



Réussir en toute sérénité

Annales

Sujets & Corrigés

2017

Marc KOUASSI

Physique & Chimie



- Rappel de cours
- Méthodes pratiques
- Exercices et Problèmes résolus
- 10 derniers sujets du BAC entièrement résolus





Pour une bonne réussite scolaire,
procurez vous.

Vos annales
de la Maternelle
au cycle
Ingénieur

Composées
par des
enseignants
qualifiés et
expérimentés



Numéros utiles Les Editions Matrice

SECRETARIAT
23 48 54 62 / 58 22 45 08
M. MARC KOUASSI
03 31 01 50 / 08 45 62 46
M. KABA MAMOUDOU
03 06 25 43 / 07 61 24 97

M. SOUMAHORO ROBERT
03 16 40 69 / 05 45 15 31
M. YAO DENIS
03 07 20 90 / 07 25 49 25

Pour vos achats, prière contacter :

Abidjan

ABOBO
M. YAPI 01 13 67 37
M. BAH 08 29 68 69
M. TRAORE 24 38 36 99
ADJAME (Marché de Roxy)
M. CAMARA
07 18 78 29 / 07 11 02 02
M. TRAORE 09 21 12 72
COCODY
M. EZOUA 03 15 40 22
PORT BOUET
M. N'GUESSAN 02 73 10 40
YOPOUGON MAROC
M. OBOUMOU 05 57 43 70
YOPOUGON SIPOREX
Mme PAULELL 07 94 91 92
M. SALOMON 05 13 43 63
M. AMANKOU 08 53 35 64

Hors Abidjan

ABENGOUROU
M. COULIBALY 47 93 00 62
M. DIALLO 07 81 11 50
AGBOVILLE
M. OBOUMOU 05 57 43 70
ANYAMA
M. KOUAKOU 07 86 19 87
BEOUMI
M. AKIM 07 29 25 78
BINGERVILLE
M. AMANI 03 32 76 77
M. QUATTARA 06 48 01 95
BONDOUKOU
M. DINGUI 02 66 99 09
BOUAKE
M. KOUASSI 05 73 22 15
M. KOFFI 01 59 26 59
M. TRAORE 59 19 46 12

DABOU
M. KOFFI 40 07 16 60
DALOA
M. COULIBALY 05 86 03 99
DIMBOKRO
M. ZAHORE 07 42 57 77
DIVO
M. TOURE 03 44 92 74
DUEKOUÉ
M. GUIGUI 07 70 61 04
GAGNOA
M. DOSSO 67 81 40 41
M. DIALLO 07 07 86 48
GUIGLO
M. GBO 03 80 83 31
GUITRY
M. SOUMAHORO 03 78 98 94

KORHOGO
M. ZERBO ADAMA 09 48 7
M. COULIBALY 08 12 20 6
MAN
M. EFOE 02 03 42 00
M. TOURE 08 90 90 00
SAÏOUA
M. DION 48 61 64 13
SAN PEDRO
M. YOUSSEF 45 20 19 6
M. DOUMBIA 09 30 15 20
M. COULIBALY 07 42 54 5
SINFRA
M. ADE 07 40 20 90
TIASSALE
M. DADIE 07 21 81 81
TIEBISSOU
M. ADOM 01 40 38 40
YAMOUSSOUKRO
M. DIARRASSOUBA 45 60
M. WILSON 40144014

Collection Le TOP CHRONO

Sous la coordination de YAO Denis
Professeur de Lycée

PHYSIQUE - CHIMIE

Baccalauréat séries C, D & E

Marc KOUASSI
Professeur de Lycée



Les Editions Matrice

23 BP 2605 Abidjan 23

(00255) 23 48 54 62

(00255) 58 22 45 08

Email : matrice.editions@gmail.com

Site web : www.topmatrice.net

AVANT-PROPOS

La collection le **TOP CHRONO** a été conçue pour répondre au besoin, maintes fois, exprimé par les élèves de disposer d'un outil pratique et performant à moindre coût, pour préparer efficacement leur examen de fin d'année.

Cet ouvrage comporte :

- des rappels de cours depuis les classes antérieures,
- des méthodes pratiques permettant de résoudre efficacement les sujets,
- des exercices types Bac entièrement résolus,
- des exercices extraits des sujets de Bac Blanc des Lycées et collèges et d'anciens sujets de Bac ivoirien et d'autres pays,
- les sept(07) derniers sujets officiels du Baccalauréat ivoirien série D entièrement corrigés de 2010 à 2016.
- les trois(03) derniers sujets officiels du Baccalauréat ivoirien séries C & E entièrement corrigés de 2014 à 2016.

De plus, pour la bonne compréhension des corrections, des commentaires très appropriés sont associés à celles-ci.

