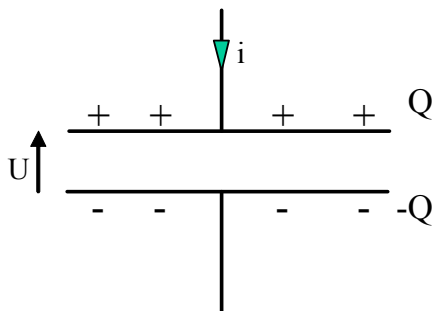
## I. CONDENSATEUR

### 1° Description.

Un condensateur est un dipôle constitué de deux armatures métalliques parallèles et placées à des potentiels différents. L'effet de cette d.d.p. est une accumulation de charges sur une armature et un déficit de charges sur l'autre. Globalement, le condensateur est neutre.

### 2° Relation charge-tension.

La charge d'un condensateur, notée  $Q$ , est liée à la tension  $U$  par la relation :



$$q = C \cdot U$$

Avec :

$C$ =capacité du condensateur (F)

$q$ =charge du condensateur (C)

$U$ = tension (V)

Le coefficient de proportionnalité  $C$  est appelé capacité du condensateur. Son unité est le Farad ; l'ordre de grandeur dans notre domaine d'étude, est de l'ordre du microfarad ( $1\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$ ), du nanofard ( $1\text{nF}=10^{-9}\text{F}$ ), et du picofarad ( $1\text{pF}=10^{-12}\text{F}$ ).

### 3° Expression de l'intensité.

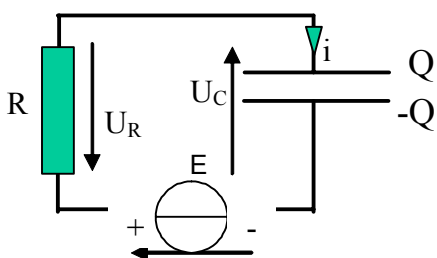
Par définition, l'intensité du courant traversant un condensateur est la variation de la charge  $Q$  au cours du temps. En adoptant la convention récepteur pour ce dipôle, on obtient la relation :

RELATION FONDAMENTALE  $i = \frac{dq}{dt}$  avec  $q = C \cdot U$  d'où  $i = C \cdot \frac{dU}{dt}$

## II. CIRCUIT (R,C).

### 1° Charge d'un condensateur par un échelon de tension.

#### a - Mise en équation du phénomène



On applique la loi d'additivité des tensions :

$$E = U_R + U_C$$

$$\text{Or } U_C = \frac{Q}{C} \text{ et } U_R = R \cdot i \text{ d'où } i = C \cdot \frac{dU_C}{dt}$$

On obtient alors la relation suivante :

$$RC \cdot \frac{dU_C}{dt} + U_C = E$$


On obtient donc l'équation différentielle régissant le phénomène de charge du condensateur en fonction de  $U_C$

$$\frac{dU_C}{dt} + \frac{U_C}{\tau} = \frac{E}{\tau} \text{ avec } \tau = RC$$

D'où en fonction de q, on obtiendrait :

$$\boxed{\frac{dq}{dt} + \frac{q}{\tau} = \frac{E}{R}} \text{ avec } \tau = RC$$

**b - Résolution de l'équation différentielle**

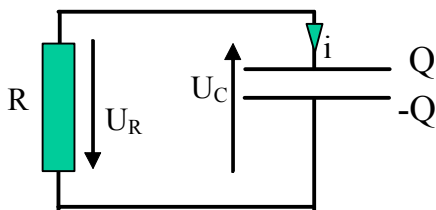
	<p>La solution générale de cette équation différentielle est de la forme :</p> $U_C(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + B$ <p>avec A et B des constantes d'intégration déterminées avec les conditions aux limites.</p>
---	--

$\tau$  est la constante de temps du circuit (R,C). Elle est homogène à un temps et représente l'ordre de grandeur du temps "moyen" nécessaire à la charge du condensateur. Après une durée  $\tau$ , le condensateur est chargé à 63% et après une durée  $5\tau$  il est chargé à plus de 99%.

2° Décharge d'un condensateur.

**a - Mise en équation du phénomène**

On se place dans le cas où l'on n'applique plus aucune tension, le condensateur étant initialement chargé.



On applique la loi d'additivité des tensions :

$$0 = U_R + U_C$$

Or  $U_C = \frac{Q}{C}$  et  $U_R = R \cdot i$  d'où

$$i = C \cdot \frac{dU_C}{dt} = -C \cdot \frac{dU_R}{dt}$$


On obtient donc l'équation différentielle régissant le phénomène de décharge du condensateur:

$$\boxed{\frac{dU_C}{dt} + \frac{U_C}{\tau} = 0} \text{ avec } \tau = RC$$

D'où en fonction de q, on obtiendrait :

$$\boxed{\frac{dq}{dt} + \frac{q}{\tau} = 0} \text{ avec } \tau = RC$$

**b - Résolution de l'équation différentielle**

	<p>La solution générale de cette équation différentielle est de la forme :</p> $U_C(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ <p>avec A, une constante d'intégration déterminée avec les conditions initiales.</p>
---	--

3° Energie électrique stockée dans un condensateur.

L'énergie stockée dans un condensateur, notée E, est donnée par la relation :

$$\boxed{E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_C^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}}$$

**Remarque importante** : le stockage et le déstockage de l'énergie électrique par un condensateur ne peuvent pas s'effectuer instantanément. La tension aux bornes d'un condensateur ne peut donc pas subir de discontinuité.



# Chapitre VII : BOBINE – CIRCUIT (R,L)

## I. BOBINE

### 1° Description d'une bobine.

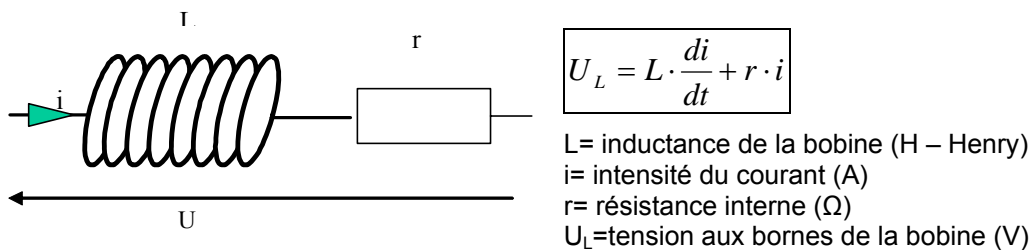
Une bobine est un dipôle passif, elle est formée d'un enroulement cylindrique, à spires jointives, d'un fil électrique. Une bobine possède de plus une **résistance** interne, notée  $r$ .

Son influence dans un circuit est :

- de retarder l'établissement du courant dans un circuit.
- de créer une surtension à ses bornes lors de la rupture du courant.

### 2° Expression de la tension aux bornes d'une bobine.

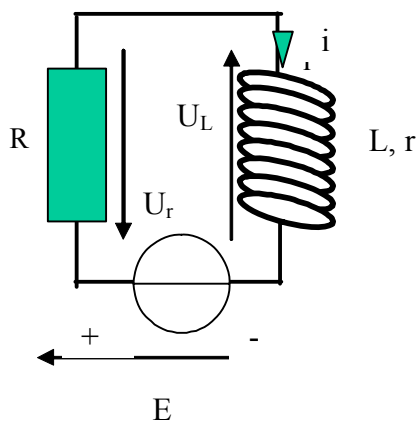
La grandeur caractéristique d'une bobine est son inductance, notée  $L$ . **En convention récepteur**, la tension  $U_L$  aux bornes d'une bobine est donnée par la relation suivante :



## II. CIRCUIT (R,L)

### 1° Etablissement du courant dans une bobine par un échelon de tension.

#### a - Mise en équation du phénomène



On applique la loi d'additivité des tensions :  $E = U_R + U_L$

Or  $U_L = L \cdot \frac{di}{dt} + r \cdot i$  et  $U_R = R \cdot i$  (loi d'Ohm appliquée à la résistance  $R$ ).

En remplaçant  $U_R$  et  $U_L$  par leur expression dans la première relation et en posant  $R_T = R + r$ , vient que :

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

On obtient alors l'équation différentielle régissant l'établissement du courant dans le circuit :

$$\frac{di}{dt} + \frac{i}{\tau} = \frac{E}{L} \quad \text{avec } \tau = \frac{L}{R_T}$$

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{\tau} = \frac{E}{L} \quad \text{en appliquant la relation } i = \frac{dq}{dt}$$

La constante  $\tau$  est la constante de temps du système. Elle est homogène à un temps. Elle donne un ordre de grandeur du temps "moyen" nécessaire à l'établissement du courant dans une bobine.

Remarque : après une durée  $\tau$ , l'intensité  $i$  atteint 63% de sa valeur limite  $i_{\infty}$  du régime permanent et après une durée  $5\tau$  l'intensité a quasiment atteint sa valeur limite  $i_{\infty}$ . **On rappelle qu'à  $t=0$ , l'intensité du courant dans le circuit est nulle.**

**b - Résolution de l'équation différentielle**



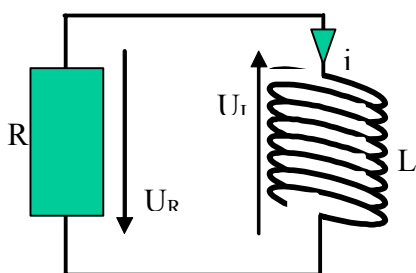
La solution générale de l'équation différentielle est de la forme :

$$i(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

Avec A et B des constantes d'intégration que l'on détermine à l'aide des conditions aux limites.

**2° Rupture du courant dans une bobine.**

**a - Mise en équation du phénomène**



On applique la loi d'additivité des tensions :

$$0 = U_R + U_L$$

$$\text{Or } U_L = L \cdot \frac{di}{dt} + r \cdot i \text{ et } U_R = R \cdot i$$

$$\text{D'où } L \cdot \frac{di}{dt} + R_T \cdot i = 0$$

On obtient alors l'équation différentielle suivante :

$$\frac{di}{dt} + \frac{i}{\tau} = 0 \text{ avec } \tau = \frac{L}{R_T}$$

**b - Résolution de l'équation différentielle**



La solution générale de l'équation différentielle est de la forme :

$$i(t) = i_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Où  $i_0$  est une constante déterminée à l'aide des conditions initiales du système.

**3° Energie électrique emmagasinée dans une bobine.**

L'énergie stockée dans une bobine, notée  $E_m$  s'exprime à partir de la relation suivante :

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$$

$E_m$  (J)  
 $i$  (A)  
 $L$  (H)

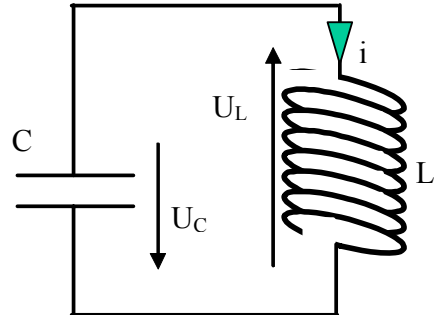
**Remarque importante** : le stockage et le déstockage de l'énergie électrique par une bobine ne peuvent s'effectuer instantanément. L'intensité du courant dans un circuit qui contient une bobine ne peut donc pas subir de discontinuité.

# Chapitre VIII : OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES

## I. CIRCUIT (L,C)

### 1° Mise en équation et résolution.

Il s'agit de mettre en équation les variations de la charge  $q$  au cours du temps. Pour cela, on utilise la même méthodologie que pour les circuits (R,C) et (R,L) en écrivant la loi d'additivité des tensions et l'expression des différentes tensions du circuit.

	$U_C + U_L = 0 \text{ d'où } U_C = -U_L$ <p>Avec <math>U_C = \frac{q}{C}</math> et <math>U_L = L \frac{di}{dt}</math></p> <p>Or <math>i = \frac{dq}{dt}</math> d'où <math>U_L = L \frac{d^2q}{dt^2}</math></p> <p>Finalement, il vient que : <math>\boxed{\frac{d^2q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0}</math> avec <math>\omega_0^2 = \frac{1}{LC}</math></p>
---	--

C'est une équation dite harmonique, dont l'ensemble des solutions s'écrit :

$$\boxed{q(t) = q_1 \cdot \cos(\omega_0 t) + q_2 \cdot \sin(\omega_0 t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \Phi)}$$

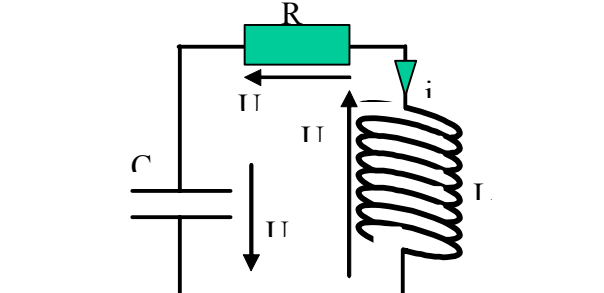
### 2° Etude énergétique.

Contrairement aux circuits (R,C) et (R,L) comportant tous deux une résistance, lieu de pertes énergétiques par effet Joule, **le circuit (L,C) n'est pas dissipatif** : son énergie totale  $E$  est constante au cours du temps. Ainsi, les oscillations correspondent à un échange énergétique entre le condensateur et la bobine : Il y a conversion d'énergie électrique (notée  $E_e$ ) en énergie magnétique (notée  $E_m$ ) et réciproquement.

$$\boxed{E = E_e + E_m = C \cdot e^2} \text{ avec } E_e = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \text{ et } E_m = \frac{1}{2} L \cdot i^2 = \frac{1}{2} L \left( \frac{dq}{dt} \right)^2$$

## II. CIRCUIT (R,L,C)

### 1° Mise en équation et résolution.

	$U_R + U_C + U_L = 0 \text{ avec } U_R = R \cdot i$ <p>D'où <math>\boxed{\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 \cdot q = 0}</math></p> <p>Avec <math>\omega_0^2 = \frac{1}{LC}</math> et <math>Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}</math></p> <p><math>Q</math> est le facteur de qualité du circuit (faculté du circuit d'osciller au cours du temps).</p>
---	--

Expression de la période propre du circuit :  $\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \cdot \sqrt{LC}}$  (T s'exprime en secondes)

Le terme en  $\dot{q}$  concrétise le caractère non-oscillatoire du système. En effet, la résistance dissipe de l'énergie par effet Joule quand elle est traversée par un courant électrique. Quand **Q est grand** (c'est-à-dire que la valeur de la résistance est comparativement faible) les oscillations du système sont amorties, le régime est **pseudo-périodique**. Quand **Q est petit** (c'est-à-dire que la valeur de la résistance est comparativement

élevée) le système n'oscille pas et donc le régime est **apériodique**. En résumé, la résistance est le dipôle qui influe sur l'amplitude des oscillations dans un circuit (R,L,C).

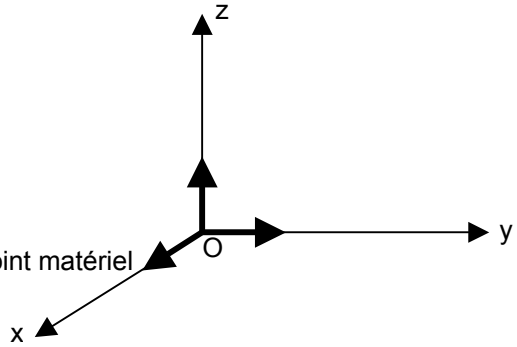
# Chapitre IX : MECANIQUE DE NEWTON

## I. CINEMATIQUE DU POINT.

### 1° En coordonnées cartésiennes.

#### a - Repère cartésien

Le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  est orthonormé direct **fixe**. Soit M, un point matériel placé dans ce repère.



#### b - Vecteur position

Le vecteur position  $\vec{OM}$  permet de repérer le point M dans l'espace par rapport à un référentiel choisi pour l'étude.

$$\vec{OM} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}$$

#### c - Vecteur vitesse

Le vecteur vitesse  $\vec{v}$  est défini comme la dérivée première du vecteur position par rapport au temps.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt} = \frac{dx}{dt} \cdot \vec{i} + \frac{dy}{dt} \cdot \vec{j} + \frac{dz}{dt} \cdot \vec{k} \quad \text{et } v \text{ s'exprime en m.s}^{-1}$$

#### d - Vecteur accélération

Le vecteur accélération  $\vec{a}$  est défini comme la dérivée première de la vitesse  $\vec{v}$  soit la dérivée seconde du vecteur position.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{OM}}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2} \cdot \vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2} \cdot \vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2} \cdot \vec{k} \quad \text{et } a \text{ s'exprime en m.s}^{-2}$$



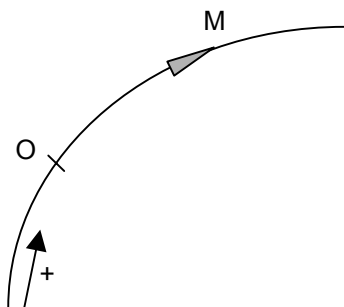
#### ERREUR A NE PAS COMMETTRE

- Il faut bien distinguer les dérivées scalaires et vectorielles.
- Un vecteur peut avoir une norme constante et sa direction non constante : sa dérivée scalaire sera nulle, alors que sa dérivée vectorielle ne le sera pas.
- Les valeurs de la vitesse et de l'accélération s'obtiennent en faisant la norme.

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \quad \text{et} \quad a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2}$$

### 2° En coordonnées curvilignes.

#### a - Abscisse curviligne



L'abscisse curviligne, notée s, de point M est la longueur du chemin parcouru par le mobile entre O et M.

$$s = (\widehat{OM})$$

Par définition,  $s=f(t)$  est l'**équation horaire** du mouvement de M : à un **moment** donné, on connaît l'abscisse curviligne s

L'abscisse curviligne est utilisée expérimentalement pour l'étude cinématique d'un palet glissant sur une table à air comprimé.

#### b - Expression de la vitesse

On définit la vitesse curviligne de la même manière que dans un repère cartésien :  $v = \frac{ds}{dt}$

### C - Base de Frénet

La base de Frénet ( $M, \vec{T}, \vec{N}$ ) n'a pas des vecteurs fixes contrairement à la base du repère cartésien ( $O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ ), elle suit le mouvement donné par le système  $M$ .  $\vec{T}$  est le vecteur tangent de même sens que la vitesse  $\vec{v}$  et  $\vec{N}$  le vecteur normal dirigé vers le centre de courbure de la trajectoire. En Terminale, elle ne s'utilise que pour les mouvements circulaires.

La base de Frénet est orthonormée :  $\|\vec{T}\| = \|\vec{N}\| = 1$  et  $\vec{T} \cdot \vec{N} = 0$

Dans cette base, le vecteur accélération  $\vec{a}$  s'écrit :  $\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{T} + \frac{v^2}{R} \vec{N}$  (où  $R$  est le rayon de courbure)

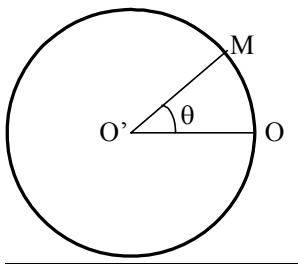
### 3° Mouvements remarquables.

#### a - Mouvement rectiligne

Un mouvement est rectiligne si la trajectoire du mobile est une droite. Un mouvement est dit **rectiligne uniforme** lorsque la trajectoire du mobile est rectiligne et son vecteur vitesse est constant.

Un mouvement est **rectiligne uniformément varié** si la trajectoire est une droite et le vecteur accélération  $\vec{a}$  est constant (uniformément accéléré si  $a > 0$  ou uniformément retardé si  $a < 0$ ).

#### b - Mouvement circulaire



Le mouvement est circulaire si la trajectoire du mobile  $M$  est un cercle. L'abscisse curviligne, notée  $s$ , d'une telle trajectoire correspond à la longueur d'un secteur angulaire d'angle  $\theta$  :  $s = R\theta$ .

De plus  $v = \frac{ds}{dt} = \frac{d(R\theta)}{dt} = R \cdot \frac{d\theta}{dt}$  et  $\frac{d\theta}{dt} = \omega$

Donc  $v = R\omega$  ( $\omega$  la vitesse angulaire en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ )

**Un cas particulier** : mouvement circulaire uniforme

Le mouvement circulaire uniforme est un mouvement dont la norme de la vitesse est constante. Dès lors dans la base de Frenet, pour un tel mouvement puisque  $v = \|\vec{v}\| = C^{te}$

$\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{N}$  (le vecteur accélération est porté par le vecteur, le vecteur accélération est **centripète**)

## II. LOIS DE LA DYNAMIQUE ( 3 LOIS DE NEWTON ).

L'application correcte des trois lois de Newton se fait dans un référentiel particulier : un **référentiel galiléen**. Il faut également prendre soin de définir le **système étudié** (objet ou groupe d'objets que l'on sépare arbitrairement de son environnement pour l'étudier).

### 1° Référentiels galiléens

#### a - Passage d'un référentiel à un autre

Soit  $R$ , un référentiel galiléen. Tout référentiel  $R'$  en translation rectiligne uniforme par rapport à ce référentiel  $R$  est alors galiléen.

#### b - Référentiel de Copernic et référentiel héliocentrique

L'origine du référentiel de Copernic est au centre de masse du système solaire. Celle du second est au centre du soleil. Leurs axes pointent vers des étoiles lointaines fixes. Ils sont presque parfaitement galiléens.

### c - Référentiel géocentrique

Il est centré sur le centre de la terre. Ses trois axes pointant sur les mêmes étoiles fixes que le repère de Copernic. On peut considérer qu'il est galiléen pour des observations de courte durée (quelques jours).

### d - Référentiel terrestre

Il est en mouvement de rotation uniforme par rapport au référentiel géocentrique : il est donc assimilable à un référentiel galiléen pour des observations très courtes (quelques minutes).

## 2° Première loi de Newton (Principe d'inertie).

**Enoncé :** Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse  $\vec{v}_G$  du centre d'inertie ne varie pas alors  $\sum \vec{F}_{ext}$  est nulle. De façon équivalente, on peut énoncer : si dans un référentiel galiléen, G est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme alors  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$

Un **solide isolé** mécaniquement n'est soumis à aucune force. Un **solide pseudo-isolé** mécaniquement est soumis à des forces qui se compensent à chaque instant.

Expérience : on vérifie avec l'enregistrement du mouvement du mobile autoporteur, lorsqu'il n'est soumis qu'à son poids et à la réaction du coussin d'air  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$  : le mouvement est rectiligne uniforme.

## 3° Deuxième loi de Newton (Relation fondamentale de la dynamique).



**Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces appliquées à un solide de masse m est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération de son centre d'inertie,  $\vec{a}_G$ .**

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

Lorsque  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$  alors  $\frac{d\vec{v}_G}{dt} = \vec{0}$  : le vecteur  $\vec{v}_G$  est constant. On retrouve le principe d'inertie.

Remarque : L'accélération du centre d'inertie G d'un solide est toujours colinéaire à la somme des forces appliquées.

## 4° Troisième loi de Newton (Principe d'action et de réaction).

**Enoncé :** Lorsqu'un système ( $S_A$ ) exerce sur un autre système ( $S_B$ ) une force  $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ , le système ( $S_B$ ) exerce sur ( $S_A$ ) une force  $\vec{F}_{B \rightarrow A}$ . Ces deux forces ont même droite d'action et vérifient la relation :  $\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}$

Ainsi, parmi les forces appliquées au système on distingue :

- Les **forces extérieures** dues à des interactions avec des objets qui n'appartiennent pas au système.
- Les **forces intérieures** dues à des interactions entre les constituants du système.

**La troisième loi de Newton permet d'écrire que, dans un système matériel, la somme des forces intérieures est nulle, c'est un des corollaires à la 2<sup>ème</sup> loi de Newton.**

## III. METHODE DE RESOLUTION D'UN EXERCICE DE MECANIQUE.

L'approche la plus rigoureuse pour résoudre un exercice de mécanique est la suivante:

1. Faire un schéma précis et suffisamment grand pour pouvoir y représenter toutes les forces.
2. Définir le référentiel, en précisant que celui-ci est supposé galiléen.
3. Définir le système étudié.
4. Bilan des forces : décrire toutes les forces s'exerçant sur le système.
5. Énoncer le principe de l'inertie ou le théorème fondamental de la dynamique.
6. Projeter chacune des forces sur des axes préalablement définis.
7. Calculer la somme des forces extérieures, en projection sur chacun des axes.
8. Conclure.

# Chapitre X : MOUVEMENTS DE CHUTE VERTICALE

## I. CHAMPS DE GRAVITATION ET DE PESANTEUR.

### 1° Loi de gravitation

#### a - Énoncé

“ Deux corps ponctuels A et B exercent l'un sur l'autre des forces attractives dont la valeur est proportionnelle à leurs masses respectives  $m_A$  et  $m_B$  (en kg) et inversement proportionnelle au carré de la distance  $r$  (en m) les séparant ”

On a :  $F_{A \rightarrow B} = F_{B \rightarrow A} = F$  et  $F = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{r^2}$

$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$  (Constante de gravitation universelle)

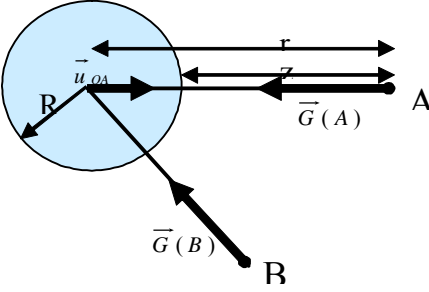
#### b - Forme vectorielle

Une expression vectorielle de la loi de gravitation fait intervenir  $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ , force exercée par A sur B. On note

$\vec{u}_{AB}$  le vecteur unitaire, orienté de A vers B et tel que  $\vec{u}_{AB} = \frac{\vec{AB}}{\|\vec{AB}\|}$

Dès lors, on obtient l'expression vectorielle :  $\vec{F}_{A \rightarrow B} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB}$

### 2° Champ de gravitation terrestre

	<p>Hypothèse : on suppose que la Terre a une masse <math>M_T</math>, répartie de manière sphérique.</p> <p>Elle crée donc un champ de gravitation <math>\vec{G}(A)</math>, au point A, situé à une distance <math>r</math> de son centre de gravité :</p> $G(A) = -G \cdot \frac{M_T}{r^2} \cdot \vec{u}_{OA} \text{ avec } r = R_T + z$ <p>Les vecteurs champ de gravitation sont <b>centripètes</b>.</p>
---	--

A la surface de la terre,  $z=0\text{m}$  et  $R_T = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$ . Sachant que  $M_T = 6,00 \times 10^{24} \text{ kg}$ , on a :  $G_0 = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$

De plus, à une altitude  $z$  :  $G_z = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + z)^2}$

En utilisant ces deux expressions et en faisant le rapport  $\frac{G_z}{G_0}$ , on obtient :  $G_z = G_0 \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2}$

### 3° Champ de pesanteur terrestre

#### a - Poids d'un corps

La force d'attraction exercée par la terre sur un corps de masse  $m$  (en kg) dans le référentiel terrestre est :

$$\vec{P} = m\vec{g} \text{ est le vecteur champ de pesanteur, } g = 9,8 \text{ kg} \cdot \text{N}^{-1}$$



### **b - Force de gravitation terrestre et poids**

Du fait de la rotation de la terre sur elle-même, la force de gravitation  $F$  et le poids  $P$  ne sont pas identiques.

Donc  $\vec{G}$  et  $\vec{g}$  ne sont donc pas identiques ; néanmoins ils diffèrent très peu : on pourra les confondre.

### **c - Remarque**

Pour chaque planète on peut définir de la même façon, et avec les mêmes approximations un champ de gravitation et un champ de pesanteur.

## II. CHUTE LIBRE VERTICALE.

Hypothèses : Un solide dense, en **chute libre** (pour des hauteurs de chute faibles), a certaines propriétés :

- Il n'est soumis qu'à son poids, qui est constant.
- L'influence de la force de frottement de l'air est négligeable.
- La poussée d'Archimède due à l'air est négligeable.

### 1° Application de la 2<sup>ième</sup> loi de Newton.

On applique la deuxième loi de Newton à un corps de masse  $m$  tombant en chute libre dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On a la relation vectorielle suivante :

$$\vec{P} = m \cdot \vec{a} \text{ soit } m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g} \text{ d'où } \boxed{\vec{a} = \vec{g}}$$

En chute libre le vecteur accélération  $\vec{a}$  du centre d'inertie d'un solide est égal au champ de pesanteur  $\vec{g}$

### 2° Equations horaires du mouvement.

On étudie dans un champ de pesanteur uniforme, le mouvement de chute libre d'un solide lâché sans vitesse à la date  $t=0s$ . Etablir les équations horaires du mouvement revient à établir l'expression de  $x(t)$ ,  $y(t)$  et  $z(t)$ .

On utilise un repère d'étude  $(G, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ . L'axe vertical  $(G, \vec{k})$  dirigé vers le bas.

En projetant sur les trois axes la deuxième loi de Newton, on obtient les composantes du vecteur accélération:

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = 0 \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = g \end{cases}$$

On intègre une première fois chaque expression par rapport au temps. Il vient que :

$$\begin{cases} v_x = V_{0x} \\ v_y = V_{0y} \\ v_z = gt + V_{0z} \end{cases}$$

avec  $V_{0x}$ ,  $V_{0y}$  et  $V_{0z}$  des constantes d'intégration à déterminer partir des données de l'énoncé.

Or à  $t=0s$ , la vitesse est nulle :  $v_x = v_y = v_z = 0$  donc :  $V_{0x} = V_{0y} = V_{0z} = 0$

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} \\ v_y = \frac{dy}{dt} = 0 \\ v_z = \frac{dz}{dt} = gt \end{cases}$$

On intègre une deuxième fois par rapport au temps pour obtenir **les équations horaires du mouvement** :

$$\begin{cases} x = x_0 \\ y = y_0 \\ z = \frac{1}{2} gt^2 + z_0 \end{cases}$$

avec  $x_0$ ,  $y_0$  et  $z_0$  de nouvelles constantes d'intégration à déterminer.

Or à  $t=0s$ , l'origine du repère coïncide avec le centre d'inertie G :  $x(0)=y(0)=z(0)=0$  donc  $x_0 = y_0 = z_0 = 0$

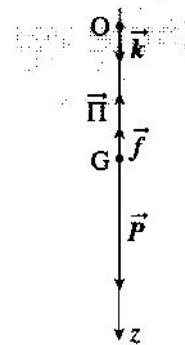
**Conclusions :**

- $x(t)=0$
  - $y(t)=0$
  - $z(t) = \frac{1}{2}gt^2$
- Le centre d'inertie G d'un solide en chute libre, lâché sans vitesse, est animé d'un mouvement :
- rectiligne vertical ( $x(t)=0$  et  $y(t)=0$ )
  - d'accélération constante et égale à celle de la pesanteur
- On observe donc est un mouvement **uniformément varié**. Les équations horaires obtenues dépendent des conditions initiales.

### III. CHUTE VERTICALE AVEC FROTTEMENT.

#### 1° Equation différentielle du mouvement

On considère un corps homogène (p.ex. une bille de volume  $V$  et de masse  $m$ ) tombant dans un fluide (masse volumique  $\rho_0$ ) dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On utilise un repère d'étude  $(G, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ . L'axe vertical  $(G, \vec{k})$  dirigé vers le bas.



Inventaire des forces appliquées au système {bille} :

- Poids  $\vec{p} = m \vec{g} = m g \vec{k}$
- Poussée d'Archimède due au fluide :  $\vec{\Pi} = - \rho_0 V g \vec{k}$
- Force de frottement due au fluide :  $\vec{f} = - k v^n \vec{k}$

On applique alors la deuxième loi de Newton :  $m \vec{a} = \vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f}$

En projetant la relation vectorielle sur l'axe vertical  $(G, \vec{k})$  dirigé vers le bas, on obtient l'expression suivante:

$$m \frac{dv}{dt} = m g - (\rho_0 V g) - k v^n$$

**Remarque:** A ce stade, cette équation différentielle peut être résolue que par la méthode d'Euler, sauf si on précise la nature de la force de frottement.

#### 2° La force de frottement fluide est de la forme $f = k v$ , où $k$ est constant

Cette modélisation  $f=k.v$  convient lorsque la vitesse limite atteinte est faible. Les forces de frottement exercées par un fluide sur un solide (parachute dans l'air, bille dans de l'eau...) se caractérisent par la **vitesse limite**  $v_l$  atteinte par le solide.

##### a - Mise en équation du phénomène

On considère une sphère de masse volumique  $\rho$ , de volume  $V$ . ( $m=\rho.V$ ). L'équation différentielle du mouvement est :

$$m \frac{dv}{dt} = m g - (\rho_0 V g) - k v \quad \text{ou encore} \quad \frac{dv}{dt} + \frac{k}{m} v = g \left( 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right)$$

##### b - Résolution de l'équation différentielle

On reconnaît une équation différentielle du 1<sup>er</sup> ordre avec second membre dont la solution générale et de la forme :  $v = A e^{-k/m.t} + \frac{mg}{k} \left( 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right)$  avec A, une constante d'intégration.

Si la durée de chute est suffisante, alors la vitesse atteint une vitesse limite  $v_l$ . Cette vitesse limite est atteinte lorsque :  $\frac{dv}{dt} = 0$  (Rappel mathématique : quand la vitesse atteint un maximum, sa dérivée change de signe en s'annulant)

Donc :  $v_l = \frac{mg}{k} \left( 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right)$

Détermination de A : on suppose ici que la bille est lâchée dans le fluide sans vitesse initiale à  $t=0$ s.

Dès lors :  $0 = A + v_1$  soit  $A = -v_1$

Donc la solution de cette équation différentielle s'écrit :

$$v = v_1 ( 1 - e^{-k/m t} ) = v_1 ( 1 - \exp(-\frac{t}{\tau}) ) \quad \text{avec } \tau = \frac{m}{k}$$

## IV. RESOLUTION NUMERIQUE PAR LA METHODE D'EULER.

Il s'agit d'une méthode **itérative** qui permet d'évaluer, à intervalles de temps réguliers, différentes valeurs approchées en utilisant l'approximation locale de la tangente.

Il faut pour cela connaître :

- l'équation différentielle du mouvement.
- les conditions initiales.
- le pas de résolution  $\Delta t$ .

Cette méthode est illustrée dans la partie « exercices » avec l'exemple de la chute verticale rectiligne.

## I. MOUVEMENT DANS UN CHAMP DE PESANTEUR UNIFORME.

### 1° Application de la 2<sup>ème</sup> loi de Newton.

Le mouvement du centre d'inertie du solide G est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen. La seule force appliquée au solide est son poids. On applique le théorème du centre d'inertie au solide.

$$\text{Il vient } \boxed{m\vec{a}_G = m\vec{g}} \text{ d'où } \boxed{\vec{a} = \vec{g}}$$

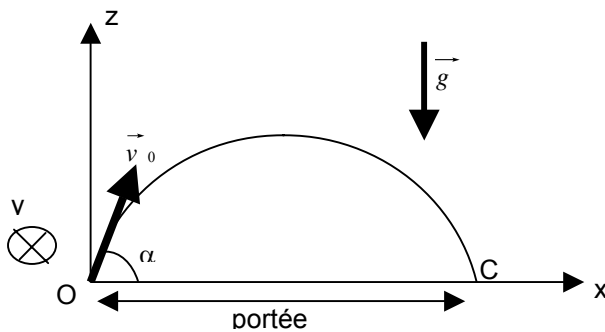
Le mouvement est donc indépendant de la masse m.

### 2° Equations horaires du mouvement - Equation cartésienne du mouvement.

On fixe l'origine des temps à l'instant où on lance l'objet et l'origine des espaces au point O.

Soit le repère orthonormé d'axe Ox, Oy et Oz. L'étude dynamique justifie que  $\boxed{\vec{a}_G = \vec{g}}$ .

Les conditions initiales résident dans :  $\vec{OG}(t=0) = \vec{0}$  et  $\vec{v}(t=0) = \vec{v}_0$



En projetant sur les trois axes la deuxième loi de Newton, on obtient les composantes du vecteur accélération:

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = 0 \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = -g \end{cases}$$

On intègre une première fois chaque expression par rapport au temps. Il vient que :

$$\begin{cases} v_x = V_{0x} \\ v_y = 0 \\ v_z = gt + V_{0z} \end{cases}$$

avec  $V_{0x}$  et  $V_{0z}$  des constantes d'intégration à déterminer à partir des données de l'énoncé.

Or à  $t=0s$ , par projection du vecteur  $\vec{V}_0$  dans la base  $(0, x, z)$ , on obtient :

$$\begin{cases} V_{0x} = V_0 \cos \alpha \\ V_{0y} = 0 \\ V_{0z} = V_0 \sin \alpha \end{cases}$$

On intègre une deuxième fois par rapport au temps pour obtenir **les équations horaires du mouvement** :

$$\begin{cases} x = V_0 \cos \alpha \cdot t + x_0 \\ y = y_0 \\ z = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 \sin \alpha t + z_0 \end{cases}$$

avec  $x_0$ ,  $y_0$  et  $z_0$  de nouvelles constantes d'intégration à déterminer.

Or à  $t=0$ s, l'origine du repère coïncide avec le centre d'inertie G :  $x(0)=y(0)=z(0)=0$  donc  $x_0 = y_0 = z_0 = 0$

**Conclusion :**

$\begin{aligned} \mathbf{x(t)} &= V_0 \cos \alpha t \\ \mathbf{y(t)} &= 0 \\ \mathbf{z(t)} &= -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 \sin \alpha t \end{aligned}$
---

**Le mouvement est donc plan** ( $y(t)=0$ ) et **uniformément varié** (pour tout  $t$ ,  $\vec{a}$  est constant et non nul).  
 En les combinant avantageusement les équations  $x(t)$  et  $z(t)$ , on obtient l'équation cartésienne de la trajectoire (équation de la forme  $z(x)=f(x)$ ) :

$z = -\frac{g}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} x^2 + x \cdot \tan \alpha$	(équation cartésienne d'une parabole)
---	---------------------------------------

## II. SATELLITES ET PLANETES.

### 1° Lois de Képler.



Dans le référentiel géocentrique :

- Chaque planète décrit une ellipse dont le centre du Soleil occupe un des foyers.
- Le segment de droite reliant le Soleil à la planète balaie des aires égales pendant des durées égales.
- Le rapport  $\frac{T^2}{a^3}$  entre le carré de la période de révolution et le cube du demi grand axe ( c'est-à-dire environ le rayon R de la trajectoire) est constant.

$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM} = C^{te}$
--

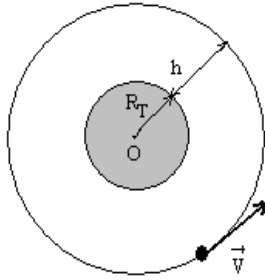
### 2° Etude du mouvement d'un satellite terrestre.

**a - Type de mouvement :**

Système : un satellite de masse  $m$ , assimilé à un point matériel, situé à une distance du centre de la Terre  $R = R_T + h$  et de masse  $M_T$

Référentiel : géocentrique supposé galiléen

Bilan des forces : la seule force extérieure qui s'exerce sur le satellite est l'attraction terrestre  $\vec{F}$



La relation fondamentale appliquée au système étudié s'écrit :

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

L'accélération  $\vec{a}$  est **colinéaire à  $\vec{F}$**  donc dirigée vers O en tout point de la trajectoire.

Le mouvement étant circulaire, on peut utiliser un **repère de Frénet**.  $\vec{a}$  étant centripète :  $\vec{a}_N = \vec{a}$  et  $\vec{a}_T = \vec{0}$

On a :  $a_T = \frac{dv}{dt}$ , on en déduit que la vitesse  $v = \|\vec{v}\|$  est constante. Le mouvement est donc **circulaire et uniforme**.

### b - Vitesse du satellite

On a :  $\vec{a} = \vec{a}_N = \frac{1}{m} \cdot \vec{F}$  et par propriété d'un mouvement circulaire uniforme :  $a_N = \frac{v^2}{R}$

De plus :  $F = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{R^2}$  avec  $R = R_T + h$ . Finalement, il vient que :  $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{R}} = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{R_T + h}}$

### c - Période de révolution

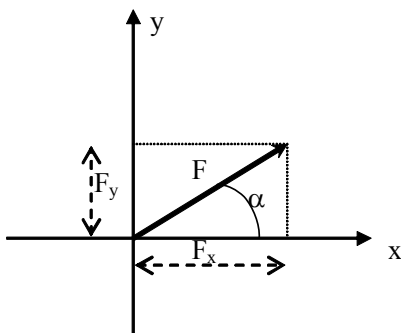
Par définition  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ . Le mouvement est circulaire uniforme :  $v = R \cdot \omega$ . Ainsi,  $T = \frac{2\pi R}{v}$

En reprenant l'expression de v, on a :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G \cdot M_T}}$

La période de révolution du satellite **est indépendante de sa masse**. Seule la valeur de l'altitude h détermine T.

Au final :  $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_T}$  La 3<sup>ème</sup> loi de Képler est vérifiée : le rapport  $\frac{T^2}{R^3}$  ne dépend pas du satellite.

### **POINT METHODE : comment projeter une force ?**



Pour projeter F sur les axes (Ox) et (Oy), on utilise la trigonométrie :

On note  $F_x$  la composante de F projetée sur l'axe des abscisses et  $F_y$  la composante de F projetée sur l'axe des ordonnées.  $\alpha$  est l'angle entre le vecteur directeur de l'axe des ordonnées et le vecteur F.

$$\cos(\alpha) = \frac{F_x}{F} \text{ d'où } F_x = F \cdot \cos(\alpha)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{F_y}{F} \text{ d'où } F_y = F \cdot \sin(\alpha)$$

# Chapitre XII : SYSTEMES OSCILLANTS

## I. NOTION DE SYSTEME OSCILLANT.

### 1° Définition d'un système oscillant.

Un **oscillateur** est un système présentant un comportement périodique dans le temps. La **période**, notée  $T$  et s'exprimant en s, est l'intervalle de temps minimal séparant deux configurations identiques de l'oscillateur.

La fréquence  $f$  d'un oscillateur est définie ainsi :  $f = \frac{1}{T}$  (elle s'exprime en Hertz)

### 2° Etude mathématique d'un système oscillant.

De façon générale, l'équation différentielle régissant un système oscillant est de la forme:

$$\frac{d^2 \xi}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot \xi = 0$$

C'est une équation différentielle linéaire du second ordre sans second membre appelée **équation harmonique**. L'ensemble des solutions de cette équation différentielle s'écrit sous la forme :

$$\xi(t) = \xi_1 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + \xi_2 \sin(\omega_0 \cdot t) = \xi_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi)$$

avec  $\xi_1, \xi_2$  ou  $\xi_0, \varphi$  des constantes d'intégration à déterminer en fonction des conditions initiales du système étudié.

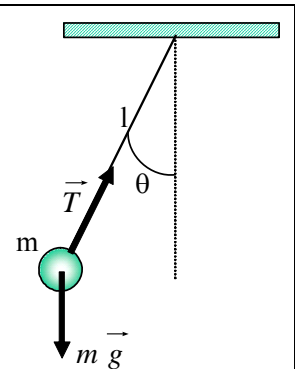
## II. PENDULE SIMPLE.

**Description** : un pendule simple est constitué d'une masse homogène, notée  $m$ , accrochée au bout d'un fil inextensible de longueur  $l$  (de masse négligeable). L'autre extrémité étant accrochée à un point fixe. L'amplitude du mouvement est exprimée avec l'angle  $\theta$ .

La période propre du pendule (ne dépendant que de ses paramètres spécifiques), notée  $T_0$ , a pour expression :

$$T_0 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$l$  s'exprime en mètre et  $g=9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$



### 1° Lois du pendule simple.



**Loi d'isochronisme des petites oscillations** : Lorsque l'amplitude des oscillations d'un pendule simple est inférieure à  $30^\circ$ , la période est alors indépendante de l'amplitude.

**Loi des masses** : La période  $T$  des oscillations d'un pendule simple est indépendante de la masse  $m$  de la boule suspendue à l'extrémité du fil.

**Loi des longueurs** : La période  $T$  des oscillations d'un pendule simple est proportionnelle à la racine carrée de la longueur du pendule :  $T = a \sqrt{l}$

### 2° Oscillations amorties.

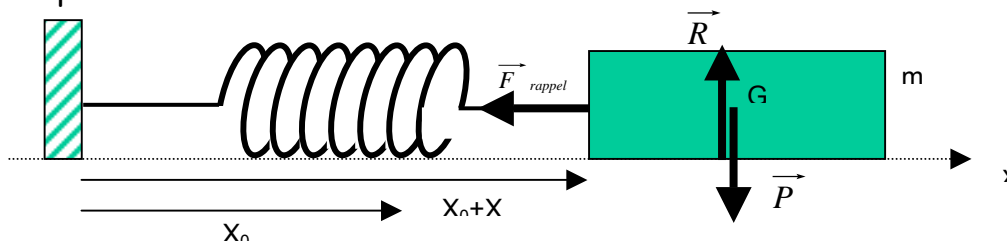
Les oscillations sont amorties lorsque l'amplitude  $\theta$  des oscillations du pendule diminue au cours du temps.

La **pseudo période  $T$**  est le temps séparant deux passages consécutifs du pendule, dans le même sens, par la position du repos. Un mouvement peu amorti est dit **pseudo périodique**, on a alors  $T \approx T_0$

Un mouvement est dit **apériodique** lorsque les frottements sont trop importants (retour du pendule à sa position d'équilibre sans osciller).

### III. PENDULE ELASTIQUE EN TRANSLATION.

#### 1° Description



$X_0$  est l'élongation du ressort à l'équilibre.  $X$  est l'élongation du ressort par rapport à cette position de repos.  $X$  est une quantité algébrique (Selon la position du solide,  $X$  peut être positif ou négatif)

Le solide de masse  $m$  est soumis à trois forces, représentées sur le schéma ci-dessus, à savoir :

- Son poids  $\vec{P}$
- La réaction du support  $\vec{R}$  (on suppose les frottements négligeables)
- La force de rappel du ressort de constante de raideur  $k$  notée  $\vec{F}_{rappel}$

#### 2° Obtention de l'équation différentielle

On applique la 2<sup>ème</sup> loi de Newton au système placé dans un référentiel galiléen

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

$$m \cdot \vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F}_{rappel}$$

avec  $\vec{F}_{rappel} = -k \cdot [(X_0 + X) - X_0] \cdot \vec{i}$  ( $\vec{i}$  vecteur unitaire de l'axe des  $x$ )

On effectue une projection de cette équation vectorielle sur l'axe des  $x$  (les vecteurs  $\vec{P}$  et  $\vec{R}$ , normaux à l'axe des  $x$ , ont une projection nulle sur ce même axe) ; on obtient la relation :

$$m \frac{d^2(X_0 + X)}{dt^2} = F_{rappel}$$

(le centre d'inertie du système est repéré par le vecteur position  $(X + X_0) \cdot \vec{i}$ )

$$\text{D'où : } m \frac{d^2 X}{dt^2} = -k \cdot X$$

Ou encore sous la forme :  $\frac{d^2 X}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot X = 0$  avec  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$

#### 3° Résolution de l'équation différentielle

La solution générale de cette équation différentielle du second ordre est de la forme :

$$X = X_m \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi) \text{ où } X_m \text{ et } \varphi \text{ constantes à déterminer.}$$

A  $t=0s$ , le solide est lâché du point A d'abscisse  $a > 0$  et avec une vitesse initiale nulle soit  $\left(\frac{dX}{dt}\right)_{t=0s} = 0$ .

On obtient à partir de ces conditions initiales :  $X_m = a$  et  $\varphi = 0$ . La solution s'écrit :  $X = a \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$

#### 4° Période propre d'un pendule élastique.

La période propre  $T_0$  d'un oscillateur élastique en translation est :  $T_0 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$



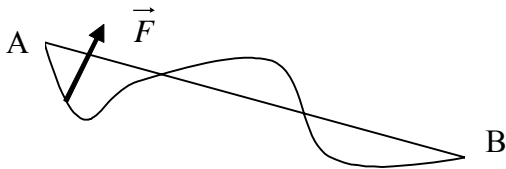
## IV. RESONANCE.

Un oscillateur soumis à l'action d'un autre oscillateur, lui imposant sa période d'oscillation, est mis en **oscillations forcées**. L'oscillateur qui impose la période est appelé **excitateur** ; l'oscillateur excité est appelé **résonateur**. Pour une certaine période, caractéristique du résonateur, l'amplitude des oscillations forcées est maximale : il y a **résonance**.

# Chapitre XIII : ASPECTS ENERGETIQUES

## I. TRAVAIL D'UNE FORCE

### 1° Travail d'une force constante sur un déplacement quelconque (Rappel)

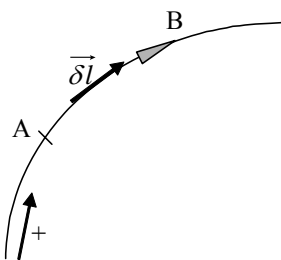


Soit une force  $\vec{F}$  constante. Son point d'application se déplace suivant une trajectoire quelconque. Le travail, s'exprimant en Joule, fourni par la force est par définition égal à :

$$W(\vec{F})_{A \rightarrow B} = \vec{F} \cdot \vec{AB}$$

**Important :** Si  $W > 0$  alors le travail est moteur et si  $W < 0$  alors le travail est résistant. Lorsque la force est orthogonale au déplacement  $\vec{AB}$ , le travail  $W$  est alors nul

### 2° Travail d'une force variable pour un déplacement quelconque



En décomposant le trajet AB en une infinité de déplacements élémentaires  $\vec{\delta l}$ , effectués pendant des durées  $\delta t$  telles que  $\vec{F}$  soit considérée constante, le travail de la force est  $\delta W = \vec{F} \cdot \vec{\delta l}$ . En intégrant sur le trajet AB, on obtient:

$$W(\vec{F})_{A \rightarrow B} = \sum_A^B \delta W$$

### 3° Travail de quelques forces

La réaction du support $\vec{R}$	La force de frottement $\vec{f}$	Le poids $\vec{P}$
$\vec{N}$ est en permanence perpendiculaire à $\vec{\delta l}$ .	La force de frottement est en permanence colinéaire et de sens opposé au sens de la trajectoire et de norme constante.	$\vec{P}$ est une force constante
$W(\vec{R}) = 0$	$W(\vec{f}) = -f \cdot \sum_A^B \delta l$	$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = \vec{P} \cdot \vec{AB} = P \cdot AB \cdot \cos(\vec{P}, \vec{AB})$
		$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = m \cdot g \cdot h$

**Remarque :** le travail du poids ne dépend pas du trajet parcouru entre A et B : on dit que le poids est une **force conservative**.

## II. ETUDE ENERGETIQUE DU PROJECTILE DANS 1 CHAMP DE PESANTEUR (RAPPEL)

Energie cinétique	Energie potentielle	Energie mécanique
$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$	$E_p = mg \cdot z$ On pose que l'énergie potentielle de pesanteur est nulle quand $z=0$	$E_m = E_c + E_p$ Lorsque $E_m = C^{te}$ , le système est dit conservatif.

## III. ETUDE ENERGETIQUE DU PENDULE ELASTIQUE EN TRANSLATION.

Pour cette étude, les expressions respectives de  $E_c$  et  $E_{pe}$  sont :  $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$  et  $E_p = \frac{1}{2} kX^2$

Avec  $X = X_{\max} \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$  (cf chapitre XII). Par définition :  $E_m = E_c + E_p$  ;

$$\text{d'où : } E_m = C^{te} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left( \frac{dX}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot X^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot X_{\max}^2 \quad (\text{car } \omega_0^2 = \frac{k}{m}).$$

L'énergie mécanique du pendule se conserve au cours des oscillations. Le système est **conservatif**.

## IV. QUANTIFICATION DE L'ÉNERGIE

### 1° Limite de la mécanique de Newton.

On considère l'atome d'hydrogène H constitué d'un proton ( $m_p, q_p$ ) et d'un électron ( $m_e, q_e$ ).

Cet électron est soumis à : une force de gravitation :  $F_G = G \frac{m_p m_e}{d^2}$  ; une force électrostatique :  $F_e = k \frac{q_p q_e}{d^2}$

En faisant le rapport  $\frac{F_e}{F_G}$ , on obtient  $\frac{F_e}{F_G} = 2,3 \cdot 10^{39}$ . **La force de gravitation est négligeable.**

En théorie, le mouvement de l'électron autour du noyau devrait être circulaire et uniforme quel que soit le rayon de son orbite autour du noyau. Or, expérimentalement, les électrons des atomes ne décrivent pas des orbites de dimension quelconque, chaque atome ayant un rayon atomique de valeur unique. **La mécanique classique ne permet pas de rendre compte de la structure de l'atome.**

### 2° Niveaux d'énergie d'un atome.

**L'énergie d'un atome ne peut prendre que certaines valeurs formant une suite discontinue de valeurs : les niveaux d'énergie.**

Dans le cas de l'atome d'hydrogène :

$$E_n = \frac{E_0}{n^2} \quad \text{avec } E_0 = -13,6 \text{ eV}$$

$n$  est le **nombre quantique principal** ( $n$  est un entier naturel non nul).  $n=1$  correspond à l'**état fondamental** (état d'énergie le plus **stable**). Les niveaux dont l'énergie est supérieure sont dits **excités**.

On appelle **transition**, le passage d'un niveau d'énergie à un autre. L'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène est l'énergie nécessaire pour séparer le proton de l'électron, elle vaut 13,6eV.

### 3° Spectres atomiques.

La radiation émise ou absorbée lors d'une transition électronique est caractérisée par sa fréquence et liée à la variation d'énergie de l'atome par la relation suivante:

$$\Delta E = h \cdot \nu \quad \text{avec } h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s (constante de Planck)}$$

# Partie B : SPECIALITE PHYSIQUE

# Chapitre XIV : FORMATION D'UNE IMAGE

## I. LES LENTILLES CONVERGENTES.

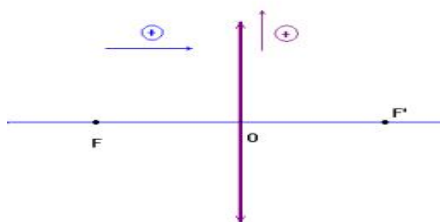
Une lentille est un milieu transparent d'indice  $n$  limitée par deux surfaces dont l'une au moins n'est pas plane. Elle modifie la trajectoire des rayons lumineux. Une lentille à bords mince est dite **convergente**. Une lentille à bords épais est dite divergente.

Pour utiliser une lentille, il faut se trouver dans les **conditions de Gauss** (vérifiées sur un banc d'optique):

- Le faisceau doit traverser la lentille au voisinage du centre optique  $O$ .
- Les rayons doivent être peu inclinés sur l'axe optique.

### 1° Modélisation d'une lentille convergente.

Schéma d'une lentille convergente :

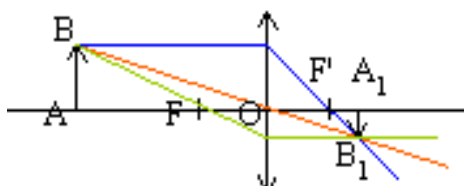


$F$  est appelé foyer objet,  $F'$  foyer image et  $O$  le centre optique. La distance focale  $f'$  (s'exprimant en m) est égale à :  $f' = \overline{OF'}$

Pour une lentille convergente,  $\overline{OF'} > 0$ . On définit la vergence, notée  $C$ , d'une lentille à partir de la relation suivante :

$$C = \frac{1}{f'} \quad (\text{elle s'exprime en dioptries, de symbole } \delta)$$

### 2° La construction des images.



Trois rayons particuliers peuvent être utilisés pour construire l'image  $A_1B_1$  de l'objet  $AB$  :

- un rayon entrant dans la lentille parallèlement à l'axe optique en sort en passant par le foyer image  $F'$ .
- un rayon passant par le foyer objet  $F$  sort de la lentille parallèlement à l'axe optique.
- un rayon passant par le centre optique  $O$  n'est pas dévié.

L'image d'un objet à l'infini sur l'axe optique est par définition le foyer image  $F'$  de la lentille. Si l'objet se trouve dans le plan focal objet, l'image est rejetée à l'infini.

### 3° Les formules de conjugaison

Si l'objet est noté  $A$  et l'image  $A'$ , la relation donnant la position de l'image en fonction de celle de l'objet est :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

On appelle grandissement la grandeur notée  $\gamma$ , qui vaut par définition :  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

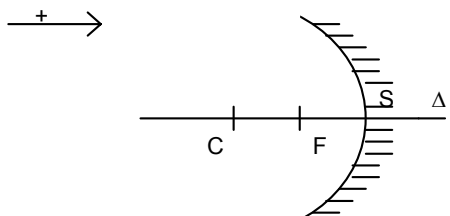
Cette grandeur donne la dimension de l'image par rapport à celle de l'objet. De plus, si  $\gamma < 0$ , l'image est inversée par rapport à l'objet.

## II. LE MIROIR SPHERIQUE CONVERGENT.

Un miroir sphérique convergent est un miroir dont la face concave est une portion de sphère réfléchissante, de rayon  $R$  et de centre  $C$ . L'axe optique  $\Delta$  coupe le miroir en son sommet  $S$ .