Le **TOP CHRONO** est conforme au programme officiel en vigueur en Côte d'Ivoire.

Nous espérons que cet ouvrage vous paraîtra assez attrayant et qu'il sera le précieux auxiliaire de votre travail personnel tout au long de l'année.

Nous osons croire que cet ouvrage contribuera à l'amélioration des résultats de fin d'année des candidats au Bac séries scientifiques.

L'auteur remercie d'avance toutes les bonnes volontés pour leurs remarques et suggestions qui permettront d'améliorer à l'avenir le contenu de ce document et en faire un outil incontournable pour le succès au Bac séries scientifiques.

Enfin, il remercie tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la rédaction de cet ouvrage.

L'auteur.

SOMMAIRE

	CHAPITRE	PAGE
RAPPELS	Quelques résultats mathématiques utiles en Physique	5 à 11
	Quelques unités et constantes essentielles	12 à 16
	Symboles normalisés de quelques dipôles	17
	Quelques matériels utilisés en sciences physiques	18
	Tableau de classification périodique des éléments chimiques	19
MÉCANIQUE	Cinématique du point	20 à 36
	Mouvement du centre d'inertie d'un système matériel	37 à 50
	Interaction gravitationnelle (T ^o C & E uniquement)	51 à 64
	Mouvement dans un champ uniforme	65 à 85
	Oscillateurs mécaniques libres	86 à 99
ELECTRO-MAGNÉTISME	Champ magnétique	100 à 111
	Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme	112 à 126
	Force électromagnétique de Laplace	127 à 137
	Induction électromagnétique (T ^o C & E uniquement)	138 à 151
	Auto-induction	152 à 163
	Montages intégrateur et dérivateur	164 à 171
	Oscillations électriques libres	172 à 183
	Circuit RLC série en régime sinusoïdal forcé	184 à 206
PHYSIQUE NUCLÉAIRE	Niveaux d'énergies (T ^o C & E uniquement)	207 à 214
	Réactions nucléaires spontanées et provoquées	215 à 228
CHIMIE GÉNÉRALE	Solutions aqueuses – Notion de pH	229 à 245
	Acides forts – Bases fortes	246 à 256
	Réaction acide fort – base forte	257 à 271
	Acide faible - Base faible – Classification des couples acide/base	272 à 286
	Réactions acido-basiques - Solutions tampons - Dosages	287 à 302
CHIMIE ORGANIQUE	Généralités sur la chimie organique	303 à 308
	Les alcools	307 à 334
	Les amines	335 à 342
	Acides carboxyliques et dérivés	343 à 368
	Acides α -aminés et protéines	369 à 376
SUJETS OFFICIELS DU BAC IVOIRIEN		378 à 421
CORRECTION DES SUJETS OFFICIELS DU BAC IVOIRIEN		422 à 495

PREMIERE PARTIE

L'ENTRAINEMENT AU QUOTIDIEN

RAPPELS DE COURS
METHODES PRATIQUES
EXERCICES RESOLUS
EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT
CORRECTIONS D'EXERCICES

QUELQUES RESULTATS

MATHEMATIQUES UTILES EN PHYSIQUE

1) Trigonométrie

1.1. Unités d'angles

Les unités d'angles les plus utilisées sont le degré et le radian.

On a par exemple : $180^\circ = \pi \text{ rad}$.

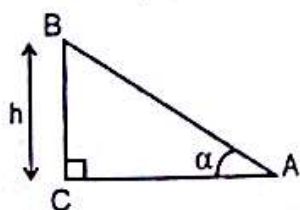
1.2. Relation entre les fonctions

$$\begin{aligned} \text{➤ } \tan \alpha &= \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} ; & \cot \alpha &= \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} & \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha &= 1 \\ \text{➤ } \cos(-\alpha) &= \cos(\alpha) ; & \sin(-\alpha) &= -\sin(\alpha) ; & \sin^2 \alpha &= \frac{1 - \cos 2\alpha}{2} \\ \text{➤ } \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) &= -\sin \alpha ; & \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) &= \cos \alpha & \cos^2 \alpha &= \frac{1 + \cos 2\alpha}{2} \\ \text{➤ } \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) &= \sin \alpha ; & \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) &= -\cos \alpha & & \\ \text{➤ } \cos(\pi + \alpha) &= -\cos \alpha ; & \sin(\pi + \alpha) &= -\sin \alpha & & \\ \text{➤ } \cos(\pi - \alpha) &= -\cos \alpha ; & \sin(\pi - \alpha) &= \sin \alpha & & \\ \text{➤ } \sin 2\alpha &= 2 \cos \alpha \sin \alpha ; & \frac{1}{\cos^2 \alpha} &= 1 + \tan^2 \alpha & & \end{aligned}$$