Les foyers objet et image sont confondus, au milieu de  $[CS]$ . La distance focale du miroir est donc :

$$f = \frac{R}{2}$$

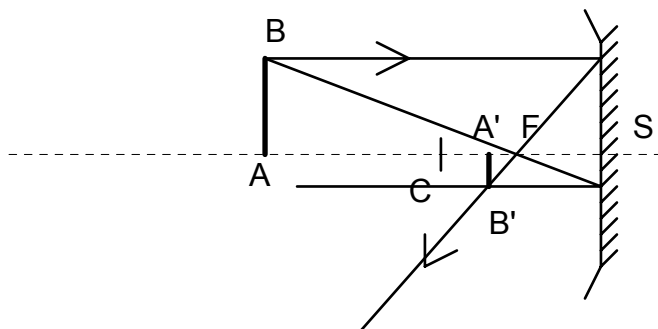


### Construction géométrique des rayons :

Graphiquement l'image  $A'B'$  d'un objet  $AB$  est perpendiculaire à l'axe  $\Delta$ . On utilise des rayons particuliers pour la construire :

- Tout rayon incident passant par le centre  $C$  est réfléchi sur lui-même.
- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique se réfléchit sur le miroir en passant par le foyer  $F$ .
- Tout rayon incident passant par  $F$  se réfléchit parallèlement à l'axe  $\Delta$ .

D'autre part, si l'on travaille dans les conditions de Gauss (voir plus haut), le miroir est schématisé comme suit :



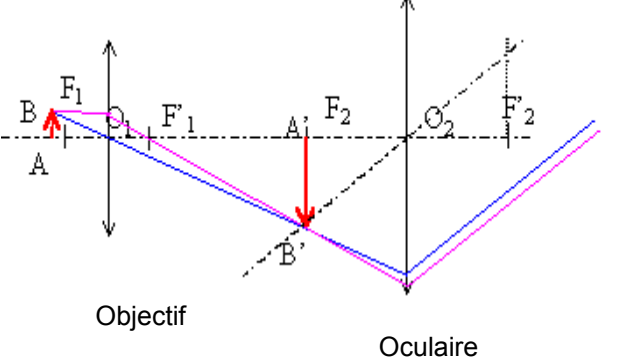
# Chapitre XV : LES INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

## I. LE MICROSCOPE.

Le microscope comporte :

- Un objectif, modélisé par une lentille convergente de distance focale  $f_1$ .
- Un oculaire, modélisé par une lentille convergente de distance focale  $f_2$ .

Soit un objet AB situé près de l'objectif. Son image  $A_1B_1$  constitue un objet pour l'oculaire. Cet oculaire donne de  $A_1B_1$  une image  $A'B'$  observée par l'œil. Pour éviter la fatigue oculaire, l'image  $A'B'$  est rejetée à l'infini. Ainsi, l'image intermédiaire  $A_1B_1$  se trouve sur le plan focal objet de la lentille de l'oculaire.

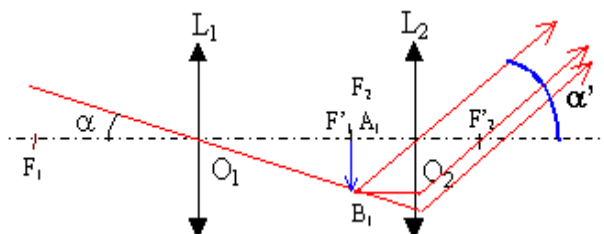
 <p>Objectif</p> <p>Oculaire</p>	<p>L'oculaire joue le rôle d'une loupe avec laquelle on observe l'image intermédiaire.</p> <p><math>\Delta = F_1F_2</math> est appelé intervalle optique.</p> <p>Le cercle oculaire du microscope est l'image du bord circulaire de l'objectif par l'oculaire.</p> <p>Comme pour la loupe, on définit le grossissement standard du microscope par le rapport :</p> $G = \frac{\theta}{\theta'}$ <p>où <math>\theta'</math> est le diamètre apparent de l'image définitive <math>A'B'</math> et <math>\theta</math> le diamètre apparent de AB observé sans instrument à une distance de <math>d_m = 25</math> cm. <math>\theta</math> et <math>\theta'</math> s'expriment en radian.</p>
---	--

## II. LA LUNETTE ASTRONOMIQUE.

La lunette astronomique est aussi constituée :

- d'un objectif, modélisé par une lentille convergente de distance focale  $f_1$ .
- d'un oculaire, modélisé par une lentille convergente de distance focale  $f_2$ .

Avec une lunette astronomique, on observe un objet infiniment éloigné de l'objectif. L'image intermédiaire  $A_1B_1$  se trouve donc sur le foyer image  $F_1'$  de l'objectif. Or l'image  $A'B'$  de  $A_1B_1$  doit se situer à l'infini, pour permettre à l'œil d'observer sans accommoder. Donc  $A_1B_1$  doit aussi se trouver dans le plan focal objet  $F_2$  de l'oculaire. On en déduit que  $F_2 = F_1'$ . La lunette est qualifiée d'**afocale**.



Le cercle oculaire de la lunette est l'image du bord circulaire de l'objectif par l'oculaire.

On définit le grossissement standard de la lunette par :  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

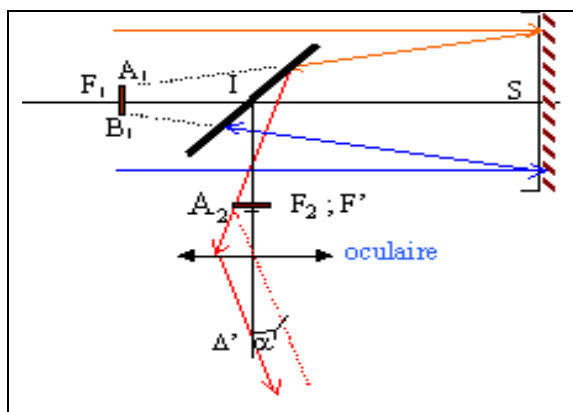
Or nous sommes dans les conditions de Gauss donc les rayons lumineux arrivent faiblement inclinés par rapport à l'axe optique. On peut alors écrire  $\tan \alpha \approx \alpha$  et  $\sin \alpha \approx \alpha$ .

D'où  $\alpha = \frac{A_1 B_1}{f_1'}$  et  $\alpha' = \frac{A_2 B_2}{f_2'}$ . On en déduit :  $G = \frac{f_1'}{f_2'}$

### III. LE TELESCOPE.

Le télescope a pour rôle de former l'image d'un astre par réflexion. Il est constitué :

- d'un objectif, qui est modélisé par miroir sphérique convergent de distance focale  $f_1$
- d'un miroir plan incliné de  $45^\circ$  par rapport à l'axe optique principal
- d'un oculaire de distance focale  $f_2$ .



Le télescope forme d'un objet à l'infini une image à l'infini. Le télescope est donc aussi qualifié de système **afocal**. L'objectif donne d'un objet AB à l'infini une image intermédiaire  $A_1 B_1$  sur le plan focal  $F_1$ . Le miroir plan donne de  $A_1 B_1$  une image intermédiaire  $A_2 B_2$ . Or l'image  $A' B'$  est à l'infini. Donc  $A_2 B_2$  se trouve dans le plan focal objet  $F_2$  de l'oculaire.

Le grossissement est défini par :

$$G = \frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{f_1'}{f_2'}$$

### IV. TABLEAU RECAPITULATIF FINAL

	<b>Microscope</b>	<b>Lunette astronomique</b>	<b>Télescope de Newton</b>
<b>Modélisation de l'objectif</b>	Lentille convergente	Lentille convergente	Miroir sphérique
<b>Modélisation de l'oculaire</b>	Lentille convergente	Lentille convergente	Lentille convergente
<b>Position de l'objet</b>	Proche	Eloigné	Eloigné
<b>Rôle de l'instrument optique</b>	Grossir	Augmenter la luminosité	Augmenter la luminosité



# Chapitre XVI : ONDE STATIONNAIRE. MODES PROPRES.

## I. ONDES STATIONNAIRES

### 1° Réflexion d'une onde sinusoïdale sur un obstacle fixe

On considère une onde progressive transversale se propageant le long d'une corde dont l'une des extrémités est fixe. Lorsque l'onde incidente atteint l'extrémité de la corde, elle s'y réfléchit. Si la perturbation est entretenue, il y a superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie, qui se propagent en sens inverse, à la même vitesse  $v$ .

La réflexion d'une onde sinusoïdale, à certaines fréquences  $f$ , sur un obstacle fixe donne naissance à une **onde stationnaire**. Il n'y a plus de propagation, tous les points vibrent en phase (la corde paraît immobile). Ce phénomène s'accompagne de la formation de **fuseaux** : les extrémités fixes sont appelées **nœuds de vibration** (points d'amplitude est nulle). Les points d'amplitude maximale sont appelés **ventres de vibration**.

### 2° Réflexion d'une onde entre deux extrémités fixes.

Soit une onde sinusoïdale de période  $T$  se propageant à une vitesse  $v$ , sans atténuation, sur une corde tendue entre deux points fixes distants de  $L$ . L'onde subit une réflexion sur chaque extrémité. Le phénomène

est périodique de période  $T = \frac{2L}{v}$ .

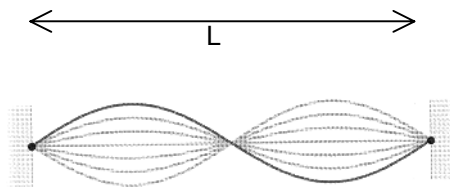
Les ondes stationnaires s'établissent si l'on vérifie la condition:  $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$  avec  $\lambda = \frac{v}{f}$  d'où  $f = n \cdot \frac{v}{2L}$

**Conclusion:** La longueur  $L$  de la corde impose des valeurs quantifiées aux longueurs d'onde  $\lambda$  des ondes progressives sinusoïdales. Il ne pourra s'établir une onde stationnaire résonante que si  $2L = n\lambda$

### 3° Quantification des modes propres de résonance.

Le mode propre dont la fréquence est la plus basse est appelé **mode fondamental (n=1)**. On la note  $f_1$ . Les autres modes, dont les fréquences sont multiples de  $f_1$ , sont appelés **modes harmoniques**.

Les fréquences propres  $f_n$  sont donc **quantifiées** :  $f_n = n \cdot f_1$



## II. VIBRATION D'UNE COLONNE D'AIR

Tout comme le long d'une corde, il y a apparition d'un phénomène d'ondes stationnaires dans le cas d'un tuyau fermé à ses extrémités. La colonne d'air ne peut vibrer que selon ses modes propres : la distance entre 2 nœuds (ou 2 ventres) consécutifs doit être égale à  $\lambda/2$ .

## III. LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE.

Un instrument de musique est un système mécanique vibrant susceptible d'émettre un son car on l'associe à un système de couplage avec l'air. Par exemple, pour les instruments à corde (guitare, diapason, violon...), le système vibrant est une corde tendue entre deux points fixes.

Mais il faut associer à ces instruments une « caisse de résonance » pour amplifier le son émis et ainsi produire un son audible. Pour les instruments à vents (saxophone, trompette...), il existe différents types de systèmes mécaniques vibrants. Le système assurant le couplage avec l'air est la colonne d'air qui se trouve à l'intérieur du tuyau sonore.

## I. LA HAUTEUR D'UN SON.

La hauteur d'un son dépend de la fréquence de la vibration sonore : plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu. Le domaine de fréquences audibilité chez l'homme est compris entre 20 Hz et 20 kHz. La hauteur d'un son est caractérisée par la fréquence de son fondamental.

## II. LE TIMBRE D'UN SON.

Le timbre est la qualité qui permet de distinguer deux sons de même hauteur et de même intensité émis par deux instruments différents. Le timbre d'un son dépend des amplitudes relatives des harmoniques qui le composent et de ses transitoires d'attaque et d'extinction.

*Exemple* : On constate que la façon de pincer la corde a une influence sur les harmoniques présents, donc sur le timbre du son émis. On peut montrer de la même façon que des instruments différents jouant la même note produiront des harmoniques d'intensité différentes.

## III. ACTIVITE ACOUSTIQUE ET NIVEAU SONORE.

### 1° Intensité sonore I

Quand un son se propage, il n'y a pas de transport de matière mais uniquement transfert d'énergie ou de puissance. Cette puissance sonore se répartit dans tout l'espace. Par définition, l'intensité acoustique I est la puissance sonore reçue par unité de surface.

$$I = \frac{P}{S} \quad \text{avec } I \text{ en } \text{W.m}^{-2}, P \text{ en } \text{W} \text{ et } S \text{ en } \text{m}^2.$$

### 2° le niveau sonore L.

Par définition, le niveau sonore (son unité est le décibel dB) s'exprime à partir de I avec la relation suivante :

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{où } I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2} \text{ (intensité de référence).}$$

#### Remarques:

- les niveaux sonores ne s'ajoutent pas ! (cf propriétés de la fonction logarithme)
- deux notes sont à l'**octave** l'une de l'autre lorsque leurs fréquences sont dans le rapport 2.

# Chapitre XVIII : PRODUCTION DE SIGNAUX DE COMMUNICATION. RECEPTION D'UNE ONDE MODULEE EN AMPLITUDE.

## I. NECESSITE D'UNE MODULATION

### 1° Les ondes électromagnétiques - position du problème

Les ondes hertziennes, utilisées pour les transmissions d'informations, se propagent dans l'air seulement si leurs fréquences sont assez élevées. On ne peut donc pas transmettre directement une onde hertzienne correspondant à un signal audio (20 Hz-20 kHz). De plus, si les informations étaient transmises par des ondes hertziennes de basse fréquence, le récepteur ne pourrait pas distinguer les différentes émissions.

Les ondes hertziennes sont des **ondes électromagnétiques** qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière ( $c=3.10^8\text{m.s}^{-1}$ ). L'onde électromagnétique est émise à la même fréquence que le courant électrique qui l'a produite.

### 2° La modulation

La transmission des informations de basse fréquence par voie hertzienne nécessite l'utilisation d'une onde de haute fréquence qui transporte le signal : la **porteuse**.

Grâce à une antenne réceptrice, l'onde porteuse est convertie en une tension électrique de la forme :

$$v(t) = V_m \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t + \phi_p)$$

où  $V_m$  est l'amplitude (en V),  $F$  la fréquence de la porteuse (en Hz) et  $\phi_p$  la phase du signal (en rad).



L'onde est dite **modulée en amplitude** si l'amplitude de la porteuse  $V_m$  est modulée par un signal de basse fréquence (lors d'une modulation en amplitude, la fréquence  $F$  reste constante).

L'onde est dite **modulée en fréquence** si la fréquence de la porteuse  $F$  est modulée par une autre tension. La fréquence instantanée n'est pas constante mais l'amplitude reste constante.

## II. SIGNAL MODULE EN AMPLITUDE

### 1° Principe

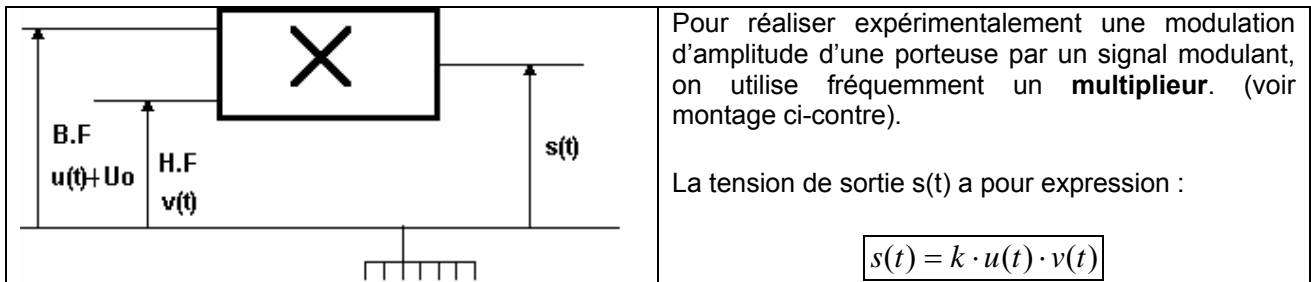
La modulation est obtenue par la combinaison de deux ondes :

- la première onde correspond au signal modulant à transmettre (on suppose ici que l'information à transmettre se limite à une seule grandeur sinusoïdale d'amplitude  $U_m$  et de basse fréquence  $f$ ). Pour pouvoir réaliser cette modulation, une composante continue  $U_0$ , appelée **tension de décalage**, est ajoutée au signal.

L'expression de l'onde à transmettre est alors :  $u(t) = U_0 + U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$

- la seconde onde est la porteuse (onde sinusoïdale de haute fréquence  $F$  et d'amplitude  $V_m$ ) qui a pour expression :  $v(t) = V_m \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t)$

Pour réaliser expérimentalement la modulation d'amplitude d'une porteuse par un signal modulant, on utilise fréquemment un multiplieur. (voir schéma ci-contre).

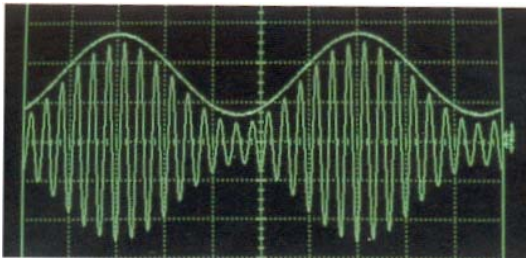


En reprenant les expressions de  $u(t)$  et  $v(t)$ ,  $s(t)$  s'écrit alors :

$$s(t) = k[U_0 + U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)] \cdot V_m \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t)$$

Soit  $s(t) = k \cdot U_0 \cdot V_m \left[ 1 + \frac{U_m}{U_0} \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \right] \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t)$  avec  $m = \frac{U_m}{U_0}$  le taux de modulation

**Remarques :**

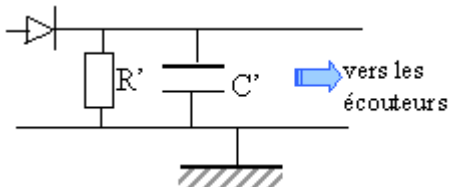


- le signal modulé contient, autour de la fréquence de la porteuse  $F$ , deux fréquences  $F-f$  et  $F+f$  : la transmission de l'information nécessite une bande de fréquences de largeur  $2f$ , centrée sur la fréquence de la porteuse
- pour obtenir une tension modulée de qualité, on doit avoir  $m \ll 1$  : la fréquence de la porteuse  $F$  doit donc être largement supérieure à celle de la tension modulante  $f$ .
- sur un oscilloscope, le signal utile est contenu dans l'enveloppe modulée (voir graphe ci-contre).

### III. DEMODULATION D'AMPLITUDE.

La démodulation d'amplitude est l'opération consistant à reconstituer le signal modulant à partir de l'onde modulée en amplitude. Elle s'opère en plusieurs étapes distinctes.

#### 1° La détection d'enveloppe



La détection d'enveloppe d'un signal modulée est réalisée par une diode et un circuit RC parallèle. La diode supprime les alternances négatives de la tension modulée. La présence du circuit RC va permettre de compenser les variations de tension dues à la porteuse.

Pour réaliser une démodulation de bonne qualité, il faut que :  $f \ll 1/\tau \ll F$  avec  $\tau = RC$ , la constante de temps du circuit RC.

#### 2° Elimination de la composante continue

Un filtre passe haut élimine la composante continue  $U_0$  du signal modulant. Il est constitué d'un circuit RC dont la constante de temps doit être très supérieure à la période  $T_s$  du signal modulant.

### IV. RECEPTION D'UNE EMISSION DE RADIO MODULEE EN AMPLITUDE.

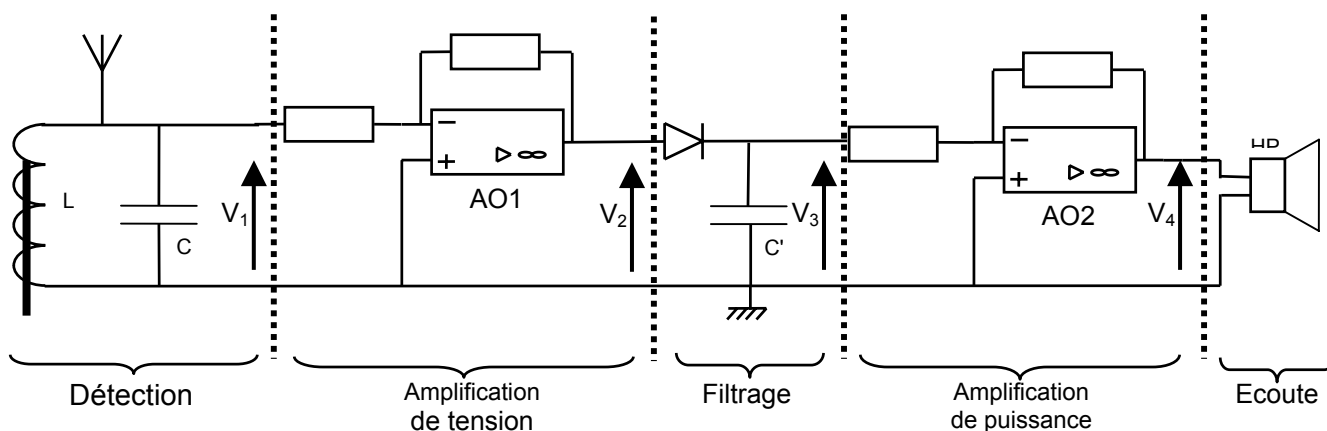
#### 1° Réalisation d'un récepteur radio.

Un modèle de récepteur radio est représenté par le schéma simplifié ci-dessous dans lequel on distingue 5 parties:

- une antenne réceptrice d'ondes radio qui capte les ondes électromagnétiques modulées en amplitude.
- un dipôle LC parallèle qui sélectionne la station souhaitée en fonction de la fréquence de la porteuse.

- un module d'amplification de la tension modulée sélectionnée .
- un circuit démodulateur formé d'un dispositif de détection d'enveloppe et de suppression de composante continue.
- un dispositif d'écoute ( haut-parleur).

**Remarque :** dans ce montage, le filtre passe-haut qui permet d'éliminer la composante continue n'apparaît pas.



## 2° Sélection de la porteuse

Le dipôle LC parallèle sert à la réception sélective : on récupère tous les signaux dont la fréquence est centrée sur  $f_0$ . Cet ensemble de fréquences correspond à la bande **passante du filtre** (le filtre est passe-bande pour la tension). L'expression de la **fréquence centrale** est :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

L'ajustement de cette fréquence permet de sélectionner et de capter différentes stations.

# Partie C : COURS DE CHIMIE

## I. TRANSFORMATIONS LENTES ET RAPIDES.

### 1° Rappels.

#### a - Stœchiométrie.

Une réaction chimique fait toujours intervenir les mêmes proportions de quantité de matière de réactifs et de produits : c'est la stœchiométrie.

#### b - Avancement d'une réaction.

L'avancement  $x$  d'une réaction est une grandeur permettant de suivre l'évolution des quantités de matière présentes à chaque instant dans un système chimique. Son unité est la mole (mol).

### 2° Transformations rapides et transformations lentes

Réaction rapide	Réaction lente
Une réaction est dite rapide (ou instantanée) lorsqu'elle semble s'achever dès que les réactifs sont en contact. <i>Exemple</i> : Les réactions acido – basiques et les réactions de précipitation peuvent être considérées comme instantanées.	Une réaction est dite lente lorsqu'elle dure de quelques secondes à plusieurs dizaines de minutes. <i>Exemple</i> : L'hydrolyse d'un ester est une réaction lente.

### 3° Facteurs cinétiques.

#### a - Influence de la température.



Très généralement, une augmentation de la température du milieu réactionnel tend à augmenter les vitesses de réaction.

#### b - Influence de la concentration.



Très généralement, une augmentation des concentrations tend à augmenter les vitesses de réaction.

#### c - Catalyseur.

On appelle catalyseur d'une réaction toute espèce chimique qui accélère la vitesse de formation des produits sans changer le mélange réactionnel : il n'apparaît pas dans l'équation bilan de la réaction.

#### Remarques :

- Catalyse hétérogène : le catalyseur présent dans le milieu réactionnel est dans une phase différente des réactifs.
- Catalyse homogène : le catalyseur présent dans le milieu réactionnel est dans la même phase que les réactifs.
- Réaction auto catalysée : un des produits formés par la réaction est lui-même un catalyseur de la réaction.

## II. SUIVI TEMPOREL D'UNE TRANSFORMATION.

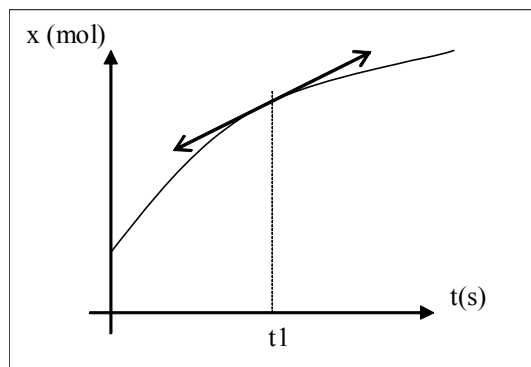
### 1° Vitesse de réaction.

La vitesse de réaction (notée  $v$ ) est définie à partir de l'avancement  $x$  de la réaction et du volume  $V$  du système chimique où se déroule la réaction. Par définition :

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

$v$  ( $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$ )  
 $x$  (mol)  
 $t$ (s) et  $V$ (L)

### 2° Détermination graphique d'une vitesse de réaction.



On représente la variation du taux d'avancement d'une réaction au cours du temps.

La détermination de la tangente à la courbe permet de déterminer  $v$  à la date  $t_1$  connaissant  $V$ , le volume du milieu réactionnel.

On donc analytiquement :

$$v(t_1) = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{dx}{dt} \right)_{t_1}$$

### 3° Détermination de la vitesse de réaction à partir de la concentration.

Exemple pratique : réaction des ions iodure  $\text{I}^-$  avec l'eau oxygénée  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Le tableau d'avancement (en mol) de la réaction étudiée est le suivant :

Réaction	$2\text{I}^-_{(\text{aq})}$	+	$\text{H}_2\text{O}_2_{(\text{aq})}$	+	$2\text{H}^+_{(\text{aq})}$	=	$\text{I}_2_{(\text{g})}$	+	$2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$
Quantité initiale (mol)	$n_{\text{I}^-}(0)$		$n_{\text{H}_2\text{O}_2}(0)$		$n_{\text{H}^+}(0)$		0		Excès
Quantité à l'instant $t$ (mol)	$n_{\text{I}^-}(0) - 2x(t)$		$n_{\text{H}_2\text{O}_2}(0) - x(t)$		$n_{\text{H}^+}(0) - 2x(t)$		$x(t)$		Excès

A chaque instant :  $x(t) = n_{\text{I}_2}$  et la vitesse de réaction devient :  $v = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt} = \frac{d[\text{I}_2]}{dt}$

- Relation entre  $v$  et la variation des différents produits et réactifs.

$n_{\text{I}^-} = n_{\text{I}^-}(0) - 2x(t)$  soit en dérivant la relation par rapport au temps  $\frac{dn_{\text{I}^-}}{dt} = -2 \frac{dx}{dt}$  donc  $v = -\frac{1}{2} \frac{d[\text{I}^-]}{dt}$

### 4° Temps de demi-réaction.

Le temps de demi-réaction, noté  $t_{1/2}$ , est la durée nécessaire pour que l'avancement parvienne à la moitié de sa valeur finale. Il correspond aussi au temps au bout duquel la moitié du réactif limitant a été consommé dans la réaction. Cette grandeur permet d'évaluer la durée nécessaire à l'achèvement d'une réaction (4 à 7 temps de demi-réaction selon la précision cherchée).

## III. AUTRES TECHNIQUES D'ANALYSE.

### 1° Conductimétrie.

La mesure de la conductivité d'une solution, notée  $\sigma$ , permet de déterminer le taux d'avancement  $x$  de la réaction considérée.

Exemple pratique : Réaction d'hydrolyse du composé halogéné  $\text{RCI}$

Réaction	$\text{RCI}$	+	$\text{H}_2\text{O}$	=	$\text{ROH}$	+	$\text{H}^+$	+	$\text{Cl}^-$
à $t=0$	$n$		Excès		0		0		0
à $t$	$n - x$		Excès		$x$		$x$		$x$
à $t$ infini	0		Excès		$n$		$n$		$n$



Par définition :  $G(t) = k \cdot \sigma(t)$  et  $\sigma(t) = \sum_i \lambda_i \cdot [X_i]$  (k est la constante de la cellule)

Ici :  $\sigma(t) = \sigma(o) + \lambda_{H^+} [H^+] + \lambda_{Cl^-} [Cl^-]$  où  $\sigma(0)$  est la conductivité initiale

Par suite,  $G(t) = G(o) + k \cdot (\lambda_{H^+} + \lambda_{Cl^-}) \frac{x(t)}{V}$ . Si l'on note  $G(\infty)$ , la conductance mesurée à l'aide d'un

mélange préparé depuis plusieurs jours alors  $G(\infty) = G(o) + k \cdot (\lambda_{H^+} + \lambda_{Cl^-}) \frac{n}{V}$

Conclusion : 
$$\frac{G(t) - G(0)}{G(\infty) - G(0)} = \frac{x(t)}{n}$$

## 2° La spectrophotométrie.

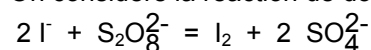
### a - Loi de Beer – Lambert.

L'absorbance A d'une solution diluée contenant une espèce colorée est proportionnelle à la concentration C de cette espèce et à l'épaisseur l de solution traversée par le faisceau de lumière.

La loi de Beer-Lambert s'écrit :  $A(\lambda) = \varepsilon(\lambda) \cdot l \cdot C$  avec  $\varepsilon(\lambda)$  coefficient d'absorption molaire de l'espèce considérée ( $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ).

### b - Exemple de résolution.

On considère la réaction de dosage du diode formé à partir de la réaction suivante :



A chaque instant t, la concentration en diode est donnée par la relation :  $[I_2] = \frac{A(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$  ( la couleur brun-jaune prise par la solution caractérise les molécules de diode).

Il est important de noter que **la spectrophotométrie n'est utilisable que pour des solutions colorées.**

## IV. INTERPRETATION MICROSCOPIQUE DE L'EVOLUTION D'UNE REACTION CHIMIQUE.

### 1° Efficacité des chocs.

Une réaction chimique est due aux chocs entre les molécules des réactifs. La rupture de certaines liaisons chimiques est possible si l'énergie libérée au moment du choc est suffisante. Les chocs donnant lieu à une modification des liaisons chimiques sont appelés chocs efficaces.

### 2° Conséquence des chocs.

Avec le modèle théorique simplifié exposé au-dessus, on comprend dès lors l'influence de la température et de la concentration sur l'évolution d'une réaction chimique.

#### a - Influence de la température.

**La vitesse de réaction augmente avec la température. L'agitation moléculaire est plus importante. La violence des chocs entre molécules augmente (l'énergie cinétique des molécules augmente). Les chocs efficaces sont plus probables.**

#### b - Influence de la concentration.

**La vitesse de réaction augmente avec la concentration car la probabilité de rencontre entre les molécules est plus importante.**

#### c - Réaction « instantanée ».

Les réactions de précipitation, par exemple, apparaissent instantanées car **les chocs sont favorisés par l'attraction électrostatique entre cations et anions.**

## I. TRANSFORMATIONS CHIMIQUES NON TOTALES.

Une transformation chimique n'est pas toujours totale. On obtient alors un **état d'équilibre** où aucun des réactifs n'a totalement disparu.

### 1° Taux d'avancement final d'une réaction.

L'avancement d'une réaction équilibrée tend vers une valeur limite appelé **avancement final, noté  $x_f$** , de la réaction (inférieur à l'**avancement maximal, noté  $x_{max}$** , qui correspond à l'avancement de la réaction

supposé totale). On définit le **taux d'avancement final** de la réaction avec le rapport:

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

Remarque : si  $\tau = 0$ , la réaction n'a pas lieu et si  $\tau = 1$ , la réaction étudiée est totale.

### 2° Interprétation microscopique.

L'état d'équilibre d'une réaction peut s'interpréter de la façon suivante. Lorsque l'état d'équilibre est atteint, le nombre de chocs efficaces entre les molécules des réactifs et le nombre de chocs efficaces entre les molécules des produits sont égaux : les quantités de réactifs et de produits sont donc constantes au cours du temps mais cet équilibre est dynamique, les molécules réagissent entre elles même lorsque l'équilibre est atteint.

## II. QUOTIENT DE REACTION – CONSTANTE D'EQUILIBRE.

### 1° Définition.

On considère l'équilibre chimique suivant:  **$aA + bB = cC + dD$**

Pour un état donné d'un système chimique, on définit le **quotient de réaction  $Q_r$**  par la relation suivante :

$$Q_r = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

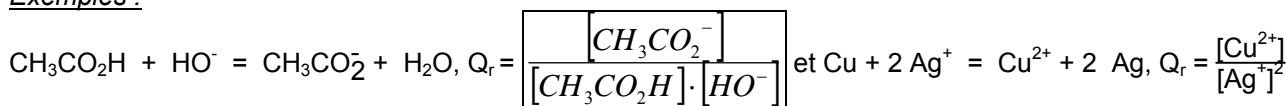
Remarques :

- Les concentrations  $[X_i]$  sont en mol L<sup>-1</sup>
- Ne pas oublier les coefficients stoechiométriques de la réaction dans l'expression de  $Q_r$ .

#### Par convention

- Pour les systèmes ne comportant que des substances dissoutes, l'eau est un solvant et n'intervient pas dans l'écriture d'un quotient de réaction.
- Pour les systèmes comportant des solides, et des gaz, ceux-ci n'interviennent pas dans l'écriture d'un quotient de réaction.

Exemples :



### 2° Etat d'équilibre.

Lorsqu'une espèce chimique est dans son état d'équilibre, le quotient de réaction à une valeur  $Q_{r,f}$  appelée **constante d'équilibre  $K$** , indépendante des conditions initiales. Elle est définie par la relation :

$$K = Q_{r,f} = \frac{[C]_f^c \cdot [D]_f^d}{[A]_f^a \cdot [B]_f^b}$$

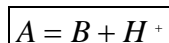
Remarque : Le taux d'avancement final d'une réaction dépend de sa constante d'équilibre  $K$  et de l'état initial du système.

# Chapitre III : RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES.

## I. RÉACTIONS ACIDO – BASIQUES.

### 1° Couples Acide / Base.

Selon Brønsted, un acide est une molécule susceptible de céder un ou plusieurs protons  $H^+$ . Un couple Acide/Base, noté A/B, est constitué de deux entités chimiques qui se transforment l'une en l'autre par transfert d'un ion  $H^+$  selon la demi-équation :

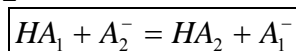


*Exemple:*  $CH_3CO_2H = CH_3CO_2^- + H^+$  (l'ion éthanoate est la base conjuguée de l'acide éthanoïque).

*Remarque:* Soient les couples,  $H_2O / HO^-$  et  $H_3O^+ / H_2O$ ,  $H_2O$  peut être soit un acide soit une base selon le couple. La molécule d'eau  $H_2O$  est une espèce **amphotère**.

### 2° Réactions acido - basiques.

Toute réaction acido – basique est un **transfert de protons  $H^+$**  de l'acide noté  $HA_1$  du couple  $HA_1 / A_1^-$  vers la base noté  $A_2^-$  d'un autre couple  $HA_2 / A_2^-$  :



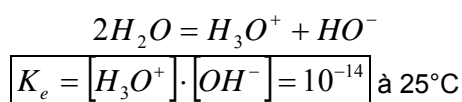
### 3° Définition et mesure de pH.

Le pH d'une solution aqueuse est fixé par sa concentration en ions oxonium  $H_3O^+$ . Il est défini par la relation :

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

### 4° Autoprotolyse de l'eau.

L'équilibre d'**autoprotolyse de l'eau** est une réaction équilibrée dont l'équation de réaction est la suivante (on y associe sa constante d'équilibre  $K_e$  appelée produit ionique de l'eau) :



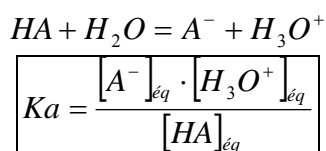
A partir de la définition de  $K_e$ , on peut calculer le pH d'une solution en connaissant sa concentration en ions  $OH^-$ . On a alors :

$$pH = pK_e + \log[OH^-]$$

## II. CONSTANTE D'ACIDITE $K_a$ .

### 1° Définition.

Lors de la mise en solution dans l'eau de l'acide noté HA du couple  $HA/A^-$ , on observe l'équilibre chimique de constante  $K_a$  :



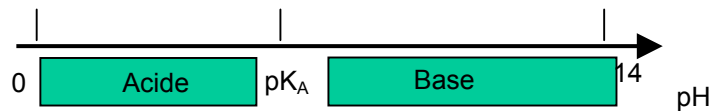
$K_a$  est appelée constante d'acidité du couple  $HA/A^-$ . Dès lors :

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}$$

## 2° Domaines de prédominance.

D'après la formule précédente, on peut dire :

- Si  $\text{pH} < \text{pK}_A$  la forme acide domine
- Si  $\text{pH} > \text{pK}_A$  la forme basique domine



## 3° Relation entre $K_a$ et taux d'avancement final.

Cas des ACIDES	Cas des BASES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\tau</math> élevé <math>\rightarrow</math> pH faible</li> <li>• L'acide est d'autant plus déprotoné que la constante d'acidité <math>K_a</math> est grande (<math>\text{pK}_a</math> faible).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\tau</math> élevé <math>\rightarrow</math> pH élevé</li> <li>• La base est d'autant plus protonée que la constante d'acidité <math>K_a</math> est faible (<math>\text{pK}_a</math> grand).</li> </ul>

## 4° Indicateurs colorés de pH.

Les indicateurs colorés de pH sont constitués par des couples acide/base dont les espèces conjuguées ont des teintes différentes (un indicateur coloré convient pour repérer l'équivalence d'un titrage si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence lors d'un titrage pH-métrique) :

- Si  $\text{pH} < \text{pK}_a - 1$ , l'indicateur a sa teinte acide.
- Si  $\text{pH} > \text{pK}_a + 1$ , l'indicateur a sa teinte basique.

# III. TITRAGE PH – METRIQUE.

## 1° But d'un titrage.

Le but de tout dosage (ou titrage) est de déterminer la ou les concentrations inconnues d'une ou de plusieurs espèces dans une solution avec le **point d'équivalence**, point caractéristique du dosage.

## 2° Recherche de l'équivalence.



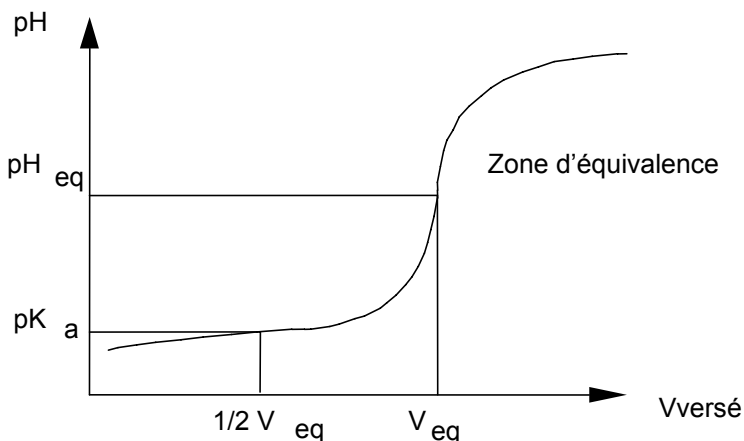
Soit la réaction de dosage :  $x\text{A} + y\text{B} \rightarrow \text{produits}$

On effectue le dosage d'un volume  $V$  de la solution de B (de concentration  $C$  inconnue). L'équivalence est atteinte lorsqu'on a ajouté un volume  $V_{\text{eq}}$  d'une solution titrante de A de concentration connue  $C_t$ .

Autrement dit, lorsque l'équivalence est atteinte, tous les réactifs ont réagi dans les proportions stœchiométriques de la réaction tels qu'ils aient totalement disparus.

On a alors à l'équivalence :  $y \cdot C \cdot V = x \cdot C_t \cdot V_{\text{eq}}$

## 3° Titrage d'un acide faible par une base forte.



Il existe deux points remarquables sur la courbe  $\text{pH} = f(V)$  pour le dosage d'un acide faible par une base forte :

- Le **point d'équivalence**.
- Le **point de demi-équivalence**, obtenu pour

$$V = \frac{V_{\text{eq}}}{2} \text{ et } \text{pH} = \text{pK}_A$$

En ce point, la solution est appelée **solution tampon** : elle est **peu sensible à la dilution et à un ajout modéré d'acide ou de base** (son pH est fixé avec une très grande précision, on s'en sert pour étalonner un pH-mètre).

# Chapitre IV : SENS D'EVOLUTION D'UN SYSTEME CHIMIQUE.

## I. PREVISION D'UN SENS « SPONTANE » D'EVOLUTION D'UN SYSTEME.

### 1° Critère d'évolution spontané d'un système.

Pour une réaction chimique pouvant se dérouler sans apport d'énergie du milieu extérieur, il est possible de prévoir le sens d'évolution en comparant le quotient de réaction à l'état initial, noté  $Q_{r,i}$ , avec la constante d'équilibre, notée  $K$ .



- Si  $Q_{r,i} < K$ , alors l'évolution a lieu dans le sens direct ( de gauche à droite ).
- Si  $Q_{r,i} > K$ , alors l'évolution a lieu dans le sens indirect ( de droite à gauche ).
- Si  $Q_{r,i} = K$ , alors le système est déjà à l'équilibre : il n'y a pas d'évolution.

### 2° Précipitation et dissolution.

Précipitation et dissolution sont deux **réactions inverses**. Suivant les valeurs du quotient de réaction initiale et la constante d'équilibre, le sens d'évolution est celui de la précipitation ou celui de la dissolution.

## II. DEPLACEMENT D'EQUILIBRE.

### 1° Définition.

On appelle **déplacement chimique** toute modification de l'état d'équilibre d'un système par modification de la concentration d'au moins une des entités intervenant dans l'équation chimique.

Remarque : de tels déplacements d'équilibre sont utilisés dans l'industrie chimique pour augmenter la rentabilité des processus de synthèse.

### 2° Ajout d'une espèce chimique à un système.



L'ajout d'une entité chimique, figurant dans l'équation d'un système chimique initialement à l'état d'équilibre, déplace l'équilibre dans le sens de la **CONSOMMATION** de l'entité ajoutée.

### 3° Elimination d'une espèce chimique à un système.



L'élimination d'une entité chimique, figurant dans l'équation d'un système chimique initialement à l'état d'équilibre, déplace l'équilibre dans le sens de la **PRODUCTION** de l'entité retirée.

## I. CONSTITUTION ET FONCTIONNEMENT D'UNE PILE.

### 1° Constitution d'une pile

Pour qu'un système chimique transfère de l'énergie au milieu extérieur sous forme de travail électrique, il est nécessaire qu'il soit le siège d'une réaction d'oxydo-réduction (**mettant en jeu un transfert d'électrons**) et que les couples oxydant/réducteur impliqués soient dans des compartiments séparés.

Une pile est constituée de deux compartiments distincts (appelé chacun **demi-pile**) contenant un couple oxydant / réducteur  $M^{n+} / M$  relié par un pont salin. On forme un **générateur électrochimique** :

- Les **électrodes** (métaux M) sont reliées par un conducteur électrique.
- Les **électrolytes** (ions métalliques  $M^{n+}$ ) sont reliés par un conducteur ionique (filtre).

### 2° Fonctionnement d'une pile : exemple de la pile de Daniell

On considère la pile Daniell. Elle se note de la façon suivante : **(-) Zn | Zn<sup>2+</sup> || Cu<sup>2+</sup> | Cu (+)**

- La f.e.m. (force électromotrice) de la pile étudiée vaut  $E_{Cu-Zn} = (V_{Cu} - V_{Zn})$  (les potentiels standards  $V_i$  sont donnés dans des tables).
- A l'extérieur de la pile, le courant circule de la borne (+) constitué par l'électrode de cuivre vers la borne(-) constitué par l'électrode de zinc (**sens conventionnel du courant**)
- Les électrons, porteurs de charge et responsables de la formation du courant, se déplacent de l'électrode de zinc vers celle de cuivre, soit dans le sens contraire du sens conventionnel du courant.
- A l'intérieur de la pile, dans les électrolytes, les cations se déplacent dans le sens du courant et les anions en sens inverse.

Les réactions observées dans les demi-piles sont les suivantes :

A la cathode : l'oxydant  $Cu^{2+}$  subit une réduction :  $Cu^{2+} + 2 e^- = Cu$

A l'anode : Zn subit une oxydation :  $Zn = Zn^{2+} + 2 e^-$

L'équation de fonctionnement de la pile est :  **$Cu^{2+} + Zn = Cu + Zn^{2+}$**

### 3° Evolution spontanée d'une pile

Lorsqu'elle débite, une pile est un système **hors équilibre**. Le critère d'évolution spontanée permet de déterminer le sens de déplacement des porteurs de charge d'une pile. **Une pile à l'équilibre est une pile « usée »** qui ne peut plus débiter de courant. Dès lors :  **$Q_{r,éq} = K$  et  $I_{éq} = 0$**  (l'intensité du courant est nulle).

## II. QUANTITE D'ELECTRICITE FOURNIE

### 1° Définitions

Par définition, la **capacité** d'une pile est la quantité maximale d'électricité qu'elle peut fournir. La **quantité d'électricité** Q (en C) mise en jeu au cours de son fonctionnement est égale à :  $Q = n(e^-) \cdot F$

avec  $n(e^-)$ , valeur absolue de la charge totale des électrons échangés et  $F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$  (C<sup>te</sup> de Faraday)

Pendant une durée  $\Delta t$  (en s), une quantité d'électricité Q fournira un courant I (en A) tel que :  $I \cdot \Delta t = Q$

### 2° Quantité d'électricité débitée par une pile Daniell

Le tableau d'avancement (en mol) représentant l'évolution d'un tel système est le suivant :

	$Cu^{2+}$	Zn	Cu	$Zn^{2+}$	<b><math>e^-</math> échangés</b>
Etat initial	a	b	c	d	0
Etat intermédiaire	a - x	b - x	c + x	d + x	2x
Etat final	a - $x_{max}$	b - $x_{max}$	c + $x_{max}$	d + $x_{max}$	2 $x_{max}$

On a donc :  $n(e^-) = 2x$  d'où  $x = \frac{Q}{2F} = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$

# Chapitre VI : TRANSFORMATIONS FORCÉES : ELECTROLYSE.

## I. TRANSFORMATIONS FORCÉES.

Lorsqu'un générateur de tension continue impose, dans un système chimique, un courant de **sens inverse** à celui observé lorsque le système évolue spontanément, ce système peut alors évoluer dans le sens inverse de son sens d'évolution spontanée. Cette **transformation forcée** constitue une **electrolyse**.

## II. EXEMPLE D'UNE ELECTROLYSE.

### 1° Electrolyse d'une solution de chlorure de sodium.

Lors d'une electrolyse, on observe les réactions d'oxydo-réduction suivante :

- L'**oxydation** se produit à l'**anode**.
- La **réduction** se produit à la **cathode**.

*Remarque :* un moyen mnémotechnique OXYDATION/Anode et REDUCTION/Cathode.

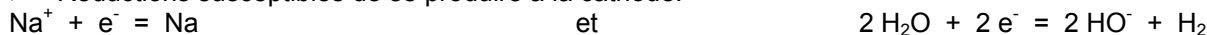
Dans un tube en U on place une solution de chlorure de sodium, les électrodes sont en graphite et on règle le générateur sur une tension continue fixe.

On observe des bulles qui se forment à la fois à l'anode et à la cathode : il s'agit donc de gaz. Le gaz à l'anode décolore le bleu indigo : il s'agit donc de dichlore. Le gaz à la cathode détone en présence d'une flamme : il s'agit donc de dihydrogène. De plus, les ions  $\text{HO}^-$  sont mis en évidence par la phénolphthaléine de couleur rose en milieu basique.

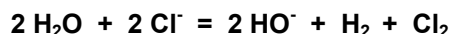
➤ Oxydations susceptibles de se produire à l'anode :



➤ Réductions susceptibles de se produire à la cathode:



Les observations expérimentales permettent d'écrire l'équation de cette électrolyse :



#### Méthode de résolution d'un exercice d'electrolyse :

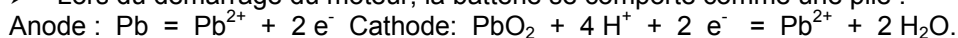
- Déterminer le sens du courant (imposé par le générateur).
- Envisager les différentes oxydations et oxydations possibles respectivement à l'anode et à la cathode (y compris pour le solvant et les électrodes) et écrire les  $\frac{1}{2}$  équations correspondantes
- Analyser les produits formés.
- Déterminer les réactions qui se produisent aux électrodes.
- Ecrire l'équation de l'électrolyse.

## III. UNE APPLICATION DE L'ELECTROLYSE : L'ACCUMULATEUR

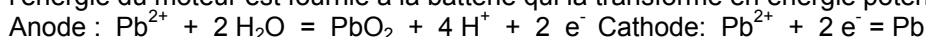
Les applications industrielles de l'électrolyse sont multiples : dépôt sur des substrats, purification des métaux, fabrication de l'aluminium, réalisation d'accumulateurs électriques...

Une batterie de voiture est un accumulateur : elle est le siège d'une réaction d'électrolyse mais constitue aussi une pile suivant son fonctionnement :

➤ Lors du démarrage du moteur, la batterie se comporte comme une pile :



➤ Lorsque le moteur est en marche, la batterie se comporte comme un électrolyseur (une partie de l'énergie du moteur est fournie à la batterie qui la transforme en énergie potentielle chimique) :



- Lors de la charge ou de la décharge d'un accumulateur les mêmes réactions se produisent aux électrodes, mais en sens inverse.
- Quel que soit le fonctionnement, l'oxydation a toujours lieu à l'anode et la réduction à la cathode.

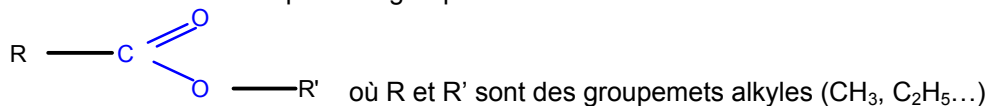


# Chapitre VII : ESTERIFICATION – HYDROLYSE.

## I. LA FONCTION ESTER.

### 1° Groupe caractéristique.

La fonction ester correspond au groupe fonctionnel suivant :



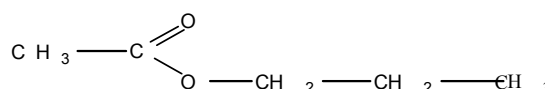
Remarque : si R' se réduit à un atome d'hydrogène H, la molécule est un acide carboxylique.

### 2° Nomenclature des esters.

Le nom d'un ester se décompose en l'écriture de deux termes :

- Le premier, terminant par **-oate**, désigne la chaîne principale provenant de l'acide carboxylique (au besoin, on numérote cette chaîne à partir de l'atome de carbone portant la fonction ester).
- Le deuxième, terminant par **-yle**, est le nom du groupe alkyle provenant de l'alcool (si besoin, on numérote cette chaîne à partir de l'atome de carbone lié à l'atome d'oxygène).

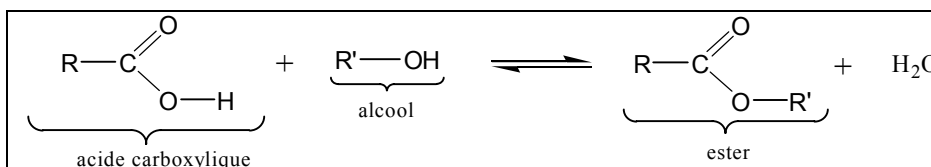
Exemple : molécule d'éthanoate de propyle.



## II. EQUILIBRE ESTERIFICATION – HYDROLYSE.

### 1° Equation de l'équilibre.

On appelle **estérification** la réaction entre un acide carboxylique et un alcool conduisant à la formation d'un ester et d'eau (sens direct). La réaction inverse est l'**hydrolyse d'un ester (sens indirect)**. La réaction d'estérification s'écrit :



### 2° Propriétés.



- La réaction d'estérification est lente, limitée, athermique et catalysée.
- La réaction d'hydrolyse a les mêmes caractéristiques.

La constante d'équilibre K d'une réaction d'estérification et celle de la réaction d'hydrolyse associée K' on

pour expression :  $K = \frac{n_f(\text{ester}) \cdot n_f(\text{eau})}{n_f(\text{acide}) \cdot n_f(\text{alcool})}$  et  $K' = \frac{n_f(\text{acide}) \cdot n_f(\text{alcool})}{n_f(\text{ester}) \cdot n_f(\text{eau})}$  d'où  $K = \frac{1}{K'}$

Remarque très importante : l'eau ne constitue pas le solvant, sa concentration doit apparaître dans l'expression de K et K'.

### III. CONTROLE DU TAUX D'AVANCEMENT FINAL DE LA REACTION.

#### 1° Rendement d'une transformation chimique.

Le **rendement**  $\rho$  d'une transformation chimique est le rapport entre la quantité de matière de produit récupérée après réaction,  $n_{\text{exp}}$ , sur la quantité théorique,  $n_{\text{max}}$ , de produit formé si la transformation chimique

était totale :

$$\rho = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{max}}}$$



La classe de l'alcool utilisé lors de l'estérification détermine la valeur de son rendement lorsque les produits sont apportés en quantité stoechiométriques :

- Pour un **alcool primaire**,  $\rho \approx 66\%$
- Pour un **alcool secondaire**,  $\rho \approx 60\%$
- Pour un **alcool tertiaire**,  $\rho \approx 5\%$

#### 2° Amélioration du taux d'avancement final par excès de réactifs.



**Introduire en excès un des réactifs permet d'augmenter le taux d'avancement final. L'équilibre chimique se déplace dans le sens de la formation des produits.**

Exemple : eau mise en excès dans l'hydrolyse d'un ester

#### 3° Amélioration du taux d'avancement final par élimination d'un produit.



**Eliminer un produit permet d'augmenter le taux d'avancement final. L'équilibre chimique se déplace dans le sens de formation de ce produit.**

Exemple : élimination de l'eau lors d'une estérification.

#### 4° Facteurs cinétiques.



**Les facteurs cinétiques (température, concentration des réactifs, catalyseur) ne modifient pas le taux d'avancement final des réactions mais permettent de l'atteindre plus rapidement.**

#### 5° Facteurs propres à la réaction d'estérification.



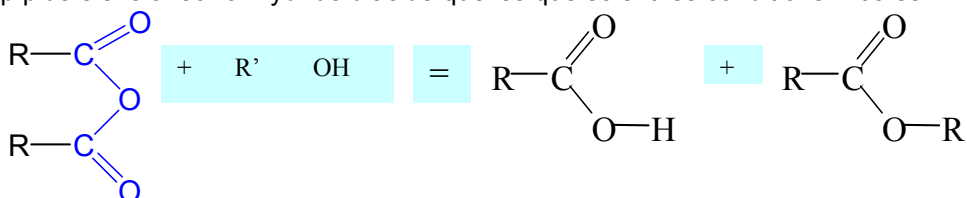
**En milieu acide, la réaction d'estérification se déroule plus rapidement. On peut donc ajouter un acide étranger à la réaction (généralement, un acide fort tel que l'acide sulfurique) pour l'accélérer.**

**On peut même jouer sur les deux tableaux : en introduisant, en tant que réactif, davantage d'acide que d'alcool, on joue sur deux tableaux à la fois : on améliore le taux d'avancement final dans la mesure où un réactif est en excès, et on l'atteint plus vite grâce à l'acidité accrue du milieu de la réaction.**

### I. SYNTHÈSE ET HYDROLYSE TOTALES.

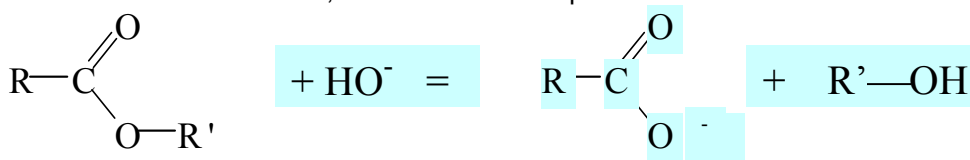
#### 1° Synthèse totale d'un ester.

Une autre voie de synthèse d'un ester consiste à remplacer l'acide carboxylique par l'**anhydride d'acide** correspondant. **La réaction est quasi - totale et sa cinétique est plus rapide.** Le taux d'avancement final est beaucoup plus élevé avec l'anhydride d'acide quelles que soient les conditions initiales.



#### 2° Hydrolyse totale d'un ester : la saponification.

Une réaction de **saponification** est l'**hydrolyse d'un ester en milieu basique**. Elle donne un alcool et un ion carboxylate. Cette réaction est lente, totale et exothermique.



### II. SAVONS ET DETERGENTS : DES PRODUITS DE LA SAPONIFICATION.

- Un SAVON est un ion carboxylate ayant une chaîne carbonée longue et linéaire. L'acide carboxylique correspondant est appelé acide gras.
- Un savon possède une TÊTE HYDROPHILE qui correspond à la fonction carboxylate  $\text{COO}^-$  et une QUEUE HYDROPHOBE ou LIPOPHILE. Une tâche de graisse non soluble dans l'eau s'entoure de queues lipophiles qui forment autour d'elle une coquille qui présente au solvant ses têtes hydrophiles et peut donc partir dans la solution et être emportée dans le solvant.

**La coquille de molécules de savon dont s'entoure la tâche de graisse est appelée MICELLE DE SAVON.**

### III. CATALYSE.

#### 1° Spécificité d'un catalyseur.

On dit qu'un catalyseur est spécifique d'un réactif ; il peut alors catalyser certaines réactions et pas d'autres.

Exemple : le nickel est le catalyseur de l'hydrogénation des alcènes en alcanes, mais ne peut catalyser l'estérification d'un acide carboxylique. En biologie, les enzymes sont des catalyseurs très spécifiques.

#### 2° Sélectivité d'un catalyseur.

**On dit qu'un catalyseur est sélectif d'une réaction chimique, il peut alors orienter l'évolution d'un système chimique vers un état final différent de celui qu'il atteindrait avec un autre catalyseur.**

Exemple : le cuivre catalyse la transformation d'un alcool en aldéhyde. L'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) catalyse la transformation d'un alcool en alcène.

# Partie D : SPECIALITE CHIMIE

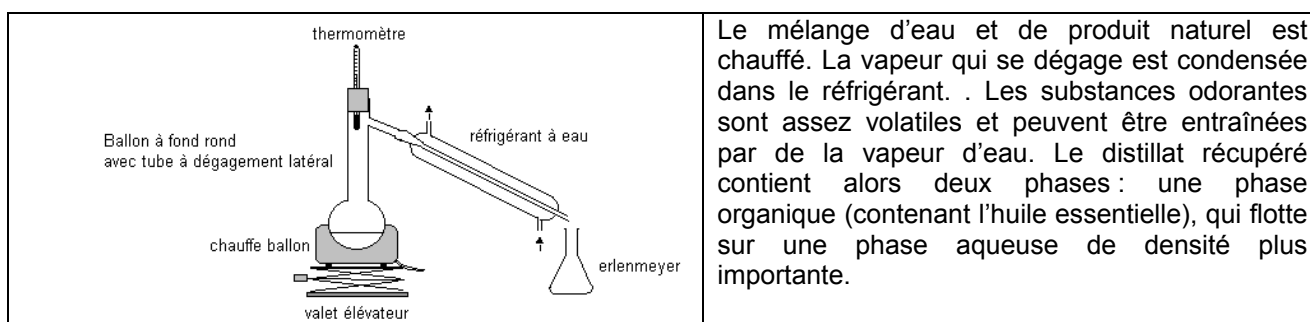
# Chapitre IX : EXTRACTION ET IDENTIFICATION DE COMPOSES CHIMIQUES.

Les espèces chimiques organiques existant dans notre environnement peuvent être extraites du milieu naturel qui les a produites par différentes techniques pratiquées depuis plusieurs siècles. Parmi celles-ci, on distingue l'entraînement à la vapeur, la distillation ou l'extraction par solvant.

## I. TECHNIQUE D'EXTRACTION

### 1° Hydrodistillation.

On utilise surtout cette méthode pour extraire les huiles essentielles présentes dans les plantes. On utilise un montage de distillation sous pression atmosphérique représenté ci-dessous



#### Remarques :

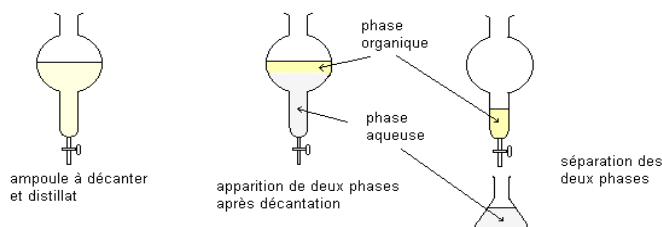
- Les huiles essentielles extraites sont des composés organiques peu solubles dans l'eau et encore moins dans l'eau salée : l'ajout au distillat du chlorure de sodium NaCl fait apparaître plus distinctement la phase contenant l'huile essentielle (la phase organique) et celle contenant l'eau salée (phase aqueuse).
- On élimine l'eau résiduelle retenue dans la phase organique avec un déshydratant (opération de séchage), le sulfate de magnésium anhydre par exemple. On filtre ensuite le mélange pour récupérer la phase organique purifiée.

### 2° L'extraction liquide-liquide.

#### a - Choix du solvant.

Lors d'une extraction liquide-liquide, on souhaite faire passer une espèce chimique d'un solvant S vers un solvant extracteur S'. Le choix du solvant extracteur est spécifique : il doit être liquide à la température et à la pression d'extraction. D'autre part, les deux solvants S et S' doivent être non miscibles et le composé à extraire doit être bien plus soluble dans S' que dans S.

#### b - Réalisation de l'extraction



Pour une extraction liquide-liquide, on utilise une ampoule à décanter. On agite fortement en dégazant régulièrement pour que l'ampoule ne soit pas en surpression. Puis on laisse décanter la solution pour que les deux solvants se séparent suivant leur densité. La phase aqueuse, en général plus dense, se situe dans la partie inférieure et une phase organique, de densité plus faible se situe au dessus.

## II. LA CHROMATOGRAPHIE.

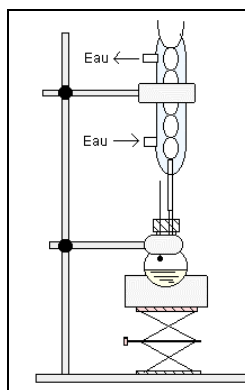
La chromatographie (ou CCM pour Chromatographie sur Couche Mince) est une technique de séparation et d'identification des espèces chimiques présentes dans un mélange.

Pour réaliser une chromatographie, on utilise une phase stationnaire, où sont déposées les espèces à analyser et un solvant, appelé éluant, migrant le long de la phase stationnaire.

Lorsque l'éluant arrive à la ligne de dépôt, il dissout les différents espèces déposées et les entraîne. Celles-ci migrent à des vitesses différentes, dues à la masse des différentes molécules à séparer, ainsi qu'à leurs différences d'affinité avec l'éluant. Après l'élution, on repère la ligne de front de solvant et les tâches correspondantes aux produits par révélation (vapeur de diiode, permanganate, UV...)

Le rapport frontal  $R_f$  de chaque espèce chimique présente est alors déterminé :  $R_f = \frac{h}{H}$ , où  $h$  est la distance parcourue par l'espèce et  $H$  celle parcourue par l'éluant pendant le même temps.

## Chapitre X : ELABORATION DES COMPOSES CHIMIQUES.



**a) la transformation** : on doit respecter les conditions expérimentales  
Le mode opératoire peut par exemple nécessiter un chauffage à reflux (montage ci-contre). Il permet d'accélérer la réaction en la réalisant à la température d'ébullition du solvant.

**b) l'extraction par un solvant approprié** (cf. chap précédent).

**c) la purification** : le produit synthétisé peut être purifié. On effectue une recristallisation : on solubilise à chaud le solide obtenu avec ses impuretés lors du refroidissement, il recristallise les impuretés restent en solution.

**d) l'identification du composé brut** : on peut caractériser une espèce chimique en comparant différentes caractéristiques obtenues expérimentalement avec les données théoriques de ce composé (température d'ébullition, température de fusion, indice de réfraction...)

## Chapitre XI : EFFECTUER DES CONTROLES DE QUALITE : LES TECHNIQUES DE DOSAGE.

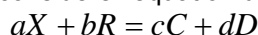
### I. DOSAGE PAR ETALONNAGE

On prend comme référence des solutions de concentrations connues. Ces dernières permettent de tracer une courbe d'étalonnage utilisée pour déterminer la concentration d'une solution inconnue.

### II. DOSAGE PAR TITRAGE

#### 1° Principe

Soit une espèce chimique X à doser. On cherche un réactif R, le **réactif titrant**, donnant avec X une **réaction spécifique, rapide et totale**. On considère l'équation de dosage théorique suivante :



On recherche l'équivalence,  $n(X) = 0$  et  $n(R) = 0$ .

A l'équivalence, moment où les deux réactifs sont limitants, on a :  $n(X) = n_{\text{initial}}(X) - a x_E$  et  $n(R) = n_{\text{versé}}(R) - b x_E$  Donc  $n_{\text{initial}}(X) - a x_E = n_{\text{versé}}(R) - b x_E = 0$

$$\text{Soit : } x_E = \frac{n_{\text{initial}}(X)}{a} = \frac{n_{\text{versé}}(R)}{b}$$

#### 2° Titrage direct

On utilise ce titrage lorsque l'espèce chimique X réagit directement avec le réactif titrant R.

#### 3° Titrage indirect

On utilise ce titrage lorsqu'on ne peut pas utiliser le titrage direct (par exemple, lorsqu' aucune espèce chimique ne se colore). La méthode consiste à mettre le réactif titrant R en excès. Celui-ci réagit avec l'espèce chimique X à doser, mais il en reste à la fin. On dose alors le réactif restant à l'aide d'un titrage direct. Par différence, on obtient la quantité de réactif ayant réagi avec X.

## Chapitre XII : SEPARATION ET ELECTROLYSE.

Il est aujourd'hui nécessaire de pouvoir isoler une espèce chimique d'un mélange. Par exemple, les minerais contiennent souvent plusieurs espèces chimiques, dont une est particulièrement intéressante.

### I. LA SEPARATION

Dans le chapitre 1 de spécialité, nous avons vu plusieurs méthodes de séparation : la décantation, l'extraction par solvant, la chromatographie... Mais on peut aussi utiliser la **précipitation fractionnée**. En effet, les ions métalliques peuvent précipiter sous forme d'hydroxyde. Mais cette précipitation ne se fait qu'à partir d'un certain pH caractéristique de l'hydroxyde métallique considéré.

Exemple : les ions  $\text{Cu}^{2+}$  peuvent réagir avec les ions  $\text{HO}^-$ . L'équation de la réaction s'écrit :  
 $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{HO}^-_{(\text{aq})} = \text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{s})}$ . Le quotient de réaction s'écrit alors:  $Q = 1 / ([\text{Cu}^{2+}] [\text{HO}^-]^2)$

### II. L'ELECTROLYSE (VOIR LE CHAPITRE VI DU COURS DE CHIMIE).

La réaction chimique se fait dans le sens indirect, c'est une transformation forcée . Le générateur impose le sens du courant : dans la partie métallique du circuit, les électrons se déplacent du pôle - du générateur vers le pôle + de celui-ci.





# Partie E : EXERCICES PHYSIQUE

## EXERCICE 1.1 : CELERITE D'UNE ONDE

Cyril et Margot désirent mesurer la vitesse des ondes sonores dans l'air. Ils utilisent la réflexion du son sur un grand immeuble.

Ils choisissent une position devant l'immeuble et mesurent la distance les séparant de l'immeuble. Ils trouvent  $l=523m$ , valeur que l'on considérera comme exacte. Cyril produit un bruit en faisant exploser un pétard ; Margot déclenche le chronomètre à la production du bruit et l'arrête lorsqu'elle perçoit son retour. Elle mesure une durée  $\Delta t=3,1s$ .

- De quel type est une onde sonore ?
- Calculer la célérité du son dans l'air d'après cette expérience.
- L'incertitude sur la mesure de  $\Delta t$  est  $0,05s$  ; cela signifie que  $\Delta t$  est compris entre  $3,05s$  et  $3,15s$ . Entre quelles limites la célérité du son se situe-t-elle ?
- Quelle serait la durée  $\Delta t$  mesurée si Cyril s'était placé à  $847m$  ?

## EXERCICE 1.2 : EMETTEUR D'ULTRASON

Un émetteur émet une salve d'ultrasons à la date  $t=0s$ . On relie l'émetteur à la voie A d'un oscilloscope à mémoire. Un récepteur distant de  $d= 50.0\text{ cm}$  est relié à la voie B de l'oscilloscope. On sait que la vitesse des ultrasons dans l'air est  $v= 330m.s^{-1}$  et que le signal n'est pratiquement pas déformé, représenter alors l'écran de l'oscilloscope en précisant les calibres choisis.

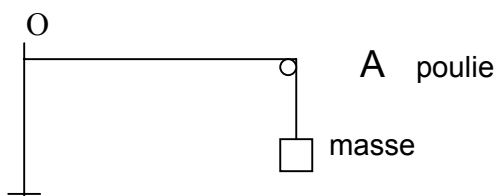
## EXERCICE 1.3 : VITESSE DU SON DANS LE FER

Pour déterminer la vitesse du son dans le fer, un élève décide de mener une expérience avec un tuyau de longueur  $d$ . Il demande à un camarade de frapper une fois le tuyau à l'une de ses extrémités. Placé à l'autre extrémité, il entend deux coups décalés de  $\tau= 1,0s$ .

- A quoi correspondent ces deux coups ?
- Calculer la vitesse du son dans le fer.

**Données :**  $v_{\text{air}} = 340m.s^{-1}$  ;  $d= 360m$ .

## EXERCICE 1.4 : PROPAGATION LE LONG D'UNE CORDE (CORRIGE)



On étudie la propagation d'une perturbation le long d'une corde de masse  $m$  et de longueur  $l$ . La corde est tendue par l'intermédiaire d'une masse  $M$  suspendue. A l'instant choisi comme origine des dates, on produit une perturbation de courte durée sur la corde au point O. La vitesse  $c$  d'une onde le long d'une corde de

masse linéique  $\mu$  et tendue par une force de valeur  $T$  est définie par la relation  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ .

- Vérifier l'homogénéité de la relation précédente.
- De quelle type d'onde mécanique s'agit-il ?
- Calculer la vitesse de l'onde sur la corde.
- A quelle date la perturbation arrive-t-elle au point A ?
- A quelle date la perturbation arrive-t-elle au point A si :

-La masse est remplacée par une masse  $M'= M/4$ .

-La longueur du fil est divisée par deux ?

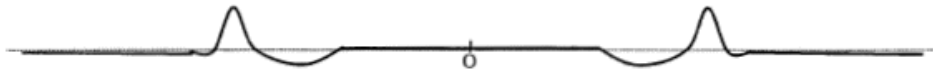
**Données :**  $M= 200g$  ,  $l= 1m$  ,  $m=1,2g$  ,  $g= 9,8m.s^{-2}$ .

## EXERCICE 1.6 : BAC 2004. Onde à la surface de l'eau

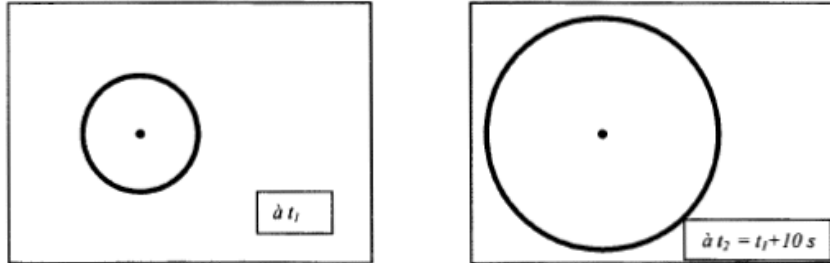
Un insecte évolue à la surface de l'eau en ramant avec ses pattes. Sa présence est souvent trahie par des ombres projetées sur le fond. Ces ombres sont la conséquence de la déformation de la surface de l'eau au contact de l'extrémité des six pattes de l'insecte.

1. Quel dispositif utilisé en classe pour l'étude de la propagation des ondes à la surface de l'eau est également basé sur la projection d'ombres ?

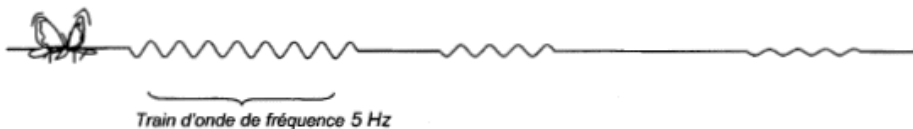
2. Les déplacements de l'insecte génèrent des ondes à la surface de l'eau qui se propagent dans toutes les directions. Le schéma ci-dessous donne une vue en coupe de l'onde créée par une patte de l'insecte à la surface de l'eau à la date  $t$ . O est le point source: point de la surface où est créée l'onde.



- L'onde générée est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier.
- Un brin d'herbe flotte à la surface de l'eau. Décrire son mouvement lors du passage de l'onde.
- La surface de l'eau est photographiée à deux instants différents. Le document suivant est à l'échelle  $1/100^{\text{ème}}$ . Calculer la célérité de l'onde.



3. Un papillon tombé à la surface de l'eau crée en se débattant des trains d'ondes sinusoïdales. La fréquence des battements des ailes du papillon est 5 Hz, ce qui génère des ondes de même fréquence.



- Déterminer la longueur d'onde de l'onde émise par le papillon en utilisant l'agrandissement à l'échelle 2 de la coupe de la surface de l'eau.
- Montrer que la célérité de cette onde est 4,4 cm/s.



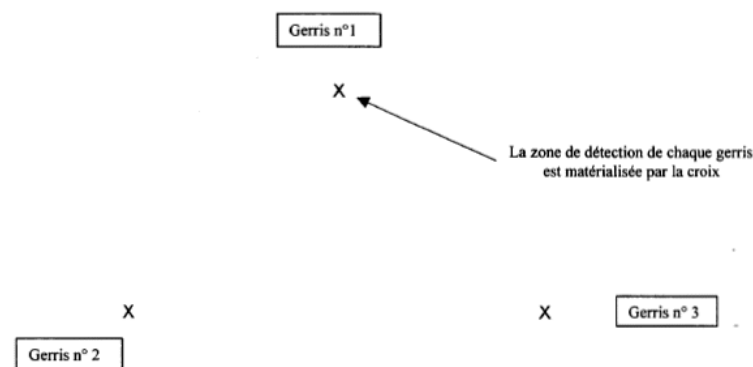
4. Un train d'ondes émis par le papillon arrive sur un obstacle constitué de deux galets émergeant de l'eau. Quel doit être l'ordre de grandeur de la distance entre les deux galets émergeant de l'eau pour que l'insecte placé comme l'indique la figure ci-dessous ait des chances de détecter le signal de détresse généré par le papillon ?

- Quel nom donne-t-on à ce phénomène propre aux ondes ?
- Compléter la figure en représentant l'allure de la forme de l'onde après le passage de l'obstacle.



5. Le papillon se débat à une distance  $d_1=6$  cm de l'insecte n°1. L'onde générée par le papillon a mis 1 s pour parvenir à l'insecte n°2. L'insecte n°3 détecte cette même onde avec un retard de 1,5 s sur l'insecte n°2.

- Déterminer la distance  $d_2$  entre le papillon et l'insecte n°2.
- Déterminer la distance  $d_3$  entre le papillon et l'insecte n°3.
- déterminer sur la figure ci-dessous la position du papillon à l'aide d'un compas.



## Chapitre II : ONDES MECANQUES PROGRESSIVES ET PERIODIQUES.

### EXERCICE 2.1 : ONDE LE LONG D'UNE CORDE (CORRIGE)

Un vibreur est le siège d'un mouvement vibratoire périodique de fréquence  $f = 100\text{Hz}$ . Les vibrations qu'il crée se propagent le long d'une corde élastique, à partir de son extrémité S, avec la célérité  $v = 8.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

- Calculer la longueur d'onde de l'onde se propageant le long de la corde.
- Comparer au mouvement de la source vibratoire le mouvement d'un point A situé à 32 cm de S et celui d'un point B placé à 40 cm de S.

### EXERCICE 2.2 : HAUT PARLEUR

Un son émis par un haut-parleur est analysé à l'aide d'un microphone relié à un oscilloscope. La durée de balayage est fixée sur 1ms/div. On observe une sinusoïde de motif 3,5 carreaux. La température de la salle d'expérience est de  $19^\circ\text{C}$ .

La vitesse de l'onde sonore est donnée par la relation :  $v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$  où  $\gamma = 1,4$  ;  $R = 8,32 \text{ S.I}$

T température en kelvin et M masse molaire de l'air en  $\text{kg mol}^{-1}$ .

- Sachant qu'une mole d'air a une masse de 29 g, calculer la vitesse de l'onde sonore.
- Un oscillogramme met – il en évidence la périodicité spatiale ou la périodicité temporelle de l'onde ?
- Calculer la période et la fréquence de cette onde.
- Calculer la longueur d'onde.
- Caractériser l'onde détectée.

### EXERCICE 2.3 : LE SONAR (BAC, CORRIGE)

Il est possible de mesurer la profondeur des océans à l'aide d'un système émetteur et récepteur d'ultrasons : le sonar.

Le sonar est disposé sous la coque d'un navire. Schématiquement, l'émetteur émet une onde ultrasonore de fréquence  $f = 40 \text{ kHz}$  verticalement vers le fond de l'océan. Le récepteur situé juste à côté de l'émetteur arrête l'émission de l'onde à la réception de l'onde réfléchi. Un compteur relié à l'émetteur permet de dénombrer le nombre  $n$  de périodes complètes émises.

- La profondeur de l'eau dans le port est  $h = 20.0\text{m}$ . On réalise une mesure. Le compteur indique  $n = 1100$ . Déterminer la célérité  $v$  des ultrasons.
  - Combien d'oscillations spatiales l'onde réalise-t-elle entre l'émetteur et le fond du port ?
  - La précision du compteur étant d'une oscillation, déterminer l'incertitude de la mesure de la profondeur.
- Le navire-sonar part en campagne pour faire des relevés de profondeur océanique.

- Une mesure obtenue est  $n = 330$ , quelle est la profondeur de l'océan à cet endroit ?

L'amplitude de l'onde ultrasonore diminue lors de la progression de l'onde ; après une distance parcourue  $L$ , l'onde a une amplitude :  $P = P_0 \cdot \exp(-\mu L)$  où  $\mu$  est le coefficient d'amortissement :  $\mu = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ . L'émetteur émet une onde d'amplitude initiale  $P_0 = 10,0 \text{ Pa}$ . Le récepteur est capable de détecter une onde d'amplitude supérieure à  $P_{\min} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$ .

- Déterminer l'amplitude de l'onde reçue lors de la mesure précédente.
- Quelle profondeur maximale le sonar peut-il mesurer ?

### EXERCICE 3.1 : QUESTIONS DE COURS :

- a) Définir les termes « lumière monochromatique » et « lumière polychromatique ».
- b) Définir l'indice d'un milieu transparent.
- c) Ecrire la relation donnant la vitesse  $v$  de la lumière dans un milieu transparent en fonction de la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$ , de la fréquence  $\nu$  de l'onde et de l'indice du milieu  $n$ .
- d) Représenter les figures de diffraction obtenue avec une lumière monochromatique, par : une fente verticale ; un trou.

### EXERCICE 3.2 : COULEURS ET FREQUENCE

Dans la lumière émise par une lampe à vapeur de mercure, on trouve quatre radiations lumineuses monochromatiques dont les longueurs d'onde dans le vide sont :

$\lambda_1=610\text{nm}$  ;  $\lambda_2=578\text{nm}$  ;  $\lambda_3=546\text{nm}$  ;  $\lambda_4=436\text{nm}$ .

- a) Quelles sont les couleurs de ces radiations ?
- b) Calculer la fréquence des ondes lumineuses correspondantes.

### EXERCICE 3.3 : LOIS DE DESCARTES

Un étroit pinceau de lumière blanche aborde la surface de séparation d'un dioptre plan air-verre sous une incidence de  $45^\circ$ .

- a) Rappeler les lois de Descartes relatives à la réfraction.
- b) Donner la définition d'un indice de réfraction.
- c) Définir un milieu transparent dispersif.
- d) L'indice de réfraction de ce verre est 1,612 pour une radiation rouge et 1,671 pour une radiation bleue. Pour ces radiations, l'indice de l'air est quasiment le même, égal à 1,0. Calculer : - Les angles de réfraction pour la radiation rouge, puis pour la radiation bleue.
- e) L'écart angulaire entre les deux rayons réfractés.

### EXERCICE 3.4 : DISPERSION DE LA LUMIERE PAR LE VERRE (BAC)

Un pinceau de lumière arrive sur la face d'un morceau de verre d'indice  $n$  avec un angle d'incidence  $i=50^\circ$  et ressort avec un angle réfracté  $r$ .

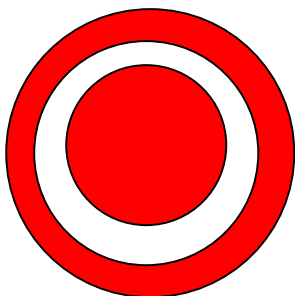
L'indice d'un milieu transparent varie en fonction de la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  d'une radiation selon la relation :  $n = a + b/\lambda_0^2$ , avec  $a$  et  $b$  deux constantes.

On rappelle la loi de Descartes pour la réfraction :  $\sin i = n \sin r$ .

- 1) La lumière utilisée est une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0=546,1\text{nm}$ .
  - a) Calculer la fréquence et la période de cette radiation.
  - b) Calculer la vitesse de la lumière dans ce milieu si, pour cette radiation, l'indice est  $n=1,480$ .
  - c) Déterminer la période, la fréquence et la longueur d'onde de cette radiation dans le verre.
- 2) On remplace maintenant la lumière monochromatique par une lumière blanche.
  - a) Rappeler les limites des longueurs d'onde dans le vide du spectre du visible.
  - b) Calculer l'indice du verre pour les longueurs d'onde extrêmes du visible sachant que pour  $\lambda_0=689,4\text{nm}$  on a  $n=1,452$ . **Indication** : Déterminer pour cela les constantes  $a$  et  $b$ .
  - c) En déduire l'angle réfracté  $r$  pour les radiations extrêmes et l'écart angulaire entre celles-ci. On prend  $i=50^\circ$ .

### EXERCICE 3.5 : DIFFRACTION PAR UN TROU (BAC, CORRIGE)

La figure de diffraction suivante a été obtenue en interposant un trou de diamètre  $a$  devant une lumière issue d'un laser monochromatique de longueur d'onde  $\lambda=615\text{ nm}$ . On pourra l'utiliser pour résoudre la question d.



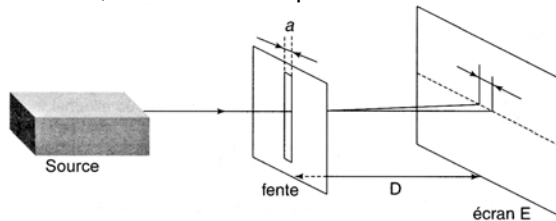
- a) Calculer la fréquence et la période de cette radiation dans le vide. Cette radiation est-elle visible ?
- b) Faire le schéma du montage qui permet d'obtenir cette figure sur un écran placé à une distance  $D$  de la fente.
- c) Définir et déterminer l'écart angulaire  $\theta$  entre le milieu de la frange centrale et le milieu de la première extinction. On nomme  $d$  la distance entre le milieu de la frange centrale et le milieu de la première extinction. Déterminer la relation reliant  $\theta$  avec  $d$  et  $D$ .
- d) Déterminer le diamètre  $a$  du trou (**Donnée** :  $D=1,20\text{m}$ ).

Echelle :  $1\text{cm}=0,5\text{cm}$

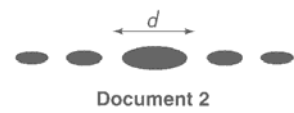
### EXERCICE 3.6 : DIAMETRE D'UN CHEVEU. BAC

#### 1. Observation d'un phénomène lié au laser

On utilise un laser produisant une lumière de longueur d'onde  $\lambda$  placé devant une fente de largeur  $a$  (voir schéma ci-dessous, document 1). On observe la figure suivante (document 2), constituée de tâches lumineuses, sur un écran E placé à la distance D de la fente.



Document 1



Document 2

- a. Quel est le nom du phénomène observé ?  
 b. La largeur de la tâche centrale  $d$  sur l'écran varie lorsque l'on fait varier la distance D entre la fente et l'écran, la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière, ou la largeur  $a$  de la fente.  
 $k$  étant une constante sans dimension, on propose les formules (1), (2), (3), (4) et (5) ci-dessous.

Par une analyse dimensionnelle, lesquelles peut-on éliminer ?

$$d = \frac{k\lambda D}{a} \quad (1); \quad d = \frac{k\lambda D}{a^2} \quad (2); \quad d = \frac{kaD}{\lambda} \quad (3); \quad d = \frac{k\lambda D^2}{a^2} \quad (4); \quad d = ka\lambda D \quad (5)$$

#### 2. Influence de la longueur d'onde $\lambda$ de la source

Trois expériences sont effectuées avec différentes sources monochromatiques, en conservant la même fente de largeur  $a$  et la même distance D à l'écran :

$\lambda$ (nm)	441 (violet)	543 (vert)	678 (rouge)
$d$ (mm)	26	32	40

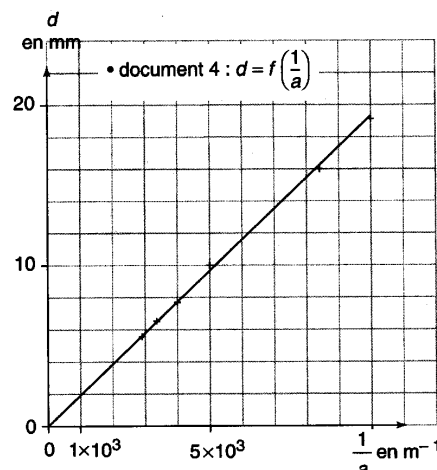
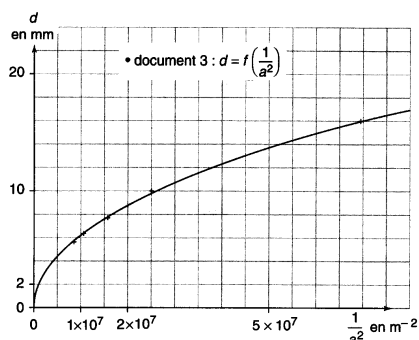
Sans aucun calcul, montrer que ces mesures permettent d'éliminer une autre formule.

#### 3. Influence de la largeur $a$ de la fente

Tous les autres paramètres restant inchangés pendant les mesures, on fait varier la largeur  $a$  de la fente et on mesure les valeurs de  $d$  correspondantes. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

$a$ ( $\mu\text{m}$ )	100	120	200	250	300	340
$d$ (mm)	19	16	10	7,5	6,5	5,5

Grâce à ces résultats, on obtient les courbes suivantes :



Préciser laquelle ou lesquelles des formules proposées à la question 1.b. sont encore possibles. Pourquoi ?

#### 4. Influence de la distance D entre la fente et l'écran

On fixe  $\lambda$  et  $a$  ; on déplace l'écran et on obtient les résultats suivants :

D (m)	1,70	1,50	1,20	1,00
$d$ (mm)	21	19	15	13

On trace la représentation graphique de  $d = f(D)$  ; les points étant quasiment alignés, on modélise par  $d = c.D$  (avec  $d$  et  $D$  en m) et l'on obtient  $c = 0,0126$  S.I.

a. Quelle est l'unité de  $c$  ?

b. En déduire la valeur de  $k$  (formule question 1.b.), sachant que c'est un entier, et que l'on a fait les mesures pour  $\lambda = 633$  nm et  $a = 100$   $\mu$ m.

### 5. Détermination d'une dimension

Dans le dispositif précédent (document 1), en remplaçant la fente de largeur  $a$  par un fil de diamètre  $a$ , à la même position, on obtient exactement la même figure sur l'écran (document 2).

Des élèves disposant d'un laser de longueur d'onde  $\lambda = 632,8$  nm décident de mettre en œuvre cette expérience pour mesurer le diamètre  $a$  d'un cheveu qu'ils ont placé sur un support. Ils obtiennent une tache centrale de largeur  $d = 28$  mm lorsque l'écran est à  $D = 1,85$  m du cheveu.

Calculer le diamètre du cheveu.

### 6. Détermination d'une longueur d'onde

Les mesures de la question 3 ont été faites pour  $D = 1,46$  m. En utilisant l'un des documents 3 ou 4, calculer la longueur d'onde  $\lambda$  de la source utilisée.

## Chapitre IV : LA RADIOACTIVITE.

### EXERCICE 4.1 : LE PHOSPHORE

La période du phosphore  $^{32}$ P est de 14,3 jours. Calculer sa constante de désintégration.

### EXERCICE 4.2 : BAC 2003. (CORRIGE)

Cet exercice comporte 10 AFFIRMATIONS indépendantes concernant les transformations radioactives. Toute réponse doit être accompagnée de justifications ou de commentaires. A chaque affirmation, vous répondrez donc par VRAI ou FAUX en justifiant votre choix à l'aide de définitions, de calculs, d'équations de réactions nucléaires, ...

À la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, Pierre et Marie Curie découvrent deux éléments chimiques ; le polonium puis le radium. Marie Curie obtient en 1903 le prix Nobel de physique et, en 1911, celui de chimie.

Le radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  se désintègre spontanément en émettant une particule  $\alpha$ . Le noyau fils est un isotope du radon (Rn). Le radon est un gaz dans les conditions ordinaires de température et de pression.

Le  $^{228}_{88}\text{Ra}$  est radioactif  $\beta^-$ .

1. AFFIRMATION : Le noyau de polonium noté  $^{208}_{84}\text{Po}$  est composé de 84 neutrons et 124 protons.

2. AFFIRMATION : La masse d'un noyau de radium est égale à la somme des masses de ses nucléons.

3. AFFIRMATION : L'équation de désintégration du radium est  $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^{222}_{86}\text{Rn}$

4. AFFIRMATION : Le radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  et le radon  $^{226}_{86}\text{Rn}$  sont isotopes.

5. AFFIRMATION : Puisque le radium  $^{228}\text{Ra}$  est radioactif  $\beta^-$ , son noyau fils est donc un noyau de francium.

6. La demi-vie du radon  $^{222}_{86}\text{Rn}$  est 3,8 jours.

AFFIRMATION : Au bout de 11,4 jours, le pourcentage de noyaux de radon  $^{222}_{86}\text{Rn}$  restant par rapport au nombre initial est de 12,5 %.

7. Le noyau de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  est obtenu à partir d'une suite de désintégrations radioactives  $\alpha$  et  $\beta^-$  du noyau d'uranium  $^{238}_{92}\text{U}$ .

AFFIRMATION : Au cours de ces désintégrations successives deux particules  $\alpha$  et trois électrons sont émis.

8. Un échantillon de « radium 226 » a une activité de  $6,0 \times 10^5$  Bq.

AFFIRMATION :  $2,0 \times 10^4$  noyaux de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  se sont désintégrés en une minute.

9. AFFIRMATION: L'énergie libérée par la réaction  $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^{222}_{86}\text{Rn}$  est égale à 8 MeV.

10. La teneur en radon  $^{222}\text{Rn}$  dans les gaz du sol a été déterminée en mesurant une activité de  $3,75 \times 10^3$  Bq par  $\text{m}^3$  de gaz prélevé. La constante radioactive  $\lambda$  du radon  $^{222}\text{Rn}$  est  $2,10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ .



**AFFIRMATION :** La quantité de matière en radon  $^{222}\text{Rn}$  dans  $1\text{ m}^3$  responsable de cette activité est d'environ  $3 \times 10^{-15}$  mol.

**Données :**

L'activité  $A$  d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations qu'il produit par seconde

soit  $A(t) = \frac{|\Delta N(t)|}{\Delta t}$ . A un instant de date  $t$ ,  $A$  est proportionnelle au nombre  $N(t)$  de noyaux radioactifs

contenus dans l'échantillon à cet instant et à la constante de radioactivité  $\lambda$  :  $A(t) = \lambda \times N(t)$ .

La particule  $\alpha$  est un noyau d'hélium noté  $^4_2\text{He}$ .

Célérité de la lumière dans le vide  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ,

$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ an} = 3,156 \times 10^7 \text{ s}$

Constante d'Avogadro  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

éléments	symbole	Numéro atomique Z
Radon	Rn	86
Francium	Fr	87
Radium	Ra	88
Actinium	Ac	89
Thorium	Th	90
protactinium	Pa	91

entités	masse en kg
Neutron	$1,674\ 927 \times 10^{-27}$
Proton	$1,672\ 621 \times 10^{-27}$
Noyau $^4_2\text{He}$	$6,644\ 65 \times 10^{-27}$
Noyau $^{226}\text{Ra}$	$3,752\ 438 \times 10^{-25}$
Noyau $^{222}\text{Rn}$	$3,685\ 904 \times 10^{-25}$

**EXERCICE 4.3 : DATATION AU CARBONE 14 (BAC, CORRIGE)**

Lorsque dans la haute atmosphère, un neutrino  $^0_0\nu$  provenant du soleil rencontre un noyau d'azote  $^{14}_7\text{N}$  stable, la réaction donne naissance à du carbone  $^{14}_6\text{C}$ , isotope radioactif du carbone  $^{12}_6\text{C}$ . Le carbone 14 se désintègre en émettant une particule  $\beta^-$ .

- a) Ecrire l'équation de la réaction de formation du carbone 14. Préciser la nature de la particule créée.
- b) Ecrire l'équation de désintégration du carbone 14.

Les végétaux absorbent du carbone en prélevant du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Le carbone assimilé est indifféremment du carbone stable  $^{12}_6\text{C}$  et du carbone radioactif  $^{14}_6\text{C}$ . Tant que le végétal est vivant, la proportion des deux isotopes dans le végétal est identique à celle de l'atmosphère. A sa mort, le carbone radioactif du végétal n'est plus renouvelé : la quantité d'atomes radioactifs diminue.

La demi-vie du carbone 14 est  $t_{1/2} = 5\ 570 \text{ ans}$ .

- c) Au bout de combien de temps, après la mort d'une plante, la quantité de carbone 14 qu'elle contenait lors de sa mort a-t-elle diminué de moitié ?
- d) On émet l'hypothèse que la proportion des deux isotopes n'a pas changé au cours de l'histoire. Afin de dater une tombe égyptienne, on mesure l'activité  $\beta^-$  d'un spécimen de bois trouvé sur place avec celle d'un spécimen analogue encore vivant. Le rapport vaut :  $r = 0,56$ .
- e) Déterminer l'âge de la tombe découverte.

## Chapitre V : NOYAUX, MASSE, ENERGIE.

**EXERCICE 5.1 : MASSE (CORRIGE)**

Calculer la masse d'hélium 4. On exprimera le résultat en  $\text{Mev}/c^2$ .

**Données :**  $E_1 = 7,1 \text{ Mev}/c^2$ , Masse proton :  $938,28 \text{ Mev}/c^2$ , Masse neutron :  $939,57 \text{ Mev}/c^2$

### EXERCICE 5.2 : RAYONNEMENT $\beta$

En 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie réalisèrent la première réaction de fusion. En bombardant des atomes d'aluminium 27 avec des noyaux d'hélium 4, ils obtinrent 1 isotope radioactif du phosphore et 1 neutron.

- Donner la composition des noyaux d'aluminium et d'hélium qui interviennent dans la réaction.
- Énoncer les lois de conservation que vérifie la réaction nucléaire.
- Écrire la réaction de fusion.
- Sachant que l'isotope obtenu est radioactif par rayonnement  $\beta$ , déterminer les deux radioéléments qui se forment.

### EXERCICE 5.3 : GEANTES ROUGES (CORRIGÉ)

Dans les géantes rouges, il se produit de nombreuses réactions nucléaires.

Considérons la réaction suivante :  ${}^13_6\text{C} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{16}_8\text{O} + {}^1_0\text{n}$

- De quel type de réaction s'agit-il ?
- Calculer les énergies de masse des atomes intervenant dans la réaction.
- En déduire l'énergie libérée par la réaction.

**Données :**  $E_f(\text{C})=7,6$  Mev/nucléon ;  $E_f(\text{O})=8,0$  Mev/nucléon ;  $E_f(\text{He})=7,1$  Mev/nucléon.

### EXERCICE 5.4: BAC 2003. MECANISME DE FUSION DE L'HYDROGENE DANS UNE ETOILE

On se propose de commenter un extrait d'article du dossier hors série de la revue « Pour la science » de janvier 2001 : « ...La phase de fusion ( ou combustion ) de l'hydrogène est la plus longue de la vie des étoiles. Si la masse stellaire est comparable ou inférieure à celle du Soleil, la température centrale est inférieure à une vingtaine de millions de degrés. Dans ces conditions, la fusion de deux noyaux d'hydrogène ( ou protons ) produit un noyau de Deutérium qui capture un autre proton et forme un noyau d'Hélium 3 ... Finalement, deux noyaux d'Hélium 3 fusionnent en un noyau d'Hélium 4 ...L'ensemble de ces réactions constitue la première des chaînes proton - proton ou chaîne p-p, la plus importante dans le cas du Soleil ...».

#### A - QUELQUES CONSIDERATIONS DE VOCABULAIRE

**A-1** Donner une définition rapide des mots « fusion nucléaire » et « fission nucléaire ».

**A-2** En considérant les charges des noyaux en cause dans le mécanisme de fusion, expliquer pourquoi ces réactions ne peuvent se produire qu'à très haute température (  $2,1 \cdot 10^7$  °C). On parle alors de fusion thermonucléaire...

#### B - ÉTUDE DE LA CHAÎNE DE REACTIONS

Notations utilisées pour les noyaux concernés :

Hydrogène (ou proton) :  ${}^1_1\text{H}$  (ou  ${}^1_1\text{p}$ )    Deutérium :  ${}^2_1\text{H}$     Hélium 3 :  ${}^3_2\text{He}$     Hélium 4 :  ${}^4_2\text{He}$

**B-1** Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hydrogène en un noyau de deutérium et une particule que l'on notera sous la forme  ${}^A_Z\text{X}$ . Comment s'appelle cette particule ?

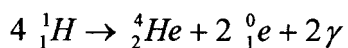
**B-2** Écrire la réaction de fusion d'un noyau de deutérium et d'un proton en un noyau d'hélium 3.

Cette fusion s'accompagne de l'émission d'un photon. Comment peut-on interpréter cette émission ?

**B-3** Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hélium 3 en un noyau d'hélium 4. Cette fusion s'accompagne de l'émission de deux autres noyaux identiques. Lesquels ?

**B-4** Écrire la réaction bilan des trois réactions de fusion précédentes, qui, à partir de noyaux d'hydrogène, permet d'obtenir un noyau d'hélium 4.

#### C - CONSIDERATIONS ENERGETIQUES. LE SOLEIL "MAIGRIT-IL" ?



On considère désormais la réaction suivante

On donne les masses des noyaux, en unité de masse atomique :

${}^1_1\text{H}$  : 1,0073 u     ${}^4_2\text{He}$  : 4,0026 u     ${}^0_1\text{e}$  : 0,0006 u

1 u correspond à une énergie de 935 MeV ( $\approx 1000$  MeV)

**C-1** Calculer la perte de masse correspondant à cette fusion.

**C-2** En déduire une estimation, en MeV, de la valeur de l'énergie libérée par nucléon lors de cette fusion.

On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :

0,6 MeV    6 MeV    60 MeV

**C-3** Le soleil transforme, chaque seconde, 720 millions de tonnes d'hydrogène en hélium 4.

Estimer la perte de masse subie, chaque seconde, par le soleil.

On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :

4 500 tonnes    45 000 tonnes    450 000 tonnes    4 500 000 tonnes

## EXERCICE 5.5 LA RADIOACTIVITE AU SERVICE DE L'ARCHEOLOGIE (BAC 2006, PARTIEL)

Isotope radioactif du carbone, le "carbone 14" noté  $^{14}\text{C}$  est formé continuellement dans la haute atmosphère. Il est très réactif et donne rapidement du "gaz carbonique" (dioxyde de carbone) qui, en quelques mois, se mélange avec l'ensemble du gaz carbonique de notre atmosphère. Il sera donc assimilé par les plantes au même titre que le gaz carbonique produit avec du carbone stable (les isotopes  $^{12}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$ ). On le retrouvera donc comme constituant de la matière organique des animaux herbivores et carnivores. [...]

Vers 1950, le chimiste américain W. Libby a démontré [...] que tous les êtres vivants sont caractérisés par le

même rapport du nombre de noyaux de  $^{14}\text{C}$  au nombre de noyaux de  $^{12}\text{C}$  :

$$\frac{N(^{14}\text{C})}{N(^{12}\text{C})}$$

En conséquence, un gramme de carbone pur extrait d'un être vivant présente une activité due au  $^{14}\text{C}$ , voisine de 13,6 désintégrations par minute, ce qui correspond à "un âge zéro". Dans un animal ou un végétal mort (tronc d'arbre, coquille fossile, os... trouvé dans une caverne), le  $^{14}\text{C}$  "assimilé" par l'animal ou la plante quand il était vivant, décroît exponentiellement en fonction du temps du fait de sa radioactivité à partir de l'instant de sa mort. La comparaison(1) de cette activité résiduelle aux 13,6 désintégrations par minute fournit directement l'âge de l'échantillon fossile [...]. Au bout de 40 millénaires, il reste moins de 1% du  $^{14}\text{C}$  que contenait initialement un échantillon fossile ; cette teneur résiduelle devient trop faible pour être déterminée avec précision.

J.C Duplessy et C. Laj  
D'après une publication du CEA  
Clefs CEA n°14 automne 1989

(1) : On suppose que la valeur 13,6 désintégrations par minute, pour un organisme vivant, est restée constante au cours des derniers millénaires.

### 1. Désintégration du "carbone 14"

On donne les numéros atomiques suivants :  $Z = 6$  pour le carbone (C) et  $Z = 7$  pour l'azote (N).

1.1. Pourquoi les noyaux de symboles  $^{12}_6\text{C}$  et  $^{13}_6\text{C}$  sont-ils appelés isotopes ?

1.2. Donner la composition du noyau de symbole  $^{14}_6\text{C}$ .

1.3. Le "carbone 14" se désintègre "en azote 14".

Ecrire l'équation de désintégration du "carbone 14" en supposant que le noyau fils n'est pas obtenu dans un état excité. S'agit-il d'une radioactivité  $\alpha$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  ?

2.2. On propose trois expressions mathématiques pour représenter l'évolution du nombre  $N$  de noyaux de "carbone 14" restant dans l'échantillon à la date  $t$ ,  $\lambda$  étant la constante radioactive relative à la désintégration étudiée ( $\lambda > 0$ ) :

- (a)  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$
- (b)  $N = N_0 - \lambda t$
- (c)  $N = N_0 \cdot e^{\lambda t}$

2.2.1. Dans chacune des trois expressions ci-dessus :

- Que vaut  $N$  à  $t = 0$  ?
  - Quelle est la limite de  $N$  quand  $t$  tend vers l'infini ?
- En déduire l'expression à retenir parmi les propositions (a), (b) et (c), en justifiant.

2.2.2. L'activité  $A = \frac{dN}{dt}$  à l'instant de date  $t$  est donnée par la relation  $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$ .  
Que représente  $A_0$  ?

2.2.3. En s'aidant du texte, donner pour un échantillon de 1,0 g de carbone pur, extrait d'un être vivant, la valeur de  $A_0$ .

### 3. Datation au "carbone 14"

Le temps de demi-vie de l'isotope  $^{14}_6\text{C}$  est  $t_{1/2} = 5,73 \times 10^5$  ans.

3.1. Qu'appelle-t-on temps de demi-vie  $t_{1/2}$  d'un échantillon radioactif ?

3.2. Montrer que  $\lambda \cdot t_{1/2} = \ln 2$  à partir des réponses données aux questions 2, 2.1. et 3.1.

3.3. Calculer la valeur de  $\lambda$  dans le cas du "carbone 14", en gardant  $t_{1/2}$  en années.

3.4. Plusieurs articles scientifiques parus en 2004 relatent les informations apportées par la découverte d'Otzi, un homme naturellement momifié par la glace et découvert, par des randonneurs, en septembre 1991 dans les Alpes italiennes.

Pour dater le corps momifié, on a mesuré l'activité d'un échantillon de la momie. On a trouvé une activité égale à 7,16 désintégrations par minute pour une masse équivalente à 1,0 g de carbone pur.

Donner l'expression littérale de la durée écoulée entre la mort d'Otzi et la mesure de l'activité de l'échantillon. Calculer cette durée.

## Chapitre VI : CONDENSATEUR – CIRCUIT (R,C)

### EXERCICE 6.1 : DECHARGE D'UN CONDENSATEUR

On décharge un condensateur dans un circuit de résistance  $R=47 \text{ k}\Omega$ . On note la tension  $u$  aux bornes du condensateur en fonction du temps. Les valeurs sont regroupées dans le tableau suivant :

t (s)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
u (V)	5,00	4,00	3,3	2,6	2,1	1,7	1,4	1,2	0,91	0,74	0,6	0,48	0,39

a) Représenter sur un graphique la courbe représentant  $u=f(t)$ .

Echelle : en ordonnées 1cm représente 0,5V et en abscisses 1cm représente 1,0 s.

b) La décharge est-elle terminée ?

c) Déterminer graphiquement la constante de temps  $\tau$ .

d) En déduire la valeur de la capacité  $C$  du condensateur

### EXERCICE 6.2 : EQUATION DIFFERENTIELLE DE CHARGE EN Q (CORRIGE)

Un condensateur de capacité  $C$ , initialement déchargé, est branché en série avec un générateur de f.e.m  $E$ , un interrupteur  $K$  et une résistance  $R$ .

a) Faire un schéma du circuit, l'interrupteur  $K$  étant ouvert. Indiquer les branchements nécessaires pour observer la tension aux bornes du générateur (voie A) et la tension aux bornes de la résistance (voie B) sur l'écran d'un oscilloscope à mémoire.

b) A l'instant  $t=0$ , on ferme l'interrupteur. En appliquant la loi d'additivité des tensions, établir l'équation différentielle vérifiée par  $q(t)$ .

c) On pose  $\tau=RC$ . Vérifier que  $q(t)=EC(1 - \exp(-\frac{t}{\tau}))$  est solution de l'équation différentielle.

d) En déduire l'équation de  $i(t)$ . Calculer  $i(0)$  et  $i(5\tau)$ .

e) Représenter l'écran de l'oscilloscope.

**Données :**  $E=5,0V$   $R=220.\Omega$  et  $C=100\mu F$

### EXERCICE 6.3 : LE FLASH ELECTRONIQUE. BAC 2003 (CORRIGE).

D'après une documentation (Certains renseignements et données sont nécessaires à la résolution du sujet) :

« Un flash électronique d'appareil photo est alimenté par deux piles de 1,5 volts. Un oscillateur basse tension transforme le courant continu en courant alternatif. Un petit transformateur dont le bobinage primaire constitue l'inductance de ce circuit oscillant élève la tension qui est ensuite redressée au moyen d'une diode. Cette tension redressée permet de charger un condensateur de capacité  $C = 150 \mu F \pm 10\%$  à une tension de  $U = 33 \text{ volts}$ . »

## 1) ETUDE DU FLASH.

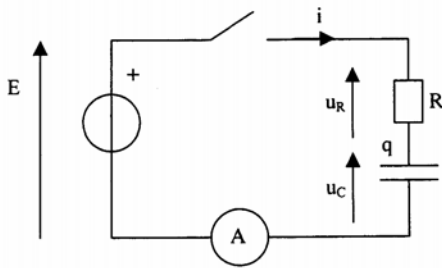
1.a) Donner l'expression de l'énergie électrique  $E_e$  stockée dans le condensateur de ce flash lorsqu'il est chargé. Calculer sa valeur numérique.

1.b) La décharge rapide dans la lampe à éclats provoque un éclair d'une durée d'environ une milliseconde. Quelle est la valeur numérique de la puissance électrique  $P_e$  consommée durant cet éclair?

1.c) Pour quelle raison doit-on élever la tension avant de l'appliquer, une fois redressée, aux bornes du condensateur ?

## 2) ETUDE EXPERIMENTALE DU CIRCUIT RC.

Pour vérifier la valeur de la capacité  $C$  de ce condensateur, un élève a réalisé le montage ci-contre. La résistance  $R$  a une grande valeur et le générateur de tension continue a pour force électromotrice  $E = 12$  V. A la date  $t = 0$ s, il ferme le circuit et note les intensités dans le circuit toutes les 10 secondes



t (s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
i (μA)	54,0	40,6	30,6	23,0	17,4	13,1	9,8	7,3	5,6	4,2

2.a) Sachant que le condensateur est déchargé à la date  $t = 0$ , déterminer la valeur de la résistance  $R$  utilisée dans ce montage.

2.b) Tracer sur une feuille de papier millimétré la courbe  $i = f(t)$  à partir du tableau de mesures ci-dessus. On prendra 2 cm pour 10 s en abscisse et 2 cm pour 10 μA en ordonnée.

2.c) L'intensité du courant électrique durant cette expérience décroît en fonction du temps selon la loi  $i(t)$

$= I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$  où  $\tau$  étant la constante de temps de ce circuit et  $I_0$  l'intensité à  $t = 0$  :  $I_0 = i(0)$ .

Quelle est la valeur numérique de l'intensité  $i(t)$  dans ce circuit lorsque  $t = \tau$  ?

Lire sur le graphe la valeur de  $\tau$  et en déduire la valeur de la capacité  $C$  de ce condensateur. Ce résultat vous semble-t-il conforme aux indications du fabricant ?

## EXERCICE 6.4 : CHARGE D'UN CONDENSATEUR A L'AIDE D'UNE PILE

### 1. Réalisation de la pile

On souhaite réaliser une pile au laboratoire. Pour cela, on dispose d'une lame de zinc et d'une lame de cuivre ainsi que d'un volume  $V_1 = 100$  mL d'une solution aqueuse de sulfate de zinc de concentration molaire en soluté apporté  $C_1 = 1,0$  mol.L<sup>-1</sup> et d'un volume  $V_2 = 100$  mL d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre de concentration molaire en soluté apporté  $C_2 = 1,0$  mol.L<sup>-1</sup> et d'un pont salin.

L'expérience est réalisée à la température de 25 °C. A cette température, la constante d'équilibre associée à l'équation :  $Cu_{(aq)}^{2+} + Zn_{(s)} = Zn_{(aq)}^{2+} + Cu_{(s)}$  est  $K = 4,6 \times 10^{36}$ .

La pile ainsi réalisée est placée dans un circuit électrique comportant une résistance et un interrupteur. On ferme ce circuit électrique à l'instant de date  $t_0 = 0$  s.

1.1. Faire un schéma légendé de cette pile. Compléter le schéma avec la résistance et l'interrupteur.

1.2. Déterminer le quotient de réaction  $Q_{r,i}$  du système ainsi constitué à l'instant de date  $t_0$ . En déduire le sens d'évolution spontanée du système.

1.3. Pour chaque électrode, écrire la demi-équation correspondant au couple qui intervient.

1.4. En déduire, en justifiant la réponse, à quel métal correspond le pôle + de la pile et à quel métal correspond le pôle -.

1.5. D'après la théorie, on considère que la pile s'arrête de fonctionner quand le réactif limitant, constitué soit par les ions  $Cu^{2+}$ , soit par les ions  $Zn^{2+}$ , a été complètement consommé.

En utilisant l'équation de la réaction se produisant à l'une des électrodes, calculer la quantité maximale d'électricité que pourrait théoriquement débiter cette pile.

On donne la constante d'Avogadro  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>, la charge électrique élémentaire  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C.

## 2. Charge d'un condensateur

On réalise un circuit électrique en montant en série la pile étudiée précédemment, un condensateur de capacité  $C = 330 \mu\text{F}$  et un interrupteur  $K$ . Le schéma est représenté ci-dessous :

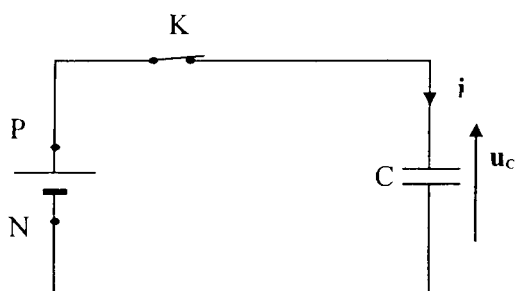


Schéma 1

Pour visualiser l'évolution de la tension  $u_c$  aux bornes du condensateur en fonction du temps, on utilise un dispositif d'acquisition comme un oscilloscope à mémoire ou un ordinateur avec une interface. A l'instant de date  $t_0 = 0 \text{ s}$ , on ferme l'interrupteur  $K$  et on obtient l'enregistrement  $u_c = f(t)$  présenté

Pour interpréter cette courbe, on modélise la pile par l'association en série d'une résistance  $r$  et d'un générateur idéal de tension de force électromotrice  $E$ .

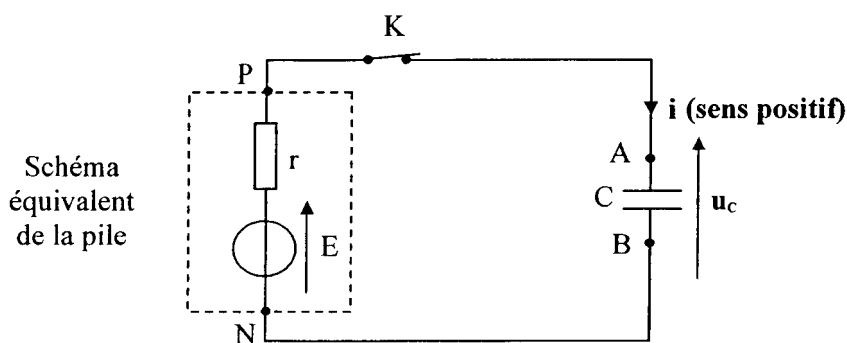


Schéma 2

2. 1 . À l'instant de date  $t_1 = 20 \text{ s}$ , on considère que le condensateur est chargé complètement.

Quelle est la valeur de l'intensité du courant qui circule alors dans le circuit ?