1.3. Mesures d'angles

Angle en degré (°)	0	30	45	60	90	120	180
Angle en radian (rad)	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	π
Sinus	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	0
Cosinus	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	-1
Tangente	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$		$-\sqrt{3}$	0

1.4. Propriétés métriques du triangle rectangle



$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{\text{coté opposé}}{\text{hypothénuse}} = \frac{BC}{AB} \Rightarrow h = BC = AB \times \sin \alpha \\ \cos \alpha &= \frac{\text{coté adjacent}}{\text{hypothénuse}} = \frac{AC}{AB} ; \quad \tan \alpha = \frac{\text{coté opposé}}{\text{coté adjacent}} = \frac{BC}{AC} \end{aligned}$$

2) Vecteur**2.1. Définition**

- Deux vecteurs \vec{u} et \vec{v} sont perpendiculaires ou orthogonaux si $\text{mes}(\vec{u}; \vec{v}) = 90^\circ$.

On note $\vec{u} \perp \vec{v}$.

- Deux vecteurs \vec{u} et \vec{v} sont colinéaires s'ils ont la même direction. On note $\vec{u} // \vec{v}$.

Ainsi \vec{u} et \vec{v} ont, soit le même sens ($\text{mes}(\vec{u}; \vec{v}) = 0^\circ$), soit ils sont de sens contraires ($\text{mes}(\vec{u}; \vec{v}) = 180^\circ$).

2.2. Norme ou valeur d'un vecteur

Soient \vec{u} un vecteur non nul du plan tel que $\vec{u} = x\vec{i} + y\vec{j}$. On a alors : $u = \|\vec{u}\| = \sqrt{x^2 + y^2}$

2.3. Produit scalaire**a. Définition**

Soient \vec{u} et \vec{v} deux vecteurs non nuls du plan.

Le produit scalaire de \vec{u} par \vec{v} est le réel $\vec{u} \cdot \vec{v}$ tel que :

- si $\text{mes}(\vec{u}; \vec{v}) = \alpha$ alors $\vec{u} \cdot \vec{v} = u \cdot v \cdot \cos \alpha$
- si $\vec{u} = x\vec{i} + y\vec{j}$ et $\vec{v} = x'\vec{i} + y'\vec{j}$ alors $\vec{u} \cdot \vec{v} = xx' + yy'$

b. Propriétés

- $\vec{u} \cdot \vec{v} = \vec{v} \cdot \vec{u}$
- si $\vec{u} \perp \vec{v}$ alors $\vec{u} \cdot \vec{v} = 0$.
- si $\vec{u} // \vec{v}$ alors $\vec{u} \cdot \vec{v} = u \cdot v$ (\vec{u} et \vec{v} ont le même sens) ou $\vec{u} \cdot \vec{v} = -u \cdot v$ (\vec{u} et \vec{v} sont de sens contraire).

2.4. Produit vectoriel**a. Définition**

Soient \vec{u} et \vec{v} deux vecteurs non nuls du plan.

Le produit vectoriel de \vec{u} par \vec{v} est le vecteur $\vec{u} \wedge \vec{v}$ tel que :

$$\|\vec{u} \wedge \vec{v}\| = u \cdot v \cdot \sin \alpha \text{ avec } \text{mes}(\vec{u}; \vec{v}) = \alpha.$$

b. Propriétés

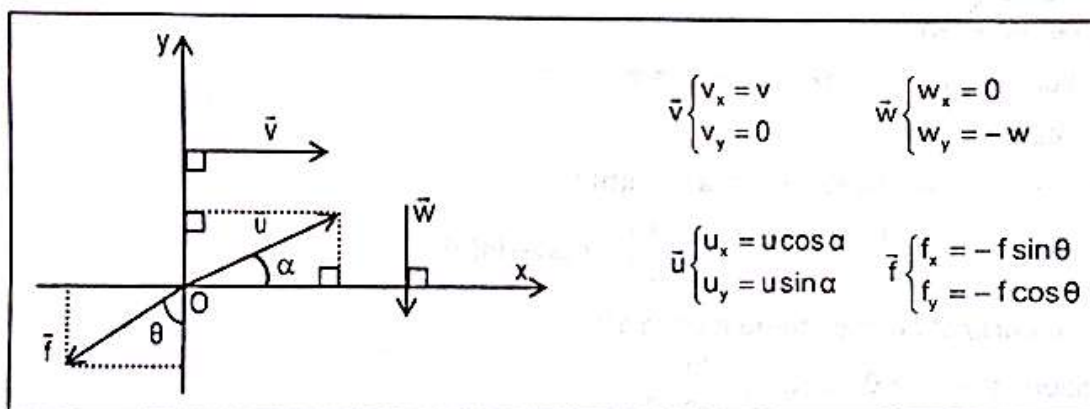
- $\vec{u} \wedge \vec{v} = -\vec{v} \wedge \vec{u}$
- $(\vec{u} \wedge \vec{v}) \cdot \vec{w} = (\vec{v} \wedge \vec{w}) \cdot \vec{u} = (\vec{w} \wedge \vec{u}) \cdot \vec{v}$
- si $\vec{u} \perp \vec{v}$ alors $\|\vec{u} \wedge \vec{v}\| = u \cdot v$
- si $\vec{u} // \vec{v}$ alors $\|\vec{u} \wedge \vec{v}\| = 0$