La force électromotrice  $E$  est la valeur de la tension aux bornes de la pile lorsqu'elle ne débite pas de courant. À partir de l'enregistrement  $u_c = f(t)$  donner la valeur de  $E$ .

2.2. Détermination de la résistance interne de la pile.

2.2. 1 . Donner l'expression littérale de la constante de temps  $\tau$ . Justifier que cette grandeur est de même dimension qu'une durée.

2.2.2. Déterminer graphiquement la valeur de  $\tau$ , par la méthode de votre choix.

2.2.3. En déduire la valeur de la résistance interne  $r$  de la pile.

2.3 . Expression de  $u_c(t)$

2.3.1. En respectant l'orientation du circuit indiquée sur le schéma 2, donner la relation entre l'intensité  $i$  du courant et la charge  $q$  portée par l'armature A.

2.3.2. Donner la relation entre la charge  $q$  et la tension  $u_c$  aux bornes du condensateur.

2.3.3. Montrer qu'à partir de l'instant de date  $t_0$  où l'on ferme l'interrupteur, la tension  $u_c$  vérifie

$$\text{l'équation différentielle suivante : } E = u_c + r \cdot C \cdot \frac{du_c}{dt} .$$

2.3.4. La solution générale de cette équation différentielle est de la forme :

$$u_c(t) = E (1 - e^{-\alpha \cdot t}) . \text{ En déduire l'expression littérale de } \alpha .$$



## Chapitre VII : BOBINE – CIRCUIT (R,L)

### EXERCICE 7.1 : ENERGIE EMMAGASINEE DANS UNE BOBINE

On réalise un circuit comprenant, placés en série, un générateur de tension constante  $U=4,5\text{ V}$ , une bobine d'inductance  $0,5\text{ H}$  et de résistance interne  $r=0,5\Omega$  et un conducteur ohmique de résistance  $45\Omega$ .

- Quelle est l'intensité du courant traversant le circuit quand le régime permanent est atteint.
- Quelle est l'énergie stockée dans la bobine.

### EXERCICE 7.2 : BOBINE SOUMISE A UN ECHELON DE TENSION (CORRIGE)

Une bobine d'inductance  $L=50\text{mH}$  et de résistance interne négligeable est branchée en série avec un générateur de tension de f.e.m  $E=12,0\text{ V}$ , un interrupteur et un conducteur ohmique de résistance  $R=270\Omega$ .

A  $t=0$ , on ferme l'interrupteur.

- Faire le schéma du circuit et indiquer les branchements nécessaires pour visualiser sur l'écran d'un oscilloscope à mémoire la tension aux bornes du générateur (voie A) et celle aux bornes de la bobine  $u(t)$  (voie B).
- Etablir l'équation différentielle que satisfait  $i(t)$ .
- Définir puis calculer la constante de temps  $\tau$  du dipôle(R,L).
- Vérifier que  $i(t)=\frac{E}{R}[1 - \exp(-\frac{t}{\tau})]$  est solution de l'équation différentielle.
- En déduire l'expression de  $u(t)$ .
- Représenter l'oscillogramme que l'on obtient.

### EXERCICE 7.3 : CIRCUIT RL : BAC 2003, PARTIEL

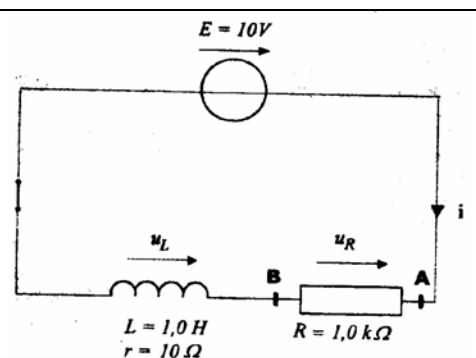
Le matériel disponible pour l'ensemble de cet exercice est le suivant :

- Une bobine d'inductance dont les indications du fabricant sont  $L=1,0\text{H}$  et  $r=10\Omega$
- Un condensateur dont l'indication du fabricant est  $C = 10\ \mu\text{F}$
- Un générateur de tension constante  $E = 10\text{ V}$
- Un conducteur ohmique de résistance  $R= 1,0\text{ k}\Omega$
- Un interrupteur simple et un commutateur bipolaire
- Des fils de connexion
- Un système d'acquisition informatisé

#### 1. ÉTUDE EXPERIMENTALE D'UN CIRCUIT RL

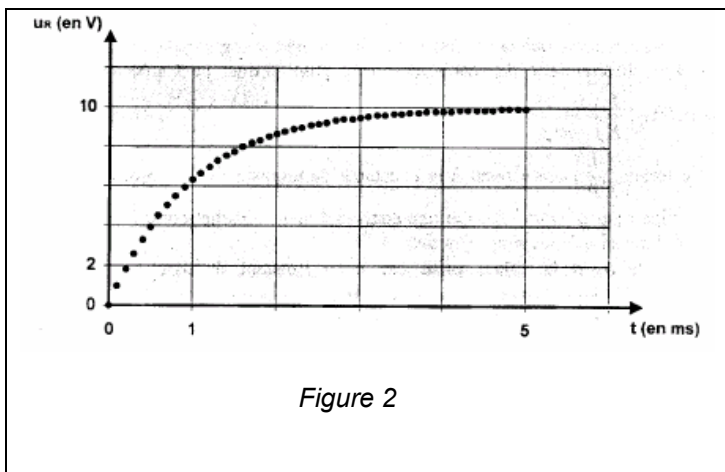
Le schéma du montage réalisé est représenté sur la figure 1 (le système d'acquisition est connecté mais non représenté sur la figure 1).

Une fois le paramétrage du système d'acquisition effectué, on ferme l'interrupteur à l'instant de date  $t_0 = 0\text{ s}$  et on enregistre l'évolution de la tension aux bornes du conducteur ohmique de résistance  $R$  en fonction du temps. On obtient l'enregistrement représenté sur la figure 2.



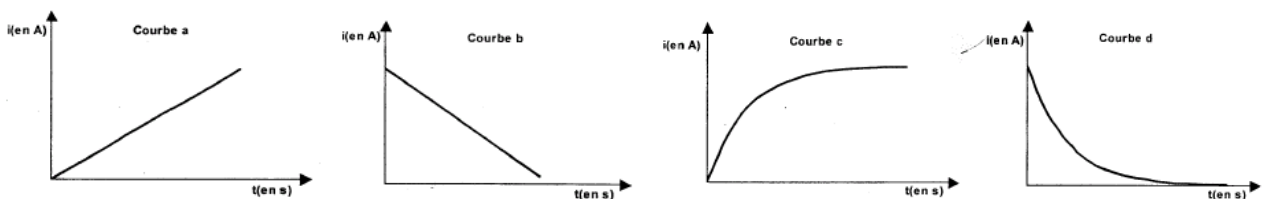
**1.1** L'adaptateur du système d'acquisition s'utilise comme un voltmètre. Il possède deux bornes : COM et V. Préciser à quels points du circuit il faut relier ces bornes pour obtenir la courbe de la figure 2.

**1.2** On donne différentes courbes susceptibles de représenter l'intensité du courant en fonction du temps. Choisir celle qui correspond à l'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps dans le circuit de la figure 1, après la fermeture de l'interrupteur. Justifier à partir de la courbe expérimentale donnée sur la figure 2.



1.1 L'adaptateur du système d'acquisition s'utilise comme un voltmètre. Il possède deux bornes : COM et V. Préciser à quels points du circuit il faut relier ces bornes pour obtenir la courbe de la figure 2.

1.2 On donne différentes courbes susceptibles de représenter l'intensité du courant en fonction du temps. Choisir celle qui correspond à l'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps dans le circuit de la figure 1, après la fermeture de l'interrupteur. Justifier à partir de la courbe expérimentale donnée sur la figure 2.



1.3 Quelle est l'influence de la bobine sur l'établissement du courant lors de la fermeture du circuit ?

## 2. MODELISATION ET EQUATION DIFFERENTIELLE.

2.1 Si l'on considère que la résistance  $r$  de la bobine est négligeable devant  $R$ , montrer que l'équation différentielle de ce circuit, interrupteur fermé, peut s'écrire sous la forme :

$$E = U_R(t) + \frac{L}{R} \frac{dU_R(t)}{dt}$$

2.2 Le terme  $\frac{L}{R}$  correspond à la constante de temps  $\tau$  de ce circuit (dans lequel on a négligé  $r$  par rapport à  $R$ ). Par une analyse dimensionnelle montrer que cette constante a la dimension d'un temps (ou durée).

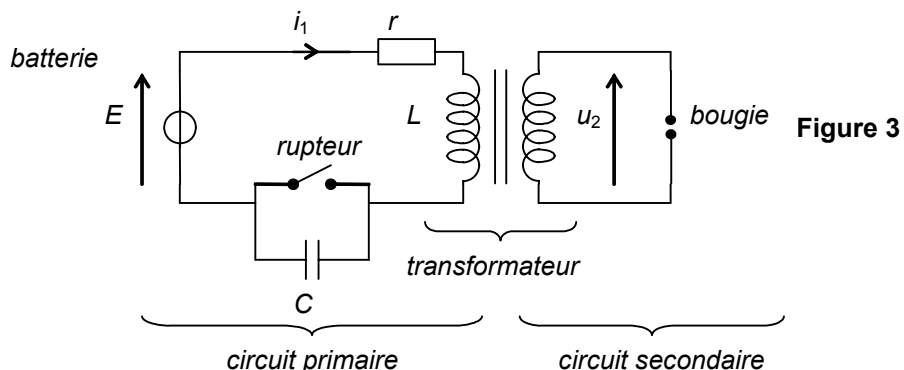
2.3 On note  $U_R(\tau)$  la valeur prise par  $U_R$  à l'instant de date  $t = \tau$ . Sachant que  $U_R(\tau) = 0,63 \cdot (U_R)_{\max}$ , avec  $(U_R)_{\max}$  valeur maximale atteinte par la tension  $U_R$ , déterminer à partir du graphe de la figure 2 la valeur de la constante de temps  $\tau$  de ce circuit.

2.4 En déduire la valeur de  $L$  et la comparer avec l'indication du fabricant.

## EXERCICE 7.4 SYSTEME D'ALLUMAGE CLASSIQUE DANS UN MOTEUR A ESSENCE

L'inflammation du mélange air-essence dans le moteur d'une voiture est provoquée par une étincelle qui jaillit entre les bornes d'une bougie d'allumage. Cette étincelle apparaît lorsque la valeur absolue de la tension aux bornes de la bougie est **supérieure à 10 000 volts**.

On peut modéliser le circuit électrique par le schéma figure 3 :



Avec :

$E = 12 \text{ V}$ , tension aux bornes de la batterie, considérée comme un générateur idéal de tension.

La bobine du circuit primaire est modélisée par une inductance pure  $L$  en série avec une résistance  $r = 6,0 \Omega$ .

Le rupteur est un interrupteur commandé par le mouvement mécanique du moteur.



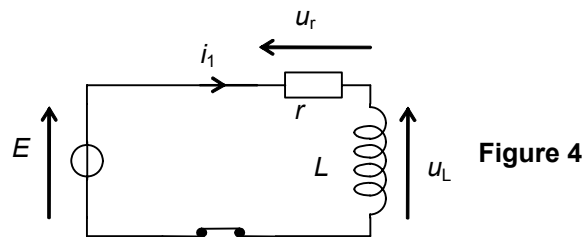
Le rôle du transformateur est d'obtenir une tension de sortie  $u_2$  aux bornes de la bougie très élevée. Les propriétés du transformateur sont telles que les grandeurs  $u_2$  et  $i_1$  sont liées par la relation :  $u_2 = \alpha \frac{di_1}{dt}$ , où  $i_1$  est l'intensité du courant dans le circuit primaire et  $\alpha$  une constante indépendante du temps, positive. Aucune autre connaissance concernant le fonctionnement du transformateur n'est nécessaire pour résoudre l'exercice.

L'objectif de l'exercice est de montrer que des étincelles se produisent aux bornes de la bougie lorsque le rupteur est ouvert.

## 1. Étude du circuit primaire sans condensateur.

### 1.1. Rupteur fermé

Le circuit primaire peut être alors modélisé selon le schéma figure 4 :



1.1.1. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par l'intensité  $i_1$  s'écrit :  $\frac{di_1}{dt} + \frac{r}{L}i_1 = \frac{E}{L}$

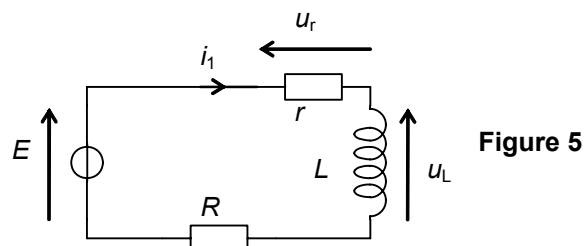
1.1.2. Que devient cette équation différentielle en régime permanent ?

1.1.3. En déduire la valeur de l'intensité  $I_1$  du courant dans le circuit primaire en régime permanent.

1.1.4. Peut-il y avoir une étincelle aux bornes de la bougie en régime permanent ? Justifier.

### 1.2. Rupteur ouvert

Lorsque le rupteur s'ouvre (à une date choisie pour origine des dates), il se produit une étincelle à ses bornes. L'air devient alors conducteur et le rupteur se comporte comme un conducteur ohmique de résistance de plusieurs mégohms. Le circuit primaire peut alors être modélisé selon le schéma figure 5 :



1.2.1. Quelle est l'effet de la bobine sur la rupture du courant ?

1.2.2. On donne l'expression temporelle de l'intensité  $i_1(t)$  pour  $t \geq 0$  :

$$i_1(t) = \frac{E}{R+r} + \left( I_1 - \frac{E}{R+r} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{avec } \tau = \frac{L}{R+r}$$

Les trois courbes ci-dessous, représentent des allures possibles de l'évolution de l'intensité  $i_1$  du courant en fonction du temps.

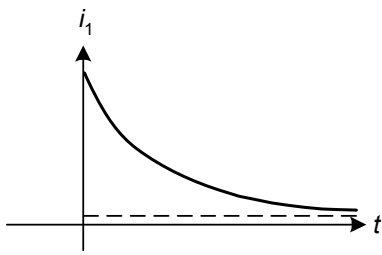


Figure 6.a

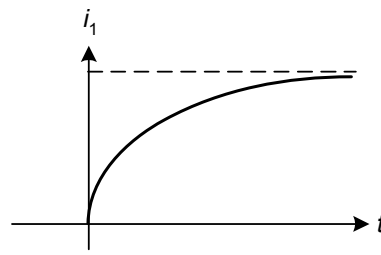


Figure 6.b

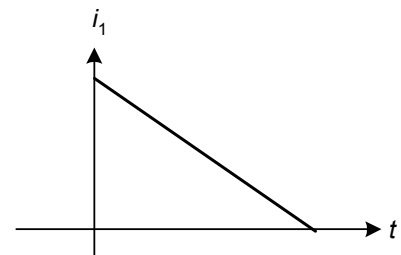


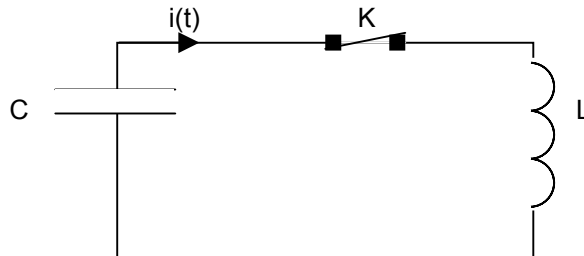
Figure 6.c

En justifiant, choisir la seule compatible avec l'expression de  $i_1(t)$ .

## Chapitre VIII : OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES

### EXERCICE 8.1 : QUESTIONS DE COURS

a) Etablir l'équation différentielle que vérifie la tension  $u$  aux bornes du condensateur, puis celle que vérifie la charge  $q$  dans le circuit donnée ci dessous.



b) Soit un circuit RLC dans lequel s'établissent des oscillations libres amorties.

- Donner l'expression de la pseudo-période des oscillations.
- Par une analyse dimensionnelle, vérifier que l'expression donnée est bien homogène à un temps.

### EXERCICE 8.2 : OSCILLATIONS AMORTIES (CORRIGE)

Un circuit  $(R,L,C)$  est constitué d'un condensateur de capacité  $C=22\mu F$  et d'une bobine d'inductance  $L=10mH$ , de résistance  $R=50\Omega$  montés en série. Le condensateur est chargé sous une tension  $E=15V$ .

a) Quelle est l'énergie emmagasinée par le circuit ?

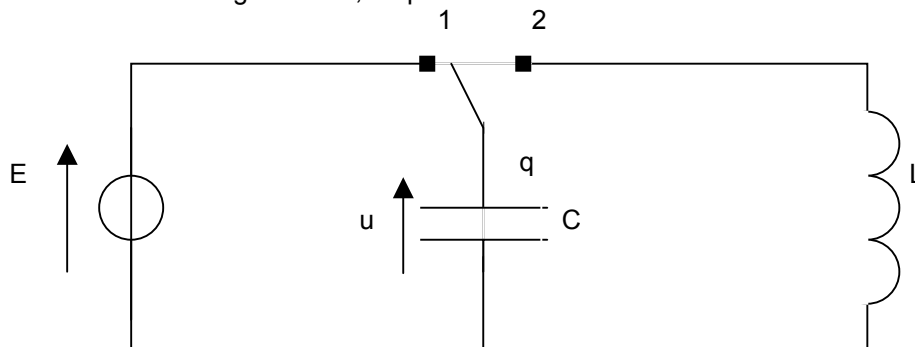
b) Calculer l'intensité maximale dans le circuit.

c) Exprimer puis calculer la période des oscillations dans le circuit.

d) Au bout de 10 oscillations, la tension maximale aux bornes du condensateur est  $U_{max} = 14 V$ . Calculer l'énergie dissipée par effet Joule au cours de ces dix oscillations.

### EXERCICE 8.3 : ETUDE ANALYTIQUE

On considère le montage suivant, on prendra  $E=10V$  et  $C=10mF$ .



a) L'interrupteur est en position 1. Quelle est la valeur de  $u$  en régime permanent ? En déduire la valeur de la charge  $q_0$  portée par l'armature du condensateur.

b) A  $t=0$ , on bascule l'interrupteur sur la position 2. Etablir l'équation différentielle que vérifie la charge  $q$  du condensateur ; en déduire celle que vérifie l'intensité  $i$ .

- c) Vérifier que  $i(t)=i_0 \cos(\omega_0 t + \phi)$  est solution de l'équation différentielle, avec  $\omega_0$  pulsation propre du circuit et  $\phi$  phase de l'origine des dates.
- d) Donner l'expression de l'énergie électromagnétique  $E_{em}$  du circuit oscillant.
- e) Vérifier que cette énergie est constante.

**EXERCICE 8.4 : BAC 2003**

On considère le circuit électrique comportant un générateur de tension continue de f.é.m  $E = 6 \text{ V}$ , un condensateur de capacité  $C$ , une bobine d'inductance  $L$  et de résistance négligeable, deux conducteurs ohmiques de résistance  $R$  et deux interrupteurs  $K$  et  $K'$  (voir figure 1). On utilise un dispositif informatisé d'acquisition de données qui permet de visualiser sur la voie 1 la tension  $u_1$  aux bornes du condensateur en fonction du temps.

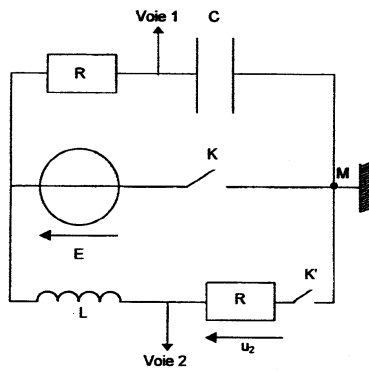


Figure 1

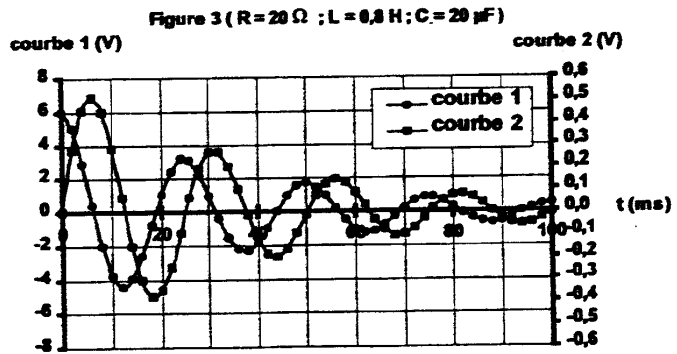


Figure 3

Dans une première expérience, on ferme  $K$  (en maintenant  $K'$  ouvert). Le dipôle  $(R,C)$  est alors soumis à un échelon de tension de valeur  $E$ . Une fois la première expérience réalisée, on ouvre  $K$  puis on ferme  $K'$ . Le circuit est alors le siège d'oscillations électriques. On utilise un dispositif informatisé d'acquisition de données pour visualiser, sur la voie 1, la tension  $u_1$  aux bornes du condensateur et sur la voie 2, la tension  $U_2$  aux bornes du conducteur ohmique  $R$ . L'acquisition est synchronisée avec la fermeture de l'interrupteur. On obtient les courbes de la figure 3.

**B.1.** Attribuer à chaque courbe de la figure 3 la tension correspondante en justifiant brièvement pour une courbe seulement.

**B.2.** Mesurer la pseudo-période  $T$  des oscillations. Calculer la période propre correspondant au cas où les résistances  $R$  sont négligeables. Conclure.

**B.3.** Influence des paramètres : on réalise à présent la deuxième expérience en modifiant un seul des paramètres  $L$  ou  $C$ . Deux cas sont proposés. Dans l'un, on a diminué la valeur de  $L$ , dans l'autre, on a augmenté la valeur de  $C$ . On obtient les figures 4 et 5.

Attribuer à chaque cas proposé la figure qui lui correspond. Justifier.

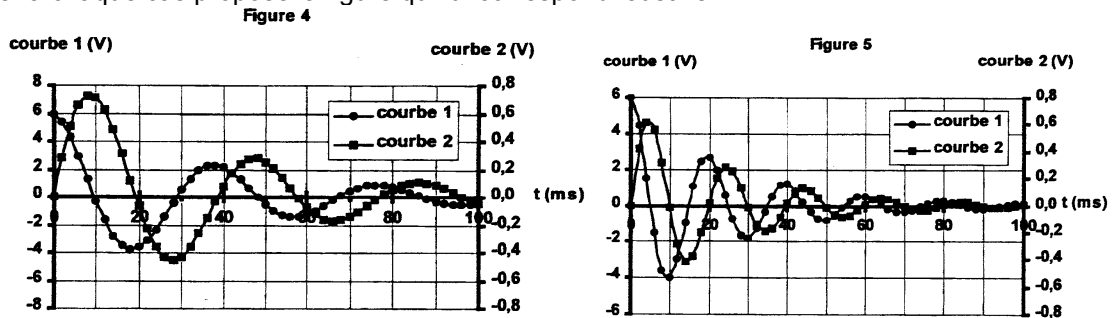


Figure 4

Figure 5

**EXERCICE 8.5 Étude du circuit primaire avec condensateur et rupteur ouvert. (suite de l'exercice 7.4)**

Pour que l'étincelle n'endommage pas le rupteur au moment de son ouverture, un condensateur est branché en dérivation aux bornes du rupteur. Lorsque le rupteur s'ouvre, le circuit primaire peut alors être modélisé selon le schéma de la figure 8 :

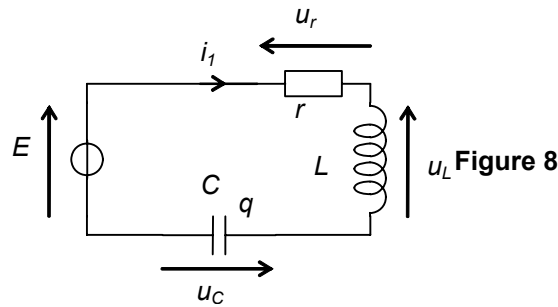


Figure 8

L'équation différentielle vérifiée par la charge  $q$  du condensateur est :  $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{r}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = \frac{E}{L}$  (1)

2.1. Cas où  $r = 0$

On considère le cas d'une bobine idéale. L'équation différentielle correspondante est alors  $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{LC} = \frac{E}{L}$

(2). On propose l'expression temporelle de la charge :  $q(t) = Q_0 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\gamma} t\right) + C \cdot E$ .

On prendra comme origine des dates, l'instant  $t = 0$  s pour lequel  $q(t = 0 \text{ s}) = Q_0 + C \cdot E$  avec  $Q_0 > 0$ .

2.1.1. Donner l'expression littérale de l'intensité  $i_1 = \frac{dq(t)}{dt}$ .

2.1.2. Donner l'expression littérale de  $\frac{d^2q(t)}{dt^2}$ .

2.1.3. En remplaçant dans l'équation (2)  $\frac{d^2q(t)}{dt^2}$  et  $q(t)$ , montrer que la fonction  $q(t)$  proposée est

une solution de l'équation différentielle (2) si et seulement si  $\gamma = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$ .

2.1.4. Que représente  $\gamma$  pour ce circuit ?

2.1.5. En utilisant la réponse à la question 2.1.2., montrer que  $u_2(t) = -A \cos\left(\frac{2\pi}{\gamma} t\right)$  où  $A$  est une constante positive.

2.1.6. Tracer l'allure de la variation de la tension  $u_2(t)$  en fonction du temps et qualifier le régime observé.

2.2. Cas où  $r \neq 0$

L'allure de la variation temporelle de la tension  $u_2(t)$  réellement observée est représentée sur la figure 9 ci-dessous :

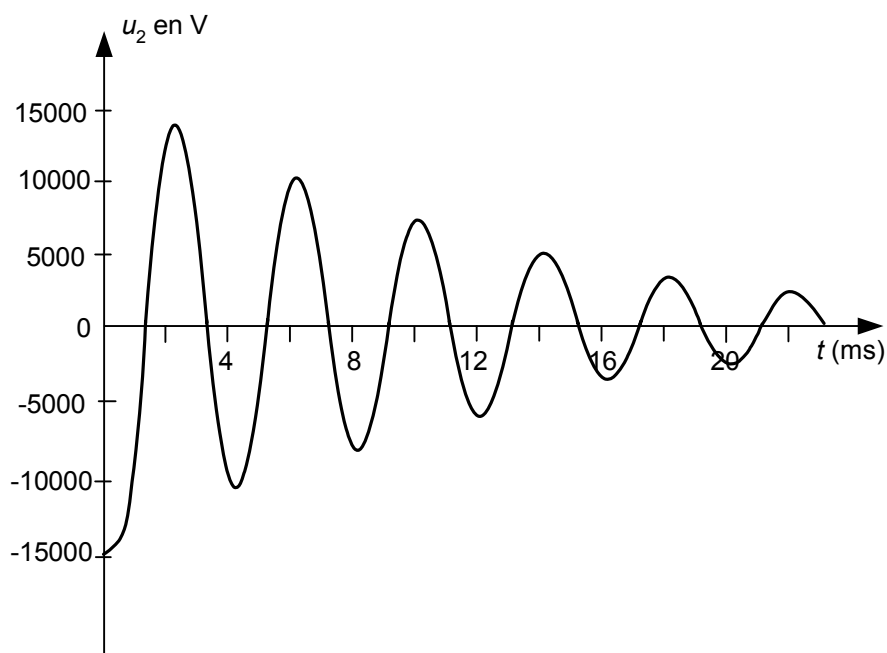


Figure 9

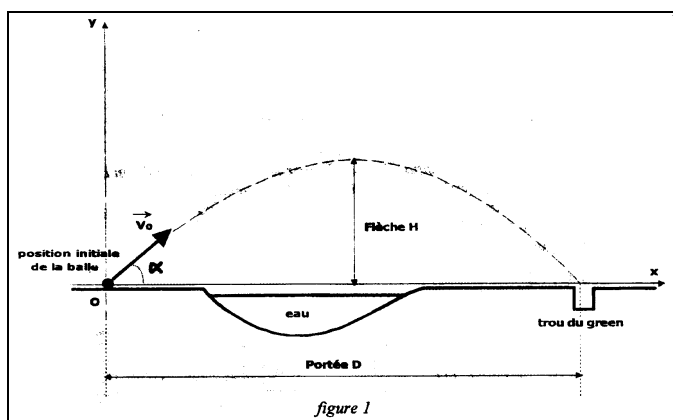
2.2.1. Qualifier le régime observé et expliquer pourquoi l'amplitude de la tension  $u_2(t)$  décroît au cours du temps.

2.2.2. Expliquer, grâce à la courbe précédente, pourquoi en présence du condensateur il y a un « train d'étincelles » aux bornes de la bougie plutôt qu'une étincelle unique.

## Chapitre IX : MECANIQUE DE NEWTON

### EXERCICE 9.1 : BAC 2003

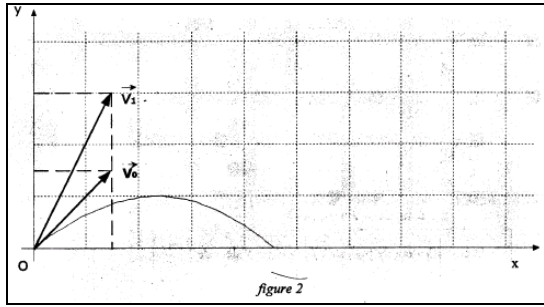
Pendant son entraînement, un golfeur cherche à envoyer directement la balle dans le trou se trouvant sur le green. Pour cela, il doit faire passer la balle au dessus d'un petit plan d'eau se trouvant entre lui et le green (voir figure 1). On néglige tout mouvement de rotation de la balle sur elle-même. Il fait varier séparément des caractéristiques du vecteur vitesse initiale de la balle. Dans cette étude la vitesse atteinte par la balle étant faible, on considère comme négligeables les frottements de l'air dans tout l'exercice.



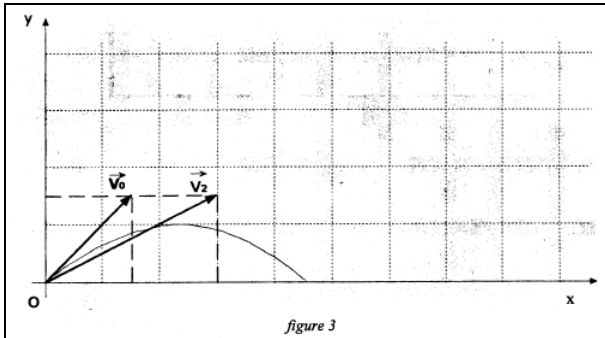
A l'aide de la deuxième loi de Newton, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, on peut établir les équations horaires du mouvement de la balle ainsi que l'équation de sa trajectoire dans le repère  $(O, x, y)$ . On appelle portée du lancer la distance  $D$  atteinte par la balle lorsqu'elle retombe sur le sol (sur le même plan horizontal que le point de départ) et flèche du lancer la hauteur maximale  $H$  atteinte par la balle pour une abscisse égale à  $\frac{D}{2}$  (voir figure 1). On peut montrer que leurs expressions respectives sont :

$$D = \frac{2 V_0^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{g} \quad \text{et} \quad H = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$$

1. Exprimer les coordonnées  $V_{0x}$  et  $V_{0y}$  vecteur vitesse initiale  $\vec{V}_0$  dans le repère  $(O, x, y)$ .
2. Exprimer la portée  $D$  et la flèche  $H$  en fonction de l'une ou des coordonnées du vecteur vitesse initiale  $\vec{V}_0$ .
3. Le golfeur réussit son coup pour un vecteur vitesse initiale  $\vec{V}_0$ .



Il rejoue maladroitement le coup avec une vitesse initiale égale à  $\vec{V}_1$  (voir figure 2). Exprimer les nouvelles valeurs  $D_1$  et  $H_1$  de la portée et de la flèche en fonction de  $D$  et  $H$ . Dessiner l'allure de la nouvelle trajectoire sur la figure 2.



4. Il rejoue le coup avec une vitesse initiale égale à  $\vec{V}_2$  (voir figure 3).

Exprimer les nouvelles valeurs  $D_2$  et  $H_2$  de la portée et de la flèche en fonction de  $D$  et  $H$ .

Dessiner l'allure de la nouvelle trajectoire sur la figure 3.

5. Il envoie la balle en conservant le même angle de tir mais en frappant plus fort.

Prévoir qualitativement (sans calcul) les conséquences sur la portée et la flèche de ce nouveau tir.

### EXERCICE 9.2 : MOUVEMENT D'UNE AUTOMOBILE (BAC, CORRIGE)

Une automobile, en panne de moteur, assimilable à un solide en translation, a une masse  $M = 1200 \text{ kg}$ . Elle est *poussée* par un véhicule de secours.

I- Le démarrage de l'automobile en panne sur une route rectiligne et horizontale commence par une phase d'accélération pendant laquelle le véhicule qui la pousse exerce une force constante  $\vec{F}$  parallèle au déplacement et dirigée vers l'avant.

Dans cette question, on admettra qu'aucune force ne s'oppose à l'avancement de l'automobile. On se propose d'étudier le mouvement du centre d'inertie  $G$  de l'automobile. À la date  $t = 0$ , instant du démarrage,  $G$  se trouve à l'origine de l'axe  $O$  avec une vitesse nulle (figure 1).

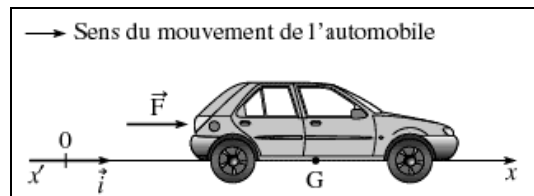


Figure 1

1. Effectuer le bilan des forces extérieures agissant sur l'automobile et les représenter appliquées en  $G$ .  
 2. L'automobile atteint la vitesse  $v = 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  après un parcours de  $600 \text{ m}$ . Les vecteurs accélération, vitesse et position peuvent respectivement s'écrire :  $\vec{a} = a_x \vec{i}$ ;  $\vec{v} = v_x \vec{i}$ ;  $\vec{OG} = x \vec{i}$

- Établir l'expression de  $a_x$ , en fonction des données du texte.
- En déduire les expressions de  $v_x$  et de  $x$  en fonction du temps.
- Établir, à partir de ces expressions, celle reliant  $v_x$ ,  $a_x$  et  $x$ .
- Calculer  $a_x$ .
- En déduire la valeur de  $\vec{F}$ .

II- Suite au parcours précédemment effectué à la suite duquel la voiture avait atteint la vitesse de  $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , celle-ci est libérée de l'action de poussée au point A. Elle arrive alors sur une portion de route schématisée figure 2 (le dessin n'est pas à l'échelle) :

- AB rectiligne parfaitement horizontale de longueur  $L_1$ .
- BC circulaire de centre O de rayon  $r = 100 \text{ m}$ . OC fait un angle  $\alpha = 15^\circ$  avec la verticale.
- CD rectiligne de longueur  $L_2$  faisant un angle  $\alpha = 15^\circ$  avec l'horizontale.

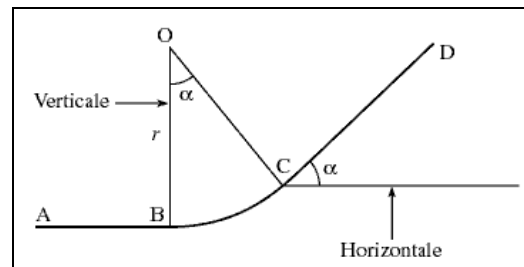


Figure 2

Dans toute cette partie, les frottements sont négligés, sauf sur la partie CD pour laquelle ils équivalent à une force  $\vec{f}$  de valeur constante.

- L'automobile arrive en B. Justifier, sans calculs, que  $v_B = 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .
- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au véhicule, sur le tronçon BC, établir l'expression de  $v_C$  en fonction de  $v_B$ ,  $r$ ,  $g$  et  $\alpha$ .
- Calculer numériquement  $v_C$ . On prendra  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- L'automobile s'arrête sur le tronçon CD après avoir parcouru une distance de 150 m. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, calculer la valeur de la force de frottements s'exerçant sur CD.

## Chapitre X : MOUVEMENTS DE CHUTE VERTICALE.

### EXERCICE 10.1 : DETERMINATION DE L'EQUATION HORAIRE D'UNE CHUTE LIBRE

Un pot de fleur de masse  $m$  tombe verticalement d'un balcon de hauteur  $h=20\text{m}$  sans vitesse initiale. On négligera les forces de frottement et  $g=10\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

- Déterminer le vecteur accélération du pot.
- En déduire la nature du mouvement.
- Calculer sa vitesse  $v(P)$  au bout d'une durée  $t=2,0\text{s}$ .
- Calculer la distance  $z(P)$  parcourue en  $t=2,0\text{s}$ .
- Où se trouve le pot à cet instant ?

### EXERCICE 10.2 : CALCULER UNE VITESSE

Une bille a été lâchée d'une hauteur  $h$  sans vitesse initiale. Calculer la vitesse de son centre d'inertie en fonction de  $g$  et  $h$  en déterminant son équation horaire.

### EXERCICE 10.3 : BAC 2003 (CORRIGE)

Michel Fournier, parachutiste français de 58 ans, a le projet de franchir le mur du son en chute « libre ». Il veut réaliser cet exploit en sautant d'un ballon à une altitude de 40 000 mètres au-dessus du Canada.

**Les trois parties sont indépendantes.**

#### PARTIE A : la montée en ballon

Le ballon qui doit permettre la montée dans la haute atmosphère est constitué d'une enveloppe à laquelle est attachée une nacelle pressurisée emportant le sauteur avec son équipement. Ce ballon est gonflé avec de l'hélium. Comparer la valeur du poids de l'ensemble {ballon + nacelle + sauteur} au niveau du sol à celle de la poussée d'Archimède qui s'exerce sur le ballon. Conclure.

#### Données :

Masse totale de l'ensemble {ballon + nacelle + sauteur} :  $m = 1,6 \times 10^3 \text{ kg}$

Volume total du ballon :  $V_b = 4,0 \times 10^3 \text{ m}^3$

Au sol : intensité de la pesanteur  $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$  masse volumique de l'air :  $\rho = 1234 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

#### PARTIE B : Chute libre dans la haute atmosphère (stratosphère)

- En utilisant le document ci-dessous, indiquer brièvement et sans faire de calcul la raison pour laquelle on peut faire l'hypothèse d'une chute libre pour cette première partie du saut.
- Dans cette première phase, on suppose la vitesse initiale nulle au moment du largage à l'altitude de 40 km. On considérera que l'accélération de la pesanteur vaut alors  $g = 9,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Lorsque la vitesse du son est atteinte ( $1087 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) :

- Calculer la durée de chute depuis le largage.
- Calculer la hauteur de chute et l'altitude atteinte.
- Comparer ces résultats avec les données du document. Conclure.

#### PARTIE C : Chute dans la basse atmosphère (troposphère)

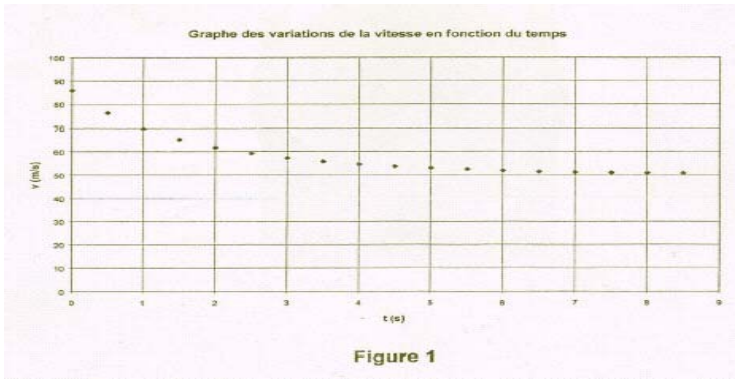
A partir de l'altitude de 10 km, le sauteur avec son équipement (masse totale 200 kg), pénètre dans les couches denses de l'atmosphère avec une vitesse initiale de  $309 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Dans cette zone, la valeur de l'accélération de la pesanteur est  $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

1. On admet que l'ensemble des forces exercées par l'air sur le sauteur peut se modéliser par une force de frottement dont la valeur  $f$  est reliée à la vitesse  $v$  par la relation :  $\mathbf{f} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{v}^2$ , où  $k = 0,78$  unités SI.

A partir d'une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité de la constante  $k$  dans le Système International.

2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse  $v(t)$ , au cours de la chute. On utilisera un axe vertical orienté vers le bas.





3. Pour déterminer l'évolution de la vitesse on utilise la méthode itérative d'Euler avec un pas de résolution  $\Delta t = 0,5$  s.

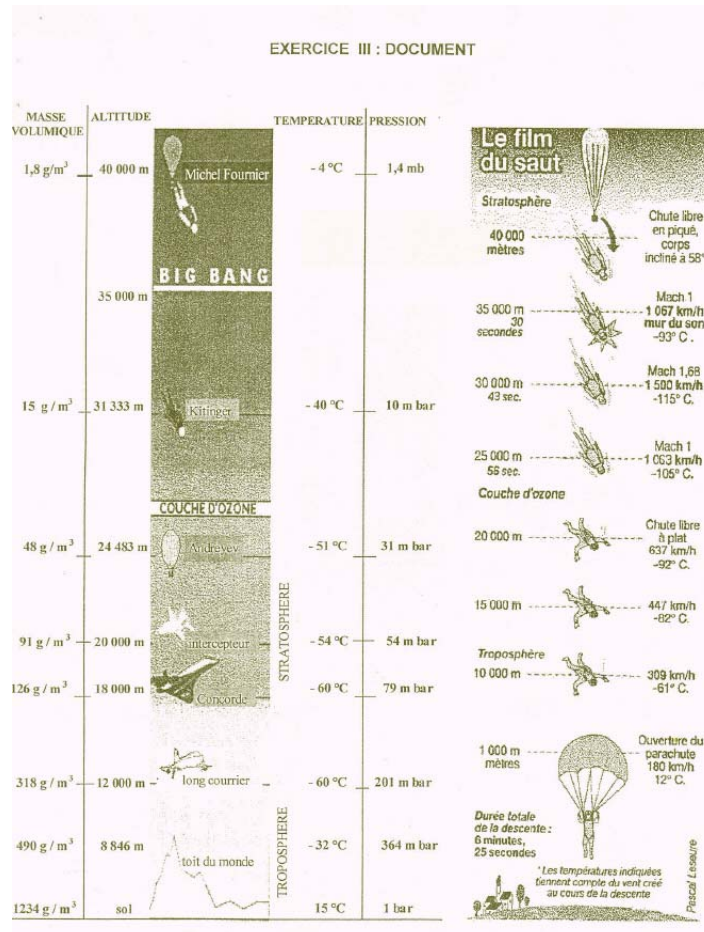
a) Soient  $v_n$  la vitesse à l'instant  $t_n$  et  $V_{n+1}$  la vitesse à l'instant  $t_{n+1} = t_n + \Delta t$ . Montrer que l'équation différentielle précédente peut se mettre sous la forme :

$$V_{n+1} = V_n + A - B \cdot v_n^2 \quad \text{où } A = 4,9 \text{ SI et } B = 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ SI.}$$

Préciser les unités des constantes A et B.

b) En utilisant le graphe (**figure 1**) représentant la vitesse  $v$  en fonction du temps  $t$  calculée avec la relation précédente, indiquer ;

- l'ordre de grandeur de la durée nécessaire pour atteindre la vitesse limite ;
- la valeur de cette vitesse exprimée en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Comparer cette valeur à la prévision indiquée sur le film du saut.



### EXERCICE 10.4 : MOUVEMENT DANS UN FLUIDE VISQUEUX (BAC, CORRIGE)

Les données numériques sont précisées à la fin de l'énoncé.

On se propose d'étudier la chute, sans vitesse initiale, d'une petite bille (rayon  $R$ , volume  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ ) d'acier (masse volumique  $\rho$ ), dans l'air et dans un liquide visqueux, la glycérine.

On admet que la bille donc le centre est animé d'un mouvement de vitesse  $\vec{u}$ , dans un fluide (liquide ou gaz) de masse volumique  $\rho'$ , est soumise à :

- Son poids  $\vec{P} = m \vec{g}$ , si  $m$  est la masse de la bille et  $\vec{g}$  l'accélération de la pesanteur ;



- La poussée d'Archimède :  $\vec{A} = -\rho'V \vec{g}$ ,

- La résistance au mouvement, force complexe qui, dans les conditions de l'expérience, est donnée par la formule de Stokes :  $\vec{F} = -6\pi\eta R \vec{u}$  ( $\eta$  étant la viscosité du fluide, grandeur caractéristique de celui-ci et indépendante de la vitesse  $\vec{u}$ ).

Le mouvement est observé dans une éprouvette en verre de forme parallélépipédique (section horizontale carrée, hauteur 30cm environ). La bille est lâchée sans vitesse initiale dans le fluide (air ou glycérine) en O, pris comme origine de l'axe z, vertical et orienté vers le bas, et descend d'un mouvement rectiligne.

### 1) Mouvement dans l'air.

a) On commence par négliger les forces autres que le poids de la bille. Utiliser le principe fondamental de la dynamique pour trouver les expressions de la vitesse instantanée  $u$  et de la coordonnée instantanée  $z$  du centre de la bille en fonction du temps.

b)  $z$  vaut au maximum 30 cm. Calculer numériquement la vitesse maximale de la bille et montrer que les forces autres que le poids peuvent effectivement être négligées.

### 2) Mouvement dans la glycérine.

a) On tient compte des forces  $\vec{P}$ ,  $\vec{A}$  et  $\vec{F}$ . Appliquer le principe fondamental de la dynamique à la bille pour trouver une équation liant  $u(t)$  à sa dérivée par rapport au temps (équation différentielle).

Montrer que cette équation peut se mettre sous la forme :

$$\frac{du}{dt} + \frac{u}{\tau} = C \quad \text{si on pose } \tau = \frac{2\rho R^2}{9\eta} \text{ et } C = g\left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right)$$

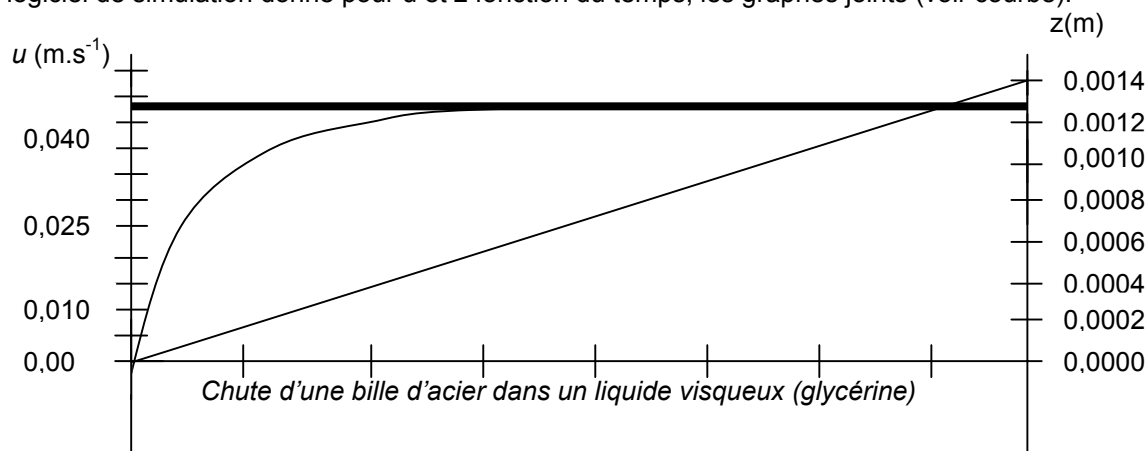
b) Quelle est l'unité qui permet d'exprimer la constante  $\tau$  ?

c) L'expérience est réalisée. Il est facile de s'apercevoir que le mouvement de la bille devient très rapidement (c'est à dire au bout d'une distance très faible) rectiligne et uniforme  $U_L$  qui est de l'ordre de quelques centimètres par seconde. Comment faire une vérification expérimentale de ces phénomènes et vérifier  $U_L$  ?

d) Vérifier que  $u(t)=U_L$  est solution de l'équation trouvée au a) à condition qu'il existe une relation entre  $U_L$ ,  $C$  et  $\tau$ .

e) Les mesures donnent  $U_L = 4,2\text{cm/s}$ . Quelle valeur de  $\eta$  peut-on déduire de cette mesure ?

f) Un logiciel de simulation donne pour  $u$  et  $z$  fonction du temps, les graphes joints (voir courbe).



Ceux-ci sont-ils conformes aux résultats expérimentaux ?

Comment vérifier sur le graphe de  $z(t)$  l'existence d'une vitesse limite de 4,2 cm/s ?

### Données :

- Rayon de la bille d'acier :  $R=1,5 \cdot 10^{-3}\text{m}$ .
- Masse volumique de l'air :  $\rho_0=1,3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .
- Volume de la bille  $V=\frac{4}{3}\pi R^3=1,4 \cdot 10^{-8}\text{m}^3$ .
- Masse volumique de la glycérine :  $\rho'=1260\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .
- Masse de la bille :  $m=\rho V=1,1 \cdot 10^{-4}\text{kg}$ .
- Viscosité de l'air :  $\eta=1,85 \cdot 10^{-5}\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- Accélération de la pesanteur :  $g=10\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ .
- Viscosité de la glycérine, environ  $\eta=1\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- Masse volumique de l'acier :  $\rho=7800\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

### EXERCICE 10.5 : BALLON SONDE. BAC 2004.

Un ballon sonde, en caoutchouc mince très élastique, est gonflé à l'hélium. Une nacelle attachée au ballon emporte du matériel scientifique afin d'étudier la composition de l'atmosphère. **En montant, le ballon grossit car la pression atmosphérique diminue.** Sa paroi élastique finit par éclater à une altitude généralement comprise entre 20 et 30 kilomètres. Après l'éclatement, un petit parachute s'ouvre pour ramener la nacelle et son matériel scientifique au sol. Il faut ensuite localiser la nacelle, puis la récupérer pour exploiter l'ensemble des expériences embarquées

## A) Mécanique du vol

L'objectif de cette partie est d'étudier la mécanique du vol du ballon sonde à faible altitude (sur les premières centaines de mètres). On peut alors considérer que l'accélération de la pesanteur  $g$ , le volume du ballon  $V_b$  et la masse volumique  $\rho$  de l'air restent constantes. On modélisera la valeur de la force de frottement de l'air sur le système étudié par l'expression :

$f = K \cdot \rho \cdot v^2$  où  $K$  est une constante pour les altitudes considérées et  $v$  la vitesse du centre d'inertie du système {ballon + nacelle}. On supposera qu'il n'y a pas de vent (le mouvement s'effectue dans la direction verticale) et que le volume de la nacelle est négligeable par rapport au volume du ballon. Le système {ballon + nacelle} est étudié dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen.

### 1. Condition de décollage du ballon.

- 1) Etablir le bilan des forces exercées sur le système {ballon + nacelle}, lorsque le ballon vient juste de décoller. Indiquer le sens et la direction de chaque force.
- 2) La poussée d'Archimède. Donner l'expression littérale de la valeur  $F_A$  de la poussée d'Archimède.
- 3) Soit  $M$  la masse du système. Appliquer au système la seconde loi de Newton (seule la relation vectorielle est demandée).
- 4) La vitesse initiale du ballon (juste après le décollage) étant considérée comme nulle, à quelle condition doit satisfaire le vecteur accélération pour que le ballon puisse s'élever ? En déduire une condition sur  $M$
- 5) En déduire la masse maximale de matériel scientifique que l'on peut embarquer dans la nacelle .

Données :  $\rho = 1,22 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;  $V_b = 9,0 \text{ m}^3$  ; Masse du ballon (enveloppe + hélium) :  $m = 2,10 \text{ kg}$  ; Masse de la nacelle vide :  $m' = 0,50 \text{ kg}$

### 2. Ascension du ballon.

1) A partir de la question 1-3) et en conservant l'axe défini à la question 1-4), montrer que l'équation différentielle régissant le mouvement du ballon peut se mettre sous la forme :  $Av^2 + B = dv/dt$  et donner les expressions de  $A$  et  $B$ . La masse de matériel embarqué étant de  $2,0 \text{ kg}$ , l'application numérique donne  $A = -0,53 \text{ m}^{-1}$  et  $B = 13,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

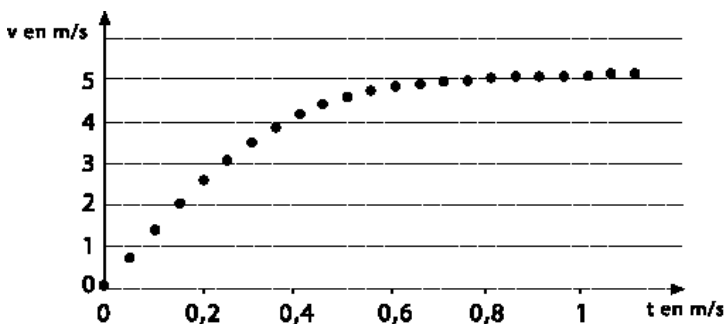
2) Une méthode de résolution numérique, la méthode d'Euler, permet de calculer de façon approchée la vitesse instantanée du ballon à différentes dates en utilisant la relation suivante :

$$v(t_{n+1}) = v(t_n) + \Delta v(t_n) \text{ avec } \Delta v(t_n) = a(t_n) \Delta t$$

$$t_{n+1} = t_n + \Delta t \text{ où } \Delta t \text{ est le pas de résolution.}$$

Par cette méthode on souhaite calculer la vitesse  $v_1$  à l'instant de date  $t_1 = 0,05 \text{ s}$  et la vitesse  $v_2$  à l'instant de date  $t_2 = 0,1 \text{ s}$ , la vitesse initiale du ballon étant nulle. On prendra  $\Delta t = 0,05 \text{ s}$ . En utilisant la méthode d'Euler, l'équation différentielle et les valeurs de  $A$  et  $B$ , recopier et compléter le tableau suivant :

Date $t$ (s)	Vitesse (m/s)	Accélération ( $\text{m/s}^2$ )	$\Delta v(t_n)$ (m./s)
$t_0=0$	0	13,6	
$t=0,05$			
$t=0,10$			



### 3. Vitesse limite du ballon

- 1) Donner l'expression littérale de la limite  $v_l$  du ballon en fonction de  $A$  et  $B$ .
- 2) Calculer cette vitesse limite.
- 3) La méthode d'Euler donne le graphique ci-contre. Comparer la vitesse limite calculée à la valeur lue sur le graphique (le calcul de l'écart relatif n'est pas demandé).

## Chapitre XI : MOUVEMENTS PLANS.

### EXERCICE 11.1 : GOLF SUR LA LUNE

Dans certaines conditions, on admet qu'un astronaute puisse frapper une balle de golf comme sur terre, malgré son équipement !

A partir du sol de la lune, une balle de golf est lancée dans un plan vertical avec une vitesse initiale de  $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . La valeur de l'angle aigu que fait la direction du vecteur vitesse avec le plan horizontal est  $\alpha = 35^\circ$ . On donne la valeur de la pesanteur sur la lune :  $g_L = 1,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . On suppose le sol lunaire horizontal.

- a) Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire de la balle. On précisera bien le repère dans lequel on travaille.
- b) Quelle est la portée maximale de ce lancé. A quelle hauteur maximale la balle monte-t-elle ?
- c) On effectue le même lancer sur la surface terrestre, dans les mêmes conditions initiales.

- En supposant négligeable la résistance de l'air, donner la valeur de portée de la flèche du lancer.
- En réalité, la balle tombe en un point P' situé à une distance de 221m du point de lancement. Est-ce compréhensible ? Pourquoi ?

### EXERCICE 11.2 : LE COUPLE « TERRE-LUNE » (BAC, CORRIGE)

#### Données :

Masse de la terre :  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ .

Masse de la lune :  $M_L = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ .

Masse du soleil :  $M_S = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ .

Distance moyenne terre-lune :  $d = 3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$ .

Distance moyenne terre-soleil :  $D = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$ .

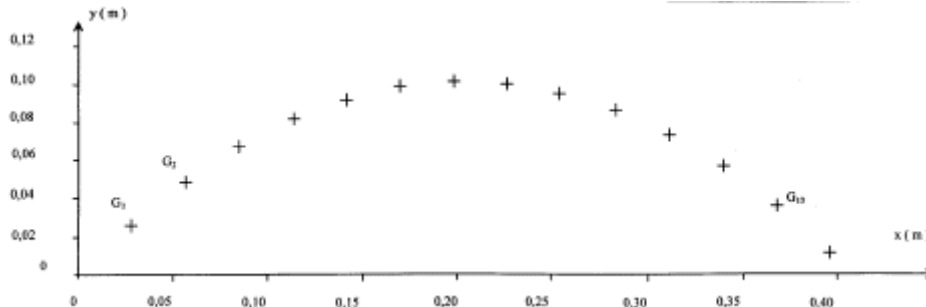
Constante de gravitation :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ .

Période de révolution propre (ou sidérale) de la terre :  $T_T = 23,9345 \text{ h}$ .

- 1) a) Énoncer les lois de Kepler.  
b) La vitesse d'une planète est-elle plus grande lorsque celle-ci est plus près ou plus loin du soleil ? Justifier la réponse.
- 2) a) Définir le mouvement circulaire uniforme.  
b) Donner les caractéristiques de son vecteur accélération.
- 3) a) Énoncer la loi de gravitation entre la Terre et la Lune. Écrire la relation vectorielle traduisant la force qui agit sur la Lune.  
b) Comparer les deux forces de gravitation s'exerçant sur la terre, dues à la Lune et au Soleil.
- 4) a) On suppose que le système « Terre-Lune » forme un système isolé du monde extérieur. Appliquer la deuxième loi de Newton à la Lune dont le mouvement est supposé être circulaire dans le référentiel géocentrique et montrer que la vitesse de la Lune dans le référentiel héliocentrique est alors constante.  
b) Retrouver la 3ème loi de Kepler pour la Lune en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre.
- 5) a) Qu'appelle-t-on satellite géostationnaire ? Quelle est alors sa période  $T'$  de révolution autour de la Terre ?  
b) À quelle distance du centre de la Terre doit-il être situé pour qu'il en soit en orbite géostationnaire ?

### EXERCICE 11.3 : LE SAUT DE LA GRENOUILLE. BAC 2004.

Pour atteindre un nénuphar situé à 40 cm une grenouille effectue un saut avec une vitesse initiale  $v_0 = 2 \text{ m/s}$ . Le vecteur vitesse initiale fait un angle  $\alpha_0$  de  $45^\circ$  par rapport à l'horizontal. On prend  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . On obtient l'enregistrement des positions successives du centre de gravité de la grenouille. Le document ci-dessous est à l'échelle  $\frac{1}{2}$ .



La première position  $G_0$  correspond à l'origine du repère O, à la date choisie comme origine des temps. La durée entre deux positions successives est  $\tau = 20 \text{ ms}$ .

1. Déterminer les valeurs  $v_9$  et  $v_{11}$  des vecteurs vitesse instantanée du centre d'inertie de la grenouille aux points  $G_9$  et  $G_{11}$ . Tracer ces deux vecteurs vitesses sur la figure (1cm pour  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ )
  - Construire le vecteur  $\Delta v$ , différence des vecteurs vitesses  $v_9$  et  $v_{11}$  avec pour origine le point  $G_{10}$ . Déterminer sa valeur à l'aide de l'échelle précédente.
  - En déduire la valeur  $a_{10}$  du vecteur accélération du centre d'inertie à l'instant  $t_{10}$ . le représenter sur la figure avec pour origine le point  $G_{10}$ .
2. Les actions mécaniques dues à l'air sont négligées. Utiliser la seconde loi de Newton pour déterminer les caractéristiques du vecteur accélération du centre d'inertie G de la grenouille au cours du saut.
  - Montrer que les équations horaires sont  $x(t) = v_0 \cos \alpha_0 t$  ;  $y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin \alpha_0 t$
  - En déduire l'équation de la trajectoire du centre d'inertie de la grenouille. Ce résultat est-il conforme à l'allure de la trajectoire expérimentale.
  - Quelles sont les caractéristiques du vecteur vitesse au sommet S de la trajectoire ? En déduire l'expression littérale de la date  $t_S$  à laquelle ce sommet S est atteint. Calculer la hauteur maximale atteinte par la grenouille.
  - La grenouille saute de nénuphar en nénuphar. Quelle doit être la valeur de la vitesse initiale pour que la grenouille puisse atteindre un nénuphar situé à 60 cm (l'angle  $\alpha_0$  est inchangé).

# Chapitre XII : SYSTEMES OSCILLANTS.

## EXERCICE 12.1 : QUESTIONS DE COURS

- Donner l'expression de la période propre d'un pendule simple.
- Donner les caractéristiques de la force de rappel exercée par un ressort.
- Donner l'expression de la période propre d'un système « solide-ressort ».
- Retrouver l'équation différentielle régissant le mouvement d'un pendule élastique horizontal (solide attaché à un ressort).

## EXERCICE 12.2 : ( CORRIGE )

On considère un pendule simple constitué d'une petite bille de masse  $m = 70 \text{ g}$  suspendue à un fil de longueur  $L = 3 \text{ m}$  et de masse négligeable. On l'écarte de sa position d'équilibre de  $5^\circ$  puis on le lâche.

- Calculer la période de l'oscillation. On suppose pour cela que les frottements sont faibles.
- Montrer que la période a la dimension d'un temps.

## EXERCICE 12.3 : BAC 2003.

Les valeurs numériques nécessaires à la résolution sont données à la fin de l'exercice.

Pour modéliser le ressort du système de suspension de voiture, un élève suggère d'utiliser un ressort de constante de raideur  $k$  (valeur indiquée par le fournisseur).

### A - ÉTUDE STATIQUE

Dans un premier temps, cet élève se propose de vérifier la valeur de la constante de raideur du ressort. Pour cela il mesure la longueur du ressort seul et trouve une longueur  $l_0$ . Il suspend ensuite une masse  $m$  au ressort, celui-ci a alors une longueur  $l$ .

**A-1** A partir de la mesure observée, calculer la valeur  $k'$  de la raideur.

**A-2** Quelle est l'erreur relative commise par rapport à la valeur de  $k$  indiquée par le fournisseur.

### B - ETUDE DYNAMIQUE

Cet élève utilise un système d'acquisition de données schématisé figure 1. Deux électrodes A et B, immobiles plongées dans la solution S, sont reliées aux bornes +5V et -5 V d'un générateur de tension (voir schéma ci-dessous). Une tige métallique  $t$ , recouverte d'un isolant sur toute sa longueur, est fixée à la masse  $m$ . Son extrémité E, légèrement dénudée de son isolant, suit donc exactement le mouvement de la masse  $m$ . La mesure de la tension entre le point E et la borne 0V du générateur permet de détecter la position de E (le dispositif de mesure n'est pas représenté sur le schéma). Ainsi, il est possible de connaître la position de la masse  $m$  au cours des oscillations.

Après réglage des paramètres du logiciel d'acquisition, l'élève écarte la masse  $m$  vers le bas, de  $1 \text{ cm}$ , et il laisse le système osciller librement. Le déclenchement de l'acquisition se fait par le passage à la position d'équilibre. La courbe obtenue est en **annexe figure a**.

**B-1** Indiquer comment mesurer la période d'oscillations de la masse  $m$  suspendue au ressort et donner la valeur de cette période.

**B-2** Cette valeur est-elle en accord avec la valeur théorique  $T = 2\pi$

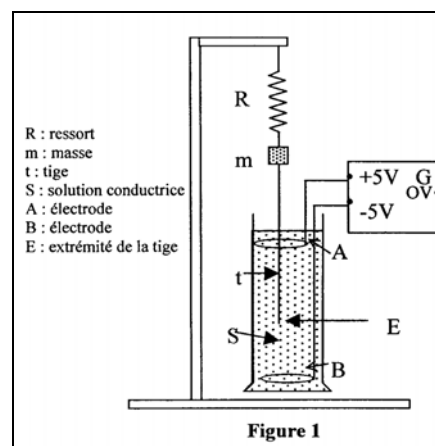
$$\sqrt{\frac{m}{k}} \text{ ?}$$

**B-3** Sachant que le newton a la dimension  $\text{kg.m.s}^{-2}$ , montrer que  $T$  s'exprime en secondes.

**B-4** On remplace la solution conductrice par une solution  $S'$  plus visqueuse. Dessiner sur la figure b de l'annexe (à remettre avec la copie) l'allure de la courbe obtenue après une nouvelle acquisition.

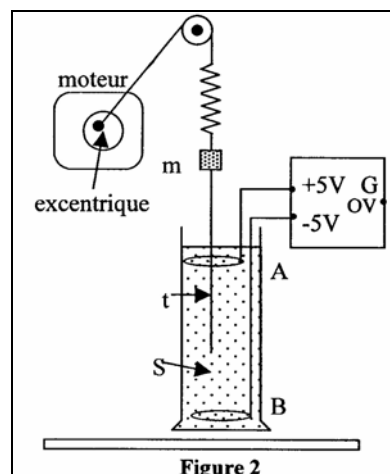
### C - ÉTUDE DES OSCILLATIONS FORCÉES

L'élève relie maintenant l'extrémité du ressort à un excentrique mu par un moteur (**figure 2**) et réalise plusieurs enregistrements pour différentes vitesses de rotation du moteur mesurées par la fréquence de rotation  $f$  en Hertz. Il relève l'amplitude de chaque courbe enregistrée.



f (Hz)	1,5	2	2,5	2,8	3,1	3,2	3,3	3,6	4	4,5
$X_{\max}$ (cm)	0,4	0,6	1	1,5	2,1	2,3	2	1,5	1	0,7

- C-1 Quel nom donne-t-on au moteur muni de l'excentrique ?
- C-2 Quel nom donne-t-on au système (ressort + masse) ?
- C-3 Quel phénomène obtient-on à  $f = 3,2$  Hz ?
- C-4 En déduire la période des oscillations à la résonance.
- C-5 Comparer cette période à celle des oscillations libres.
- C-6 Quel(s) changement(s) observerait-on si on utilisait la solution visqueuse S'.



### D - SUSPENSION D'UNE AUTOMOBILE

Le système de suspension d'une automobile comprend des ressorts et des amortisseurs. L'automobile est donc un système mécanique oscillant de fréquence propre  $f_0$ . Certaines pistes du désert ont un aspect de « tôle ondulée » : elles comportent une succession régulière de bosses, distantes de  $L$  (quelques dizaines de centimètres). Pour une vitesse  $V_R$ , le véhicule subit des oscillations de forte amplitude qui diminuent dangereusement sa tenue de route.

D-1 Expliquer ce phénomène, en précisant le rôle joué par la piste déformée.

D-2 Exprimer la vitesse  $V_R$  en fonction de  $f_0$  et  $L$ .

Calculer cette vitesse en  $\text{km.h}^{-1}$  avec  $f_0 = 5,0$  Hz et  $L = 80$  cm.

#### Données :

$$k = 40\text{N.m}^{-1}$$

$$l_0 = 10,0 \text{ cm}$$

$$g = 10\text{N.kg}^{-1}$$

$$m = 100 \text{ g}$$

$$l = 12,4 \text{ cm}$$

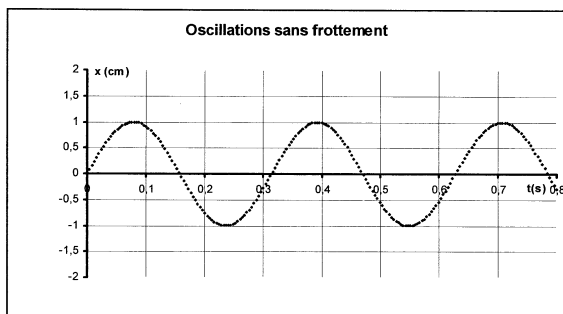


figure a

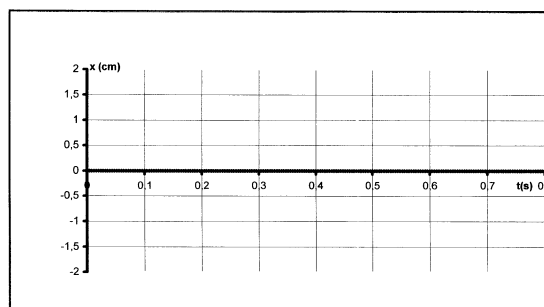


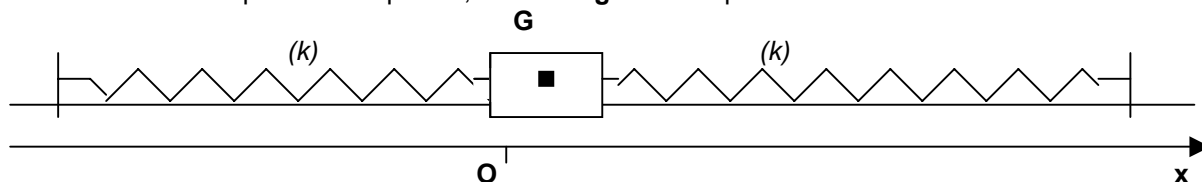
figure b

### EXERCICE 12.4 : OSCILLATEURS MECANQUES, OSCILLATEURS ELECTRIQUES (BAC)

Les deux parties de cet exercice sont **indépendantes**.

#### A. Modélisation à l'aide d'un pendule élastique.

Le bâti d'une machine, monté sur des supports élastiques, peut être simulé par un pendule horizontal, composé d'un solide S de masse  $m$ , reposant sur le sol et maintenu par deux ressorts identiques de raideur  $k$ . La position du centre d'inertie G de S est repéré au cours du temps par son abscisse  $x(t)$  sur un axe (Ox) horizontal. Les deux ressorts restent étirés au cours du mouvement. L'origine O de l'axe correspond à l'abscisse de G à la position d'équilibre, selon la **figure 1** ci-après.



1. Il est possible de démontrer que, si on néglige les frottements, l'équation différentielle qui régit le mouvement du solide S s'écrit :  $m \frac{d^2x}{dt^2} + 2kx = 0$  (équation (a))

Montrer que la fonction  $x(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$  ; où  $A$ ,  $\omega_0$  et  $\varphi$  sont des constantes, est solution de l'équation (a) pour une valeur particulière de  $\omega_0$  qu'on exprimera.

2. La masse du solide S est  $m=900\text{kg}$ , la constante de raideur de chaque ressort est  $k=2,25.10^4\text{N.m}^{-1}$ . En déduire la valeur numérique de la période  $T_0$  propre de cet oscillateur.
3. On appellera  $v_x(t)$  la coordonnée du vecteur vitesse du mouvement du solide S sur  $(Ox)$ . A l'instant  $t=0$ , un choc est donné au bâti de la machine (c'est à dire au solide S). Cela communique au solide une vitesse  $v_x(0)=1,5\text{m.s}^{-1}$ . On supposera qu'à cet instant  $t=0$ ,  $x(0)=0$ .  
Etablir les valeurs des constantes A et  $\varphi$ , ainsi que l'expression numérique de  $x(t)$ . Que représente la constante A ?

4. Tracer approximativement l'allure de la courbe représentative de  $x(t)$  (il est inutile de graduer les axes).

### B. Simulation par des analogies électromagnétiques.

Le dispositif mécanique modélisé par l'équation (a) peut être simulé par le circuit  $(L,C)$  représenté sur la figure 2 ci-dessous, où la bobine ne possède aucune résistance.

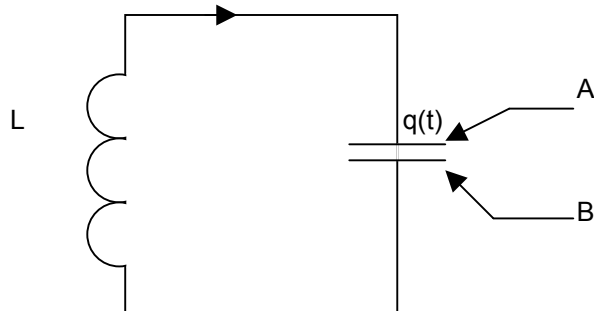


Figure 2.

1. Etablir l'équation différentielle que suit la charge  $q(t)$  portée par l'armature du condensateur (on l'appellera *équation b*).
2. En considérant que  $x(t)$  est l'analogie mécanique de  $q(t)$ , préciser en le justifiant, quel est l'analogie mécanique :
  - a) de l'inductance L de la bobine.
  - b) de la capacité C du condensateur.
  - c) de l'intensité  $i(t)$  du courant dans le circuit.
3. Donner l'expression de l'énergie  $E_1$  stockée dans la masse du dispositif mécanique évoqué dans la première partie et établir l'expression de son analogue pour le circuit  $(L,C)$ .
4. La résistance totale R du circuit précédent n'est jamais négligeable dans la réalité. Modifier en conséquence l'équation b en tenant compte de R.

## Chapitre XIII : ASPECTS ENERGETIQUES.

### EXERCICE 13.1 : CALCULER UNE VITESSE (MEME EXERCICE QUE 10.2 MAIS AUTRE METHODE)

Une bille a été lâchée d'une hauteur  $h$  sans vitesse initiale. Calculer la vitesse de son centre d'inertie en fonction de  $g$  et  $h$  en utilisant le théorème de l'énergie cinétique.

### EXERCICE 13.2 : VITESSE DE LIBERATION (CORRIGE)

L'énergie potentielle de gravitation d'un objet ponctuel (ou à symétrie sphérique), de masse  $m$ , dans le champ de gravitation d'un autre objet ponctuel, de masse  $M$ , a pour expression :

$$E_p = -G \frac{mM}{r},$$

avec  $r$  la distance entre les deux objets et  $G$  la constante de gravitation universelle.

Ici la référence des énergies potentielles est choisie nulle pour une distance  $r$  qui tend vers l'infini.

- 1) a) Comment varie  $E_p$  si la distance  $r$  augmente ?  
b) Est-ce cohérent avec l'énergie potentielle de pesanteur ?
- 2) En appliquant la loi de gravitation universelle à l'objet de masse  $m$  et en utilisant la base de Fresnet, déterminer :
  - a) La nature du mouvement de l'objet de masse  $m$  ;
  - b) Sa vitesse  $v$  en fonction de  $G$ ,  $M$  et  $r$ .
- 3) En déduire son énergie cinétique en fonction de  $G$ ,  $m$ ,  $M$  et  $r$ .
- 4) Comparer cette expression à  $E_p$  et relier  $E_c$  et  $E_p$ .
- 5) En déduire l'énergie mécanique  $E_M$  de l'objet de masse  $m$  en fonction :
  - a) de  $E_p$
  - b) de  $E_c$



6)a) A partir de la définition de l'énergie totale, déterminer une relation entre la vitesse  $v$  et la distance  $r$  si l'énergie mécanique d'un objet de masse  $m$  est nulle ( $E_M=0$  J).

b) Au niveau du sol terrestre, montrer que cette relation donne  $v^2=2g_0R_T$  avec  $g_0=9,81m.s^{-2}$  et  $R_T=6378$  km. L'objet de masse  $M$  est ici la terre de rayon  $R_T$  et l'objet de masse  $m$  n'importe quel objet d'étude placé sur la surface.

c) Cette vitesse représente physiquement la vitesse de libération, valeur que doit atteindre tout objet de masse  $m$  pour s'extraire de l'attraction terrestre, avec une énergie totale nulle.

Calculer cette vitesse notée  $v_L$  et commenter son ordre de grandeur.

## Chapitre XIV : FORMATION D'UNE IMAGE.

### EXERCICE 14.1 :

Une lentille convergente de distance focale 10 cm est placée à 15 cm d'un objet AB, perpendiculaire à l'axe optique. Le point A est situé sur l'axe optique et AB = 6 cm.

- 1) Effectuer le schéma du montage.
- 2) Construire l'image A'B' sur votre schéma.
- 3) Indiquer la nature, la position et la taille de l'image A'B'.

### EXERCICE 14.2 : \*\* ( CORRIGE)

On considère un banc d'optique sur lequel on dispose un objet AB de hauteur 6 cm à 8 cm d'une lentille convergente  $L_1$  de distance focale 5 cm et de centre optique  $O_1$ . Puis on place une lentille convergente  $L_2$ , de distance focale 1,5 cm et de centre optique  $O_2$ , derrière  $L_1$  à une distance de 10 cm.

En utilisant les formules de conjugaison, déterminer la position de l'image A'B' de AB à travers le dispositif optique ainsi que le grandissement du montage.

### EXERCICE 14.3 :

On considère un banc d'optique sur lequel on dispose une lentille mince convergente L de centre optique O. On place à 25 cm de O un objet lumineux AB = 2 cm. Sur un écran situé à un mètre de la lentille, on obtient une image nette A'B'.

- 1) En choisissant une échelle adaptée, construire graphiquement l'image A'B' et déterminer ainsi le grandissement du montage.
- 2) Calculer la distance focale de cette lentille. En déduire sa vergence.

### EXERCICE 14.4 :

On considère un banc d'optique sur lequel on dispose une lentille mince convergente L de centre optique O, de distance focale 5 cm et de diamètre d'ouverture 3 cm. On place à 10 cm de O un objet lumineux AB de hauteur  $h = 2$  cm.

- 1) Calculer la vergence de la lentille.
- 2) Faire un schéma à l'échelle et construire l'image A'B' de AB.
- 3) Déterminer graphiquement et algébriquement la nature, la position et la taille de l'image.
- 4) Tracer un faisceau lumineux issu de B qui s'appuie sur le contour de la lentille.

### EXERCICE 14.5 :

On considère un miroir sphérique convergent, de sommet S, de centre C, tel que CS = 3 cm. On place à 10 cm du miroir un objet AB, perpendiculairement à l'axe (CS).

Faire un schéma à l'échelle et construire l'image A'B' de AB. Déterminer graphiquement le grossissement transversal.

## Chapitre XV : LES INSTRUMENTS D'OPTIQUE

### EXERCICE 15.1:\*( CORRIGE)

Quel est le diamètre apparent de la lune à l'œil nu ?

**Données** : distance terre-lune :  $D = 380\ 000$  km. Rayon de la lune :  $R = 1700$  km.

### EXERCICE 15.2:\*

On considère un microscope utilisant un objectif de focale  $f_1 = 1$  cm et un oculaire de focale  $f_2 = 2$  cm. On observe un objet situé à 2 cm de l'objectif et de hauteur  $h = 1$  cm.

- 1) Construire l'image intermédiaire  $A_1B_1$  de l'objet par l'objectif.
- 2) A quelle distance de l'objectif faut-il placer l'oculaire pour avoir une image à l'infini ?
- 3) Construire l'image finale.
- 4) Construire graphiquement le cercle oculaire.

### EXERCICE 15.3 :

On fabrique une lunette astronomique modélisée par un objectif de focale  $f_1 = 0,50$  cm et un oculaire de focale  $f_2 = 2$  cm.

- 1) Faire un schéma du montage à réaliser et expliquer son fonctionnement.
- 2) Construire graphiquement le cercle oculaire.
- 3) Préciser la valeur du grossissement de la lunette.

### EXERCICE 15.4 :

On observe la lune avec une lunette astronomique possédant un grossissement  $G$  égale à 20. On suppose que le pouvoir séparateur de l'œil vaut  $1'$ . Quelle distance minimale doit séparer 2 objets sur la Lune pour que l'œil puisse les distinguer ? (*Données :  $D_{\text{terre-lune}} = 380\,000$  km.*)

### EXERCICE 15.5 : Bac 2003 : modélisation du principe du microscope

Au cours d'une séance de TP les élèves doivent modéliser un microscope en utilisant un banc d'optique. Pour cela, ils disposent d'un objet lumineux AB de hauteur 0,5 cm, d'un écran, mais aussi :

- une lentille mince convergente  $L_1$  de distance focale  $f_1 = 5$  cm pour l'objectif ;
- une lentille mince convergente  $L_2$  de distance focale  $f_2 = 20$  cm pour l'oculaire.

#### I - ETUDE DE L'OBJECTIF

La consigne reçue par les élèves est la suivante : "Placer l'objet lumineux à 6 cm devant la lentille  $L_1$  et observer l'image nette sur l'écran. Noter la position de l'image, sa taille et calculer le grandissement de l'objectif. "

- I.1. Faire un schéma représentant l'objet AB, la lentille  $L_1$ , les foyers de cette lentille et l'image  $A_1B_1$  donnée par  $L_1$ .
- I.2. En utilisant la relation de conjugaison et celle du grandissement, calculer la position et la taille de l'image ainsi que le grandissement  $\gamma_1$  de l'objectif.
- I.3. Après avoir réalisé l'expérience, un élève trouve une image  $A_1B_1$  de hauteur 2,7 cm et située à 31 cm derrière la lentille. Ces mesures sont-elles compatibles avec les valeurs calculées ? Commenter.
- I.4. Un élève, n'ayant pas respecté la consigne, a placé l'objet à 4 cm devant la lentille. Pourquoi ne peut-il pas obtenir d'image sur un écran ?

#### II - ETUDE DE L'OCULAIRE

$A_1B_1$  joue maintenant le rôle d'objet pour l'oculaire.

La consigne reçue par les élèves est la suivante : "Enlever l'écran et placer la lentille  $L_2$  de telle façon que l'image  $A_2B_2$  donnée par  $L_2$  soit à l'infini".

- II.1. Où doit-on placer la lentille  $L_2$  pour que la consigne soit respectée? Justifier.
- II.2. Faire un schéma représentant l'objet  $A_1B_1$ , la lentille  $L_2$ , ses foyers et l'image  $A_2B_2$  donnée par  $L_2$ .

#### III - GROSSISSEMENT DU MICROSCOPE

Dans cette partie, on pourra utiliser l'approximation  $\tan \alpha \approx \alpha$  dans laquelle l'angle est exprimé en radians.

- III.1. Calculer, en radians, la valeur de l'angle  $\alpha'$  sous lequel l'œil voit l'image  $A_2B_2$  dans cas où  $A_1B_1 = 2,5$  cm
- III.2. Calculer l'angle  $\alpha$  sous lequel l'objet est vu à l'œil nu, à une distance  $d = 25$  cm.
- III.3. En déduire la valeur du grossissement  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$  dans ces conditions.

III.4. Pour un microscope, le grossissement commercial est donné par la relation  $G_c = C_2 \cdot \gamma_1 \cdot d$   $C_2$  étant la vergence de l'oculaire.

Montrer que le grossissement  $G$  calculé à la question III.3 correspond au grossissement commercial.

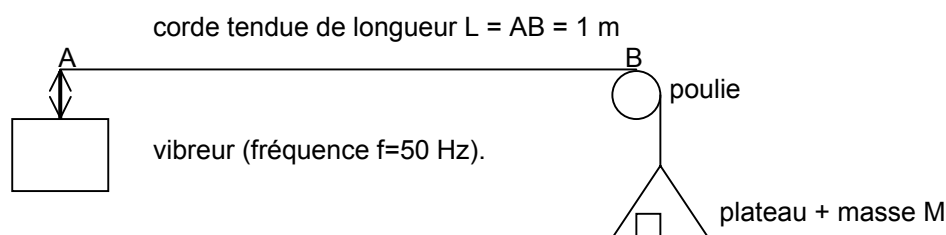
## Chapitre XVI : ONDE STATIONNAIRE. MODES PROPRES.

*Données : la vitesse de propagation  $v$  d'une onde le long d'une corde de masse linéique  $\mu$  et de tension  $T$*

*est donnée par la relation :  $v = \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{\mu}}$*

### EXERCICE 16.1 : (CORRIGÉ)

Une corde métallique de longueur  $L=1$  m est attachée à ses deux extrémités. A l'une de ses extrémités, un vibreur provoque une onde sinusoïdale de fréquence  $f = 50$  Hz.





On règle la tension  $T = Mg$  de la corde à l'aide d'une masse  $M$ . Pour certaines valeurs de  $M$ , on observe sur la longueur de la corde un ou plusieurs fuseaux stables.

- 1) Comment nomme-t-on le système d'ondes qui s'établit sur la corde ?
- 2) Pour une masse de 200 g, on observe 2 fuseaux sur la longueur de la corde. En déduire la célérité  $v$  des ondes sur la corde.
- 3) Déterminer la valeur de  $\mu$ . On prendra  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ .
- 4) Quelle valeur  $M'$  faut-il prendre pour observer 4 fuseaux ?

**EXERCICE 16.2 :**

On reprend l'exercice 1. Les relations énoncées ci-dessus sont toujours vraies. On a à nouveau notre masse  $M=200\text{g}$ . On remplace à présent notre fil par un câble d'acier de même longueur  $L$  mais de masse linéique différente  $\mu' = 23.10^{-3} \text{ kg.m}^{-1}$ .

- 1) Calculer la célérité des ondes.
- 2) En déduire la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde observée.
- 3) Observe-t-on un système d'ondes stationnaires ? Justifier votre réponse.

**EXERCICE 16.3 :**

La longueur  $L$  des 4 cordes d'un violon est de 32,5 cm. On associe à chacune d'elles les notes suivantes, de la plus grave à la plus aiguë : sol<sub>2</sub>, ré<sub>3</sub>, la<sub>3</sub>, mi<sub>4</sub>.

Les fréquences respectives de leur mode fondamental sont  $f_1=196,0 \text{ Hz}$ ,  $f_2=293,7 \text{ Hz}$ ,  $f_3=440 \text{ Hz}$ ,  $f_4=659,3 \text{ Hz}$ .

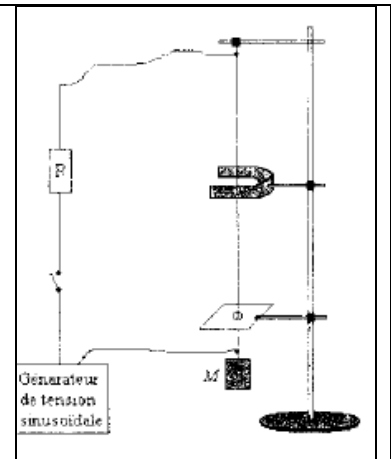
- 1) Calculer la valeur de la célérité des ondes pour chacune des 4 cordes.
- 2) On suppose que la tension  $T=30 \text{ N}$  est la même pour toutes les cordes. Déterminer la valeur de la masse linéique  $\mu$  pour chaque corde.
- 3) La corde émettant le mode fondamental de fréquence  $f_3$  est en acier de masse volumique  $\rho=7,86.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ . Calculer son diamètre.

**EXERCICE 16.4 : BAC 2004.**

Une corde métallique verticale de longueur  $L= 1 \text{ m}$  est attachée à son extrémité supérieure à un support fixe. Son extrémité inférieure est quasiment immobilisée par une plaque percée d'un petit trou dans lequel passe la corde. La corde est tendue par une masse  $M$  accrochée à son extrémité inférieure. Elle est parcourue par un courant électrique sinusoïdal de fréquence 50 Hz.

On dispose un aimant en U à cheval sur le fil, au voisinage du milieu de la corde.

Pour certaines valeurs de  $M$  la corde prend un aspect particulier : on y observe un système d'un ou plusieurs fuseaux stables de même longueur.  $g=10 \text{ m.s}^{-2}$ . La célérité d'une onde se propageant sur une corde tendue est  $v = (T/\mu)^{1/2}$ .



1. Comment nomme-t-on le système d'ondes qui s'établit sur la corde ?
2. Pour  $M= 2\text{kg}$ , la corde vibre fortement en un seul fuseau.
  - a) Quelle est alors la longueur d'onde  $\lambda$  des ondes progressives se propageant le long de la corde ?
  - b) calculer la célérité  $v$  de ces ondes
  - c) En déduire la masse  $m$  de la corde.
3. La position de l'aimant et la fréquence du courant restent inchangées, on souhaite observer plusieurs fuseaux.
  - a) Faut-il pour cela augmenter ou diminuer la valeur de  $M$  ? Justifier.
  - b) Le nombre de fuseaux étant impair, quel est l'état vibratoire du point situé au milieu de la corde ? Quel nom donne-t-on à ce point ?
4. La masse marquée suspendue à la corde est divisée par 4 :
  - a) Calculer la nouvelle célérité des ondes sur la corde.
  - b) En déduire leur longueur d'onde.
  - c) Combien de fuseaux observe-t-on dans ce cas ?
  - d) Comment placer l'aimant pour observer les fuseaux de manière bien visible ?

# Chapitre XVII : ACOUSTIQUE MUSICALE.

## EXERCICE 17.1 : (CORRIGE)

Le seuil de douleur pour l'homme est de 120 dB. Le niveau sonore produit par un klaxon d'une automobile est de 70 dB.

- 1) Combien faut-il de klaxons pour atteindre le seuil de douleur ?
- 2) Calculer l'intensité sonore émise par un klaxon.

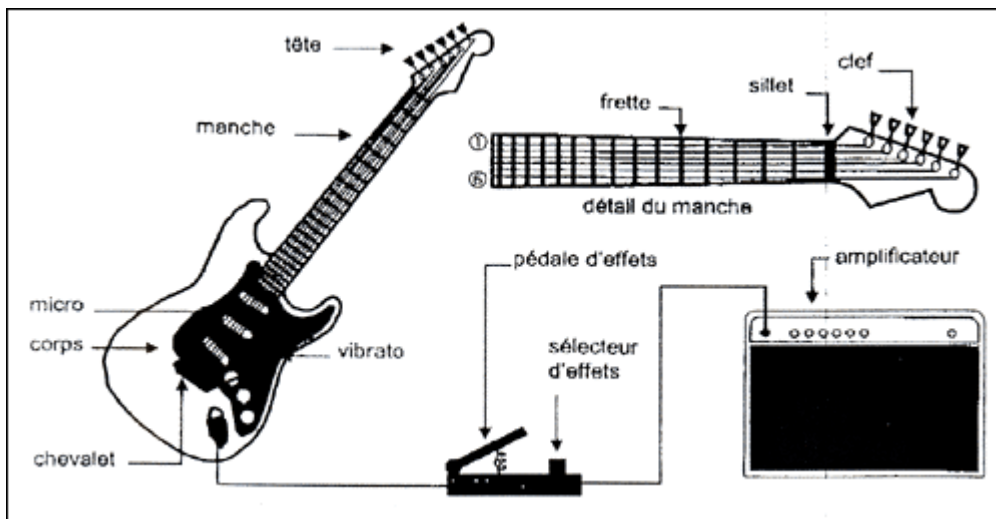
## EXERCICE 17.2 :

Un orchestre est composé d'un musicien jouant de la clarinette et d'un chanteur. Lorsque le chanteur joue seul, le niveau sonore est de 68 dB. Le niveau sonore du musicien jouant de la clarinette seule est de 57 dB.

- 1) Déterminer les intensités sonores correspondantes.
- 2) On admet à présent que le musicien et le chanteur jouent ensemble. Déterminer le niveau sonore résultant. Commenter le résultat.

## EXERCICE 17.3 : PEDALE WAH WAH (BAC 2004, partiel)

La guitare électrique est pourvue d'un corps le plus souvent plein, autorisant les luthiers à lui conférer des formes originales. Elle produit des sons grâce à des micros captant et transformant les vibrations des cordes en signal électrique. Ce signal peut ensuite être modifié électroniquement par divers accessoires comme des pédales d'effets, puis amplifié (voir figure ci-dessous).



La guitare électrique est composée de six cordes métalliques de longueur utile entre le sillet et le chevalet 63,0 cm. L'accord traditionnel à vide est, de la note la plus grave à la plus aiguë :  $mi_1$   $la_1$   $ré_2$   $sol_2$   $si_2$   $mi_3$ , le chiffre en indice indiquant le numéro de l'octave. Une corde est dite "à vide" lorsqu'elle vibre sur toute sa longueur. Les fréquences des notes produites à vide par les cordes pincées de la guitare sont données dans le tableau suivant :

n° de corde	1	2	3	4	5	6
note	$mi_1$	$la_1$	$ré_2$	$sol_2$	$si_2$	$mi_3$
fréquence (Hz)	82,4	110,0	146,8	196,0	246,9	329,6

Une guitare basse électrique fonctionne sur le même principe avec des notes plus graves. La diversité des effets possibles avec une guitare électrique en fait un instrument polyvalent et riche musicalement. Parmi la multitude d'effets accessibles grâce à une pédale d'effets on peut citer l'effet "wha-wha" popularisé par le célèbre guitariste Jimi Hendrix.

Aucune connaissance musicale préalable n'est nécessaire pour traiter cet exercice.

### 1. Analyse temporelle d'une note de musique

Un système d'acquisition informatisé permet l'enregistrement et la visualisation des tensions électriques associées aux différentes notes que peut produire une guitare électrique. Les figures 9 et 10 présentent les signaux enregistrés pour la même note de musique jouée par une guitare électrique (figure 9) et par une guitare basse (figure 10).

1. Quelle est la qualité physiologique commune des deux sons enregistrés ? Nommer la grandeur physique associée à cette qualité physiologique.
2. Mesurer cette grandeur physique en précisant la méthode utilisée. En tenant compte de l'imprécision de la mesure, en déduire la note de musique jouée par les deux instruments.

### 2. Modes propres de vibration de la corde 6

L'analyse spectrale est un précieux outil pour les ingénieurs du son. Elle permet après une acquisition informatisée et un traitement numérique de révéler la "signature acoustique" d'un son en faisant apparaître les composantes de basses fréquences (80 Hz - 900 Hz) et de fréquences élevées (900 Hz - 16 kHz) qui le caractérisent.

La figure 11 correspond au spectre en fréquence du son produit par la corde n°6 d'une guitare électrique jouée à vide.

1. Déterminer la valeur approchée de la fréquence notée  $f_1$  du fondamental de ce son à partir de la figure 11. Vérifier que cette valeur est cohérente avec la donnée du texte.
2. Déterminer les valeurs approchées des fréquences, notées  $f_2$  et  $f_3$  des harmoniques immédiatement supérieurs au fondamental.
3. Le sillet et le chevalet de la guitare sont séparés par une distance  $L=63,0$  cm. La condition entre  $\lambda$  et  $L$  traduisant la condition d'existence d'une onde stationnaire entre ces deux points fixes est :  
 $2L=k\lambda$  où  $k$  est un entier positif  
En déduire l'expression de la longueur d'onde  $\lambda$  du mode fondamental. Calculer cette longueur d'onde.
4. Écrire la relation entre la longueur d'onde  $\lambda$ , la célérité  $v$  et la fréquence  $f$  d'une onde sinusoïdale.
5. En déduire la célérité des ondes dans cette corde.

### 3. L'effet "wha-wha"

Les figures 10 et 13 représentent les spectres en fréquence du son de la figure 11 sur lequel on a appliqué l'effet pour deux positions extrêmes de la pédale d'effets.

En comparant ces trois spectres, préciser quels sont les effets de la pédale wha-wha sur les propriétés physiologiques du son produit dans les mêmes conditions d'attaque de la corde.

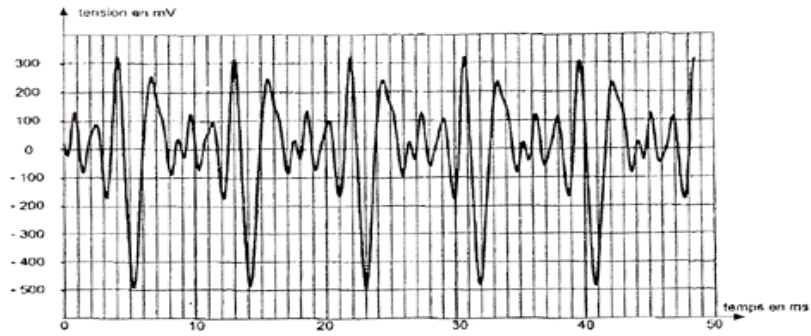


Figure 9 : oscillogramme du son émis par la guitare électrique

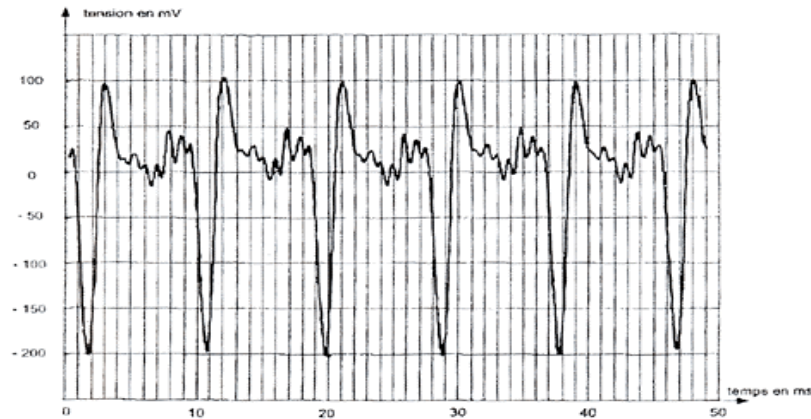
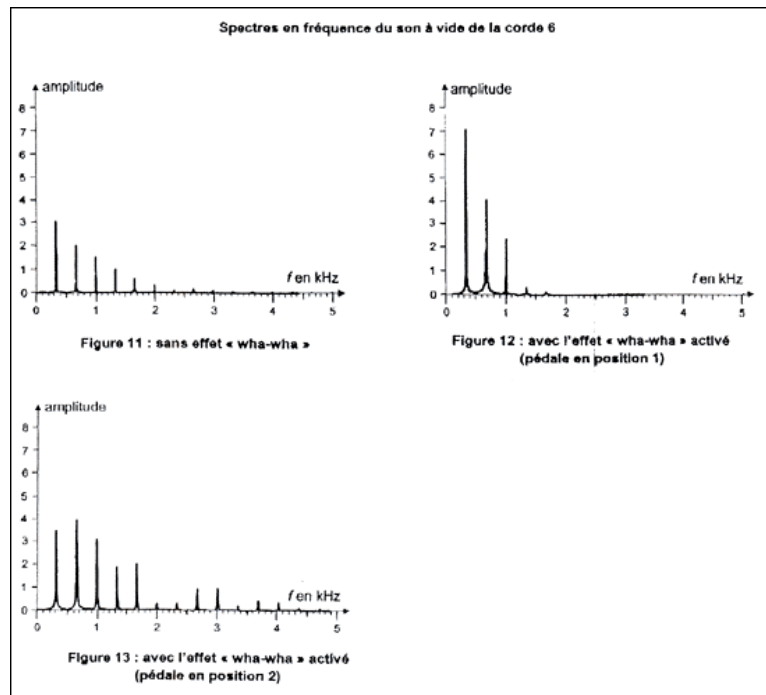
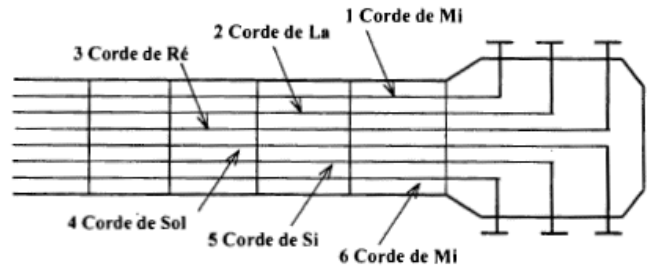


Figure 10 : oscillogramme du son émis par la guitare basse



### EXERCICE 17.3 : BAC 2004

La guitare possède six cordes de longueur  $L=642$  mm. Le joueur a la possibilité de réduire la longueur de la corde en appuyant sur des case situées sur le manche de la guitare. La fréquence de chaque note émise par chaque corde à vide, de longueur  $L= 642$  mm sont indiquées dans le tableau suivant :

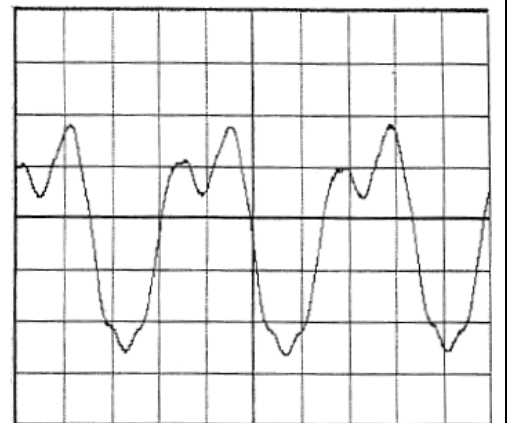


corde	1	2	3	4	5	6
Fréquence (Hz)	82,4	110	146,8	196	246,9	329,5
note	mi	la	ré	sol	si	mi

- expérience 1** : l'élève réalise un montage consistant à placer la corde 1 (métallique) au voisinage d'un aimant et d'y imposer le passage d'un courant électrique alternatif de fréquence réglable. La corde vibre alors à la même fréquence que celle du courant. Il constate que le mouvement de la corde a une faible amplitude sauf pour certaines valeurs de la fréquence :  $f_1 = 82,4$  Hz ;  $f_2 = 2 f_1$  ;  $f_3 = 3 f_1$  ... Ces fréquences permettent d'obtenir un système d'ondes stationnaires: suivant le cas, il observe un ou plusieurs fuseaux.

  - Quel est le nom du mode de vibration correspondant à la fréquence  $f_1$  ?
  - Quel aspect présente la corde lorsqu'on lui impose cette fréquence de vibration ?
  - Quelle relation lie la longueur  $L$  de la corde à la fréquence  $f_1$  et à la célérité  $v$  des ondes mécaniques le long de cette corde ? déterminer  $v$ .
  - Quel est le nom des autres modes de vibrations ? Quel aspect présente la corde lorsqu'on lui impose la fréquence  $f_3$ ?

- expérience 2** : l'élève pince la corde 3 et visualise à l'aide d'un microphone et d'un oscilloscope à mémoire une tension électrique de même fréquence de vibration que celle de la corde. Données du graphique :  $2 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$  et  $200 \text{ mV} \cdot \text{div}^{-1}$ .

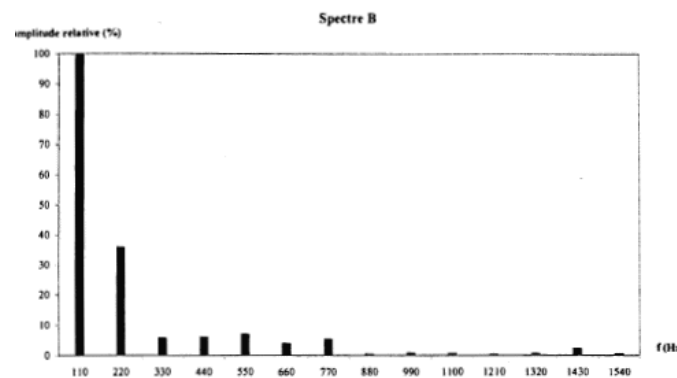
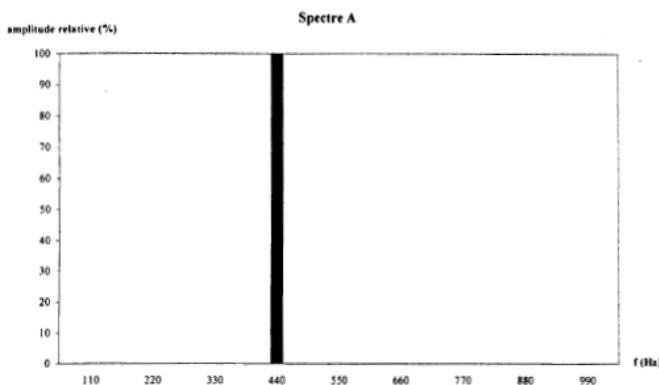


- Expliquer la nécessité d'utiliser un oscilloscope à mémoire.
  - Déterminer la période de vibration.
  - Vérifier qu'elle correspond à un bon accord de la corde.
- expérience 3** : La corde 2 émet un La. Il en est de même de la corde 6 lorsqu'on appuie sur la 5<sup>ème</sup> case (La de fréquence 440 Hz)

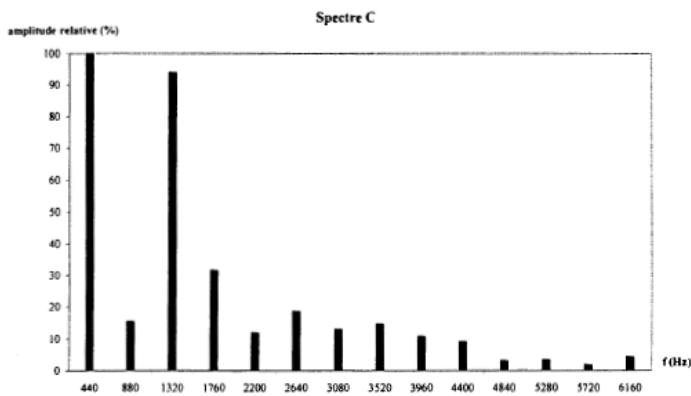
    - Les deux notes sont séparées par deux octaves. Définir l'octave.
    - L'élève dispose par ailleurs d'un diapason émetteur d'un son pur de fréquence 440 Hz. Il réalise les spectres en fréquence des sons émis par ces trois émetteurs: son 1 (corde 2) ; son 2 (corde 6 de longueur réduite par appui sur la case 5) ; son 3 (diapason)

Attribuer en le justifiant à chaque émetteur le spectre en fréquence correspondant. Les trois sons correspondants à des La sont néanmoins différents.

- \* Quelles sont les trois caractéristiques d'un son ?
- \* Quelle caractéristique distingue les sons 1 et 2 ?
- \* Quelle caractéristique distingue les sons 2 et 3 ?



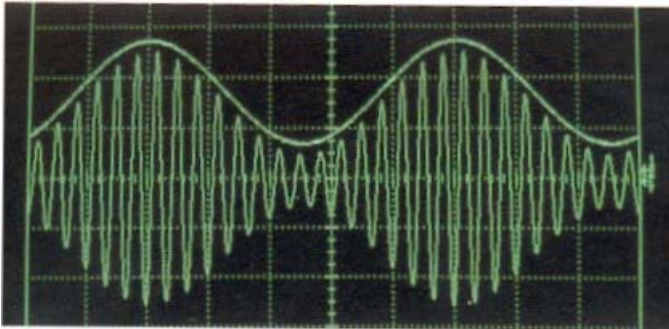




## Chapitre XVIII : PRODUCTION DE SIGNAUX DE COMMUNICATION. RECEPTION D'UNE ONDE MODULEE EN AMPLITUDE.

### EXERCICE 18.1 : (CORRIGE)

Voici les oscillogrammes d'une tension modulée en amplitude obtenue avec un multiplieur ainsi que celui de la tension modulante.



Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :

- balayage : 5 ms par division
- sensibilité verticale : 2 V par division.

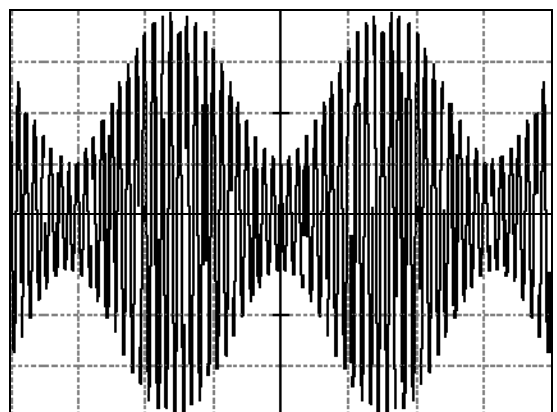
- 1) Identifier les signaux observés sur l'oscilloscope.
- 2) Expliquer l'expression « modulée en amplitude ».
- 3) Déterminer la fréquence du signal modulant et celle de la porteuse.

### EXERCICE 18.2 : (CORRIGE)

L'oscillogramme ci-dessous est l'enregistrement d'une tension modulée en amplitude.

Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :

- balayage : 2 ms par division
  - sensibilité verticale : 1 V par division.
- 1) Déterminer les valeurs maximales  $U_{max}$  et minimale  $U_{min}$  de l'amplitude de la tension modulée.
  - 2) On définit le taux de modulation  $m$  par :  $m = (U_{max} - U_{min}) / (U_{max} + U_{min})$ . Calculer le taux de modulation.



### EXERCICE 18.3 :

On considère une tension modulée en amplitude  $s(t)$  qui a pour expression

$$S(t) = 0,3 \cos(1.10^6 \pi t) \cdot (3 + 2 \cos(150 \pi t)).$$

L'amplitude de la porteuse est égale à 5 V et le coefficient  $k$  du multiplieur est égale à 0,1.

- 1) Déterminer la fréquence de la porteuse et celle du signal modulant.
- 2) Déterminer l'amplitude de la tension modulée puis celle de du signal modulant.
- 3) Déterminer la tension de décalage  $U_0$ .
- 4) Quelle doit être la largeur de bande de fréquences occupée par ce signal ?

### EXERCICE 18.4 : BAC 2004.

Pour émettre par radio les informations portées par un son quelconque, on les traduit d'abord en signal électrique, puis en onde électromagnétique.

#### A- Emission :

Pour cette étude l'information est transportée par une modulation en amplitude de l'onde porteuse. Indiquer pour les 3 questions suivantes, la proposition exacte, sans justification.

1. Une telle onde modulée est caractérisée au cours du temps par :
  - a. Une amplitude constante et une fréquence constante.
  - b. Une amplitude variable, dont les variations dépendent du signal à transmettre, et une fréquence constante.
  - c. Une amplitude variable, dont les variations sont indépendantes du signal à transmettre, et une fréquence constante.
  - d. Une amplitude variable, dont les variations dépendent du signal à transmettre, et une fréquence variable.
2. La fréquence de la porteuse doit être :
  - a. Très inférieure à la fréquence du son à transmettre.
  - b. Légèrement inférieure à la fréquence du son à transmettre.
  - c. Très supérieure à la fréquence du son à transmettre.
  - d. Légèrement supérieure à la fréquence du son à transmettre.
3. Un son audible a une fréquence comprise entre :
4. 

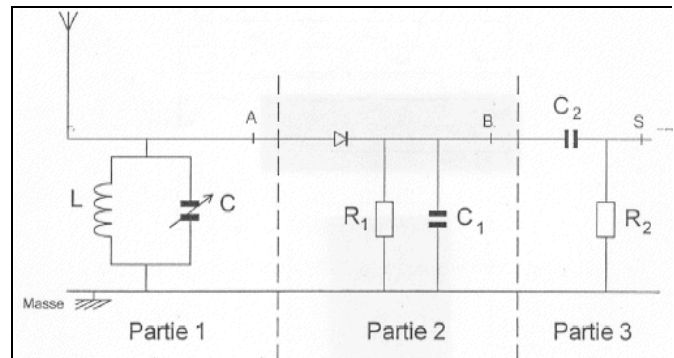
a. 2 Hz et 2 kHz	c. 20 kHz et 200 kHz
b. 20 Hz et 20 kHz	d. 20 MHz et 200 MHz

#### B- Réception :

Un modèle de récepteur radio est représenté par le schéma simplifié ci-dessous dans lequel on distingue trois parties :

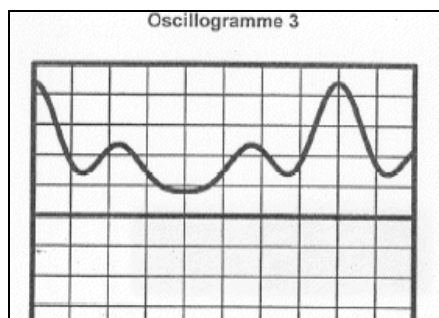
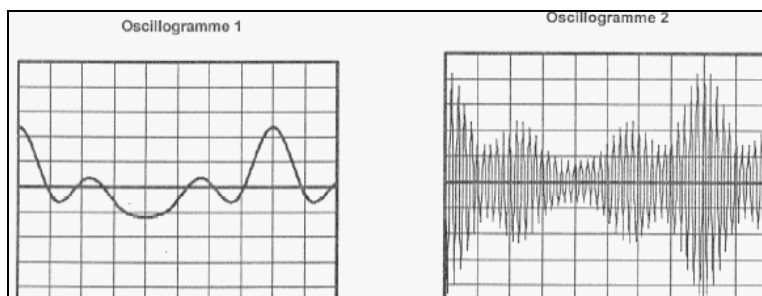
1. Etude de la partie 1 : Expliquer brièvement son rôle.

La bobine a une inductance  $L = 1 \text{ mH}$ . Quelles doivent être les limites de la valeur de la capacité  $C$  du condensateur variable si l'on veut capter des porteuses dont la fréquence soit comprise entre 1 kHz et 10 kHz ?



2. Etude des parties 2 et 3 : Indiquer brièvement le rôle de chaque partie.

Pour visualiser les différentes tensions, on utilise un oscilloscope dont les réglages sont les suivants :  $5 \text{ V.div}^{-1}$  et  $1 \text{ ms.div}^{-1}$ . Trace du spot positionnée au centre de l'écran en absence de tension appliquée ; touche DC active. On obtient les trois oscillogrammes ci-dessous :



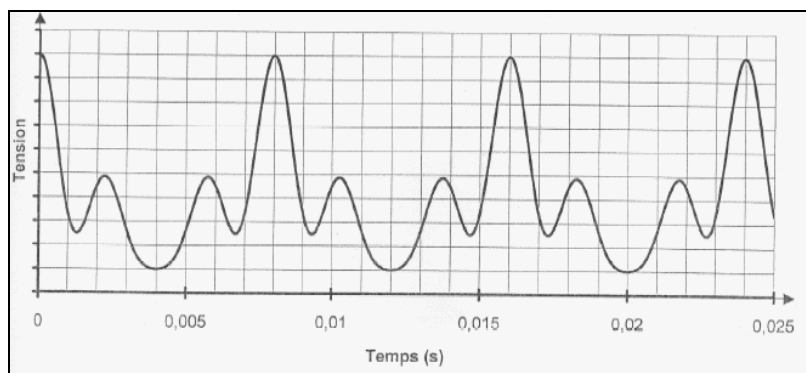
- a) Indiquer l'oscillogramme correspondant à chacune des tensions suivantes :

Tension  $u_{AM}$  ; tension  $u_{BM}$  ; tension  $u_{SM}$ .

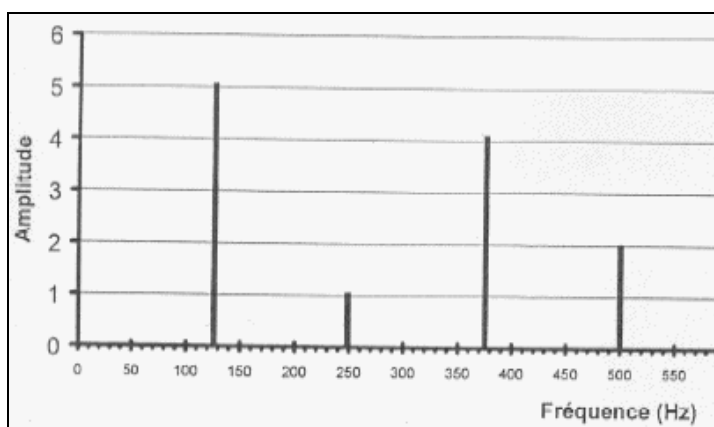
- b) En utilisant l'un des oscillogramme, déterminer la fréquence de la porteuse.