2.5. Projection de vecteurs

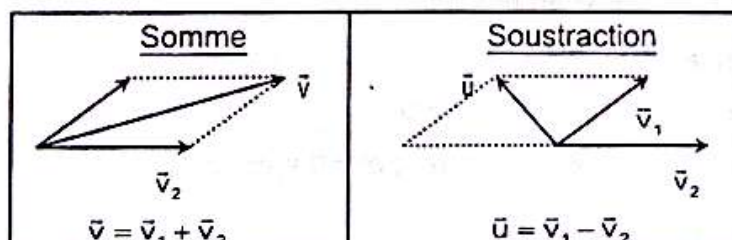
a. Règle

- La projection sur un axe donné d'un vecteur perpendiculaire à cet axe est nulle.
- La projection sur un axe donné d'un vecteur colinéaire à cet axe est égale à :
 - la valeur de ce vecteur s'il a le même sens que l'axe ;
 - l'opposé de la valeur de ce vecteur s'il est de sens contraire à l'axe.
- La projection sur un axe donné d'un vecteur faisant un angle avec cet axe est égale au :
 - produit de la valeur de ce vecteur par le cosinus ou le sinus de l'angle s'il a le même sens que l'axe ;
 - produit de l'opposé de la valeur de ce vecteur par le cosinus ou le sinus de l'angle s'il est de sens contraire à l'axe.

b. Exemples



2.6. Somme et soustraction de vecteurs



3) Dérivées et primitives de fonctions

Soient n un entier naturel ; a, b, c et k des constantes ; t une variable ; u et v des fonctions qui dépendent de la variable t.

Fonction	0	a	at+b	at ² +bt+c	t ⁿ	1/t	1/t ⁿ	e ^t
Dérivée	0	0	a	2at+b	nt ⁿ⁻¹	-1/t ²	-n/t ⁿ⁺¹	e ^t
Primitive	k	at+k	1/2 at ² +bt+k	1/3 at ³ + 1/2 bt ² +ct+k	1/(n+1) t ⁿ⁺¹	ln(t)	-1/(n-1) × 1/t ⁿ⁻¹	e ^t

Fonction	cos(t)	sin(t)	cos(at)	sin(at)	e ^{at}	ln(t)	ln(at)	e ^u
Dérivée	-sin(t)	cos(t)	-asin(at)	acos(at)	ae ^{at}	$\frac{1}{t}$	$\frac{a}{t}$	$\frac{du}{dt}e^u$
Primitive	sin(t)	-cos(t)	$\frac{1}{a} \sin(at)$	$-\frac{1}{a} \cos(at)$	$\frac{1}{a} e^{at}$			

Fonction	ku	u + v	u.v	$\frac{1}{u}$	$\frac{u}{v}$
Dérivée	$k \frac{du}{dt}$	$\frac{du}{dt} + \frac{dv}{dt}$	$v \frac{du}{dt} + u \frac{dv}{dt}$	$-\frac{1}{u^2} \frac{du}{dt}$	$\frac{1}{v^2} (v \frac{du}{dt} - u \frac{dv}{dt})$

Fonction	u ⁿ	$\frac{1}{u^n}$	ln(u)
Dérivée	$nu^{n-1} \frac{du}{dt}$	$-\frac{n}{u^{n+1}} \frac{du}{dt}$	$\frac{1}{u} \frac{du}{dt}$

4) Fonction logarithme

a) Logarithme népérien

➤ Définition : pour $x > 0$, $\ln x = y \Rightarrow e^y = x$.

➤ Propriétés

$\ln(e^x) = x$; $\ln(1) = 0$; $\ln(a.b) = \ln(a) + \ln(b)$;

$\ln(a^n) = n \ln(a)$; $\ln\left(\frac{1}{a}\right) = -\ln(a)$; $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln(a) - \ln(b)$.

b) Logarithme décimal ou logarithme à base 10

➤ Définition : pour $x > 0$, $\text{Log}(x) = \frac{\ln(x)}{\ln 10}$

➤ Propriétés : si $\text{Log}(a) = b$ alors $a = 10^b$

N.B. : ln et Log ont les mêmes propriétés

c) Exponentielle népérienne

➤ Définition : pour tout x, $\exp(x) = e^x$ et $e^x > 0$

➤ Propriétés : $e^0 = 1$; $e^{\ln x} = x$; $e^{(a+b)} = e^a e^b$; $e^{(a-b)} = e^a e^{-b}$

5) Equation du premier degré

5.1. Addition et soustraction

Soit a, b, c et d des réels non nuls.