#### C - Analyse du son reçu :

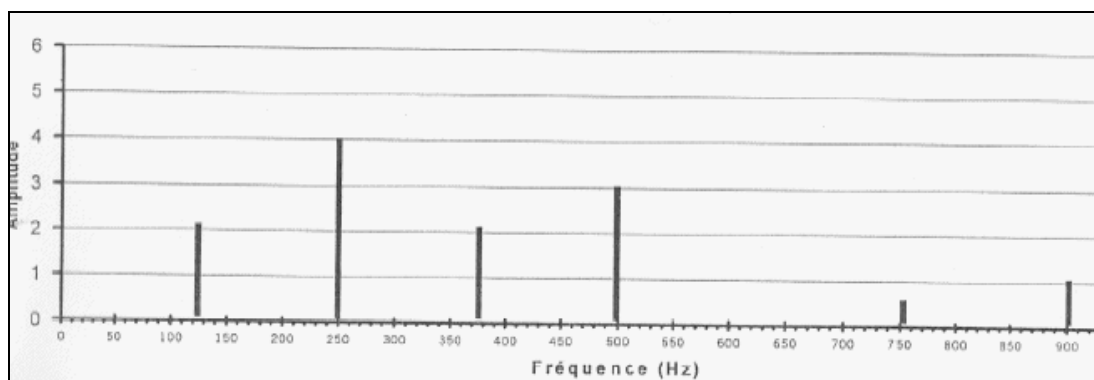
1. On étudie le son restitué par ce récepteur radio à l'aide d'un microphone relié à un système d'acquisition informatisé. On obtient le graphe ci-dessous. Déterminer la hauteur du son.



2. Un logiciel d'analyse spectrale permet ensuite d'obtenir le diagramme ci-dessous. Que représentent les fréquences qui apparaissent sur le spectre ?



3. L'analyse par le même dispositif d'un autre son donne le diagramme ci-dessous. Quel est le point commun et la différence entre ce son et celui restitué par le récepteur radio ?







# Partie F : EXERCICES CHIMIE

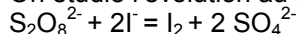
## EXERCICE 1.1 : REACTION ENTRE $S_2O_3^{2-}$ ET $I_2$

On considère les couples :  $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$  et  $I_2/I^-$ .

- Ecrire les demi-équations électroniques associées à ces couples.
- Ecrire l'équation de la réaction d'oxydation des ions thiosulfate  $S_2O_3^{2-}$  par le diiode.

## EXERCICE 1.2 : REACTIF LIMITANT

On étudie l'évolution au cours du temps de la réaction d'oxydoréduction dont l'équation s'écrit :



A  $t=0s$ , on mélange 10mL de solution de peroxydisulfate de sodium ( $2Na^+ + S_2O_8^{2-}$ ) de concentration :

$[S_2O_8^{2-}] = 1.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  et 30mL de solution d'iodure de potassium ( $K^+ + I^-$ ) de concentration  $[I^-] = 1.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

- Dresser le tableau d'avancement.
- Quel est le réactif limitant ?

## EXERCICE 1.3 : CINETIQUE CHIMIQUE (CORRIGE)

On réalise l'oxydation des ions iodure  $I^-$  par l'eau oxygénée  $H_2O_2$ . C'est une réaction lente.

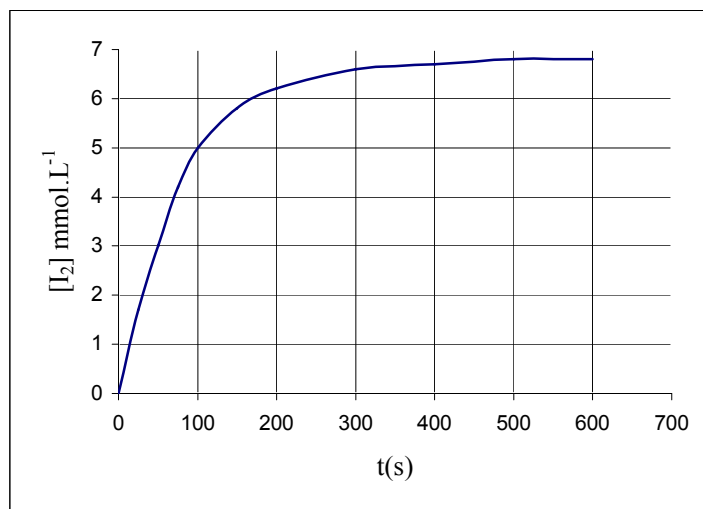
La réaction étudiée fait intervenir les couples :  $H_2O_2 / H_2O$  et  $I_2 / I^-$

L'équation-bilan de la réaction étudiée s'écrit :  $H_2O_2 + 2I^- + 2H^+ \rightarrow 2H_2O + I_2$

L'évolution de la réaction est suivie par spectrophotométrie. Le diiode  $I_2$  formé colore en brun la solution : il absorbe une partie des radiations du spectre visible. Le spectromètre, réglé sur la longueur d'onde de l'une de ces radiations, permet de mesurer l'absorbance de la solution, grandeur proportionnelle à la concentration de la substance absorbante. Un logiciel approprié nous permet d'obtenir directement les valeurs de la concentration du diiode en fonction du temps.

Dans un bécher, on mélange 10mL d'acide sulfurique de concentration égale à  $2,0 \text{ mol.L}^{-1}$  et 18mL d'iodure de potassium de concentration égale à  $1,0.10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ .

A l'instant  $t=0s$ , on verse dans ce bécher, en agitant 2,0mL d'eau oxygénée de concentration égale à  $1,0.10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ . A différentes dates, on mesure l'absorbance du mélange. On obtient le graphe  $[I_2]=f(t)$  ci-après.



- Calculer les quantités initiales (en moles) des ions iodure  $I^-$  et de l'eau oxygénée. Vérifier que l'eau oxygénée est le réactif limitant.
- Définir la vitesse instantanée de formation du diiode  $I_2$ . Comment peut-on la déterminer à partir du graphe donné ci-dessus ?
  - Déterminer sa valeur à  $t=100 \text{ s}$ .
  - Comment la vitesse évolue-t-elle au cours du temps ? Quel facteur cinétique permet d'expliquer cette évolution ?
- La concentration du diiode  $I_2$  au bout d'un temps infini est notée  $[I_2]_{\infty}$ . Déterminer sa valeur par le calcul. Est-elle en accord avec le graphe ?
- Déterminer la date  $t_1$  à laquelle la concentration  $[I_2]$  du diiode est égale à la moitié de  $[I_2]_{\infty}$ .
- On recommence la même expérience, en utilisant le même volume d'une solution d'eau oxygénée moins concentrée. La valeur de la concentration du diiode au bout d'un temps infini est-elle la même que précédemment ? Justifier la réponse.

## EXERCICE 1.4 : BOIRE OU CONDUIRE (BAC, PARTIEL)

Ce problème traite de la cinétique de dégradation de l'alcool (molécule d'éthanol :  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) dans l'organisme et de la détection d'alcool dans l'air expiré.

Un homme boit de l'alcool. Le but de l'exercice est de savoir combien de temps il devra attendre avant de reprendre sa voiture sachant qu'en France il n'est autorisé à conduire que si la teneur en alcool de son sang est inférieure à 0,50 g/L.

La cinétique de décomposition de l'alcool se fait en deux phases et peut être modélisée de la façon suivante :

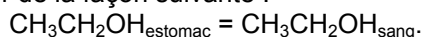
1<sup>ère</sup> phase : passage de l'alcool à travers la paroi stomacale dans le sang.

2<sup>ème</sup> phase : oxydation de l'alcool dans le sang.

Nous allons étudier successivement ces deux phases avant d'en tirer les conclusions quant aux conseils à donner à notre automobiliste.

### I. Passage de l'alcool à travers la paroi stomacale

La réaction, totale, peut se modéliser de la façon suivante :



L'estomac est considéré comme un milieu réactionnel de volume constant  $V_1$  égal pour chaque expérience au volume d'alcool absorbé.

On réalise l'expérience suivante : un homme boit  $V_1 = 250$  mL d'un apéritif contenant  $n_0 = 1,0$  mole d'éthanol. On mesure la concentration  $C_1$  de l'éthanol dans l'estomac en fonction du temps. Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

t (min)	0	1,73	2,8	5,5	10	18	22
$C_1$ (mol/L)	4,0	3,0	2,5	1,6	0,76	0,20	0,10

- 1.1. Exprimer en fonction de  $C_1$  et  $V_1$  la quantité de matière  $n_1$  d'éthanol dans l'estomac.
- 1.2. A l'aide d'un tableau d'avancement, exprimer l'avancement  $x$  de la réaction en fonction de  $n_0$ ,  $C_1$  et  $V_1$ .
- 1.3. Calculer l'avancement  $x$  pour les différentes dates du tableau.
- 1.4. Définir en précisant les unités la vitesse volumique de réaction  $v_1$ . Expliquer la méthode permettant d'évaluer graphiquement cette vitesse volumique à un instant donné.
- 1.5. A quelle date cette vitesse est-elle maximale ? Justifier à partir du graphe. Quel facteur cinétique est ainsi mis en évidence ?
- 1.6. Définir le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$ , puis le déterminer graphiquement  $t_{1/2}$ .

Le sang et les autres liquides contenus dans le corps seront considérés comme un milieu réactionnel unique de volume  $V_2 = 40$  L constant pour toutes les expériences

- 1.7. Calculer la concentration  $C_2$  de l'alcool dans le sang à  $t = 18$  min dans le cas où on admet qu'aucune oxydation de l'alcool ne s'est produite.
- 1.8. La vitesse volumique d'apparition de l'alcool dans le sang est donnée par la relation  $v_2 = d[C_2]/dt$ . Exprimer  $v_2$  en fonction de l'avancement  $x$ .
- 1.9. On dit souvent qu'une personne de faible corpulence subit plus vite les effets de l'alcool. La formule précédente permet-elle de confirmer cela ?

### II. Oxydation de l'alcool dans le sang

Pour déterminer le temps que la personne devra attendre avant de conduire, on est amené à étudier le phénomène absorption-oxydation de l'alcool dans son ensemble (voir annexe).

- II.1. Calculer la concentration maximale, en mol/L, tolérée en France de l'alcool dans le sang.  
Données : la masse molaire de l'éthanol vaut  $46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  et le taux maximal d'alcoolémie est fixé à 0,50 g/L.

En buvant ses 2 bières à 8%, notre homme absorbe 66 cL et 0,90 mol d'alcool.

- II.2. Déterminer l'instant  $t_{\text{max}}$  pour lequel la concentration en éthanol est maximale dans le sang.
- II.3. Déterminer cette concentration. Peut-il conduire ?
- II.4. En déduire le temps au bout duquel notre homme pourra reprendre sa voiture.

Données :

- couples :  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$  et  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- masse molaire du dichromate de potassium :  $294,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

On utilise un éthylotest qui contient du dichromate de potassium:  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . La notice de fonctionnement indique que l'on observe un changement de couleur si le taux d'alcoolémie dépasse 0.50g/L.

- III.1. Retrouver l'équation de la réaction responsable du changement de couleur à partir des demi-équations électroniques des couples.
- III.2. Quelle est l'espèce oxydée ? Quelle est l'espèce réduite ?
- III.3. Déterminer le nombre de moles d'alcool expiré par litre d'air dans l'hypothèse d'une alcoolémie de 0,50 g d'alcool par litre de sang.
- III.4. En déduire la masse du dichromate de potassium devant être placée avant le trait de jauge afin que celui-ci indique le seuil limite des 0,50 g d'alcool par litre de sang.

## Chapitre II : L'EQUILIBRE CHIMIQUE.

### EXERCICE 2.1 : QUOTIENT DE REACTION

Equilibrer chacune des équations suivantes et écrire l'expression formelle du quotient de réaction. Toutes les réactions se produisent en milieu aqueux et toutes les espèces chimiques sont dissoutes.

1.  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
2.  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{I}^- = \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$
3.  $\text{I}_2 + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} = \text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$
4.  $\text{MnO}_4^- + 8 \text{H}_3\text{O}^+ + 5 \text{Fe}^{2+} = \text{Mn}^{2+} + 12 \text{H}_2\text{O} + 5 \text{Fe}^{3+}$

### EXERCICE 2.2 : SOLUTION D'ACIDE CHLORHYDRIQUE (CORRIGE)

On dissout 0,30L de chlorure d'hydrogène gazeux, volume mesuré dans les conditions normales de température et de pression, dans de l'eau pure. On obtient ainsi 250mL de solution S.

- a) Calculer la concentration molaire de la solution S.
- b) La mesure du pH de la solution S à 25°C donne : 1,3. Calculer le taux d'avancement final. Commenter le résultat.
- c) Calculer le quotient de réaction dans l'état initial, puis dans l'état final, du système.

### EXERCICE 2.3 : ACIDE ET EAU

On considère une solution aqueuse d'un acide quelconque AH de concentration C.

- 1) a) Etablir l'expression littérale du quotient de réaction dans l'état final en fonction de C et du pH de la solution.
- b) Etablir de même l'expression littérale du taux d'avancement final de la réaction de l'acide sur l'eau.
- 2) Calculer les deux valeurs précédentes pour les acides suivants :
  - a) acide nitrique  $C = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ;  $\text{pH} = 2,02$
  - b) acide méthanoïque  $C = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ;  $\text{pH} = 2,90$
  - c) Que peut-on en conclure ?

### EXERCICE 2.4 : L'ASPIRINE (BAC 2003)

L'aspirine reste le médicament le plus consommé au monde. L'aspirine peut se présenter sous de multiples formes (comprimés simples ou effervescents, poudre soluble...), chacune renfermant de l'acide acétylsalicylique, principe actif. Par la suite, cet acide est noté AH et l'ion acétylsalicylate  $\text{A}^-$ . L'exercice qui suit a pour but d'étudier le comportement de la molécule AH en solution aqueuse. La réaction entre la molécule AH et l'eau modélise la transformation étudiée.

**Données :** Conductivités molaires ioniques à 25 °C

Espèces chimiques	$\text{H}_3\text{O}^+$	$\text{HO}^-$	$\text{A}^-$
$\kappa$ en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$	35	19,9	3,6

$\text{pK}_a$  à 25 °C :  $\text{AH}/\text{A}^-$  : 3,5 et  $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$  : 14 et  $M(\text{AH}) = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Par dissolution d'une masse précise d'acide acétylsalicylique pur, on prépare un volume  $V_s = 500,0 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse d'acide acétylsalicylique, notée  $S_1$  de concentration molaire en soluté apporté  $c_s = 5,55 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### 1. Etude de la transformation chimique par une mesure de pH.

A 25 °C, la mesure du pH de la solution S à l'équilibre donne 2,9.

- a) Déterminer à l'équilibre, la concentration  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}}$  en ions oxonium dans la solution S préparée.
- b) L'acide acétylsalicylique AH réagit avec l'eau. Ecrire l'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique.
- c) Déterminer l'avancement final  $x_f$  de la réaction (on pourra s'aider d'un tableau descriptif de révolution du système).
- d) Déterminer l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$  de la réaction.
- e) Déterminer le taux d'avancement final  $\tau$  de la réaction. La transformation étudiée est-elle totale ?

## 2. Détermination de la constante d'équilibre de la réaction par conductimétrie.

A 25 °C, on mesure la conductivité  $\sigma$  de la solution S à l'aide d'un conductimètre. On obtient  $\sigma = 44 \text{ mS.m}^{-1}$ . Dans les conditions de l'expérience, on peut négliger la contribution des ions  $\text{HO}^-$  à la conductivité de la solution. La relation est :  $\sigma = \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{E}} + \lambda_{\text{A}^-} [\text{A}^-]_{\text{E}}$ .

- Exprimer l'avancement final  $x_f$  de la réaction entre l'acide AH et l'eau en fonction de  $\sigma$ , des conductivités molaires ioniques utiles et du volume  $V_S$  (on pourra s'aider du tableau descriptif de l'évolution du système).
- En déduire la valeur de  $x_f$ .
- Calculer les concentrations molaires à l'équilibre des espèces AH,  $\text{A}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+$ .
- Donner l'expression de la constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction entre l'acide AH et l'eau, puis la calculer.

## 3. Précision des deux techniques utilisées : pH-métrie et conductimétrie.

Le pH-mètre utilisé donne une valeur de pH précise à 0,1 unité de pH près, et le conductimètre donne une valeur de conductivité précise à  $1 \text{ mS.m}^{-1}$  près. La valeur du pH est donc comprise entre 2,8 et 3,0 et celle de la conductivité entre  $43 \text{ mS.m}^{-1}$  et  $45 \text{ mS.m}^{-1}$ . Le tableau ci-dessous indique les valeurs de l'avancement final de la réaction calculées pour ces différentes valeurs de pH et de conductivité :

	pH = 2,8	pH = 3,0	$\sigma = 43 \text{ mS.m}^{-1}$	$\sigma = 45 \text{ mS.m}^{-1}$
$x_f$ (en mol)	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$

Conclure brièvement sur la précision des deux techniques, sans procéder à un calcul d'erreur relative.

# Chapitre III : RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES.

### EXERCICE 3.1 : CONSTANTE D'ACIDITE

On dispose d'une solution S d'acide benzoïque  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  de concentration molaire  $C = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . La mesure du pH de cette solution donne à 25°C : 3,0.

- Montrer que la solution constitue un système chimique à l'équilibre.
- Calculer la constante d'acidité du couple acide-base de l'acide benzoïque.

### EXERCICE 3.2 : DETERMINATION DU KA A PARTIR DU PH (CORRIGE)

On dissout  $1 \cdot 10^{-2}$  mole de monoéthylamine dans un litre d'eau très pure. Le pH de la solution obtenue est égal à 11,35.

- Ecrire l'équation de la réaction de  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$  avec l'eau.
- Dresser le tableau d'avancement.
- Calculer l'avancement effectif final  $x_f$  de cette transformation.
- Ecrire l'expression de la constante d'équilibre K de cette transformation. Calculer cette constante.
- En déduire la valeur de la constante d'acidité  $K_a$  du couple :  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+/\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$

### EXERCICE 3.3 : DOSAGE COLORIMETRIQUE D'UN COMPRIME DE VITAMINE C (BAC 2003)

L'acide ascorbique, couramment dénommé vitamine C, est un réducteur naturel que l'on qualifie usuellement d'antioxydant. En pharmacie il est possible de trouver l'acide ascorbique, par exemple sous forme de comprimés « de vitamine C 500 ».

On écrase un comprimé de « vitamine C 500 » dans un mortier. On dissout la poudre dans un peu d'eau distillée et l'on introduit l'ensemble dans une fiole jaugée de 100,0 mL; on complète avec de l'eau distillée. Après homogénéisation, on obtient la solution S. On prélève un volume  $V_A = 10,0 \text{ mL}$  de la solution S que l'on dose avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration molaire en soluté apporté  $C_B = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  en présence d'un indicateur coloré convenablement choisi.

L'équivalence est obtenue pour un volume de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium  $V_{BE} = 14,4 \text{ mL}$ .

- Représenter un schéma annoté du dispositif pour réaliser ce titrage.
- Quel indicateur coloré doit-on choisir parmi les trois proposés ci-après ? On pourra s'aider de la courbe  $\text{pH} = f(V_B)$  donnée ci-dessous pour justifier la réponse à cette question. Cette courbe a été obtenue à partir d'un logiciel de simulation, indépendamment des quantités dosées dans l'exercice.
- Définir l'équivalence.
- Calculer la quantité d'acide ascorbique dans les 10,0 mL de solution titrée en utilisant les données introductives de la question 2.
- En déduire la masse  $m$ , en mg, d'acide ascorbique contenu dans un comprimé. Expliquer l'indication du fabricant « vitamine C 500 ».

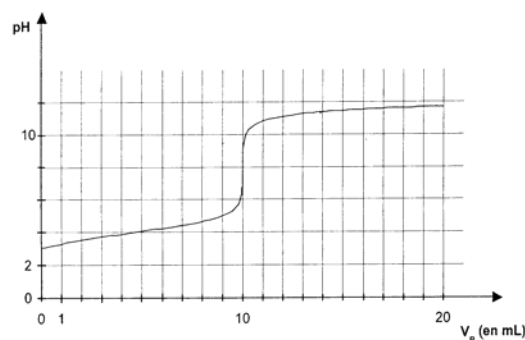
### Données :

masses molaires atomiques en  $\text{g. mol}^{-1}$  :  $M(\text{C}) = 12$  ;  
 $M(\text{H}) = 1$  ;  $M(\text{O}) = 16$

zone de virage de quelques indicateurs colorés :

Indicateur coloré	Zone de virage
rouge de méthyle	4,2 – 6,2
bleu de bromophénol	3,0 – 4,6
rouge de crésol	7,2 – 8,8

Évolution du pH au cours de la réaction entre un volume  $V_A = 20,0 \text{ mL}$  de solution aqueuse d'acide ascorbique de concentration molaire en soluté apporté  $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  et un volume  $V_B$  de solution aqueuse de soude de concentration molaire en soluté apporté  $2,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .



### EXERCICE 3.4: DOSAGE D'UNE SOLUTION D'ACIDE BENZOÏQUE (BAC, CORRIGE)

L'acide benzoïque de formule  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  est utilisé comme conservateur dans l'industrie alimentaire. Dans les conditions ordinaires de température et de pression, il forme des paillettes blanches très peu solubles dans l'eau. Au cours d'une séance de travaux pratiques, on se propose de déterminer la concentration molaire d'une solution d'acide benzoïque préparée au laboratoire. On prélève  $V_A = 50,0 \text{ mL}$  de cette solution et on réalise un dosage pH-métrique à l'aide d'une solution de soude de concentration molaire  $C_B = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .

1) a. Faire un schéma annoté du dispositif du montage.

b. Les variations du pH en fonction du volume  $V_B$  de solution de soude versé sont données dans le tableau ci-dessous.

$V_B$ (mL)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	8,5	9,0	9,2	9,4	9,6	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0
pH	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	5,0	5,2	5,6	7,0	8,2	10,5	11,0	11,3	11,4	11,6	11,8

Construire le graphe de  $\text{pH} = f(V_B)$ .

c. Déterminer les coordonnées du point d'équivalence.

d. Montrer, en utilisant le graphe de  $\text{pH} = f(V_B)$ , que l'acide benzoïque est un acide faible.

e. Déduire du graphe précédent la valeur du  $\text{pK}_a$  du couple acide-base correspondant puis celle de sa constante d'acidité.

2) a. Écrire l'équation-bilan de la réaction qui se produit lorsqu'on verse la solution de soude dans celle de l'acide benzoïque.

Vérifier que cette réaction est utilisable pour un dosage.

b. Définir l'équivalence acido-basique et en déduire la concentration molaire de la solution d'acide benzoïque.

c. Pour préparer cette solution, on a introduit une masse  $m$  d'acide benzoïque dans une fiole jaugée de  $100 \text{ mL}$  et on a complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Déterminer la masse  $m$  sachant que toutes les paillettes ont été dissoutes.

**Données** : Masse molaire de l'acide benzoïque :  $M = 122 \text{ g.mol}^{-1}$

### EXERCICE 3.5 : A LA QUETE DE L'ETIQUETTE

Un flacon contenant une solution acide a perdu son étiquette.

Afin de refaire cette étiquette, on doit déterminer la nature et la concentration  $C_0$  de la solution.

Pour cela, on réalise un dosage avec suivi pH-métrique de  $V_A = 10,0 \text{ mL}$  de solution diluée par une solution de soude ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$ ) de concentration  $C_B = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .

#### I. Dilution de la solution inconnue

On se propose de réaliser une solution, de volume  $100,0 \text{ mL}$  et de concentration  $C_A$ , en diluant dix fois la solution inconnue.

1. Lister le matériel nécessaire pour une telle dilution.
2. Donner le mode opératoire correspondant.
3. Donner la relation permettant de calculer  $C_0$  à partir de  $C_A$ .

#### II. Dosage de la solution diluée

Le suivi pH-métrique a permis de tracer le graphe  $\text{pH}(V_B)$  donné en annexe.

1. Faire un schéma annoté du montage.
2. Écrire l'équation support du dosage en appelant  $\text{HA}$  l'acide inconnu.

- Exprimer la constante de cette réaction en fonction de la constante d'acidité  $K_A$  du couple  $HA/A^-$  et du produit ionique  $K_e$  de l'eau.
- Définir l'équivalence.
- Déterminer, en le justifiant graphiquement sur l'annexe (à rendre avec la copie), les coordonnées du point équivalent.
- En déduire la concentration  $C_A$  de la solution diluée, puis la concentration  $C_0$  de la solution inconnue.
- Quelles espèces sont majoritairement présentes à l'équivalence ? Justifier la valeur du pH équivalent.
- Quel est l'indicateur coloré, parmi ceux proposés en annexe, le plus approprié pour réaliser un dosage colorimétrique ? Justifier.

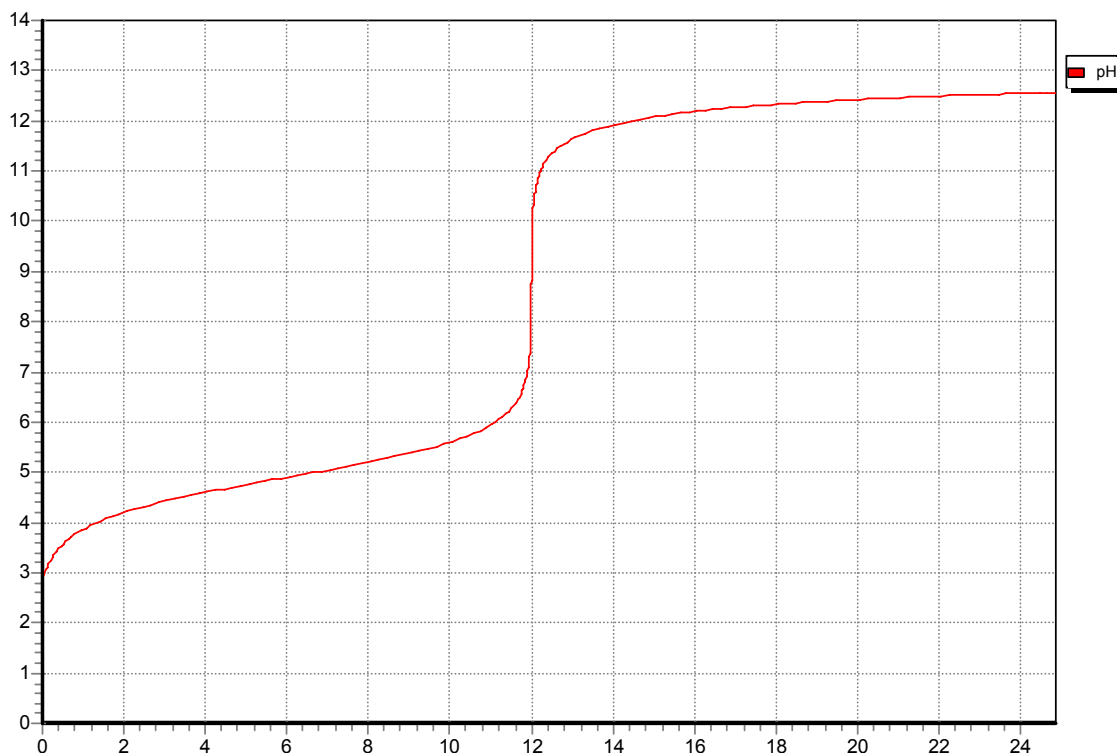
### III. Détermination de la nature de l'acide

On raisonne de nouveau sur la solution diluée de concentration  $C_A$ .

- En faisant l'hypothèse que la réaction de dosage est totale, dresser un tableau d'avancement de cette réaction pour un volume de soude versé  $V_B$  inférieur au volume équivalent.
- En déduire l'expression des quantités de matière des espèces du couple  $HA/A^-$  en fonction de  $V_B$ .
- Compléter le tableau fourni en annexe.
- Tracer sur un même graphique l'évolution de ces deux quantités de matière en fonction du pH (Echelle : 1 cm pour 0,5 pH et 1 cm pour 0,1 mmol).
- Déterminer ainsi les domaines de prédominance de ces deux espèces, ainsi que le  $pK_A$  du couple  $HA/A^-$ .
- Calculer la constante de la réaction de dosage selon l'expression établie en II.3 et justifier l'hypothèse formulée dans la question III.1.  
Donnée :  $K_e = 10^{-14}$  à  $25^\circ C$ .

### IV. Rédaction de l'étiquette

- Parmi la liste d'acides proposée en annexe, retrouver la nature de la solution inconnue.



$V_B$ (mL)	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11,5
pH	3,58	3,85	4,22	4,43	4,61	4,76	4,91	5,05	5,21	5,39	5,61	5,94	6,25
$n(A^-)$													
$n(HA)$													



**Données :**

Acide	pK <sub>A</sub>
Salicylique	3,0
Acétylsalicylique	3,5
Méthanoïque	3,7
Lactique	3,9
Ascorbique	4,0
Benzoïque	4,2
Éthanoïque	4,7
Propanoïque	4,9

Indicateur coloré	Zone de virage
Hélianthine	3,2 - 4,4
Rouge de méthyle	4,4 - 6,2
Bleu de bromothymol	6,0 - 7,6
Phénolphtaléine	8,2 - 9,8

## Chapitre IV : SENS D'EVOLUTION D'UN SYSTEME CHIMIQUE.

**EXERCICE 4.1 : PRECIPITATION D'HYDROXYDE**

On mélange 10mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration  $C_{\text{NaOH}}=10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$  et 10 mL d'une solution aqueuse de chlorure de calcium de concentration  $C(\text{CaCl}_2)=10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$ . Un précipité se forme.

- Ecrire l'équation de la réaction.
- A la température de l'expérience, la constante d'équilibre K de cette réaction est égale à  $2,5.10^{23}$ .
  - Ecrire l'expression de K.
  - Quelle est la valeur du quotient de réaction dans l'état initial :  $Q_{r,i}$ .
  - En comparant  $Q_{r,i}$  à K, dans quel sens évolue cette transformation ?

**EXERCICE 4.2 : AVANCEMENT D'UNE REACTION D'OXYDOREDUCTION (CORRIGE)**

Dans un bécher contenant 50mL d'une solution de bisulfate de zinc de concentration  $C=2.10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$ , on verse 5g de poudre de cuivre. **Donnée :**  $M_{\text{Cu}}=63,5\text{g.mol}^{-1}$ .

- Ecrire l'équation de la réaction.
- Dresser le tableau d'avancement de cette transformation.
- Calculer la valeur du taux d'avancement à l'équilibre  $x_{\text{eq}}$  de cette transformation sachant que la constante de cet équilibre  $K=5.10^{-38}$ .
- Conclure.

**EXERCICE 4.3 : REACTION D'OXYDOREDUCTION ENTRE LES COUPLES  $\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}$  ET  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$** 

On mélange  $V_1=50\text{mL}$  d'une solution de chlorure d'étain II ( $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Cl}^-$ ) de concentration  $C_1=4,00.10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$  et  $V_2=50\text{mL}$  d'une solution de chlorure de fer III de concentration  $C_2=4,00.10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$

L'équation de la réaction s'écrit :  $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} = \text{Sn}^{4+} + 2\text{Fe}^{2+}$

La constante de cet équilibre est  $K=10^{21}$

- Calculer  $Q_{r,i}$ .
- Comparer  $Q_{r,i}$  et  $Q_{r,\text{eq}}$ . Conclure sur l'évolution du système.
- Dresser le tableau d'avancement.
- A l'équilibre :  $x_{\text{eq}}=1.10^{-3}\text{mol}$ . Calculer les concentrations de toutes les espèces présentes en solution à l'équilibre.

**EXERCICE 4.4 :**

On mélange  $V_1=30\text{mL}$  d'une solution aqueuse de nitrate de plomb ( $\text{Pb}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$ ) de concentration  $C_1=2,0.10^{-1}\text{mol.L}^{-1}$  et  $V_2=20\text{mL}$  d'une solution aqueuse d'iodure de potassium ( $\text{K}^+ + \text{I}^-$ ) de concentration  $C_2=1,0.10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$ . La constante d'équilibre associée à l'équation de précipitation de l'iodure de plomb est  $K=7,1.10^7$ .

- Ecrire l'équation de précipitation de l'iodure de plomb.
- Calculer  $Q_{r,i}$ .
- Comparer  $Q_{r,i}$  et  $Q_{r,\text{eq}}$ .
- Conclure sur l'évolution du système.

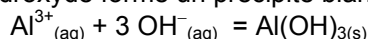
## EXERCICE 4.5 ELABORATION DE L'ALUMINIUM

La bauxite est le minerai le plus utilisé pour produire l'alumine  $Al_2O_3$  dont l'électrolyse à l'état fondu permet d'obtenir l'aluminium.

Elle contient 40 à 60%, en masse, d'alumine sous la forme hydratée hydrargillite  $Al(OH)_3$ , mais aussi 10 à 20% d'oxyde de fer(III) hydraté  $Fe(OH)_3$  et de la silice.

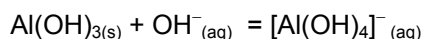
La première étape de la préparation de l'alumine est sa séparation des autres constituants du minerai. Industriellement on utilise le procédé Bayer mis au point en 1887.

L'ion aluminium en présence d'ions hydroxyde forme un précipité blanc selon l'équation :



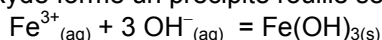
1. Donner l'expression du quotient de réaction  $Q_{r1}$ .
2. Sachant que la constante d'équilibre  $K_1 = 10^{32}$ , en déduire la concentration en ions hydroxyde puis celle en ions oxonium et enfin le pH à l'apparition du précipité dans une solution de concentration  $[Al^{3+}] = 0,01 \text{ mol/L}$ .

Ce précipité, en présence d'un excès d'ions hydroxyde, forme un ion complexe  $[Al(OH)_4]^{-}$  soluble et incolore selon l'équation :



3. Donner l'expression du quotient de réaction  $Q_{r2}$ .
4. Sachant que la constante d'équilibre  $K_2 = 10$ , en déduire la concentration en ions hydroxyde puis celle en ions oxonium et enfin le pH à la disparition du précipité dans une solution de concentration  $[Al(OH)_4]^{-} = 0,01 \text{ mol/L}$ .
5. Sur un axe gradué en pH, positionner les deux valeurs de pH trouvées et repérer le domaine d'existence du précipité.

L'ion fer(III) en présence d'ions hydroxyde forme un précipité rouille selon l'équation :



6. Donner l'expression du quotient de réaction  $Q_{r3}$ .
7. Sachant que la constante d'équilibre  $K_3 = 10^{38}$ , en déduire la concentration en ions hydroxyde puis celle en ions oxonium et enfin le pH à l'apparition du précipité dans une solution de concentration  $[Fe^{3+}] = 0,01 \text{ mol/L}$ .
8. Sur un axe gradué en pH, positionner cette valeur de pH et repérer le domaine d'existence du précipité.
9. En comparant ces deux domaines d'existence, déterminer la condition sur la valeur du pH de la solution de bauxite qui permet de séparer les espèces fer et aluminium par simple filtration.

Produit ionique de l'eau :  $K_e = 10^{-14}$  à  $25^{\circ}C$ .

## Chapitre V : LES PILES

### EXERCICE 5.1 : PILE ZINC ARGENT (CORRIGE)

On réalise une pile zinc-argent. Les demi-piles contiennent 100 mL de solutions aqueuse de nitrate d'argent et de sulfate de zinc, de concentrations identiques en ion métalliques, égale à  $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ . La partie immergée de l'électrode de zinc pèse initialement  $m_i = 0,5 \text{ g}$ . Lors du fonctionnement de la pile il se forme un dépôt d'argent sur l'électrode d'argent et la masse de l'électrode de zinc diminue.

- 1) Identifier l'anode et la cathode et écrire les réactions aux électrodes. En déduire l'équation de la transformation qui se réalise dans la pile.
- 2) Calculer le quotient initial  $Q_{r,i}$ .
- 3) En déduire le sens d'évolution spontané du système chimique.
- 4) Les concentrations en ions métalliques dans chaque demi-pile varient-elles ? Si oui, comment ?
- 5) Déterminer l'avancement maximal de la réaction et en déduire le réactif limitant de cette pile.

**Données** : masse atomique molaire en g/mol : Zn = 65,4 et Ag = 108 .Couples:  $Zn^{2+}/Zn$  et  $Ag^{+}/Ag$ .  
Constante d'équilibre de la réaction entre le zinc métal et les ions argent :  $K = 10^{52}$

### EXERCICE 5.2 : PILE CUIVRE NICKEL

On réalise une pile à partir des deux demi-piles suivantes :

- Dans l'une des parties, on verse 100 mL de solution de sulfate de nickel  $\text{NiSO}_4$  de concentration  $1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ , et l'on place une lame de nickel de masse  $m_{\text{Ni}} = 20 \text{ g}$  qui trempe dans la solution.
- Dans l'autre partie, on verse 100 mL de solution de sulfate de cuivre II de concentration  $5 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ , et l'on place une lame de cuivre de masse  $m_{\text{Cu}} = 20 \text{ g}$  qui trempe dans la solution.

- 1) Calculer le quotient initial  $Q_{r,i}$ .
- 2) Identifier l'anode et la cathode et écrire les réactions aux électrodes.
- 3) Schématiser la pile en précisant le sens de déplacement des espèces, le sens du courant et les pôles de la pile.
- 4) Déterminer l'avancement maximal de la réaction. Quel est le réactif limitant ?
- 5) On fait débiter cette pile dans un récepteur en maintenant une intensité constante  $I$  égale à 2 A. En déduire la masse de cuivre formé au bout de deux heures.

**Données :** La réaction est :  $\text{Ni} + \text{Cu}^{2+} = \text{Ni}^{2+} + \text{Cu}$  et sa constante d'équilibre  $K = 10^{+19}$   
Masses molaires (en  $\text{g.mol}^{-1}$ ) :  $\text{Ni} = 58,7$  et  $\text{Cu} = 63,5$ .  $1\text{F} = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$

### EXERCICE 5.3 : PILE A COMBUSTIBLE (CORRIGE)

Un courant de dihydrogène diffuse à travers une électrode poreuse. Il entre au contact d'une solution basique d'hydroxyde de potassium KOH. Il se produit une réaction chimique d'équation non équilibrée :  $\text{H}_2 + \text{HO}^- = \text{H}_2\text{O}$ .

A l'autre électrode, un courant de dioxygène réagit avec la même solution. Il se produit une autre réaction chimique d'équation non équilibrée :  $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HO}^-$ .

1. a) Ecrire les deux équations de réactions aux électrodes.  
b) Ecrire l'équation de la réaction globale de la pile.  
c) Identifier l'anode et la cathode de cette pile.
2. On utilise les termes de « comburant » et de « combustible » pour désigner les deux réactifs. Préciser le terme s'appliquant à chacun d'eux.

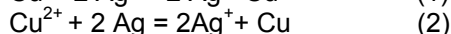
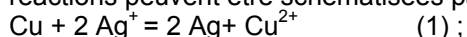
### EXERCICE 5.4 : PILE DANIELL USEE

On réalise une pile Daniell avec une lame de zinc plongeant dans une solution de sulfate Zinc(II) et une lame de cuivre plongeant dans une solution de sulfate de cuivre(II). Les deux solutions ont la même concentration molaire initiale  $C_0 = 1,4 \text{ mol.L}^{-1}$  et le même volume  $V_0 = 100 \text{ mL}$ . La masse de la lame de zinc est suffisante pour que le zinc ne soit pas le réactif limitant.

1. a) Ecrire l'équation de la réaction chimique modélisant le phénomène chimique.  
b) Quelle est la borne positive de cette pile ?
2. La constante d'équilibre associée à l'équation précédente est  $K \approx 10^{37}$  et on ne tient pas compte des transferts d'ions entre les deux solutions lors du fonctionnement.  
a) Vérifier que l'évolution de la pile sera spontanée.  
b) Montrer que l'équilibre final est en fait un état d'avancement maximal.  
c) Calculer les concentrations molaires finales des ions cuivre(II) et zinc(II) quand le système sera parvenu à l'équilibre.  
d) Calculer la masse minimale de la partie immergée de la lame de zinc.
3. a) Calculer la quantité totale d'électricité débitée par la pile  
b) Exprimer la quantité d'électricité précédente en Ah.

### EXERCICE 5.5 : BAC 2003.

A partir des couples oxydant/réducteur  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  et  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  on peut envisager deux transformations dont les réactions peuvent être schématisées par les équations suivantes :



Les constantes d'équilibres de ces réactions sont  $K_1 = 2,1 \cdot 10^{15}$  et  $K_2 = 4,8 \cdot 10^{-16}$ .

### A / TRANSFORMATION CHIMIQUE SPONTANEE PAR TRANSFERT DIRECT D'ELECTRONS :

Un élève réalise l'expérience dont le protocole est donné ci-dessous :

- Verser dans un bécher un volume  $V_1 = 50 \text{ mL}$  de solution de sulfate de cuivre (II) de concentration molaire  $c_1 = 1 \text{ mol.L}^{-1}$  et un volume  $V_2 = 50 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de nitrate d'argent de concentration molaire  $c_2 = 0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ . La solution de sulfate de cuivre est bleue, celle de nitrate d'argent incolore.
- Plonger un fil d'argent et ajouter 3 g de poudre de cuivre de couleur rouge.
- Agiter
- filtrer la solution obtenue et observer sa couleur.

L'élève note dans son compte rendu " on observe un dépôt gris et une intensification de la coloration bleue".

**A.1.** Parmi les deux réactions possibles quelle est celle associée à la transformation chimique du système?

**A.2.** Rappeler le critère d'évolution spontanée.

**A.3.** Calculer le quotient de réaction initial puis, en appliquant le critère d'évolution, montrer que le sens d'évolution prévu est compatible avec les observations expérimentales de l'élève.

### **B / CONSTITUTION ET FONCTIONNEMENT DE LA PILE CUIVRE ARGENT EN CIRCUIT FERME :**

On dispose :

- d'un fil de cuivre,
- d'un fil d'argent,
- d'une solution de sulfate de cuivre (II) de volume  $V_1 = 50$  mL et de concentration molaire  $c_1 = 1$  mol.L<sup>-1</sup>,
- d'une solution de nitrate d'argent de volume  $V_2 = 50$  mL et de concentration molaire  $c_2 = 1$  mol.L<sup>-1</sup>,
- d'un papier imbibé de nitrate de potassium pouvant constituer un pont salin.

**B.1.** Faire un schéma de la pile réalisable avec le matériel donné ci-dessus.

**B.2.** On observe dans le circuit extérieur le passage d'un courant électrique de l'électrode d'argent vers l'électrode de cuivre.

**B.2.a.** Préciser les sens de circulation des électrons sur le schéma précédent et la polarité des électrodes.

**B.2.b.** Ecrire les équations des réactions modélisant les transformations ayant lieu à chaque électrode.

**B.2.c.** Ecrire l'équation de la réaction associée à la transformation ayant lieu dans la pile.

**B.2.d.** La pile cuivre argent en fonctionnement est-elle un système dans l'état d'équilibre ou hors équilibre. Justifier en utilisant le critère d'évolution spontanée.

## Chapitre VI : TRANSFORMATIONS FORCÉES : ELECTROLYSE

### **EXERCICE 6.1 :**

Le cuivre industriel peut contenir des impuretés. L'affinage électrochimique permet d'obtenir du cuivre pur. On réalise pour cela l'électrolyse d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre avec des électrodes de cuivre.

- 1) Faire un schéma légendé de cet électrolyseur.
- 2) Ecrire les équations des réactions aux électrodes.
- 3) Que peut-on dire de la concentration molaire en ions  $\text{Cu}^{2+}$  dans la solution pendant l'expérience ?
- 4) Expliquer comment cette opération peut conduire à la purification du cuivre.
- 5) L'anode est un cylindre de 1,1 mm de diamètre, immergé sur une hauteur de 4,1 cm. De quelle quantité de cuivre est-elle constituée ?
- 6) On fait circuler dans l'électrolyseur un courant électrique égale à 0,8 A. Calculer le temps au bout duquel la circulation du courant sera interrompu.

**Données :** Couple :  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  ;  $\rho_{\text{Cu}} = 8,92$  g.cm<sup>-3</sup> ;  $M(\text{Cu}) = 63,5$  g.mol<sup>-1</sup> ;  $F = 96500$  C.mol<sup>-1</sup>

### **EXERCICE 6.2 : ELABORATION DU ZINC PAR ELECTROLYSE. (BAC 2003).**

Le zinc est préparé par électrolyse d'une solution de sulfate de zinc acidifiée à l'acide sulfurique. Les ions sulfates ne participent pas à la réaction. On observe un dépôt métallique à l'une des électrodes et un dégagement gazeux sur l'autre.

#### **I- Etude de la transformation :**

1. Quels sont les réactions susceptibles de se produire sur chaque électrode sachant que le solvant est oxydé en dihydrogène. Couples redox :  $\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$  ;  $\text{H}^+ / \text{H}_2(\text{g})$  et  $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .
2. Schématiser l'électrolyseur en précisant le nom de chaque électrode, leur polarité et le sens de déplacement des espèces chargées.
3. En justifiant le choix des couples, vérifier que l'équation de la réaction globale de cette électrolyse est :  $\text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{O} = \text{Zn}_{(\text{s})} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+$ .
4. S'agit-il d'une transformation spontanée ou forcée ? Pourquoi ? Quelle vérification théorique proposeriez-vous ?
5. Etablir le tableau d'avancement correspondant à la réaction d'électrolyse.

**II- Exploitations :** l'électrolyse a lieu sous 3,5 V. L'intensité du courant peut atteindre 80 kA. Après 48 heures de fonctionnement, le dépôt de zinc est suffisamment épais et il est alors séparé de l'électrode, fondu et coulé en lingots.

1. Quelle est la relation entre l'avancement  $x$  de la réaction et la quantité d'électricité  $Q$  transportée dans cet électrolyseur ?
2. Quel est l'ordre de grandeur de la masse de zinc produite par une cellule en deux jours ?
3. En fait on obtient une quantité de zinc inférieure à celle attendue. Pourquoi ?
4. A l'autre électrode on récupère le dioxygène. Le rendement de la réaction qui le produit est de 80 % et le volume molaire de 24 L/mol dans les conditions expérimentales. Donner la relation entre l'avancement  $x$  et le volume  $v$  de dioxygène récupéré. Quel est l'ordre de grandeur de  $v$  ?

**Données :**  $\text{Zn} = 65$  g.mol<sup>-1</sup> ;  $\rho_{\text{Zn}} = 7$  g.cm<sup>-3</sup> ; constante d'Avogadro :  $6,02 \cdot 10^{23}$  mol<sup>-1</sup> ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C

### EXERCICE 6.3 : ELECTROLYSE DE L'EAU (CORRIGE)

On réalise l'électrolyse de l'eau additionnée d'acide sulfurique dans un électrolyseur à électrodes de platine.

1. Rappeler les équations des réactions chimiques aux électrodes.
2. L'intensité du courant électrique est constante et égale à 1,5A.  
Calculer le volume de dihydrogène, mesuré dans les conditions normales de température et de pression, produit pendant 10,0 minutes de fonctionnement.
3. L'intensité du courant électrique est toujours constante.
  - a) Exprimer l'avancement de la réaction globale en fonction du temps.
  - b) En déduire pour 10,0 minutes de fonctionnement et pour une intensité égale à 1,50A le volume de dioxygène produit et la masse d'eau consommée.

## Chapitre VII : ESTERIFICATION – HYDROLYSE.

### EXERCICE 7.1 : QUELLE MASSE D'ESTER A L'EQUILIBRE ?

On mélange 3,2g d'acide éthanóique pur et 3,4g d'éthanol. L'ensemble est placé dans une enceinte à température constante, le mélange réactionnel constituant toujours une solution homogène.

1. Ecrire l'équation de la réaction d'estérification.
2. La constante d'équilibre associée à l'équation précédente vaut :  $K = 4,0$ .
  - a) Montrer que la concentration chimique évolue spontanément dans le sens de la formation de l'ester.
  - b) Calculer la masse d'ester prévisible à l'équilibre.
  - c) En déduire le taux d'avancement final de la réaction d'équilibre.

### EXERCICE 7.2 (CORRIGE) :

Le pentanoate de cyclohexyle de formule  $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_3 - \text{CO}_2 - \text{C}_6\text{H}_{11}$  est un ester à odeur de framboise.

On en réalise une synthèse en faisant réagir 22 mL d'acide pentanoïque  $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_3 - \text{CO}_2\text{H}$  et 35 mL de cyclohexanol  $\text{C}_6\text{H}_{11} - \text{OH}$  en présence d'acide sulfurique concentré. En fin de réaction, on recueille une masse de 16 g d'ester.

- 1- Ecrire la réaction d'estérification.
- 2- Définir puis calculer le rendement de cette synthèse.

**Données :** masses volumiques : Acide pentanoïque :  $\rho = 0,939 \text{ g cm}^{-3}$  ; Cyclohexanol :  $\rho = 0,962 \text{ g cm}^{-3}$

### EXERCICE 7.3: PREPARATION D'UN ESTER (CORRIGE).

On mélange 18,3cm<sup>3</sup> d'acide éthanóique, 31,5cm<sup>3</sup> de butan-1-ol et une goutte d'acide sulfurique concentré. Le mélange est versé dans un tube que l'on scelle, puis le tube est placé dans une étuve à 100°C à l'instant  $t=0\text{s}$ . A  $t=1\text{h}$ , le tube est sorti de l'étuve ; son contenu est versé dans un bécher que l'on place immédiatement dans de l'eau glacée. Le dosage par la soude montre que le tube contenait encore 0,12mol d'acide éthanóique.

1.
  - a) Ecrire l'équation de la réaction entre l'acide éthanóique et le butan-1-ol.  
Donner les caractéristiques de cette réaction.
2.
  - a) Déterminer la quantité de matière de chacun des composés présents (sauf l'acide sulfurique) dans le tube à  $t = 1\text{h}$ .
  - b) Calculer le rendement de la réaction.
3.
  - a) Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?
  - b) Pourquoi utilise-t-on l'eau glacée ?

**Données :** Masse volumique : acide éthanóique :  $1\,049\text{kg.m}^{-3}$  ; du butan-1-ol :  $809\text{kg.m}^{-3}$ .

### EXERCICE 7.4: BAC 2003.

Deux étudiants décident de refaire les expériences réalisées en 1862 par les chimistes Marcellin Berthelot et Léon Péan de Saint-Gilles, concernant la réaction d'estérification à partir de l'acide éthanóique et de l'éthanol. Ils préparent 10 ampoules identiques. Ils introduisent dans chaque ampoule 0,1 mol d'éthanol et 0,1 mol d'acide éthanóique. Les ampoules sont fermées hermétiquement et placées dans une étuve à température constante (100°C) à une date initiale ( $t = 0\text{s}$ ). A une date  $t$  donnée, ils sortent une ampoule de l'enceinte, la refroidissent rapidement et effectuent un dosage de l'acide éthanóique restant avec une solution titrée d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine.

Le tableau donné en annexe donne les résultats des dosages successifs.

1. Ecrire l'équation de la réaction associée à l'estérification qui se produit dans chaque ampoule. Nommer l'ester formé.
2. Pourquoi refroidit-on rapidement les ampoules avant chaque dosage.
3. A l'aide d'un tableau d'avancement de la réaction qui a lieu dans chaque ampoule:
  3. a. Déterminer l'avancement maximal  $x_m$ .
  3. b. Calculer l'avancement final  $x_f$  dans chaque ampoule. Reporter ces valeurs dans le tableau donné en annexe (à rendre avec la copie)

4. Définir le taux d'avancement final  $\tau$ . Pour chaque ampoule, calculer ce taux d'avancement final. Reporter ces valeurs dans le tableau donné en annexe.
5. Sur une feuille de papier millimétrée, tracer la courbe  $\tau = f(t)$  représentant la variation du taux d'avancement de l'estérification en fonction du temps.
- Echelles : en abscisse 1 cm représente 20 h
  - en ordonnée 1 cm représente 0,05 (ou 5 %)
6. A partir de l'allure de la courbe, énoncer deux propriétés de la transformation étudiée.
7. Tracer sur le même graphe, l'allure de la courbe qui serait obtenue si l'expérience était réalisée à une température plus élevée. Justifier.

**Annexe :**

durée (heure)	4	5	9	15	32	60	83	150
acide restant (mmol)	74	69	59	53	44	41	39	35
ester formé (mmol) $x_f$								
taux avancement final								

## Chapitre VIII : CONTROLE DE L'EVOLUTION D'UN SYSTEME CHIMIQUE.

### EXERCICE 8.1 : CORRIGE

Dans un tube à essai, on introduit 1mL de solution d'iodure de potassium à  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  et 1mL de solution d'iodate de potassium à  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ . On observe que la solution jaunit très légèrement. On ajoute alors quelques gouttes de solution d'acide chlorhydrique à  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  : une coloration brune intense apparaît.

Les ions  $\text{H}^+$  catalysent – ils cette réaction ?

**Données :** couples redox mis en jeu  $\text{IO}_3^- / \text{I}_2$  et  $\text{I}_2 / \text{I}^-$

### EXERCICE 8.2 : BAC 2004.

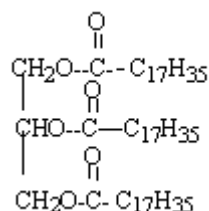
Il y a quelques décennies, les femmes lavaient le linge au lavoir en utilisant un mélange de suif (graisse animale) et de cendre. On cherche à comprendre ici comment ces deux produits salissants permettent le nettoyage.

#### 1. La cendre.

Les cendres étaient recueillies dans un pot et mélangées à de l'eau. La cendre de bois contient de la potasse KOH. Sachant que la potasse contient des ions potassium  $\text{K}^+$ , écrire l'équation traduisant la réaction associée à la dissolution de la potasse solide dans l'eau.

#### 2. Le suif.

Le suif est composé majoritairement de tristéarate (ou octadécanoate) de glycéryle dont la formule est :



a) A quelle famille chimique appartient le tristéarate de glycéryle ? Recopier la formule et entourer les groupes caractéristiques (ou fonctionnels) correspondant à cette famille.

b) Donner la formule de l'acide (sans le nommer), ainsi que la formule et le nom de l'alcool nécessaires pour fabriquer le tristéarate de glycéryle. Comment se nomme cette réaction ?

#### 3. Le mélange de suif et de cendre...

a) En utilisant les formules semi-développées, écrire l'équation chimique de la réaction modélisant la transformation lors du mélange de suif et de cendre.

b) Par cette réaction, on obtient un savon qui a des propriétés nettoyantes. Ce produit possède une partie hydrophile et une partie lipophile. Identifier la partie hydrophile de l'ion négatif contenu dans ce savon et préciser la définition du terme "hydrophile".

### EXERCICE 8.3 : CATALYSE D'OXYDOREDUCTION (BAC, CORRIGE)

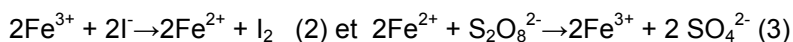
On mélange dans un bécher des volumes sensiblement égaux (environ 25mL) de solutions de mêmes concentrations  $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  d'iodure de potassium et de peroxydisulfate de potassium prises à la température ambiante. Au bout d'environ une minute, une coloration devient décelable.

a) Quelle espèce a été oxydée et par quel oxydant ?

b) Ecrire l'équation (1) de la réaction.

Les couples mis en jeu sont :  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} / \text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{I}_2 / \text{I}^-$ . Les réactions d'oxydoréduction suivantes sont rapides:





c) En déduire que les ions  $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$  sont susceptibles de répondre à la définition, qu'on rappellera, d'un catalyseur de la réaction (1).

d) Proposer une expérience simple montrant qualitativement la plus grande rapidité de la réaction catalysée et l'influence éventuelle de la concentration du catalyseur dans le milieu réactionnel.

## Chapitre IX : EXTRACTION ET IDENTIFICATION DE COMPOSES CHIMIQUES.

### EXERCICE IX-1 : (CORRIGE)

On désire extraire d'une boisson le benzaldéhyde, qui est une molécule à odeur caractéristique d'amande amère. On propose dans le tableau suivant les propriétés de quelques solvants :

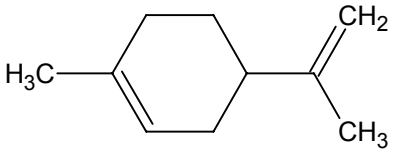
solvant	eau	éthanol	éther
Densité d	1,0	0,80	0,71
Solubilité du benzaldéhyde	soluble	Très soluble	Très soluble
Solubilité du benzaldéhyde dans l'eau	xxxxxxxxxxx	infinie	nulle

1) Quel solvant peut-on utiliser pour extraire le benzaldéhyde ?

2) Quelle technique va-t-on utiliser pour recueillir cette espèce chimique ?

### EXERCICE IX-2 :

L'odeur de l'orange est due à un mélange d'arômes contenus dans le zeste. L'huile extraite du zeste d'orange contient principalement du limonène :

 <p>Molécule de limonène</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Substance</th> <th>Limonène</th> <th>Eau</th> <th>Eau salée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Densité</td> <td>0,84</td> <td>1</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>Solubilité du limonène</td> <td>X</td> <td>Peu soluble</td> <td>Très peu soluble</td> </tr> </tbody> </table>	Substance	Limonène	Eau	Eau salée	Densité	0,84	1	1,1	Solubilité du limonène	X	Peu soluble	Très peu soluble
Substance	Limonène	Eau	Eau salée										
Densité	0,84	1	1,1										
Solubilité du limonène	X	Peu soluble	Très peu soluble										

Bastien, élève de Terminale S, suit le protocole suivant distribué par le professeur en début de séance :

a) Laver puis peler 2 oranges le plus finement possible. Mixer le zeste et l'introduire dans un ballon de 250 mL avec environ 100 mL d'eau chaude. Ajouter quelques grains de pierre ponce et mettre en place le dispositif de distillation. Porter à ébullition jusqu'à obtention d'environ 60 mL de distillat. Noter la température des vapeurs au cours de l'hydrodistillation.

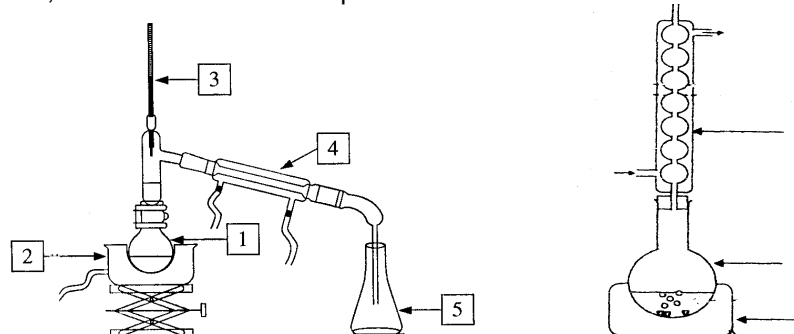
b) Puis, dans une deuxième étape, ajouter au distillat environ 3 g de chlorure de sodium, agiter pour dissoudre le solide.

c) Une fois cette opération effectuée, introduire le distillat dans une ampoule à décanter et extraire la phase organique.

d) Lors d'une dernière étape, ajouter une petite spatulée de chlorure de calcium anhydre puis filtrer et récupérer le distillat.

1) Deux montages sont proposés pour effectuer une hydrodistillation. Quel est celui qui convient ?

Pour le schéma choisi, nommer les différentes parties numérotées de 1 à 5.



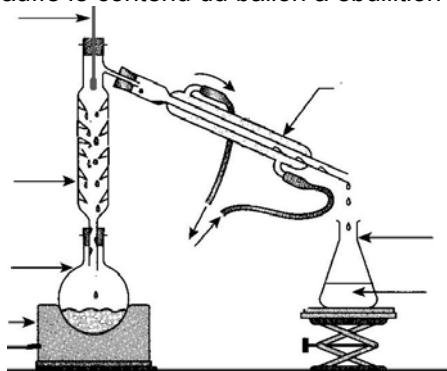
2) Quel est le rôle de la pierre ponce ?

- 3) Au cours de l'hydrodistillation, on peut lire une température inférieure à 100°C. Pourquoi ?
- 4) En utilisant les données, justifier l'ajout de chlorure de sodium.
- 5) Quel est le rôle de l'ampoule à décanter ? En vous aidant des données, faire un schéma légendé de l'ampoule à décanter en précisant les positions de chaque phase.
- 6) Préciser le rôle du chlorure de calcium anhydre ?
- 7) Quelle opération faudrait-il faire pour séparer l'huile essentielle du solvant ?

### EXERCICE IX-3 :

Pour extraire l'huile essentielle de la lavande, on utilise une technique très ancienne : l'hydrodistillation.

A) On introduit dans le ballon ci-dessous 15 g de fleurs de lavande et environ 100 mL d'eau. Puis on chauffe le contenu du ballon à ébullition pendant 20 à 30 min.



- 1) Annoter le schéma ci-dessus.
- 2) Quel est le rôle du réfrigérant ? Où doit se trouver l'arrivée d'eau froide ? Pourquoi ?
- 3) A partir de quel moment va-t-on recueillir le distillat ?
- 4) Indiquer les principales étapes de la réalisation de cette manipulation.
- 5) Quel est l'aspect du distillat obtenu ? Recueillez-vous de l'huile essentielle ? Justifier votre réponse

B) On souhaite dans une deuxième étape recueillir l'huile essentielle du distillat. Pour cela, on réalise une extraction par solvant.

On ajoute 2 g de chlorure de sodium au distillat obtenu. On agite avec une baguette de verre pour bien dissoudre le sel dans l'eau. Cette technique porte le nom de relargage. Puis on introduit le distillat dans une ampoule à décanter et on ajoute 2 mL de solvant. On agite l'ampoule après l'avoir bouchée, le robinet vers le haut pour soulager d'éventuelles surpressions. On laisse reposer et on recueille la phase organique dans un bécher. On ajoute ensuite une petite quantité de sulfate de magnésium.

	eau	Eau salée	cyclohexane	Essence de lavande
Densité	1,0	1,1	0,78	0,90
Solubilité dans l'eau	X	X	nulle	Faible
Solubilité dans l'eau salée	X	X	nulle	Très faible
Solubilité dans le cyclohexane	nulle	nulle	X	Très soluble

- 1) Pourquoi ajoute-t-on du chlorure de sodium au distillat ?
- 2) A partir des données du tableau, quel solvant extracteur va-t-on choisir pour réaliser l'extraction.
- 3) Pourquoi faut-il agiter l'ampoule à décanter et la purger de temps en temps ?
- 4) Représenter une ampoule à décanter et préciser sur votre schéma la place des deux phases présentes.
- 5) Quelle phase faut-il recueillir ?
- 6) Quel est le rôle du sulfate de magnésium ?

## Chapitre X : ELABORATION DES COMPOSES CHIMIQUES

### EXERCICE X-1 :(CORRIGE)

On réalise l'estérification entre l'acide éthanoïque et le méthanol. Pour cela, on introduit dans un ballon 50 mL d'acide éthanoïque et 30 mL de méthanol. On ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique.

- 1) Calculer les quantités de matière de chacun des réactifs. Quel est celui en excès ?
- 2) Déterminer l'avancement maximal de la réaction..
- 3) Le rendement de cette expérience est de 68 %. En déduire la quantité de matière d'ester finalement obtenue.

**Données :** Masses volumiques (en g.cm<sup>-3</sup>) : ρ(acide acétique) = 1,03 ; ρ(méthanol) = 0,79

### EXERCICE X-2 :

L'éthanoate de 3-méthylbutyle (ou l'acétate d'isoamyle) est une espèce chimique au goût de banane. Cet ester est très utilisé dans l'industrie alimentaire pour parfumer les sirops.



Pour préparer au laboratoire cette espèce, on introduit dans un ballon 40,0 mL d'acide éthanóique et 20,0 mL de 3-méthylbutan-1-ol. Puis on ajoute 2,0 mL d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce. On surmonte le ballon d'un réfrigérant et on porte le mélange à ébullition pendant 60 minutes.

1) Quelles sont les consignes de sécurité à respecter pour réaliser la synthèse ?

2) Faire un schéma légendé du montage expérimental.

3) Préciser le rôle de l'acide sulfurique.

4) Pourquoi ajoute-t-on quelques grains de pierre ponce ?

5) Écrire l'équation de la réaction qui se produit dans le ballon. Donner ses caractéristiques.

6) Calculer les quantités de matières de chacun des réactifs. L'un d'eux est en excès. Lequel ?

On extrait ensuite le composé par distillation. Après purification, on obtient 18 mL d'ester.

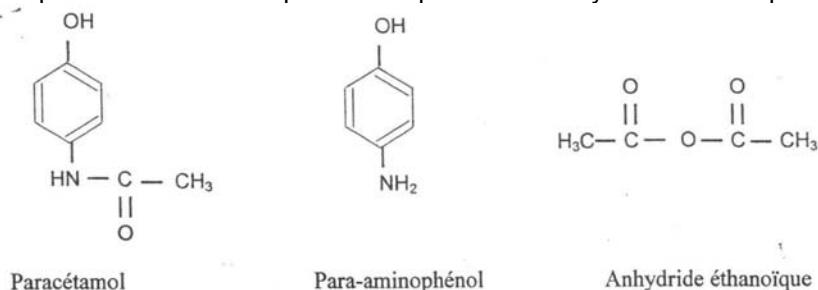
7) Quel est le rendement de la manipulation ?

8) Quel autre type d'extraction aurait-on pu réaliser ? Dans ce cas, de quels renseignements aurait-on eu besoin ? Faire une liste du matériel nécessaire pour réaliser cette extraction.

**Données :** Masses volumiques (en  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) :  $\rho(\text{acide acétique}) = 1,03$  ;  $\rho(3\text{-méthylbutan-1-ol}) = 0,81$  ;  $\rho(\text{éthanoate de 3-méthylbutyle}) = 0,81$

### EXERCICE X-3 :

Le paracétamol est un médicament qui se rapproche de l'aspirine par ses propriétés analgésiques et antipyrétiques. Il est dépourvu d'action anti-inflammatoire, mais ne présente pas les contre-indications de l'aspirine. On l'obtient par réaction entre le para-aminophénol et l'anhydride éthanóique en milieu aqueux.



### Données :

	Para-aminophénol	Paracétamol	Anhydride éthanóique
<b>M</b> (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	109	151	102
<b>T<sub>fus</sub></b> ( $^{\circ}\text{C}$ )	187	170	-73
	solubilités dans l'eau: 0,8 g dans 100 g à 20 $^{\circ}\text{C}$ et 8,5 g dans 100 g à 100 $^{\circ}\text{C}$	solubilités dans l'eau: 1 g dans 100 g à 20 $^{\circ}\text{C}$ 25 g dans 100 g à 100 $^{\circ}\text{C}$	masse volumique: 1,082 $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$

#### 1. Synthèse du produit brut.

Dans un ballon à trois cols (ou tricol), muni d'une agitation mécanique, d'un réfrigérant à reflux et d'une ampoule de coulée, introduire 10,0 g de para-aminophénol.

Sous vive agitation, introduire rapidement 30 mL d'eau puis un peu plus lentement 12,0 mL d'anhydride éthanóique.

Porter l'ensemble à reflux pendant environ 20 minutes.

Refroidir puis transvaser dans un bécher.

Refroidir alors dans un bain de glace le paracétamol précipite.

Filtrer sous vide et laver à l'eau glacée.

Essorer et sécher sur papier filtre.

Placer le produit brut humide obtenu à l'étuve à 30  $^{\circ}\text{C}$  : on obtient alors une masse de produit brut sec P :  $m_p = 10,8$  g.

**1.1** Réécrire la formule semi-développée de l'anhydride éthanóique et entourer le groupe anhydride.

**1.2** Réécrire la formule semi-développée du paracétamol et entourer le groupe amide.

**1.3** Lequel des deux montages suivants est un montage à reflux ? Comment se nomme l'autre montage ?



1.4 À partir des données physico-chimiques :

1.4.1. Justifier l'état physique du para-aminophénol avant d'être versé dans le ballon à trois cols (ou tricol).

1.4.2. Justifier l'apparition du précipité de paracétamol lors du refroidissement dans le bain de glace.

1.5 Légender le schéma de l'ensemble de filtration sous vide représenté en **Annexe**.

1.6 Suivi de réaction : Para-aminophénol + Anhydride éthanoïque = Paracétamol + Acide éthanoïque  
 $C_6H_7NO + C_4H_6O_3 = C_8H_9NO_2 + C_2H_4O_2$

1.6.1. Montrer que les quantités initiales de réactifs sont :

$$n_{\text{anhydride éthanoïque}} = 1,27 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \quad \text{et} \quad n_{\text{para-aminophénol}} = 9,17 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

1.6.2. Compléter alors le tableau descriptif de la réaction.

1.6.3. En utilisant ce tableau, préciser quel est le réactif limitant. **Justifier**.

1.6.4. A partir de ce tableau, déduire la quantité de matière théorique  $n_{th}$  de paracétamol susceptible d'être obtenue.

1.7 Calcul du rendement de la synthèse.

1.7.1 Calculer la quantité de matière  $n_p$  de paracétamol réellement obtenue.

1.7.2 En déduire le rendement  $\eta$  de cette synthèse.

## 2. Purification du paracétamol

À partir du produit brut sec P, on réalise deux parts  $P_1$  et  $P_2$  de masse identique.

On souhaite recrystalliser la part  $P_2$ .

2.1 Décrire le protocole permettant de réaliser cette recrystallisation dans l'eau ?

2.2 Après avoir recrystallisé cette part  $P_2$ , on la place à l'étuve à  $80^\circ\text{C}$  et on obtient une masse:  $m_{P_2} = 4,2 \text{ g}$ .

2.2.1. Calculer le nouveau rendement  $\eta'$  de cette synthèse, après cette purification.

2.2.2. Comparer  $\eta'$  et  $\eta$ .

2.2.3. Quel est le vrai rendement en paracétamol ? **Justifier votre réponse**.

## 3. Analyse par chromatographie sur couche mince des produits obtenus.

Mode opératoire :

Sur une plaque de silice sensible aux UV on effectue les dépôts suivants :

- paraminophénol (E) en solution dans l'éthanol ;

- paracétamol brut ( $P_1$ ) en solution dans l'éthanol ;

- paracétamol purifié ( $P_2$ ) en solution dans l'éthanol ;

- paracétamol issu d'un comprimé pharmaceutique ( $P_3$ ) en solution dans l'éthanol ;

L'éluant est un mélange organique complexe.

Après révélation, on obtient le chromatogramme reporté en **Annexe**.

3.1. Interpréter le chromatogramme. Peut-on utiliser la chromatographie sur couche mince pour vérifier la pureté du paracétamol?

<b>Annexe :</b>		
-----------------	--	--

# Chapitre XI : EFFECTUER DES CONTROLES DE QUALITE : LES TECHNIQUES DE DOSAGE.

## EXERCICE XI-1 : \*\* TITRAGE DIRECT DE L'ACIDE LACTIQUE.

En cas de mauvaise conservation du lait, il se forme de l'acide lactique. Pour que le lait soit consommable, la concentration en acide lactique ne doit pas dépasser  $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . L'acide lactique a pour formule  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ . La détermination de la concentration d'acide lactique d'un lait s'effectue par un dosage, à l'aide d'une solution de soude de concentration connue. On dose un échantillon de 20,0 mL de lait par une solution de soude de concentration égale à  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . On suit l'évolution du pH lors de l'addition progressive de la soude (volume versé  $V_b$ ) :

$V_b$ (mL)	0	2	4	6	8	10	11	11,5	12	12,5	13	14	16
pH	3,0	3,1	3,5	4,0	4,3	4,7	5,0	6,3	8,1	10,7	11,1	11,3	11,5

- 1) Ecrire l'équation de la réaction de dosage.
- 2) Faire un schéma annoté du montage du dosage.
- 3) Tracer le graphe de la variation du pH en fonction du volume de soude ajouté.
- 4) En déduire les coordonnées du point d'équivalence.
- 5) Calculer la concentration de l'acide lactique du lait étudié. Est-il consommable ou caillé ?

## EXERCICE XI-2 : DOSAGE PAR ETALONNAGE. BAC 2004(CORRIGE)

L'eau de Dakin est un antiseptique utilisé pour le lavage des plaies et des muqueuses. Elle a une couleur rose et une odeur chlorée. L'étiquette du flacon mentionne les principes actifs pour un volume  $V = 100 \text{ mL}$  : "solution concentrée d'hypochlorite de sodium, quantité correspondant à 0,500 g de chlore actif - permanganate de potassium 0,0010 g - dihydrogénophosphate de sodium dihydraté - eau purifiée". En outre, l'eau de Dakin contient des ions chlorure.

Cet exercice propose de vérifier une partie des indications de l'étiquette. La question 1 est indépendante des questions 2 et 3.

**Données:** Masse molaire atomique (en  $\text{g.mol}^{-1}$ ) :  $M(\text{O}) = 16$ ,  $M(\text{K}) = 39$ ,  $M(\text{Na}) = 33$ ,  $M(\text{Mn}) = 55$ ,  $M(\text{Cl}) = 35,5$   
Solubilité du dichlore à  $20^\circ\text{C}$  : dans l'eau :  $8 \text{ g.L}^{-1}$  ; dans l'eau salée : très peu soluble.  
Volume molaire gazeux dans les conditions de l'expérience :  $V_M = 24,0 \text{ L.mol}^{-1}$ .

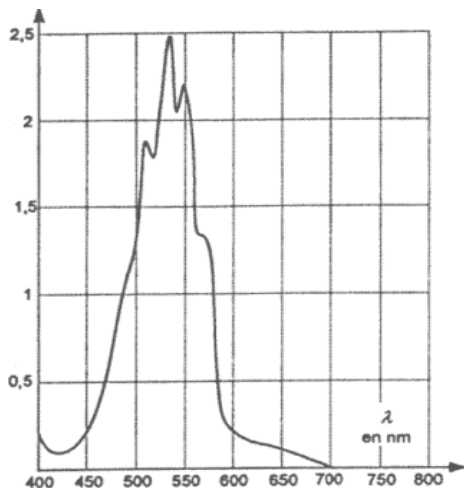
### 1. Dosage par spectrophotométrie du permanganate de potassium en solution

a) Afin de réaliser une échelle de teintes, on prépare un volume  $V_0 = 500 \text{ mL}$  d'une solution mère  $S_0$  de permanganate de potassium à la concentration molaire en soluté apporté  $c_0 = 0,01 \text{ mol/L}$ . Calculer la masse de permanganate de potassium solide (de formule  $\text{KMnO}_4$ ) à peser pour préparer cette solution par dissolution. La solution  $S_0$  permet de préparer une échelle de teintes constituée par cinq solutions dont on mesure l'absorbance  $A$  à la longueur d'onde  $530 \text{ nm}$ .

solution	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
Concentration $c$ ( $\text{mol.L}^{-1}$ )	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
absorbance $A$	0,221	0,179	0,131	0,088	0,044

b) Tracer la courbe représentante  $A = f(c)$ . Déterminer la relation numérique entre  $A$  et  $c$ .

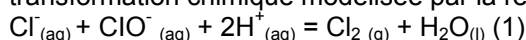
c) À partir du spectre d'absorption ci-dessous réalisé avec une solution de permanganate de potassium, expliquer comment on a choisi la longueur d'onde pour cette étude.



- d) Ce spectre a-t-il été réalisé avec une solution de concentration molaire plus élevée ou plus faible que celles du tableau précédent ? Justifier sans calcul.  
L'absorbance de l'eau de Dakin à la longueur d'onde  $\lambda = 530$  nm est 0,14. A cette longueur d'onde, et pour les concentrations des espèces chimiques de l'eau de Dakin, on admettra que seul le permanganate de potassium intervient dans la mesure de l'absorbance.
- e) En déduire la concentration molaire  $c_{\text{exp}}$  en permanganate de potassium apporté de l'eau de Dakin.
- f) À partir des données de l'étiquette, calculer la concentration molaire  $c$  en permanganate de potassium apporté de l'eau de Dakin et comparer au résultat expérimental. Pour cela, on calculera si cela est nécessaire, l'écart relatif et on l'exprimera en pourcentage.

## 2. Détermination de la masse de chlore actif

a) Une définition de la masse de chlore actif correspond à la masse de dichlore dégagé lors de la transformation chimique modélisée par la réaction en milieu acide dont l'équation s'écrit :



Connaissant les deux couples oxydant/réducteur  $\text{Cl}_2 / \text{Cl}^-$  et  $\text{ClO}^- / \text{Cl}_2$ , écrire, dans le cas de cette réaction, la demi-équation associée respectivement à chaque couple.

Afin de vérifier l'indication de l'étiquette concernant la masse de chlore actif, on verse un excès d'acide chlorhydrique dans un volume  $V = 100$  mL d'eau de Dakin. On réalise ainsi la transformation chimique modélisée par la réaction associée à l'équation (1). On recueille, sous la hotte, dans une cuve contenant de l'eau salée, un volume  $v = 170$  mL de dichlore.

b) Justifier l'utilisation de l'eau salée pour la récupération du dichlore.

c) Calculer la masse de dichlore recueilli et la comparer à l'indication portée sur l'étiquette en calculant l'écart relatif et en exprimant celui-ci en pourcentage.

## 3. Rôle du dihydrogénophosphate de sodium dihydraté

Dans l'eau de Dakin le dihydrogénophosphate de sodium permet de maintenir basique la solution. Donner une raison justifiant la nécessité de maintenir basique l'eau de Dakin.

## EXERCICE XI-3 : TITRAGE INDIRECT. BAC 2004 .

Le degré alcoolique d'un vin est le pourcentage volumique d'alcool mesuré à une température de 20°C.

Pour déterminer le degré alcoolique d'un vin, il faut d'abord isoler l'alcool des autres composés du vin (acides, matières minérales, sucres, esters,...) en réalisant une distillation. Cette méthode de séparation ne permet pas d'obtenir de l'éthanol pur mais un mélange eau - éthanol dont les proportions sont constantes. Il est donc nécessaire d'ajouter de l'eau au vin pour être sûr de recueillir pratiquement tout l'éthanol contenu dans celui-ci. La solution aqueuse d'éthanol est ensuite ajustée à 100 mL avec de l'eau distillée, pour simplifier les calculs. Puis l'alcool est oxydé quantitativement en acide acétique (éthanoïque) par un excès de dichromate de potassium. L'oxydant excédentaire est ensuite dosé par une solution de sel de Mohr  $[\text{FeSO}_4, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ . Ce dosage est appelé dosage indirect (ou en retour).

### I. EXTRACTION DE L'ETHANOL

Pour ce dosage, on prélève 10,0 mL de vin auxquels on ajoute environ 50 mL d'eau. On distille ce mélange et on recueille un volume de 42 mL de distillât (noté  $S_1$ ). On considère qu'il contient alors tout l'éthanol du vin.

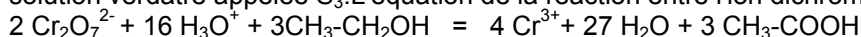
### II. PREPARATION DE LA SOLUTION A TITRER

On complète  $S_1$  à 100,0 mL avec de l'eau distillée. On obtient ainsi une solution notée  $S_2$ .

$S_2$  contient donc l'éthanol présent dans les 10 mL de vin prélevé, dilué 10 fois.

### III. REACTION ENTRE L'ETHANOL ET LE DICHROMATE DE POTASSIUM

Dans un erlenmeyer, on mélange  $V_0 = 10,0$  mL de solution  $S_2$ ,  $V_1 = 20,0$  mL d'une solution de dichromate de potassium ( $2\text{K}^+_{(\text{aq})} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$ ) de concentration  $C_1 = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et environ 10 mL d'acide sulfurique concentré. On bouche l'erlenmeyer et on laisse réagir pendant environ 30 minutes. On obtient alors une solution verdâtre appelée  $S_3$ . L'équation de la réaction entre l'ion dichromate et l'éthanol est :



III.1. Justifier la couleur de la solution  $S_3$ .

III.2. Pourquoi doit-on boucher l'erlenmeyer ?

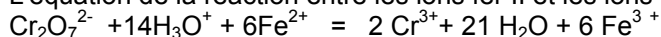
III.3. En vous aidant éventuellement d'un tableau d'avancement, montrer que la relation entre la quantité  $n_0$  d'éthanol oxydé et la quantité  $n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{restant}}$  d'ions dichromate restant après cette oxydation est :  $n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{restant}} = C_1 \times V_1 - \frac{2}{3} n_0$ .

$$n_{\text{restant}} = C_1 \times V_1 - \frac{2}{3} n_0$$

#### IV DOSAGE DE L'EXCES DU DICHROMATE DE POTASSIUM.

On dose alors les ions dichromate en excès avec une solution de sel de Mohr de concentration  $C_2 = 5,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ . Le volume de solution de sel de Mohr nécessaire pour atteindre l'équivalence (repérée à l'aide d'un indicateur de fin de réaction) est  $V_2 = 7,6 \text{ mL}$ .

L'équation de la réaction entre les ions fer II et les ions dichromate est :



IV. 1. En vous aidant éventuellement d'un tableau d'avancement, montrer que :  $n_0 = \frac{3}{2} C_1 \times V_1 - \frac{1}{4} C_2 \times V_2$ .

IV.2. Faire l'application numérique.

#### V. EXPLOITATION :

V.1. Déterminer la quantité de matière d'éthanol  $n_{\text{éthanol}}$  contenue dans 100 mL de vin.

V.2. Déterminer le degré alcoolique du vin étudié.

V.3. L'étiquette de la bouteille indique que le vin a un degré alcoolique  $d = 12^\circ$ . Cette indication est le résultat d'un contrôle (alcoométrie directe) réalisé à l'aide d'un densimètre (aussi appelé alcoomètre) directement gradué en degré alcoolique.

La densité (donc le degré alcoolique) varie avec la température et les densimètres utilisés sont étalonnés pour  $20^\circ\text{C}$ . Pour comparer le résultat du dosage précédent réalisé à  $21^\circ\text{C}$  et l'indication portée sur l'étiquette, il faut apporter une correction au degré lu sur l'étiquette (voir tableau ci-dessous).

V.3.1 Quelle correction doit-on apporter à la valeur  $d = 12^\circ$  inscrite sur l'étiquette ?

V.3.2 Le résultat du dosage est-il alors en accord avec la valeur corrigée de ce degré ?

#### Données :

Masse volumique de l'éthanol :  $0,78 \text{ g.mL}^{-1}$   
Masse molaire de l'éthanol :  $M = 46 \text{ g.mol}^{-1}$

Couples oxydant-réducteur mis en jeu :

• Acide éthanioïque / Éthanol  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$  /  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$   
(incolore) (incolore)

• Ion dichromate / Ion chrome  
 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  /  $\text{Cr}^{3+}$   
(orange) (vert)

• Ion fer III / Ion fer II  
 $\text{Fe}^{3+}$  /  $\text{Fe}^{2+}$   
(rouille) (verdâtre)

Les valeurs du tableau correspondent à la correction à apporter au degré lu.

t °C	Degré alcoolique lu à t °C sur l'alcoomètre								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16
15	+ 0,72	+ 0,77	+ 0,82	+ 0,87	+ 0,94	+ 1,01	+ 1,09	+ 1,17	+ 1,26
16	+ 0,58	+ 0,62	+ 0,66	+ 0,71	+ 0,76	+ 0,82	+ 0,83	+ 0,94	+ 1,01
17	+ 0,46	+ 0,48	+ 0,51	+ 0,55	+ 0,58	+ 0,63	+ 0,67	+ 0,71	+ 0,76
18	+ 0,31	+ 0,33	+ 0,34	+ 0,36	+ 0,39	+ 0,42	+ 0,45	+ 0,47	+ 0,50
19	+ 0,16	+ 0,16	+ 0,17	+ 0,18	+ 0,20	+ 0,21	+ 0,23	+ 0,24	+ 0,26
21	- 0,16	- 0,17	- 0,17	- 0,18	- 0,19	- 0,20	- 0,21	- 0,24	- 0,26
22	- 0,34	- 0,35	- 0,37	- 0,40	- 0,42	- 0,44	- 0,46	- 0,48	- 0,51
23	- 0,51	- 0,54	- 0,56	- 0,60	- 0,63	- 0,67	- 0,71	- 0,74	- 0,78

Document : Chambre de l'Agriculture de la Gironde.

Exemple : on lit sur l'alcoomètre : 16,0 % à  $18^\circ\text{C}$   
A  $20^\circ\text{C}$  :  $16,0 + 0,5 = 16,5 \%$ .

## Chapitre XII : SEPARATION ET ELECTROLYSE.

### EXERCICE 12-1 : (CORRIGE)

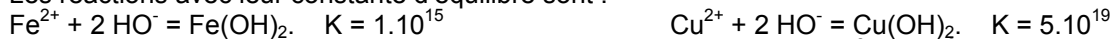
Dans une solution contenant des ions  $\text{Cu}^{2+}$  à la concentration de  $1 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ , on ajoute goutte à goutte une solution d'hydroxyde de sodium. Déterminer à partir de quelle valeur du pH on aura un précipité d'hydroxyde de cuivre ?

**Données :** constante d'équilibre de la réaction de formation d'hydroxyde de cuivre  $K = 5 \cdot 10^{19}$

### EXERCICE 12-2 :

Les cations  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Cu}^{2+}$  peuvent être séparés par précipitation fractionnée avec les ions hydroxydes.

Les réactions avec leur constante d'équilibre sont :



On considère initialement une solution S contenant les deux cations  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Cu}^{2+}$  à la concentration de  $1 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . La solution a été acidifiée de façon à ce que le pH initial = 2.

On ajoute alors de la soude à la solution. On suppose que le volume de S ne varie pas.

On continue d'ajouter de la soude jusqu'à ce que le pH soit égal à 6.

1) Calculer le quotient de réaction initial. En déduire s'il y a précipitation dans la solution.

2) Calculer la valeur théorique du pH à l'apparition du précipité d'hydroxyde de fer.

3) Par un raisonnement analogue, trouver la valeur théorique du pH à l'apparition du précipité d'hydroxyde de cuivre.

4) En déduire le but de ce protocole expérimental.

### EXERCICE 12-3 :

Dans l'industrie, l'aluminium est obtenu par électrolyse de l'alumine de formule  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . On considère ici que l'électrolyte est constitué d'ions  $\text{Al}^{3+}$  et d'ions  $\text{O}^{2-}$ .

On branche entre les électrodes un générateur, et on fait débiter un courant d'intensité électrique  $I = 50 \text{ kA}$ .

1) Ecrire les équations des réactions aux électrodes, sachant que les seuls produits obtenus sont l'aluminium et le dioxygène.

2) A quelle électrode récupère-t-on l'aluminium ?

3) En déduire l'équation de la réaction d'électrolyse.

4) Déterminer la relation entre la quantité d'électrons échangée et l'avancement  $x$  de la réaction.

5) En déduire la masse d'aluminium produite en 15 heures.

**Données :** Couples :  $\text{Al}^{3+}/\text{Al}$  et  $\text{O}_2/\text{O}^{2-}$ .  $1 \text{ F} = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .



# Partie G : CORRIGES PHYSIQUE



# Chapitre I : ONDES MECANQUES PROGRESSIVES

## EXERCICE 1.4 :

a) Le fil est tendu par l'intermédiaire d'une poulie. La tension du fil  $T$  est égale, avec une bonne approximation, au poids  $P$  de la masse  $M$  donc  $T$  est homogène à une masse multipliée par une accélération ( $P=m.g$ ) d'où  $T$  est en  $\text{kg.m.s}^{-2}$ .  $\mu$  est la masse linéique c'est à dire la masse de fil par unité de longueur d'où  $\mu$  est en  $\text{kg.m}^{-1}$ . On obtient bien en injectant dans la relation une unité de la forme  $\text{m.s}^{-1}$ , homogène à une vitesse.

b) Il s'agit d'une onde mécanique progressive transversale à une dimension.

c)  $T=M \times g$ . La masse linéique est la masse par unité de longueur, soit  $\mu = \frac{m}{l}$ .

$$\text{Donc } v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{M \cdot g}{\frac{m}{l}}} = \sqrt{\frac{l \cdot M \cdot g}{m}}. \quad \text{A.N : } v = 40 \text{m.s}^{-1}.$$

d) Pour se déplacer du point O vers le point A à la vitesse  $v$ , l'onde met :  $v = \frac{l}{\tau}$  soit  $\tau = \frac{l}{v}$ . En remplaçant  $v$

par l'expression trouvée précédemment,  $\tau = \sqrt{\frac{l \cdot m}{M \cdot g}}$ . A.N :  $\tau = 0,0247 \text{s}$  soit  $24,7 \text{ms}$ .

La perturbation arrive donc à la date  $t=t_0+\tau$  au point A, avec  $t_0$  instant initial.

e) Si  $M' = \frac{M}{4}$ , l'expression devient :  $\tau' = \sqrt{4} \cdot \sqrt{\frac{l \cdot m}{M \cdot g}} = 2\tau$ .

La perturbation se propage deux fois plus lentement et arrive en A à l'instant  $t = t_0 + 49,5 \text{ms}$ .

f) Si  $l' = \frac{l}{2}$ ,  $m' = \frac{m}{2}$  car le fil est plus court, mais sa masse linéique est la même ; l'expression de  $\tau$  devient :

$\tau'' = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{l \cdot m}{M \cdot g}} = \frac{\tau}{2}$ . La perturbation se propage à la même vitesse, mais elle arrive en A à l'instant  $t = t_0 + 12,4 \text{ms}$ .

# Chapitre II : ONDES MECANQUES PROGRESSIVES PERIODIQUES

## EXERCICE 2.1 :

a)  $\lambda = 8,0 \text{cm}$ . b) A et B vibrent en phase avec S ( $d = k \cdot \lambda$ ,  $k$  entier relatif).

## EXERCICE 2.3 :

a) L'onde ultrasonore a parcouru la distance  $d=2h$  l'instant où elle est émise et l'instant où elle est captée par le récepteur qui stoppe alors le fonctionnement de l'émetteur. Le capteur indique alors le nombre  $n$  de périodes  $T$  de l'onde ultrasonores émises.

Ceci permet de déterminer la durée d'émission de l'onde et donc le temps mis par l'onde pour effectuer un aller-retour entre la coque du bateau et le fond du port :  $t=nT$  or  $T = \frac{1}{f}$  donc  $t = \frac{n}{f}$ .

Nous pouvons alors déterminer la célérité  $v$  des ultrasons dans l'eau :  $v = \frac{d}{t} = \frac{2h}{\frac{n}{f}} = \frac{2hf}{n} = 1,5 \cdot 10^3 \text{m.s}^{-1}$  (1)

b) La périodicité spatiale d'une onde est associée à sa longueur d'onde  $\lambda$ . Le nombre d'oscillations spatiales complètes comprises entre l'émetteur et le fond du port vaut donc, en utilisant la relation (1) :

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\frac{2hf}{nT}} = \frac{h}{\frac{2hf}{n} \cdot \frac{1}{f}} = \frac{n}{2}$$

c) Le compteur ne prend en compte que les périodes entières de l'onde ultrasonore émise, c'est à dire que si 4,01 ou 4,99 périodes ont été émises, le compteur affichera  $n=4$ . L'erreur maximale au compteur sera donc d'une unité :  $\Delta n = 1$ . L'incertitude sur la mesure de la profondeur  $\Delta h$ , en utilisant la relation (1) s'exprime alors

$$\text{par : } \Delta h = \frac{v \Delta n}{2f} = 1,9 \text{cm}$$

d) Utilisons la relation (1) pour calculer la profondeur  $p$  de l'océan lorsque le compteur indique  $n=330$  :  $123$  :

$$p = \frac{nv}{2f} = 6,0 \text{km}.$$

e) Lors de la mesure précédente l'onde ultrasonore parcourt la distance L telle que  $L=2p$ , nous pouvons donc calculer l'amplitude de l'onde reçue à l'aide de la relation proposée :

$$P_{reçue} = P_0 \cdot \exp(-\mu L) = P_0 \cdot \exp(-\mu \cdot 2p) = 4,5 \cdot 10^{-1} \text{ Pa.}$$

f) Nous cherchons la profondeur maximale  $p_{max}$  que le sonar peut mesurer compte tenu de l'amplitude minimale que le récepteur est capable de détecter. Il faut donc que :  $P_{reçue} \geq P_{min}$

$$\text{soit : } P_{reçue} = P_0 \cdot \exp(-\mu L) = P_0 \cdot \exp(-\mu \cdot 2p) \geq P_{min} \quad \text{donc : } \exp(-\mu 2p) \geq \frac{P_{min}}{P_0}$$

$$\text{soit } -\mu 2p \geq \ln\left(\frac{P_{min}}{P_0}\right), \text{ donc } p \leq \frac{1}{2\mu} \ln\left(\frac{P_{min}}{P_0}\right) \quad \text{donc } p_{max} = 1,8 \cdot 10^4 \text{ m} = 18 \text{ km}$$

Ce sonar permet de mesurer la profondeur de tous les océans du monde.

## Chapitre III : LA LUMIERE

### EXERCICE 3.5 :

a) Par définition,  $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$ . Donc  $T = \frac{\lambda}{c}$  et  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ .

Donc  $T = 2,06 \cdot 10^{-15}$  s et  $\nu = 4,88 \cdot 10^{14}$  Hz. Cette radiation est visible car elle appartient au domaine  $400 \text{ nm} < \lambda_{\text{visible}} < 800 \text{ nm}$ .

b) Voir cours.

c) L'écart angulaire est donné par :  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  et  $\tan \theta \sim \theta = \frac{d}{D}$ , d étant la distance entre le milieu de la frange centrale et le milieu de la première extinction. On obtient d'après la figure de diffraction la distance  $d = 0,625 \text{ cm}$ . On a donc  $\theta = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$ .

d) Par définition,  $\theta = \frac{\lambda}{a}$ , soit  $a = \frac{\lambda}{\theta} = \frac{\lambda D}{d} = 1,18 \cdot 10^4 \text{ m}$ .

## Chapitre IV : LA RADIOACTIVITE

### EXERCICE 4.2 :

1) Faux : l'affirmation a échangé neutrons et protons.

2) Faux : la masse d'un noyau est toujours inférieure à la somme des masses des nucléons.

3) Vrai : "le radium se désintègre spontanément en émettant une particule  $\alpha$  ( ${}^4_2\text{He}$ ), le noyau fils étant un isotope du radon". charge électrique :  $88 = 2 + 86$  ; nombre de nucléons :  $226 = 4 + 222$ .

4) Ce ne sont pas des isotopes car leurs numéros atomiques sont différents.

5) Faux : le radium étant radioactif  $\beta^-$ , il émet un électron lors de sa désintégration spontanée. Ce n'est pas le cas ici.

6) Vrai : d'après la loi de décroissance radioactive,  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ . Or, la demi-vie  $t_{1/2}$  du radon est définie par :  $\lambda t_{1/2} = \ln 2$ .

Comme  $t = 3 t_{1/2}$ , le pourcentage de noyaux de radon restant au bout de  $t = 11,4$  jours est donc :  $N_0 / 2^3 = N_0 / 8 = 0,125 N_0$  ; soit 12,5%

7) Faux : il y a émission de trois particules  $\alpha$  et deux électrons.

8) Faux : l'activité du radium 226 est le nombre de désintégrations par seconde :  $A = 6,0 \cdot 10^5 \text{ Bq}$ .

Le nombre de noyaux désintégrés en 1 minute est donc égal à :

$$6,0 \cdot 10^5 \cdot 60 = 3,6 \cdot 10^7 \text{ désintégrations.}$$

9) Faux : si E est l'énergie échangée, alors

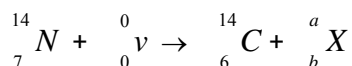
$$E = \Delta m c^2 = -8,75 \cdot 10^{-30} \cdot 2,998^2 \cdot 10^{16} = -7,865 \cdot 10^{-13} \text{ J} = -4,9 \text{ MeV.}$$

10) vrai : pour  $1 \text{ m}^3$  de radon,  $A = 3,75 \cdot 10^3 \text{ Bq}$  Or  $N = A / \lambda = 1,786 \cdot 10^9$  noyaux

La quantité de matière en radon, dans  $1 \text{ m}^3$ , responsable de l'activité est :  $n = 1,786 \cdot 10^9 / 6,02 \cdot 10^{23} = 2,97 \cdot 10^{-15} \text{ mol}$ .

### EXERCICE 4.3 :

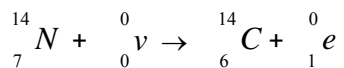
a) Ecrivons l'équation de la formation du carbone 14 sachant que le neutrino est noté  ${}^0_0\nu$  :



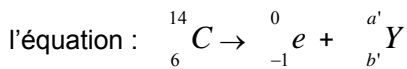
Les lois de conservation nous permettent de déterminer a et b :

- Conservation de la charge électrique :  $7 + 0 = 6 + b$ , donc  $b=1$  ;
- Conservation du nombre de nucléons :  $14 + 0 = 14 + a$ , donc  $a=0$ .

La particule émise est donc un positron, notée  ${}^0_1e$ . L'équation de la réaction demandée s'écrit finalement :



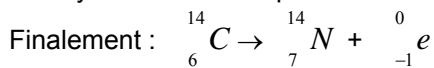
b) La désintégration du carbone 14 produit une particule  $\beta^-$ , autrement dit un électron, noté  ${}^0_{-1}e$ , d'où



Les lois de conservation permettent de déterminer  $a'$  et  $b'$  :

- Conservation de la charge électrique :  $6 = b' - 1$ , donc  $b' = 7$  ;
- Conservation du nombre de nucléons :  $14 = a' + 0$ , donc  $a' = 14$ .

Le noyau fils a donc 7 pour nombre de charge, il s'agit alors d'un noyau d'azote.



c) Par définition, la demi-vie  $t_{1/2}$  est le temps nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs d'un isotope dans un échantillon se soient désintégrés. Ici, après une durée  $t_{1/2} = 5\,570$  ans, la quantité de noyaux de carbone 14 aura diminué de moitié.

d) L'activité  $A(t)$  suit une loi de décroissance analogue à celle du nombre de noyaux radioactifs, d'où :  $A(t) = A_0 \cdot \exp(-\lambda t)$  où  $A(0)$  est l'activité de l'échantillon à la date  $t=0$ .

L'activité de l'échantillon de bois mort trouvé dans la tombe décroît donc exponentiellement au cours du temps depuis la mort de l'arbre à  $t=0$ . Pour le spécimen vivant, l'activité reste constamment égale à  $A_0$  puisque l'arbre maintient des échanges avec l'atmosphère, lors de la photosynthèse, où il assimile du carbone 14 radioactif en absorbant du dioxyde de carbone.

L'énoncé nous indique que :  $r = \frac{A(\text{bois mort})}{A(\text{bois vivant})} = 0,56$ , soit  $r = \frac{A_0 \cdot \exp(-\lambda t)}{A_0}$ .

Alors  $\exp(-\lambda t) = r$ , d'où en passant au logarithme népérien :  $-\lambda t = \ln r$ , soit  $t = -\frac{\ln r}{\lambda}$  (1)

La constante radioactive  $\lambda$  est liée à la demi-vie par :  $\lambda = -\frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ , donc finalement, en remplaçant  $\lambda$  dans (1) :

$$t = -t_{1/2} \cdot \frac{\ln r}{\ln 2}$$

Nous calculons ainsi le temps écoulé depuis la mort de l'arbre trouvé dans la tombe, ce qui permet d'avoir une estimation de l'âge de la tombe. Numériquement, avec  $t_{1/2} = 5\,570$  ans et  $r = 0,56$  :  $t = 4,66 \cdot 10^3$  ans.

## Chapitre V : NOYAUX, MASSE, ENERGIE

### EXERCICE 5.1 :

Le noyau d'hélium 4 est constitué de  $Z = 2$  protons et de  $A - Z = 2$  neutrons. Par définition :  $E_l + mc^2 = Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2$  avec  $E_l$  : énergie de liaison du noyau.

On a  $E_l = 4 \cdot 7,1$  MeV, on obtient donc :  $m = Zm_p + (A - Z)m_n - E_l/c^2 = 3727 \text{ MeV}/c^2$

### EXERCICE 5.3 :

a) C'est une réaction de fusion car le noyau formé est plus lourd que les noyaux fils.

b) On appelle énergie de masse le terme  $mc^2$ ,  $m$  étant la masse du noyau. Par définition :  $E_l + mc^2 = Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2$ .

Donc  $mc^2 = Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2 - E_l$ , avec  $E_l$  énergie de liaison du noyau.

Ainsi, pour  ${}^{13}_6C$  :  $mc^2 = 6 \times 938,28 + 7 \times 939,57 - 13 \times 7,6 = 12,1 \cdot 10^3$  MeV.

De même :  ${}^4_2He$  :  $mc^2 = 3,73 \cdot 10^3$  MeV       ${}^{16}_8O$  :  $mc^2 = 14,9 \cdot 10^3$  MeV       ${}^1_0n$  :  $mc^2 = 939,57$  MeV.

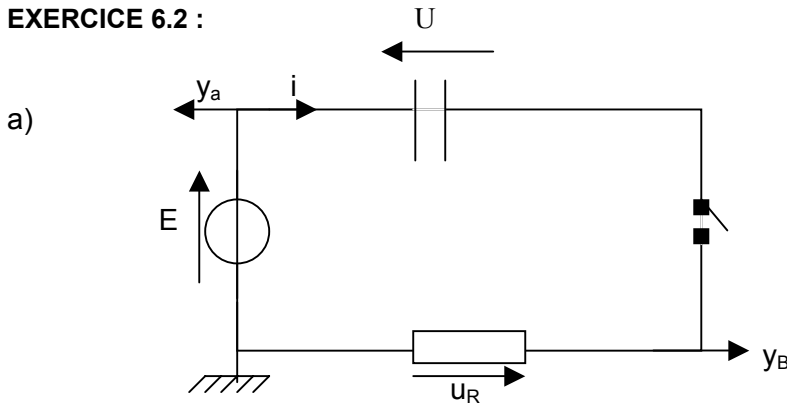
c) L'énergie libérée par la réaction est liée à la perte de masse au cours de la réaction.

$$\begin{aligned} \Delta mc^2 &= mc^2 ({}^{16}_8O) + mc^2 ({}^1_0n) - mc^2 ({}^{13}_6C) - mc^2 ({}^4_2He) \\ &= (8m_p c^2 + 8m_n c^2 - 16E_l(O)) + (m_n c^2) - (6m_p c^2 + 7m_n c^2 - 13E_l(C)) - (2m_p c^2 + 2m_n c^2 - 4E_l(He)) \end{aligned}$$

$\Delta mc^2 = 13 E_l(C) + 4 E_l(He) - 16 E_l(O) = -0,80 \text{ MeV}$ . La réaction libère donc 0,80 MeV.

# Chapitre VI : CONDENSATEUR – CIRCUIT (R,C)

## EXERCICE 6.2 :



b) Comme  $E = Ri + u = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}$ , on a  $\frac{dq}{dt} + \frac{q}{RC} = \frac{E}{R}$ .

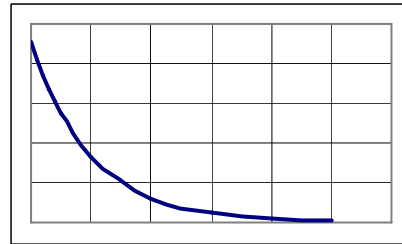
c) En remplaçant  $q(t)$  et  $\frac{dq}{dt}$  dans l'équation différentielle, on a :  $\frac{E}{R} \exp(-\frac{t}{\tau}) + \frac{1}{RC} \times EC [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})] = \frac{E}{R}$

La forme proposée est solution de l'équation différentielle.

d) On a :  $i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{E}{R} \exp(-\frac{t}{\tau})$ . Donc :  $i(0) = \frac{E}{R} \exp(0)$  et  $i(5\tau) = \frac{E}{R} \exp(-5)$ . Soit :  $i(0) = 23 \text{ mA}$  et  $i(5\tau) = 0 \text{ mA}$ .

e) On calcule  $\tau = RC = 22 \text{ ms}$  et  $U_R(0) = E = 5 \text{ V}$ . On trace la courbe et on obtient :

(échelle : 2V/div verticalement, 20 ms/div horizontalement)



## EXERCICE 6.3 :

### 1) Etude du flash

a)  $E_e = \frac{1}{2} CU^2 = 8,17 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ .

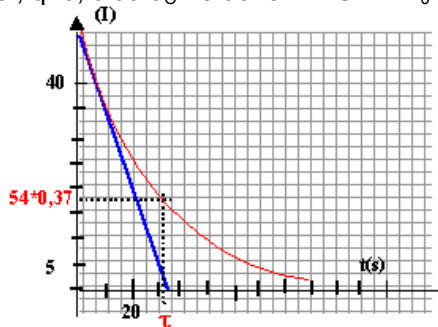
b)  $P_e = E_e/t = 8,17 \cdot 10^{-2} / 10^{-3} = 81,7 \text{ W}$ .

c) Si on n'élève pas la tension, le condensateur ne stocke pas suffisamment d'énergie (proportionnelle au carré de la tension) et la puissance disponible est alors insuffisante pour obtenir un éclair.

### 2) Etude expérimentale.

a)  $E = U_r + U_c$ ,  $U_r = Ri$  et  $U_c = q/C$ .

A  $t=0$ ,  $q=0$ , d'où  $u_c=0$  donc  $E = U_r = Ri_0$  soit  $R = 12 / (54 \cdot 10^{-6}) = 2,2 \cdot 10^5 \Omega$ .



c) A  $t = \tau$ ,  $i(t) = i(\tau) = I_0 \cdot e^{-1} = 54 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-1} = 1,98 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 19,8 \mu\text{A}$ .

Avec votre graphique et en vous aidant du cours, on peut déterminer  $\tau = 35 \text{ s}$  ; Or  $\tau = RC$  d'où :

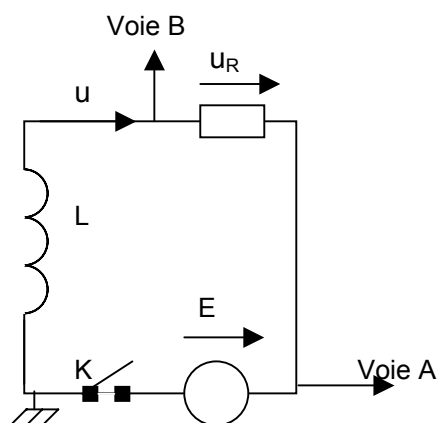
$C = 35 / 2,22 \cdot 10^5 = 158 \mu\text{F}$

L'écart est bien conforme aux indications du fabricant, l'écart étant inférieur à 10 %.

## Chapitre VII : BOBINE – CIRCUIT (R,L)

### EXERCICE 7.2 :

a)



b) La loi d'additivité des tensions permet d'écrire :

$$E = u + U_R = L \frac{di}{dt} + Ri \text{ car } r \text{ est négligeable soit } \frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{E}{L}.$$

c) La constante de temps est la durée au bout de laquelle l'intensité du courant est égale à 63 % de sa valeur au régime permanent. Par définition,  $\tau = \frac{L}{R_{\text{totale}}} = \frac{L}{R} = 0,19 \text{ ms}.$

d) En remplaçant  $i(t)$  et  $\frac{di}{dt}$  dans l'équation

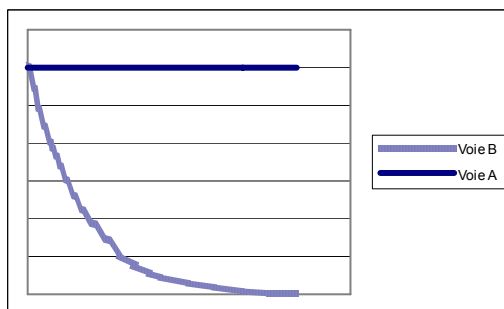
différentielle, on obtient :

$$\frac{E}{L} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + \left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{E}{R}\right)\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right) = \frac{E}{L}$$

La forme proposée est solution de l'équation différentielle.

e) Par définition,  $u(t) = L \frac{di}{dt}$ . Donc  $u(t) = E \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right).$

f) Pour représenter  $u(t)$ , il faut calculer quelques valeurs :  $U(0) = 12 \text{ V}$      $u(\tau) = 4,4 \text{ V}$      $u(5\tau) = 0.$   
On obtient l'oscillogramme ci-contre :



## Chapitre VIII : OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES

### EXERCICE 8.2 :

a) Par définition,  $E_e = \frac{1}{2}CE^2$  d'où  $E_e = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}.$

b) On supposera que l'énergie électromagnétique est constante sur une oscillation.

Comme à  $t=0$ ,  $i=0$  et  $u=E$  :  $E_{em} = E_m + E_e = \frac{1}{2}Cu^2 + \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}CE^2.$

Lorsque l'intensité du courant est maximale, la tension aux bornes du condensateur est nulle. En supposant que sur une période, l'énergie est constante, on a :  $E_m = \frac{1}{2}Li_{max}^2$ . On calcule  $i_{max} = \sqrt{\frac{CE^2}{L}} = 7,0 \cdot 10^{-1} \text{ A}.$

c) Par définition,  $T_0 = 2\pi\sqrt{LC} = 2,9 \text{ ms}.$

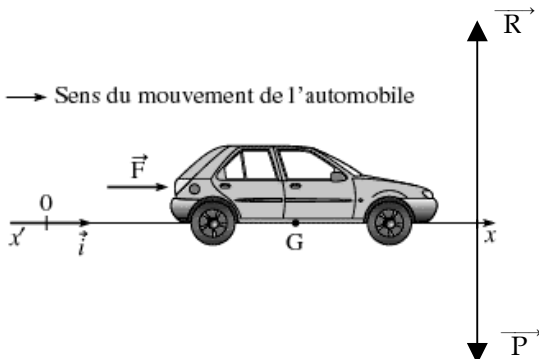
d)  $E_{em}(10T_0) = \frac{1}{2}CU_{max}^2 < E_{em}(0)$  : l'énergie électromagnétique a donc diminué. Elle a été dissipée sous forme d'énergie thermique par effet Joule. On a  $E_{em}(0) = E_{em}(10T_0) + E_{Joule}$ , soit  $E_{Joule} = E_{em}(0) - E_{em}(10T_0)$ .  
On a donc :  $E_{Joule} = \frac{1}{2}CE^2 - \frac{1}{2}CU_{max}^2 = \frac{1}{2}C \cdot (E^2 - U_{max}^2) = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ J}.$

# Chapitre IX : MECANIQUE DE NEWTON

## EXERCICE 9.3 :

### I-Phase de poussée de l'automobile.

#### 1. Bilan des forces agissant sur l'automobile.



L'automobile est soumise à 3 forces extérieures:

- Son poids  $\vec{P}$
- La réaction du sol  $\vec{R}$
- La force de poussée du véhicule de secours.

Remarque : La route étant horizontale on a  $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$  (1)

2.

- a) Expression de  $a_x$ : composante horizontale de l'accélération  $\vec{a}$ .  
Assimilons le repère terrestre à un repère Galiléen. On peut alors appliquer le théorème fondamental de la dynamique à notre automobile.

Soit :  $m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$  ( $\vec{a}$  étant l'accélération de son centre d'inertie)

d'où  $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m \vec{a}$  Comme  $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$ , on a :  $\vec{F} = m \vec{a}$

Soit en projetant sur l'axe Ox,  $F = ma_x$  D'où  $a_x = \frac{F}{m}$  (2)

- b) Expression de  $v_x$  composante horizontale de la vitesse  $\vec{v}$  et de la position x.

- $v_x$ : Par définition  $a_x = \frac{dv_x}{dt}$  Comme  $a_x = \text{constante} = \frac{F}{m}$ , on a :  $v_x = \frac{F}{m} \cdot t + \text{constante}$

A  $t=0$ , on a  $v=0$ , d'où  $v_x=0=\text{constante}$ . Il en résulte :  $v_x = \frac{F}{m} \cdot t$  (3)

- $x$ : Par définition  $v_x = \frac{dx}{dt}$ .

Soit comme  $v_x = \frac{F}{m} \cdot t$ , on a :  $x = \frac{F}{2m} \cdot t^2 + \text{constante}$  A  $t=0$ , on a  $x=0$ . D'où :  $x = \frac{F}{2m} \cdot t^2$  (4)

- c) Relation reliant  $v_x^2$ ,  $a_x$  et x.

Comme  $a_x = \frac{F}{m}$ , la relation (3) peut aussi s'écrire :  $v_x = a_x \cdot t$ , d'où  $t = \frac{v_x}{a_x}$ . Or, selon (4),  $x = \frac{a_x t^2}{2}$ .

Il en résulte :  $x = \frac{a_x}{2} \cdot \frac{v_x^2}{a_x^2}$  Soit :  $v_x^2 = 2a_x \cdot x$  (5)

- d) Calcul de  $a_x$ . De la relation (5)  $a_x = \frac{v_x^2}{2x} = 0,93 m \cdot s^{-1}$ .

- e) Valeur de F : De la relation (2) :  $F = ma_x = 1100 N$ .

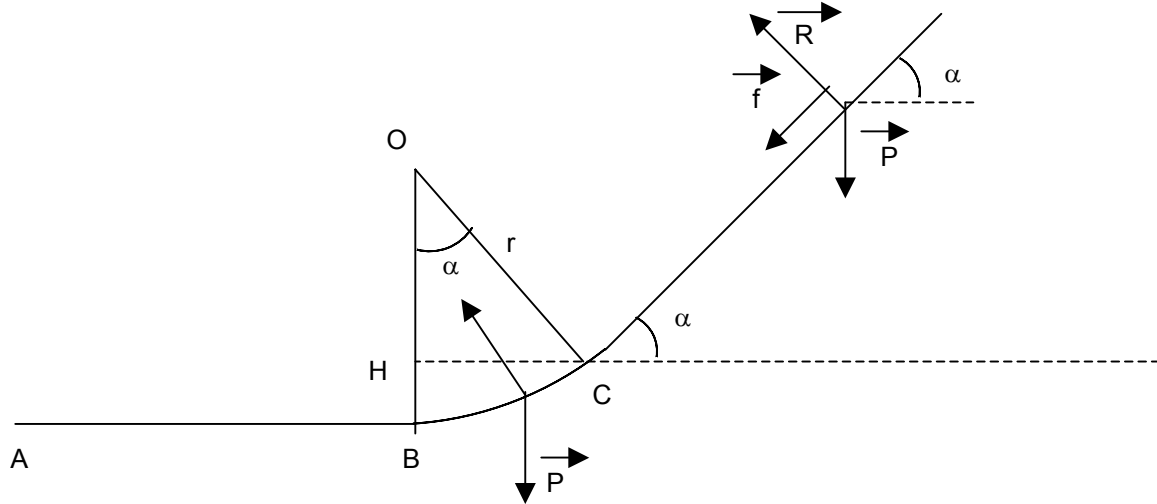
(\*\*) II-Phase sans poussée.