➤ $a + b = c + d \Leftrightarrow a = c + d - b \Leftrightarrow b = c + d - a \Leftrightarrow c = a + b - d \Leftrightarrow d = a + b - c$

➤ $a - b = c - d \Leftrightarrow a = c - d + b \Leftrightarrow b = d - c + a \Leftrightarrow c = a - b + d \Leftrightarrow d = b - a + c$

5.2. Multiplication et division

Soit a, b, c et d des réels non nuls.

$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Leftrightarrow a \times d = b \times c \Leftrightarrow a = \frac{b \times c}{d} \Leftrightarrow b = \frac{a \times d}{c} \Leftrightarrow d = \frac{b \times c}{a} \Leftrightarrow c = \frac{a \times d}{b}$

6) Equation du second degré

Soit l'équation du second degré : $ax^2 + bx + c = 0$; le discriminant est : $\Delta = b^2 - 4ac$.

- si $\Delta < 0$ alors l'équation n'admet pas de solution,
- si $\Delta = 0$ alors l'équation admet une seule solution x telle que : $x = -\frac{b}{2a}$
- si $\Delta > 0$ alors l'équation admet deux solutions x_1 et x_2 telles que :

$$x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \quad \text{et} \quad x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$$

7) Puissances de 10

L'écriture et la lecture des nombres très petits, par exemple « 0,000 000 000 1 » ou très grand, par exemple « 10 000 000 000 000 » est très difficile.

Pour cela, on a adopté des règles d'écriture plus efficaces : les puissances de 10.

7.1. Puissances négatives

Valeur	Puissance de 10
0,1	10^{-1}
0,01	10^{-2}
0,001	10^{-3}
0,000 001	10^{-6}
0,000 000 001	10^{-9}
0,000 000 000 001	10^{-12}

7.2. Puissances positives

Valeur	Puissance de 10
10	10^1
100	10^2
1 000	10^3
1 000 000	10^6
1 000 000 000	10^9
1 000 000 000 000	10^{12}

7.3. Opération sur les puissances de 10

- $10^a \times 10^b = 10^{a+b}$
- $(10^a)^b = 10^{a \times b}$
- $\frac{1}{10^a} = 10^{-a} \Leftrightarrow \frac{1}{10^{-a}} = 10^a \Rightarrow \frac{10^a}{10^b} = 10^a \times 10^{-b} = 10^{a-b}$

8) La règle de trois

Dans les cas suivants a, b, c et d sont des valeurs connues (données). Déterminons x :

➤ 1^{er} cas :

$$\left. \begin{array}{l} a \longrightarrow b \\ c \longrightarrow x \end{array} \right\} \Rightarrow x = \frac{b \times c}{a}$$

$$\text{Exemple : } \left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \longrightarrow 20 \text{ N} \\ 2 \text{ cm} \longrightarrow x \text{ (N)} \end{array} \right\} \Rightarrow x = \frac{20 \times 2}{1} = 40 \text{ N}$$

➤ 2^{ème} cas :

$$\left. \begin{array}{l} a \longrightarrow b \\ x \longrightarrow d \end{array} \right\} \Rightarrow x = \frac{a \times d}{b}$$

$$\text{Exemple : } \left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \longrightarrow 20 \text{ N} \\ x \text{ (cm)} \longrightarrow 50 \text{ N} \end{array} \right\} \Rightarrow x = \frac{50 \times 1}{20} = 2,5 \text{ cm}$$

Remarque :

- Dans le 1^{er} cas,
 - les grandeurs a et c doivent être exprimées dans la même unité ;
 - les grandeurs b et x doivent être exprimées dans la même unité.
- Dans le 2^{ème} cas,
 - les grandeurs a et x doivent être exprimées dans la même unité ;
 - les grandeurs b et d doivent être exprimées dans la même unité.

9) Tracé de courbe

Tracer la courbe de y en fonction de x ou $y = f(x)$ revient à placer :

- y en ordonnées ;
- x en abscisses.

Exemple : $x = f(t^2)$; la longueur x est en ordonnées et le temps au carré t^2 en abscisses.