### 1. Vitesse $v_B$ de l'automobile en B.

Entre A et B l'automobile se déplace sur une route horizontale, les forces de frottements étant négligeables. L'automobile étant alors soumise à une somme de forces de force nulle, elle est animée d'après le principe d'inertie, d'un mouvement rectiligne uniforme :  $\vec{v}_B = \vec{v}_A$  D'où  $v_B = v_A = 120 \text{ km.h}^{-1}$

### 2. Vitesse $v_C$ de l'automobile en C.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre les positions B et C, au centre d'inertie de l'automobile :



$$\text{Entre B et C : } \Delta E_c = E_{C(C)} - E_{C(B)} = \sum W(\vec{F})_{B \rightarrow C} = W(\vec{P})_{B \rightarrow C} + W(\vec{R})_{B \rightarrow C}.$$

$$W(\vec{P})_{B \rightarrow C} = -mgHB = -mg(OB - OH) = -mgr(1 - \cos\alpha)$$

$$W(\vec{R})_{B \rightarrow C} = 0 \text{ car } \vec{R} \text{ est perpendiculaire au déplacement}$$

$$\text{d'où : } \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = -mgr(1 - \cos\alpha)$$

$$\text{soit : } v_C^2 = v_B^2 - 2gr(1 - \cos\alpha)$$

$$\text{d'où } v_C = \sqrt{v_B^2 - 2gr(1 - \cos\alpha)}$$

### 3. Valeur numérique de $v_C$ .

On a  $v_C = 32,3 \text{ m.s}^{-1} = 116 \text{ km.h}^{-1}$ .

### 4. Force de frottement $f$ s'exerçant sur la partie CD.

La force de frottement, étant opposée au déplacement,  $\vec{f}$  est de sens opposé à CD. Pour déterminer  $f$ , appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre les positions C et D au centre d'inertie de l'automobiliste. On note  $L$ , la distance parcourue par l'automobile avant de s'arrêter.

$$\Delta E_c = E_{C(D)} - E_{C(C)} = \sum W(\vec{F})_{C \rightarrow D} = W(\vec{P})_{C \rightarrow D} + W(\vec{R})_{C \rightarrow D} + W(\vec{f})_{C \rightarrow D}$$

$$W(\vec{P})_{C \rightarrow D} = -mgL \sin\alpha (< 0 : \text{travail résistant})$$

$$W(\vec{R})_{C \rightarrow D} = 0 \text{ car la réaction } \vec{R} \text{ est toujours perpendiculaire au support.}$$

$$W(\vec{f})_{C \rightarrow D} = \vec{f} \cdot \vec{L} = -f \cdot L \text{ Il en résulte : } \Delta E_c = 0 - \frac{1}{2}mv_C^2 = -mgL \sin\alpha - f \cdot L$$

$$\text{L'énergie cinétique en D est nulle en D. D'où } f \cdot L = \frac{1}{2}mv_C^2 - mgL \sin\alpha \text{ Soit } f = \frac{1}{2} \frac{mv_C^2}{L} - mg \sin\alpha$$

On a ainsi  $f = 1130 \text{ N}$ .

# Chapitre X : MOUVEMENTS DE CHUTE VERTICALE

## EXERCICE 10.3 :

### Partie A :

$$P = mg = 1600 \times 9,8 = 15680 \text{ N}$$

$$\pi = \text{poids du volume d'air déplacé} = \rho V_b g = 1,234 \times 4000 \times 9,8 = 4,8 \cdot 10^4 \text{ N.}$$

conclusion : la poussée d'Archimède est très supérieure au poids : le ballon va s'élever.

### Partie B :

1) Dans la stratosphère, il n'y a pratiquement plus d'air : en conséquence les forces de frottements sur les couches d'air sont proches de zéro .

La masse volumique de l'air à cette altitude est très faible donc la poussée d'Archimède est négligeable. Par conséquent, le sauteur n'est donc soumis qu'à son poids : la chute verticale est libre.

2) On choisit un axe vertical orienté vers le haut, l'origine étant au sol :

$$\text{vitesse : } v = -g \cdot t = -9,7 \text{ t}$$

$$\text{altitude : } z = -g \cdot t^2 / 2 + z_{\text{largage}} = -4,85 \text{ t}^2 + 40000$$

$$\text{durée de chute depuis le largage : } t = V_{\text{son}} / g = 302,9 / 9,7 = 31,1 \text{ s}$$

$$\text{D'où } z = -4,85 \cdot (296,4^2 / 9,7^2) + 40000 = 35\,470 \text{ m et la distance parcourue est } 40000 - 35471 = 4530 \text{ m}$$

Ces valeurs sont en accord avec celles fournies par les documents. L'hypothèse d'une chute libre est donc tout à fait correcte.

### Partie C :

$$1) k : [\text{kg}][\text{m}][\text{s}]^{-2}[\text{m}]^{-2}[\text{s}]^2 = [\text{kg}][\text{m}]^{-1}.$$

2) On négligera la poussée d'Archimède. D'après la deuxième loi de Newton, et suivant un axe vertical orienté vers le bas, on peut écrire :

$$ma = mg - kv^2$$

$$m \cdot dv/dt + kv^2 = mg$$

$$dv/dt + k/m v^2 = g.$$

$$3) (v_{n+1} - v_n) / \Delta t + k/m v_n^2 = g. \text{ Donc } v_{n+1} - v_n = -k\Delta t/m v_n^2 + g\Delta t$$

$$\text{D'où } v_{n+1} = v_n - k\Delta t/m v_n^2 + (1 - \rho V/m)g\Delta t. \text{ On en déduit } B = k\Delta t/m \text{ et } A = g\Delta t$$

A a la dimension d'une vitesse et B la dimension de l'inverse d'une vitesse.

En s'aidant du graphe, on s'aperçoit que la vitesse limite est atteinte au bout de 5 s après l'ouverture du parachute et que sa valeur est voisine de  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , ce qui correspond bien à la prévision indiquée.

## EXERCICE 10.4 :

Dans tout l'exercice, le système étudié est la bille de masse  $m$  et de centre  $G$ . Le référentiel galiléen est le référentiel terrestre.

### 1) Mouvement dans l'air.

a) La seule force agissant sur le système est le poids  $\vec{P} = m \vec{g}$ . Ainsi en appliquant le principe fondamental de la dynamique :

$$\vec{P} = m \vec{g} = m \vec{a} \text{ d'où } \vec{a} = \vec{g}.$$

En projection sur l'axe Oz défini dans l'énoncé :  $a_z = +g = \text{cste}$  (1)

Soit  $\vec{u}$  la vitesse de la bille. Par définition de l'accélération et de la vitesse, nous avons :

$$a_z = \frac{du_z}{dt} \text{ et } u_z = \frac{dz}{dt}$$

Notons  $u_0$  et  $z_0$  deux constantes. En intégrant deux fois l'égalité (1), nous obtenons successivement :

$$u_z = gt + u_0 \quad \text{et} \quad z = \frac{1}{2}gt^2 + u_0 t + z_0$$

Mais, d'après l'énoncé, la bille est lâchée, à  $t=0$ , en O ( $z=0$ ) et sans vitesse initiale ( $u_z(0)=0$ ). Il s'ensuit que

$$u_0 = 0 \text{ et } z_0 = 0. \text{ En conséquence : } u_z = u = gt \quad \text{et} \quad z = \frac{1}{2}gt^2$$

b) Vitesse maximale atteinte par la bille.

$$\text{De l'expression de } u_z, \text{ nous tirons : } t = \frac{u}{g}$$

En reportant dans celle de  $z$ , il vient après simplification par  $g$  :  $z = \frac{u^2}{2g}$ ; d'où puisque  $u > 0$  :  $u = \sqrt{2gz}$

$U$  est donc maximal lorsque  $z$  est maximal et vaut  $z_{\text{max}} = 30 \text{ cm}$ , soit  $0,30 \text{ m}$ ; ainsi :

$$u_{\text{max}} = \sqrt{2gz_{\text{max}}}; \text{ numériquement : } u_{\text{max}} = 2,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Les autres forces sont négligeables devant le poids.

- $a_0$  désignant la masse volumique de l'air, la poussée d'Archimède exercée par le fluide sur la bille est :



$$\vec{A} = -\rho'V \vec{g} ; \text{ donc } A = a_0Vg \text{ et } \frac{A}{P} = \frac{A}{mg} = \frac{a_0V}{m} = 1,7 \cdot 10^{-4} \ll 1.$$

La poussée d'Archimède dans l'air est bien négligeable devant le poids.

- La force de frottement fluide est donnée par la formule de Stokes :

$$\vec{F} = -6\pi\eta R \vec{u} ; \text{ donc } : F = 6\pi\eta Ru \text{ et } F_{\max} = 6\pi\eta Ru_{\max}$$

$$\text{Ainsi } \frac{F_{\max}}{P} = \frac{6\pi\eta Ru_{\max}}{mg} = 1,3 \cdot 10^{-3} \ll 1.$$

La force de frottement fluide est bien, elle aussi, négligeable devant le poids de la bille.

## 2) Mouvement dans la glycérine.

a) La bille est en mouvement sous l'action des trois forces  $\vec{P}$ ,  $\vec{A}$ ,  $\vec{F}$ . La relation fondamentale de la dynamique s'écrit alors :

$$\vec{P} + \vec{A} + \vec{F} = m \vec{a}$$

En projection sur Oz:  $P_z + A_z + F_z = ma_z$

Mais,  $\rho'$  désignant la masse volumique de la glycérine :  $P_z = +mg$  ;  $A_z = -\rho'Vg$  ;  $F_z = -6\pi\eta Ru_z$  ;  $a_z = \frac{du_z}{dt}$

$$\text{Puisque } u_z = u : mg - \rho'Vg - 6\pi\eta Ru = m \frac{du}{dt}.$$

$$\text{Ce qui s'écrit en divisant par } m : \frac{du}{dt} + \frac{6\pi\eta R}{m}u = g - \frac{\rho'V}{m}g = g(1 - \frac{\rho'V}{m}) \quad (2)$$

Or :

- $\rho$  désignant la masse volumique de l'acier constituant la bille :  $m = \rho V$  ; d'où  $\frac{\rho'V}{m} = \frac{\rho'V}{\rho V} = \frac{\rho'}{\rho}$
- $V = \frac{4}{3}\pi R^3$  ; donc  $m = \frac{4}{3}\pi \rho R^3$ . Il s'ensuit que :  $\frac{6\pi\eta R}{m} = \frac{6\pi\eta R}{\frac{4}{3}\pi \rho R^3} = \frac{9\eta}{2\rho R^2}$

$$\text{En reportant dans (2), nous obtenons alors : } \frac{du}{dt} + \frac{9\eta}{2\rho R^2}u = g(1 - \frac{\rho'}{\rho})$$

En posant  $\tau = \frac{2\rho R^2}{9\eta}$  et  $C = g(1 - \frac{\rho'}{\rho})$ , on obtient :  $\frac{du}{dt} + \frac{u}{\tau} = C \quad (3)$  On retrouve bien l'équation différentielle demandée.

b) Le rapport  $\frac{\rho'}{\rho}$  étant sans dimension, la constante C et  $\frac{du}{dt}$  s'expriment, dans le système international

d'unités, en  $m \cdot s^{-2}$ . Pour que l'égalité (3) soit homogène, il en est nécessairement de même pour le rapport  $\frac{u}{\tau}$

$u$  étant en  $m \cdot s^{-1}$ , nous en déduisons que l'unité de  $\tau$  est la seconde.

c) Nous utiliserons par exemple une série de cellules photoélectriques équidistantes (distance d entre chaque cellule photoélectrique). La mesure du temps mis pour parcourir la distance d nous permettra de calculer la vitesse de la bille. Lorsque les intervalles de temps deviennent égaux, la vitesse est uniforme.

d) Si  $u(t) = U_L = \text{cste}$ , alors  $\frac{du}{dt} = 0$ . L'équation différentielle (3) est donc vérifiée à condition que :  $\frac{U_L}{\tau} = C \quad (4)$

e) Nous avons déterminé  $\tau$  et C, grâce à l'égalité (4),

$$\eta = \frac{2\rho g R^2}{9U_L} (1 - \frac{\rho'}{\rho}) = 0,78 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad \eta \text{ est bien de l'ordre de } 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

f) Sur le graphe de la fonction  $u(t)$ , nous constatons que la vitesse simulée tend effectivement vers une vitesse limite dont la valeur lue est bien de  $4,2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ . D'après la simulation, le mouvement de la bille dans la glycérine devient donc rapidement uniforme, ce qui est conforme à l'expérience. Si l'on ne disposait que du graphe de  $z(t)$ , on pourrait trouver la vitesse limite. En effet, nous constatons que le graphe de  $z(t)$  est rapidement un segment de droite, ce qui est caractéristique d'un mouvement uniforme. Il suffit donc de calculer le coefficient directeur de la droite pour obtenir la vitesse limite.

# Chapitre XI : MOUVEMENTS PLANS

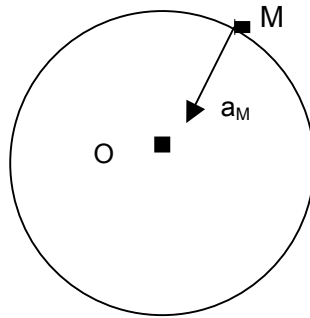
## EXERCICE 11.2 :

1.a) Voir cours.

b) D'après la 2<sup>ème</sup> loi de Kepler, plus la distance « Soleil-planète » est petite, plus la distance franchie par la planète pendant une durée donnée doit être grande. Donc plus la planète est près du Soleil, plus la vitesse est grande.

2.a) On dit qu'un mobile est en mouvement circulaire uniforme lorsque sa trajectoire dans un référentiel donné est un cercle et que la valeur de sa vitesse est constante.

b) On désigne par O le centre du cercle trajectoire et par R le rayon de ce cercle. Les caractéristiques du vecteur accélération d'un mobile M sont :



Direction : la droite (MO)

Sens : de M vers O.

$$\text{Valeur : } a_M = \frac{v^2}{R}$$

3.a) Voir cours

$$b) \frac{F_{L/T}}{F_{S/T}} = G \frac{M_T M_L}{d^2} \cdot \frac{D^2}{G M_T M_S} \text{ d'où } \frac{F_{L/T}}{F_{S/T}} = \frac{M_L}{M_S} \left(\frac{D}{d}\right)^2 = 5,6 \cdot 10^{-3}$$

La force de gravitation exercée par le Soleil sur la Terre est près de 200 fois plus forte que celle exercée par la Lune sur la Terre.

$$4.a) \vec{F} = m \vec{a} \text{ dans le repère de Fresnet. } G \frac{M_T M_L}{d^2} \cdot \vec{n} + 0 \cdot \vec{t} = M_L (a_n \vec{n} + a_t \vec{t}) \quad (1)$$

$$\text{D'où } a_t = \frac{dv}{dt} = 0, \text{ d'où } v = \text{cste} ; \text{ de plus, le cours nous indique que } a_n = \frac{v^2}{d} \quad (2)$$

b) Comme le mouvement est circulaire uniforme, on a :  $v = \frac{2\pi d}{T}$  (3), avec T la période de révolution de la Lune autour de la Terre par rapport au référentiel géocentrique.

$$\text{D'après les équations (1), (2) et (3), on obtient : } G \frac{M_T}{d} = v^2 \text{ ou encore } \frac{T^2}{d^3} = \frac{4\pi^2}{G M_T}. \text{ D'où } \frac{T^2}{d^3} = \text{cste.}$$

5.a) Un satellite géostationnaire est un satellite qui est fixe par rapport au référentiel terrestre, c'est-à-dire dont la période de révolution par rapport au référentiel géocentrique est égale à la période de rotation propre de la Terre de l'axe des pôles de rotation :  $T = 23,9345 \text{ h}$ .

$$b) \text{ D'après la 3}^{\text{ème}} \text{ loi de Kepler, on a : } d = \sqrt[3]{\frac{T^2 G M_T}{4\pi^2}} = 4,22 \cdot 10^7 \text{ m.}$$

## Chapitre XII : SYSTEMES OSCILLANTS

### EXERCICE 12.2 :

$$1) T = 2\pi (L/g)^{0,5}. T = 3,47 \text{ s.}$$

$$2) [T] = L^{0,5} [g]^{-0,5}. \text{ Or } [g] = L \cdot T^{-2}. \text{ En effet, } g \text{ s'exprime en } m \cdot s^{-2}.$$

Donc la période a bien la dimension d'un temps.

## Chapitre XIII : ASPECTS ENERGETIQUES

### EXERCICE 13.2 :

1. a) Si r augmente, alors 1/r diminue et -1/r augmente, donc  $E_p$  augmente aussi, G, m et M étant des grandeurs strictement positives.

b) L'énergie potentielle de pesanteur est donnée, avec l'axe des altitudes orienté positivement vers le haut, par  $E_{pp} = m \cdot g \cdot z + \text{cste}$ , donc  $E_{pp}$  augmente si l'altitude z augmente. On retrouve bien le même sens de variation que pour l'altitude z (qui correspond à la distance r).

2. a) Il faut effectuer l'étude classique d'un satellite S de masse m soumis à la force d'attraction gravitationnelle exercée par un astre A de masse M séparé par la distance  $r = AS$  la distance entre les deux centres.

- Système supposé ponctuel : l'objet de masse m.
- Référentiel supposé galiléen : l'objet A supposé lui aussi ponctuel et de masse M.
- La seule force appliquée au système est la force gravitationnelle  $\vec{F}_{M/A}$  avec  $F_{M/A} = G \cdot m \cdot \frac{M}{r^2}$ . Cette force est centripète selon  $\vec{u}_N$ .

• D'après la deuxième loi de Newton, on a :  $m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$  avec dans la base de Fresnet  $(\vec{u}_T, \vec{u}_N)$ , où  $\vec{a}(t) = a_T(t) \cdot \vec{u}_T + a_N(t) \cdot \vec{u}_N$ . Les composantes de  $\vec{a}(t)$  sont :  $a_T(t) = \frac{dv(t)}{dt}$  et  $a_N(t) = \frac{v^2(t)}{\rho}$  (où  $\rho$  est le rayon de courbure de la trajectoire). On obtient en projetant sur chaque axe :  $a_T(t) = 0$  et  $a_N(t) = \frac{G \cdot M}{r^2}$ . Comme  $\frac{dv(t)}{dt} = 0$ , on a  $v = \text{cste}$  donc le mouvement de S est uniforme. On a  $\frac{v^2(t)}{\rho} = \frac{G \cdot M}{r^2}$ , soit  $\rho = r = \frac{G \cdot M}{v^2}$  qui est constant : le mouvement est circulaire. S a donc un mouvement circulaire uniforme autour de A.

b) On en déduit  $v(r) = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$ .

3. Par définition,  $E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G \cdot m \cdot M}{r}$ .

4. On retrouve les mêmes termes hormis le coefficient  $\frac{1}{2}$ , remplacé par  $-1$  dans  $E_p$ . On obtient donc :  $E_c = -\frac{1}{2} E_p$  ou  $E_p = -2 E_c$ .

5. Par définition, l'énergie mécanique  $E_M$  vaut  $E_c + E_p$  donc :

a)  $E_M = -\frac{1}{2} E_p + E_p = + E_p / 2$

b)  $E_M = E_c - 2 \cdot E_c = - E_c$ .

6.

a) On a  $E_M = E_c + E_p = \frac{1}{2} m v^2 + - G m \frac{M}{r} = 0$ . Donc, quand l'énergie totale est nulle,  $v^2 = \frac{2 \cdot G \cdot M}{r}$ .

b) La force  $F_{M/A}$  est assimilable à la force de pesanteur P. On a  $\frac{2 \cdot G \cdot M}{r} = m \cdot g$  soit  $g(z) = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + z)^2}$

A la surface de la Terre,  $z = 0$  et  $g_0 = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$  d'où  $G \cdot M_T = g_0 \cdot R_T^2$  et donc  $v^2 = 2 \cdot g_0 \cdot R_T$ .

c) La vitesse de libération est  $v_L = \sqrt{2 \cdot g_0 \cdot R_T}$ , soit  $v_L = 11.2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## Chapitre XIV : FORMATION D'UNE IMAGE

### EXERCICE 14.2 :

AB donne une image  $A_1 B_1$  à travers  $L_1$  et  $A_1 B_1$  donne une image  $A' B'$  à travers  $L_2$ .

On applique les relations de conjugaison :

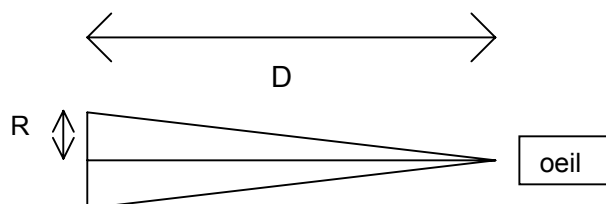
$$\frac{\overline{O_1 A_1}}{\overline{O_1 A} + f'_1} = \frac{\overline{O_1 A} \cdot f'_1}{\overline{O_1 A} + f'_1} = 13,3 \text{ cm} \text{ donc } \overline{O_2 A_1} = 3,3 \text{ cm. Puis } \overline{O_2 A'} = \frac{\overline{O_2 A_1} \cdot f'_2}{\overline{O_2 A_1} + f'_2} = 1,0 \text{ cm.}$$

Grandissement:  $\gamma = \frac{\overline{A' B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1 A_1}}{\overline{O_1 A}} \cdot \frac{\overline{O_2 A'}}{\overline{O_2 A_1}} = -0,5$ .

## Chapitre XV : LES INSTRUMENTS D'OPTIQUE

### EXERCICE 15.1 :

A l'œil nu,  $\tan \alpha/2 = R/D$ . De plus, on considère ici que  $\tan \alpha/2 = \alpha/2$ . D'où  $\alpha = 2R/D$ .  $\alpha = 8,95 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$ .



## Chapitre XVI : ONDES STATIONNAIRES. MODES PROPRES.

### EXERCICE 16.1 :

- 1) Il s'agit d'ondes stationnaires.
- 2) Pour 2 fuseaux :  $L = \lambda$ . Donc  $V = f \cdot \lambda = 50 \cdot 1 = 50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- 3)  $\mu = Mg/v^2 = 7,84 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Ce fil a une masse linéique de  $7,84 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- 4) Pour 4 fuseaux :  $L = 2\lambda$ .  $M = \lambda^2 f^2 \mu / g = 50 \text{ g}$ .

## Chapitre XVII : ACOUSTIQUE MUSICALE.

### EXERCICE 17.1 :

- 1) Soit  $I_1$  l'intensité sonore produite par un klaxon.  $L = 10 \log I_1/I_0 = 70 \text{ dB}$   
Il faut  $n$  klaxons pour atteindre le seuil de douleur : Soit  $L = 10 \log n I_1/I_0 = 10 \log n + 10 \log I_1/I_0 = 120 \text{ dB}$   
D'où  $10 \log n = 50 \text{ dB}$ . Donc  $n = 10^5$ .
- 2)  $L = 10 \log I_1/I_0 = 70 \text{ dB}$  Soit  $I_1 = 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

## Chapitre XVIII : PRODUCTION DES SIGNAUX DE COMMUNICATION. RECEPTION D'UNE ONDE MODULEE EN AMPLITUDE.

### EXERCICE 18.1 :

- 1) L'oscillogramme correspondant à la tension ayant la plus petite fréquence est celui du signal modulant. La tension visualisée par l'oscillogramme B oscille plus rapidement : il s'agit du signal modulé.
- 2) L'amplitude de l'oscillogramme B varie.
- 3) Fréquence du signal modulant :  $f_m = 40 \text{ Hz}$ . Fréquence de la porteuse :  $F_m = 600 \text{ Hz}$ .

### EXERCICE 18.2 :

- 1)  $U_{\text{max}} = 3,8 \text{ V}$   $U_{\text{min}} = 1 \text{ V}$
- 2)  $m = 0,58$ .



# Partie H : CORRIGES CHIMIE

## EXERCICE 1.3 :

### 1. Quantité initiale des réactifs – réactif limitant.

- Quantité initiale  $n_1$  d'eau oxygénée  $H_2O_2$ :  $n_1 = C_1 \cdot V_1$

avec  $C_1 = [H_2O_2] = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$

$V_1 = \text{volume de la solution de } H_2O_2 = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

Soit  $n_1 = 1,0 \cdot 10^{-1} \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ .

- Quantité  $n_2$  d'ions iodure  $I^-$ :  $n_2 = C_2 \cdot V_2$

avec  $C_2 = [I^-] = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot L^{-1}$

$V_2 = \text{volume de la solution d'iodure} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

Soit  $n_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

D'après l'équation bilan de la réaction étudiée :  $H_2O_2 + 2I^- + 2H^+ \rightarrow 2H_2O + I_2$

On constate que si l'on a un mélange stœchiométrique il y a 2 fois moins de moles de  $H_2O_2$  que de moles de

$I^-$  initialement versées, soit :  $n_1 = \frac{n_2}{2}$  ou encore  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2}$

or en réalité :  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{1,8 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{9}$  or  $\frac{1}{9} < \frac{1}{2}$  : l'eau oxygénée est en défaut, c'est le réactif limitant.

### 2. Vitesse instantané de formation du diiode

a) Définition et détermination graphique de la vitesse instantanée de formation du diiode

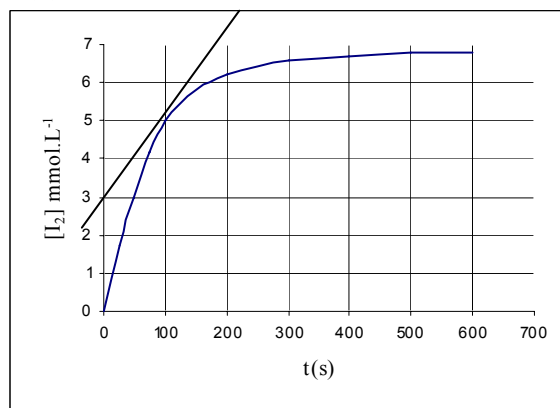
- Par définition la vitesse instantanée de formation du diiode à l'instant  $t$  vaut :  $v(I_2) = \frac{d[I_2]}{dt}$

- Graphiquement cette vitesse instantanée du diiode est égale au coefficient directeur (ou pente) de la tangente (T) à la courbe  $[I_2] = f(t)$  à l'instant considéré.

b) Vitesse instantanée de formation du diiode à  $t = 100 \text{ s}$ .

On trace la tangente (T) à la courbe  $[I_2] = f(t)$  au point A d'abscisse  $t = 100 \text{ s}$ .

(T)



Pour calculer le coefficient directeur de la droite, on prend 2 points quelconques de la droite, par exemple :

A :  $t_A = 100 \text{ s}$

B :  $t_B = 0 \text{ s}$

$[I_2]_A = 5,05 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

$[I_2]_B = 2,95 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

La pente de cette tangente (T) vaut :  $p = \frac{[I_2]_A - [I_2]_B}{t_A - t_B} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ .

c) Evolution de cette vitesse au cours du temps. Facteur cinétique expliquant cette évolution.

Plus  $t$  est grand, plus la pente de la tangente (T) à la courbe  $[I_2] = f(t)$  diminue : la tangente (T) « s'incline » de plus en plus et tend à devenir « horizontale » c'est-à-dire, plus précisément, parallèle à l'axe des abscisses : la vitesse sera alors nulle.

Le facteur cinétique qui permet d'expliquer cette évolution est la concentration molaire volumique du réactif limitant, ici l'eau oxygénée : plus  $[H_2O_2]$  diminue, plus la vitesse instantanée de formation du diiode  $I_2$  diminue.

### 3. Concentration finale du diiode ; $[I_2]_\infty$ .

- La réaction est terminée quand tout le réactif en défaut, ici l'eau oxygénée, est consommé. D'après l'équation bilan de la réaction étudiée on obtient en fin de réaction autant de moles de diiode qu'il y avait initialement de moles d'eau oxygénée.

En considérant qu'il n'y a pas de variation de volume du mélange réactionnel on a :

$$[I_2] = \frac{n(I_2)_{\text{final}}}{V_1 + V_2 + V_3} = \frac{n(H_2O_2)_{\text{initial}}}{V_1 + V_2 + V_3} \text{ soit } [I_2]_\infty = \frac{n_1}{V_1 + V_2 + V_3} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

- Graphiquement on obtient  $[I_2]_{\infty} = 6,75 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

La valeur obtenue par le calcul est donc bien en accord avec le résultat expérimental.

#### 4. Date $t_1$ à laquelle la concentration du diiode est égale à la moitié de sa valeur finale.

A partir du graphe, on obtient  $t_1 = 53 \text{ s}$  quand  $[I_2] = \frac{[I_2]_{\infty}}{2} = 3,37 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

#### 5. Que se passe-t-il si on utilise une solution d'eau oxygénée moins concentrée ?

Valeur de la concentration du diiode au bout d'un temps infini :  $[I_2]_{\infty} = \frac{n_1}{V_1 + V_2 + V_3} = \frac{C_1 V_1}{V_1 + V_2 + V_3}$

$V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  ne varient pas. Par contre  $C_1$  diminue, il en résulte que  $[I_2]_{\infty}$  diminue.

## Chapitre II : L'EQUILIBRE CHIMIQUE

### EXERCICE 2.2 :

$$a) C = \frac{n_{\text{HCL introduit}}}{V_{\text{sol}}} = \frac{V_{\text{HCL introduit}}}{V_{\text{mol}} \cdot V_{\text{sol}}} = \frac{0,3}{22,4 \cdot 0,25} = 5,357 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

b) La quantité de matière d'acide introduite dans l'état initial de la solution est :  $n_i = \frac{V_{\text{HCL introduit}}}{V_{\text{mol}}}$ .

On établit le tableau d'avancement (en mol) :

		HCl	+	H <sub>2</sub> O	=	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	+	Cl <sup>-</sup>
<b>Initial</b>	0	$n_i$		très abondant		0		0
<b>Transformation</b>	x	$n_i - x$		très abondant		x		x
<b>Final</b>	$x_{\text{final}}$	$n_i - x_{\text{final}}$		très abondant		$x_{\text{final}}$		$x_{\text{final}}$

La mesure du pH de la solution permet d'obtenir l'avancement final :  $x_{\text{final}} = [H_3O^+]_f \cdot V_{\text{sol}} = 10^{-\text{pH}} \cdot V_{\text{sol}}$ .  
L'avancement maximal s'obtient en écrivant la consommation totale du réactif (limitant) HCL :

$$n_i - x_{\text{max}} = 0, \text{ d'où : } x_{\text{max}} = n_i = \frac{V_{\text{HCL introduit}}}{V_{\text{mol}}}. \text{ Taux d'avancement final : } \tau = \frac{x_{\text{final}}}{x_{\text{max}}}$$

$$\tau = \frac{10^{-\text{pH}} \cdot V_{\text{sol}} \cdot V_{\text{mol}}}{V_{\text{HCL introduit}}} \approx 0,94 \rightarrow \tau = 94\%$$

Le taux d'avancement final est proche de 1, on peut considérer que la dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau est une transformation chimique totale.

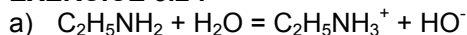
c)  $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$  On écrit le quotient de la réaction :  $Q_r = \frac{[H_3O^+] \cdot [Cl^-]}{[HCl]}$ .

Dans l'état initial du système :  $[Cl^-] = 0$  et  $[HCl] = C$  car il n'y a encore eu ni formation des produits ni consommation du réactif HCl. **Donc  $Q_{r,i} = 0$ .**

Dans l'état final du système :  $[H_3O^+] = [Cl^-] = 10^{-1,3} \text{ mol.L}^{-1}$ ;  $[HCl] = 0$  car on considère la transformation comme totale. **Donc  $Q_{r,f}$  est infini.**

## Chapitre III : REACTIONS ACIDO-BASIQUES

### EXERCICE 3.2 :



b) Dressons le tableau d'avancement (en mol) :

		C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	+	H <sub>2</sub> O	=	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	+	HO <sup>-</sup>
<b>Initial</b>	0	$10^{-2}$		*		0		0
<b>Final</b>	$x_{\text{final}}$	$10^{-2} - x_{\text{final}}$		*		$x_{\text{final}}$		$x_{\text{final}}$

c) Le pH de la solution est égal à 11,35, donc :  $[HO^-]_f = \frac{10^{-14}}{10^{-11,35}} = 2,24 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

Or le volume de la solution est de 1L. Donc :  $x_f = 2,24 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ .

d) Exprimons la constante K de l'équilibre :  $K = \frac{[C_2H_5NH_3^+] \cdot [HO^-]}{[C_2H_5NH_2]} = \frac{x_f^2}{(10^{-2} - x_f)} = \frac{(2,24 \cdot 10^{-3})^2}{(10^{-2} - 2,24 \cdot 10^{-3})} = 6,4 \cdot 10^{-4}$

e) Or :  $K_a = \frac{[C_2H_5NH_2]_{\text{eq}} \cdot [H_3O^+]_{\text{eq}}}{[C_2H_5NH_3^+]_{\text{eq}}} = \frac{10^{-14}}{K} = 1,56 \cdot 10^{-11}$



### EXERCICE 3.4 :

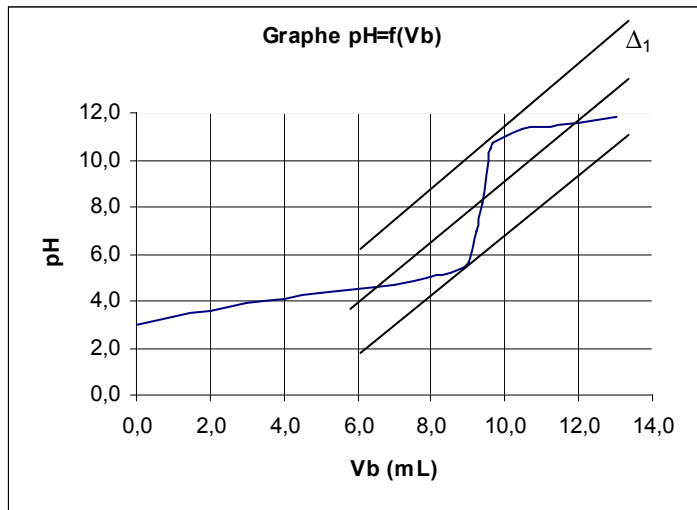
1.

a) Schéma du dispositif expérimental, voir cours.

b) Graphe pH=f(Vb)

c) *Coordonnée du point d'équivalence.*

On détermine le point d'équivalence E en utilisant la méthode dite des droites parallèles : on trace 2 droites ( $\Delta_1$ ) et ( $\Delta_2$ ) parallèles entre elles et tangentes à la courbe pH=f(Vb). Puis on trace la droite ( $\Delta$ ) équidistante et parallèle à ( $\Delta_1$ ) et ( $\Delta_2$ ). L'intersection de ( $\Delta$ ) avec la courbe pH=f(Vb) donne le point d'équivalence E. Graphiquement on obtient : **Vbe=9,4mL**  
**pHe=8,2.**



d) *L'acide benzoïque st-il un acide faible ?*

A l'équivalence le pH de la solution est supérieur à 7. La base versée : la soude, étant une base forte, il en résulte que l'acide dosé : l'acide benzoïque est un acide faible.

e) *pKa et constante d'acidité Ka du couple acido-basique/ion benzoate.*

- Quand une solution d'acide faible est dosée par une solution de base forte, on a à la demi-équivalence **pKa=pH**. Graphiquement on lit pour  $Vb = \frac{V_{be}}{2} = 4,7mL$ .  $pH=4,2$  d'où **pKa=4,2**.
- Comme la constante d'acidité  $Ka=10^{-pKa}$  on a : **Ka=6,3.10<sup>-5</sup>**

2. a) *Equation-bilan de la réaction liée à ce dosage.*  $C_6H_5COOH + HO^- = C_6H_5COO^- + H_2O$  (4)  
*Cette réaction est-elle totale ?*

La constante de la réaction (4) vaut :  $Kr = \frac{[C_6H_5COO^-][H_3O^+]}{[C_6H_5COOH][HO^-]}$  soit  $Kr = \frac{[C_6H_5COO^-].[H_3O^+]}{[C_6H_5COOH].[HO^-].[H_3O^+]}$

Comme Ka, constante d'acidité du couple acide/base  $C_6H_5COOH/ C_6H_5COO^-$  vaut :  $Ka = \frac{[C_6H_5COO^-].[H_3O^+]}{[C_6H_5COOH]}$

Et Ke produit ionique de l'eau =  $[H_3O^+].[HO^-]$

On a  $Kr = \frac{Ka}{Ke} = 6,3.10^9$ . La constante de réaction Kr est extrêmement grande : très supérieure à  $10^4$ . La réaction liée à ce dosage est totale. Cette réaction est donc bien utilisable pour un dosage.

b) *Equivalence acido-basique.*

A l'équivalence acido-basique, les réactifs, en l'occurrence l'acide benzoïque et la soude, sont mélangés dans les proportions stœchiométriques. D'où  $n_{\text{soude versé à l'équivalence}} = n_{\text{acide benzoïque initialement présent}}$ .

Concentration molaire de la solution d'acide benzoïque : Ca. On a donc :  
 $n_{\text{acide benzoïque initialement présent}} = Ca.Va$ , et par ailleurs  $n_{\text{soude versé à l'équivalence}} = Cb.Vbe$ .

d'où  $Ca.Va = Cb.Vbe$  d'où  $Ca = \frac{Cb.Vbe}{Va} = 1,88.10^{-2} mol.L^{-1}$ .

c) *Masse d'acide benzoïque utilisée pour préparer une solution donnée.*

Soit Va' le volume de solution (Sa) d'acide benzoïque de concentration Ca préparée.

Le nombre  $n_A'$  de moles d'acide benzoïque présent dans ce volume Va' vaut :  $n_A' = Ca.Va'$

Soit M la masse molaire de l'acide benzoïque. La masse m d'acide benzoïque utilisé vaut donc  $m = n_A'.M$

Soit  **$m = Ca.Va'.M = 0,23g$**

## Chapitre IV : SENS D'EVOLUTION D'UN SYSTEME CHIMIQUE

### EXERCICE 4.2 :

a)  $Zn^{2+} + Cu = Zn + Cu^{2+}$

b) Dressons le tableau d'avancement (en mol) :

Equation chimique		$Zn^{2+} + Cu = Zn + Cu^{2+}$			
Initial	0	$10^{-3}$	$7,8.10^{-2}$	0	0
Equilibre	$x_{eq}$	$10^{-3} - x_{eq}$	$7,8.10^{-2} - x_{eq}$	$x_{eq}$	$x_{eq}$

c) A l'équilibre :  $Q_{r,eq} = \frac{[Cu^{2+}]}{[Zn^{2+}]} = \frac{x_{eq}}{(10^{-3} - x_{eq})} = 5 \cdot 10^{-38}$  Donc  $x_{eq} = 5 \cdot 10^{-41}$  mol.

d) La réaction n'a pas évolué ;  $x_{eq} \cdot N_a \ll 1$  : aucun produit ne s'est formé.

## Chapitre V : LES PILES

### EXERCICE 5.1 :

1) le zinc s'oxyde : il se trouve à l'anode (oxydation)  $Zn = Zn^{2+} + 2e^-$ .

les ions argent se réduisent en argent métal. Celui-ci se trouve à la cathode (réduction).  $2Ag^+ + 2e^- = 2Ag$

Equation de la transformation :  $Zn + 2Ag^+ = Zn^{2+} + 2Ag$ .

2) quotient de réaction  $Q_{r,i} = \frac{[Zn^{2+}]_i}{[Ag^+]_i^2} = 2$ .

3)  $Q_{r,i} \ll K$  : il y a donc transformation spontanée de la gauche vers la droite (sens direct).

4) La concentration en ions varie : Des ions  $Zn^{2+}$  apparaissent à l'anode et des ions argent  $Ag^+$  disparaissent à la cathode.

5) Quantité de matière initiale :  $n_{Zn^{2+}} = n_{Ag^+} = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05$  mol.  $n_{Zn} = 5/65,4 = 0,08$  mol

$Zn + 2Ag^+ = Zn^{2+} + 2Ag$ .  $x_{max} = 0,025$  mol. les ions argent constituent donc le réactif limitant.

### EXERCICE 5.3 :

1. a) A l'électrode 1 :  $H_2 + 2HO^- = 2H_2O + 2e^-$  (X 2) : c'est une oxydation.

A l'électrode 2 :  $O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4HO^-$  (X 1) : c'est une réduction.

b) En compensant les électrons, on obtient l'équation de la réaction globale :  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ .

Cette pile produit de l'eau donc ne pollue pas.

c) A l'anode de la pile se produit la réaction d'oxydation : c'est l'électrode 1.

2. Le comburant permet une combustion : c'est le dioxygène  $O_2$ . Le combustible oxydé est le dihydrogène,  $H_2$

## Chapitre VI : ELECTROLYSE

### EXERCICE 6.3 :

1. L'eau est décomposée par cette électrolyse ; l'acide sulfurique n'est pas consommé lors de la transformation chimique.

Réaction d'oxydation à l'anode :  $6H_2O = O_2 + 4H_3O^+ + 4e^-$  (X1)

Réaction de réduction à la cathode :  $2H_3O^+ + 2e^- = H_2 + 2H_2O$  (X2)

Equation de la réaction globale :  $2H_2O = 2H_2 + O_2$

2. a) L'équation de réduction montre qu'il faut faire circuler 2 moles d'électrons pour obtenir une mole de dihydrogène. On en déduit la relation entre la quantité totale d'électricité et la quantité de matière de

dihydrogène produite :  $Q = 2 \cdot e \cdot N_a \cdot n(H_2)$ . D'autre part :  $n(H_2) = \frac{V(H_2)}{V_{mol}}$  Et  $Q = I \cdot \theta$  ( $\theta$  : durée du passage

du courant).  $I \cdot \theta = 2 \cdot e \cdot N_a \cdot \frac{V(H_2)}{V_{mol}}$  donc  $V(H_2) = \frac{I \cdot \theta}{2 \cdot e \cdot N_a} \cdot V_{mol} = 0,10465 \approx 105 \text{ cm}^3$ .

On établit le tableau d'avancement (en mol) de la réaction globale :

		$2H_2O$	=	$2H_2$	+	$O_2$
<b>Initial</b>	0	$n_0$		0		0
<b>transformation</b>	x	$n_0 - 2x$		2x		x

La quantité de matière de dihydrogène produit est égale au double de l'avancement :  $n(H_2) = 2x$ .

D'après la relation établie au 2. :  $Q = 2 \cdot e \cdot N_a \cdot n(H_2)$  il vient :  $Q = 2 \cdot e \cdot N_a \cdot 2x$ . Or,  $Q = I \cdot \theta$ .

On a ainsi  $I \cdot \theta = 4 \cdot e \cdot N_a \cdot x$ , d'où  $x = \frac{I \cdot \theta}{4 \cdot e \cdot N_a}$  : L'avancement x de la réaction est proportionnel au temps  $\theta$ .

b) La quantité de dioxygène produit est égale à l'avancement de la réaction.

$V(O_2) = x \cdot V_{mol} = \frac{I \cdot \theta}{4 \cdot e \cdot N_a} \cdot V_{mol} = 0,05233 \approx 52,3 \text{ cm}^3$ .

La quantité de matière consommée est égale au double de l'avancement.

$m(H_2O) = 2 \cdot x \cdot M(H_2O) = 2 \cdot \frac{I \cdot \theta}{4 \cdot e \cdot N_a} \cdot M(H_2O) = \frac{I \cdot \theta}{2 \cdot e \cdot N_a} \cdot M(H_2O) = 8,409 \cdot 10^{-2} \approx 84,1 \text{ mg}$ .

## Chapitre VII : ESTERIFICATION – HYDROLYSE

### EXERCICE 7.2 :

1- voir cours

2-  $n(\text{acide}) = 0,203 \text{ mol}$  ;  $n(\text{alcool}) = 0,337 \text{ mol}$  ;  $n(\text{ester}) = 0,087 \text{ mol}$  et  $p = \frac{n(\text{ester})}{n(\text{acide})} = 43\%$ .

### EXERCICE 7.3 :

1. a) Equation de la réaction d'estérification :  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_3\text{H}_7\text{CH}_2\text{OH} = \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 + \text{H}_2\text{O}$

b) Cette réaction est lente et incomplète : elle mène à un état d'équilibre.

2. a) Il faut d'abord calculer les quantités de matière initiales d'acide et d'alcool.

$$n_{\text{acide éthanoïque initial}} = \frac{\rho \cdot V}{M} = 0,3199 \approx 0,32 \text{ mol.} \quad n_{\text{butan-1-ol initial}} = \frac{\rho \cdot V}{M} = 0,3443 \approx 0,34 \text{ mol.}$$

On établit ensuite le tableau d'avancement (en mol):

		acide	+	alcool	=	ester	+	eau	
Initial		0		0,32		0,34		0	0
Transformation		x		0,32 - x		0,34 - x		x	x

En cours de transformation, après 1 heure, la quantité de matière d'acide restant est :  $0,32 - x = 0,12 \text{ mol}$ .

On en déduit l'avancement de la réaction à cette date :  $x = 0,20 \text{ mol}$ . On calcule alors les quantités de matière des composés présents :

Quantités de matière présentes (mol)			
Acide	Alcool	Ester	Eau
$0,32 - x$	$0,34 - x$	x	x
0,12	0,14	0,20	0,20

b) Calcul de l'avancement maximal de la transformation : il faut satisfaire les deux inégalités :

$$n_{\text{acide final}} \geq 0 \quad \text{soit} \quad 0,32 - x \geq 0 \quad x \leq 0,32$$

$$n_{\text{alcool final}} \geq 0 \quad \text{soit} \quad 0,34 - x \geq 0 \quad x \leq 0,34$$

donc  $x \leq 0,32$ . L'avancement maximal est alors :  $x_{\text{max}} = 0,32 \text{ mol}$ .

Si la transformation était totale, la quantité d'ester obtenue serait égale à  $x_{\text{max}}$ . Le rendement de la réaction

$$\text{est alors : } r = \frac{n_{\text{ester obtenue}}}{n_{\text{ester obtenue si réaction totale}}} = \frac{0,32}{0,34} = 0,941 \text{ donc } r = 94,5\%$$

3. a) L'acide sulfurique apporte des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  qui catalysent la réaction, donc augmentent la vitesse de la réaction d'estérification. Cependant, ces ions catalysent et donc accélèrent aussi la réaction inverse d'hydrolyse ; l'équilibre chimique sera atteint plus vite.

b) En opérant à température basse, on ralentit très fortement deux réactions :

- La réaction d'estérification, qui consomme de l'acide ;
- La réaction de saponification de l'ester, qui consomme de la soude.

Ces deux réactions deviennent négligeables et ne perturbent pas le dosage de l'acide éthanoïque restant.

## Chapitre VIII : CONTROLE DE L'EVOLUTION D'UN SYSTEME

CHIMIQUE

### EXERCICE 8.1 :

Si on écrit la réaction :  $\text{IO}_3^- + 5 \text{I}^- + 6 \text{H}^+ \rightarrow 3 \text{I}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$ . Les ions  $\text{H}^+$  sont des réactifs.

### EXERCICE 8.3 :

- L'ion  $\text{I}^-$  est oxydé en diiode  $\text{I}_2$  de coloration brune par l'ion  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ .
- $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2 \text{I}^- \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-} + \text{I}_2$
- On remplace une transformation lente par une succession de 2 transformations rapides.
- On peut modifier la quantité de catalyseur.

## Chapitre IX : EXTRACTION ET IDENTIFICATION DE COMPOSES

CHIMIQUES

### EXERCICE 9.1 :

- 1) Le benzaldéhyde est soluble dans l'eau et très soluble dans les solvants organiques. Il faut donc utiliser un solvant organique (éthanol ou éther). Mais l'éthanol étant miscible en toute proportion avec l'eau, on ne peut l'utiliser. On choisira donc l'éther, non miscible avec l'eau, pour extraire le benzaldéhyde de la boisson.
- 2) Extraction par solvant.

## Chapitre X : ELABORATION DES COMPOSES CHIMIQUES

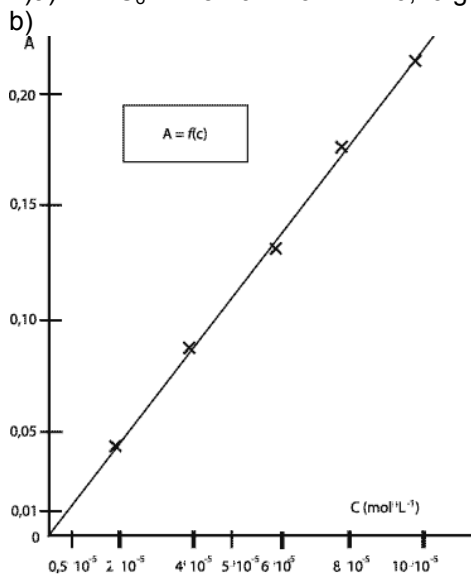
### EXERCICE 10.1 :

- 1)  $n = \rho V / M$      $n(\text{alcool}) = 0,74 \text{ mol}$      $n(\text{acide}) = 0,85 \text{ mol}$
- 2)  $x_{\text{max}} = 0,74 \text{ mol}$ . L'acide éthanóïque est en excès.
- 3)  $\eta = n(\text{ester}) / n(\text{alcool}) = 0,68$ . On en déduit  $n(\text{ester}) = 0,50 \text{ mol}$ .

## Chapitre XI : EFFECTUER DES CONTROLES DE QUALITE.

### EXERCICE 11.2 :

- 1) a)  $n = C_0 V = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ .  $m = 0,79 \text{ g}$ .



La courbe est une droite qui passe par l'origine donc A et c sont proportionnelles.

soit  $A = 2,2 \cdot 10^3 c$ .

c) On choisit la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption pour la solution de permanganate de potassium. On l'a sur le graphique 530 nm.

d) Sur ce graphique, à  $\lambda = 530 \text{ nm}$ ,  $A = 2,5$ . L'absorbance est proportionnelle aux absorbances du tableau précédent. Or l'absorbance est proportionnelle à la concentration de la solution. Donc c spectre a été réalisé avec une solution plus concentrée que celle du tableau.

e)  $A = 0,14$  donc  $c_{\text{exp}} = 6,36 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ .

f) D'après l'étiquette, cette eau contient  $m = 0,0010 \text{ g}$  de permanganate de potassium pour un volume  $V = 0,1 \text{ L}$  de solution. Donc  $0,010 \text{ g}$  dans un litre de solution. Donc  $n = 6,33 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$  dans 1 L.

L'écart relatif vaut :  $(6,36 - 6,33) / 6,36 = 0,004$  (0,4%) écart relatif très faible.

2) a)  $2\text{Cl}^- = \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$  oxydation de l'ion chlorure.  $2\text{ClO}^- + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  réduction de  $\text{ClO}^-$

b) Le dichlore est très soluble dans l'eau mais très peu soluble dans l'eau salée.

c)  $n = 0,17 / 24 = 7,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ . Donc  $m = 0,503 \text{ g}$ .

L'écart relatif est  $(0,503 - 0,5) / 0,5 = 0,006$  (soit 0,6 %), valeur très faible.

3) En milieu acide cette eau de Dakin se dénature en libérant du dichlore.

## Chapitre XII : SEPARATION ET ELECTROLYSE.

### EXERCICE 12.1 :

Il y aura précipitation dès que  $Q_r = K$ .

Soit  $Q_r = 1 / ([\text{Cu}^{2+}] [\text{HO}^-]^2) = 5 \cdot 10^{19}$  d'où  $[\text{HO}^-] = (1 / (5 \cdot 10^{19} \cdot 1 \cdot 10^{-3}))^{1/2} = 4,5 \cdot 10^{-9} \text{ mol.L}^{-1}$

Or  $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_e / [\text{HO}^-] = 2 \cdot 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$  donc  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = 5,7$ .

L'hydroxyde de cuivre commencera à précipiter à partir de  $\text{pH} = 5,7$ .

## Grandeurs et unités

Grandeur	Notation	Unité	Symbole de l'unité
Absorbance	A	pas d'unité	
Avancement	x	mole	mol
Charge électrique	q	coulomb	C
Concentration molaire	C ou [X]	mole par litre	mol.L <sup>-1</sup>
Conductance	G	siemens	S
Conductivité	$\sigma$	siemens par mètre	S.m <sup>-1</sup>
Conductivité molaire ionique	$\lambda$	siemens mètre carré par mole	S.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup>
Constante d'acidité	K <sub>A</sub>	pas d'unité	
Densité	d	pas d'unité	
Energie	E	joule	J
Fréquence	f	hertz	Hz
Inductance	L	henry	H
Longueur	l	mètre	m
Intensité du courant électrique	I	ampère	A
Masse	m	kilogramme	kg
Masse molaire	M	gramme par mole	g.mol <sup>-1</sup>
Période	T	seconde	s
Masse volumique	$\rho$	kilogramme par mètre cube	Kg.m <sup>-3</sup>
pH	pH	pas d'unité	
Pression	p	pascal	Pa
Puissance	P	watt	W
Quantité de matière	n	mole	mol
Résistance	R	ohm	$\Omega$
Quotient de réaction	Q <sub>r</sub>	pas d'unité	
Température	T	degré celsius ou kelvin	° C ou K
Tension électrique	U	volt	V
Travail	W	joule	J
Vitesse de réaction	v	mole par litre par seconde	mol.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>

## Tableau de constantes

Constante	Symbole	Valeur approchée
Vitesse de la lumière dans le vide	c	3,00.10 <sup>8</sup> m.s <sup>-1</sup>
Constante d'Avogadro	N <sub>A</sub>	6,022.10 <sup>23</sup> mol <sup>-1</sup>
Constante gravitationnelle	G (ou K)	6,67.10 <sup>-11</sup> m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>-2</sup>
Constante de Planck	h	6,63.10 <sup>-34</sup> J.s <sup>-1</sup>
Constante des gaz parfaits	R	8,314 Pa.m <sup>3</sup> .mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Charge électrique élémentaire	e	1,602.10 <sup>-19</sup> C
Masse de l'électron	m <sub>e</sub>	9,109.10 <sup>-31</sup> kg.
Masse du proton	m <sub>p</sub>	1,673.10 <sup>-27</sup> kg
Masse du neutron	m <sub>n</sub>	1,675.10 <sup>-27</sup> kg
Unité de masse atomique	u	1,6605.10 <sup>-27</sup> kg
Volume molaire (0 °C ; 1 atm)	V <sub>m</sub>	22,4 L.mol <sup>-1</sup>
Produit ionique de l'eau (25 °C)	K <sub>e</sub>	1,0.10 <sup>-14</sup>
Masse de la Terre	M <sub>T</sub>	5,98.10 <sup>24</sup> kg
Rayon moyen de la Terre	R <sub>T</sub>	6380 km
Masse du soleil	M <sub>S</sub>	1,98.10 <sup>30</sup> kg
Constante de Faraday	F	96500 C.mol <sup>-1</sup>

## Conductivités molaires ioniques à 25 °C

Cation	$\lambda_i$ (S.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )
Li <sup>+</sup>	3,86.10 <sup>-3</sup>
Na <sup>+</sup>	5,00.10 <sup>-3</sup>
Ag <sup>+</sup>	6,19.10 <sup>-3</sup>
K <sup>+</sup>	7,34.10 <sup>-3</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	7,35.10 <sup>-3</sup>
Zn <sup>2+</sup>	10,5.10 <sup>-3</sup>
Mg <sup>2+</sup>	10,6.10 <sup>-3</sup>
Cu <sup>2+</sup>	10,7.10 <sup>-3</sup>
Fe <sup>2+</sup>	10,8.10 <sup>-3</sup>
Co <sup>2+</sup>	11,0.10 <sup>-3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	11,9.10 <sup>-3</sup>
Al <sup>3+</sup>	18,3.10 <sup>-3</sup>
Fe <sup>3+</sup>	20,4.10 <sup>-3</sup>
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	35,0.10 <sup>-3</sup>

Anion	$\lambda_i$ (S.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )
CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4,09.10 <sup>-3</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,45.10 <sup>-3</sup>
F <sup>-</sup>	5,54.10 <sup>-3</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7,14.10 <sup>-3</sup>
Cl <sup>-</sup>	7,63.10 <sup>-3</sup>
I <sup>-</sup>	7,68.10 <sup>-3</sup>
Br <sup>-</sup>	7,81.10 <sup>-3</sup>
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	13,9.10 <sup>-3</sup>
C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14,8.10 <sup>-3</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	16,0.10 <sup>-3</sup>
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	17,0.10 <sup>-3</sup>
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17,0.10 <sup>-3</sup>
HO <sup>-</sup>	19,8.10 <sup>-3</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	20,7.10 <sup>-3</sup>

# complétude

soutien scolaire



donner envie d'apprendre



Cours particuliers  
Stages en petits groupes  
**0 810 13 14 15**  
(prix appel local)



www.complétude.com