Remarque :

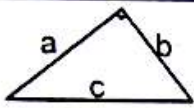

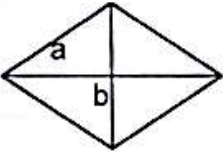
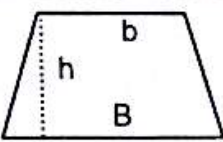
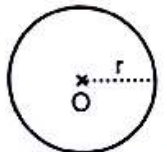
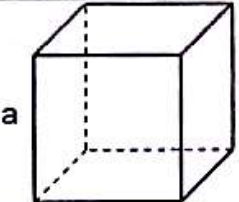
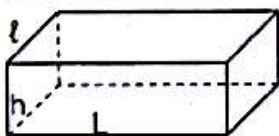
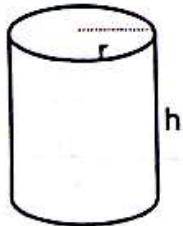

- Si la courbe de $y = f(x)$ est une droite qui passe par l'origine des axes, alors on dit que les grandeurs y et x sont proportionnelles ; ainsi l'équation de la droite est de la forme : $y = kx$ où k est le coefficient de proportionnalité ou le coefficient directeur de la droite.

Exemple : $x = \frac{1}{2}at^2$ (la constante est $\frac{1}{2}a$) ; $P = m \times g$ (la constante est g).

- Si la courbe de $y = f(x)$ est une droite qui ne passe pas par l'origine des axes, alors les grandeurs y et x ne sont pas proportionnelles et l'équation de la droite est de la forme : $y = ax + b$ où a est le coefficient directeur de la droite et b l'ordonnée à l'origine.

Exemple : $v = at + v_0$; le coefficient directeur de la droite est a et v_0 l'ordonnée à l'origine.

10) Périmètre, surface et volume de quelques figures géométriques

Figure géométrique	Nom	Périmètre	Surface ou Aire	Volume
	triangle rectangle	$a + b + c$	$\frac{a \times b}{2}$	
	rectangle	Somme des quatre cotés ou $2(\ell + L)$	$L \times \ell$	
	losange	Somme des quatre cotés ou $2\sqrt{a^2 + b^2}$	$\frac{a \times b}{2}$	
	trapèze	Somme des quatre cotés	$\frac{(B + b) \times h}{2}$	
	cercle	$2\pi \times r = \pi \times d$	$\pi \times r^2 = \pi \times \frac{d^2}{4}$	
	cube		$6a^2$	$a \times a \times a = a^3$
	Pavé droit		$2(L\ell + h\ell + Lh)$	$L \times \ell \times h$
	cylindre		$2\pi \times r \times h$ ou $\pi \times d \times h$	$\pi \times r^2 \times h$ ou $\pi \times \frac{d^2}{4} \times h$
	sphère		$4\pi \times r^2 = \pi \times d^2$	$\frac{4}{3} \pi \times r^3 = \frac{1}{6} \pi \times d^3$

QUELQUES UNITES ET CONSTANTES ESSENTIELLES EN PHYSIQUE-CHIMIE

1. En physique

Grandeur (notation)	Unité Système Internationale(SI)	Symbole
Accélération (a)	mètre par seconde au carrée	m/s^2 ou $m.s^{-2}$
Activité radioactive (A)	becquerel	Bq
Angle (α , β , $\theta...$)	radian	rad
Capacité (C)	farad	F
Champ électrostatique (E)	volt par mètre	V/m ou $V.m^{-1}$
Champ magnétique (B)	tesla	T
Constante de raideur (k)	newton par mètre	N/m ou $N.m^{-1}$
Constante radioactive (λ)	par seconde	s^{-1}
Durée (t)	seconde	s
Energie (E)	joule	J
Flux magnétique (Φ)	weber	Wb
Force (F)	newton	N
Fréquence (N)	hertz	Hz
Inductance (L)	henry	H
Intensité électrique (I)	ampère	A
Longueur (l)	mètre	m
Masse (m)	kilogramme	kg
Moment d'une force (\mathcal{M})	newton mètre	N.m
Période (T)	seconde	s
Puissance (P)	watt	W
Résistance (R)	ohm	Ω
Surface (S) ou aire (\mathcal{A})	mètre carrée	m^2
Tension électrique ou différence de potentiel (U)	volt	V
Travail (W)	joule	J
Vitesse angulaire (ω)	radian par seconde	rad/s ou $rad.s^{-1}$
Vitesse linéaire (v)	mètre par seconde	m/s ou $m.s^{-1}$

1. En chimie

Grandeur (notation)	Unité Système Internationale(SI)	Symbole
Concentration massique (C)	gramme par litre	g/L ou g.L ⁻¹
Concentration molaire (C)	mole par litre	mol/L ou mol.L ⁻¹
Masse (m)	gramme	g
Masse molaire (M)	gramme par mole	g/mol ou g.mol ⁻¹
Masse volumique (ρ)	gramme par litre	g/L ou g.L ⁻¹
Quantité de matière ou nombre de moles (n)	mole	mol
Volume (V)	litre	L
Volume molaire (V _m ou V ₀)	litre par mole	L/mol ou L.mol ⁻¹

2. Les multiples

Préfixe	Abréviation	Valeur	Exemple	Unité utilisée
téra	T	10 ¹²	1 TW = 10 ¹² W	téravatt(TW)
giga	G	10 ⁹	1 GJ = 10 ⁹ J	gigajoule(GJ)
méga	M	10 ⁶	1 MA = 10 ⁶ A	mégaampère(MA)
kilo	k	10 ³	1 km = 10 ³ m	kilomètre(km)
hecto	h	10 ²	1 hg = 10 ² g	hectogramme(hL)
déca	da	10 ¹ = 10	1 dag = 10 g	décagramme(dag)

3. Les sous-multiples

Préfixe	Abréviation	Valeur	Exemple	Unité utilisée
déci	d	10 ⁻¹	1 dm = 10 ⁻¹ m	décimètre(dm)
centi	c	10 ⁻²	1 cL = 10 ⁻² L	centilitre(cL)
milli	m	10 ⁻³	1 mg = 10 ⁻³ g	milligramme(mg)
micro	μ	10 ⁻⁶	1 μA = 10 ⁻⁶ A	microampère(μA)
nano	n	10 ⁻⁹	1 nJ = 10 ⁻⁹ J	nanojoule(nJ)
pico	p	10 ⁻¹²	1 pF = 10 ⁻¹² F	picofarad(pF)

4. Exemple du mètre

Multiples et sous-multiples du mètre				
10^N	Préfixe	Symbole	Nombre en français	Nombre en chiffre
10^{24}	yottamètre	Ym	Quadrillion	1 000 000 000 000 000 000 000 000
10^{21}	zettamètre	Zm	Trilliard	1 000 000 000 000 000 000 000
10^{18}	examètre	Em	Trillion	1 000 000 000 000 000 000
10^{15}	pétamètre	Pm	Billiard	1 000 000 000 000 000
10^{12}	téramètre	Tm	Billion	1 000 000 000 000
10^9	gigamètre	Gm	Milliard	1 000 000 000
10^6	mégamètre	Mm	Million	1 000 000
10^3	kilomètre	km	Mille	1 000
10^2	hectomètre	hm	Cent	100
10^1	décamètre	dam	Dix	10
10^0	mètre	m	Un	1
10^{-1}	décimètre	dm	Dixième	0,1
10^{-2}	centimètre	cm	Centième	0,01
10^{-3}	millimètre	mm	Millième	0,001
10^{-6}	micromètre	μm	Millionième	0,000 001
10^{-9}	nanomètre	nm	Milliardième	0,000 000 001
10^{-12}	picomètre	pm	Billionième	0,000 000 000 001
10^{-15}	femtomètre	fm	Billiardième	0,000 000 000 000 001
10^{-18}	attomètre	am	Trillionième	0,000 000 000 000 000 001
10^{-21}	zeptomètre	zm	Trilliardième	0,000 000 000 000 000 000 001
10^{-24}	yoctomètre	ym	Quadrillionième	0,000 000 000 000 000 000 000 001

5. Quelques conversions utiles

Grandeur	Relations	Unités utilisées
Durée	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$ $1 \text{ j} = 24 \text{ h}$ $1 \text{ an} = 365,25 \text{ j}$	minute(min) heure(h) jour(j) année(an)
Énergie	$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $1 \text{ Wh} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J}$	électron-volt(eV) wattheure(Wh)
Masse	$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$ $1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$ $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$	gramme(g) tonne(t) unité de masse atomique(u) mégaélectronvolt par célérité au carrée ($\text{MeV} \cdot \text{c}^{-2}$)
Puissance	$1 \text{ ch} = 736 \text{ W}$	cheval(ch)
Masse volumique	$1 \text{ kg/m}^3 = 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ $1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$ $1 \text{ g/L} = 1 \text{ kg/m}^3$	kilogramme par mètre cube(kg/m^3) kilogramme par décimètre cube(kg/dm^3) gramme par litre (g/L)
Surface	$1 \text{ dm}^2 = 10^{-2} \text{ m}^2$ $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$ $1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$	décimètre carré(dm^2) centimètre carré(cm^2) millimètre carré(mm^2)
Vitesse	$1 \text{ km/s} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s}$	kilomètre par heure(km/h)
Volume et capacité	$1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ L}$ $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 = 10^{-3} \text{ L}$ $1 \text{ mm}^3 = 10^{-9} \text{ m}^3 = 10^{-6} \text{ L}$ $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$	décimètre cube(dm^3) centimètre cube(cm^3) millimètre cube(mm^3) millilitre(mL)

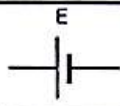
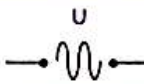
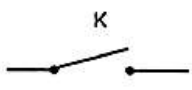
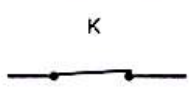
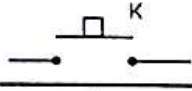
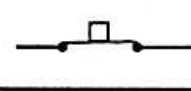
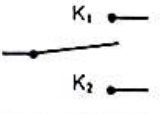
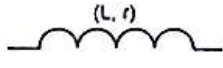
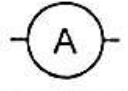
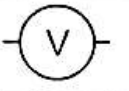
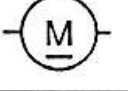
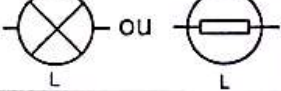
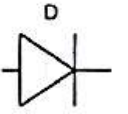
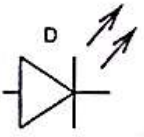
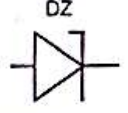
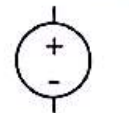
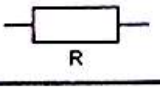
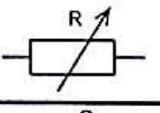
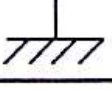
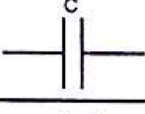
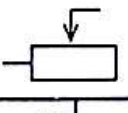
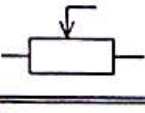

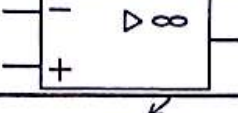
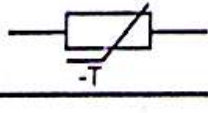
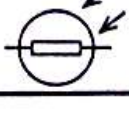
6. Quelques constantes fréquemment utilisées

Constante	Charge élémentaire	Masse de l'électron	Masse du proton et du neutron
Valeur	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$m_p = m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Constante	Perméabilité du vide	Intensité de la pesanteur	Permittivité du vide
Valeur	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$	$g = 9,80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} \text{ F/m}$
Constante	Volume molaire (CNTP)	Vitesse de la lumière dans le vide ou Célérité	Constante d'Avogadro
Valeur	$V_m = 22,4 \text{ L/mol}$	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	$N_a = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante	Constante universelle de la gravitation		Rayon terrestre
Valeur	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$		$R = 6,38 \cdot 10^3 \text{ km}$

7. Les indicateurs colorés de la vie courante et leurs caractéristiques

Indicateur coloré	Couleur		pK _{in}	Zone de virage
	Acide	Base		
Acide picrique	incolore	jaune	0,38	0,2 – 1,0
Rouge de crésol - 1 ^{er} virage	rouge	jaune	?	0,4 – 1,8
Bleu de thymol - 1 ^{er} virage	rouge	jaune	1,5	1,2 – 2,8
Hélianthine ou méthylorange	rouge	jaune	3,7	3,2 – 4,4
Rouge Congo	bleu	rouge	4,0	3,0 – 5,2
Vert de bromocrésol	jaune	bleu	4,7	3,8 – 5,4
Rouge de méthyle	jaune	rouge	5,1	4,8 – 6,0
p-Nitrophénol	incolore	jaune	7,15	5,6 – 7,6
Bleu de bromothymol	jaune	bleu	7,0	6,0 – 7,6
Rouge de phénol	jaune	rouge	7,9	6,8 – 8,4
Rouge de crésol - 2 nd virage	jaune	rouge	7,9	7,0 – 8,8
Bleu de thymol - 2 nd virage	jaune	bleu	8,9	8,0 – 9,6
Phénolphthaléine	incolore	rose	9,4	8,2 – 10,0
Thymolphthaléine	rouge	jaune	10,0	9,4 – 10,6
Jaune d'alizarine	jaune	rouge	11,0	10,0 – 12,0
2-4-6-Trinitrotoluène	incolore	orange	?	11,5 – 13,0
1,3,5-Trinitrobenzène	incolore	orange	?	12,0 – 14,0

SYMBOLES NORMALISES DE QUELQUES DIPOLES

Dipôle	Symbole normalisé	Dipôle	Symbole normalisé
Pile ou générateur de courant continu		Générateur de courant alternatif	
Interrupteur ouvert		Interrupteur fermé	
Bouton poussoir ouvert		Bouton poussoir fermé	
Commutateur		Bobine	
Ampèremètre		Voltmètre	
Moteur à courant continu		Lampe ou ampoule	
Diode		Diode électroluminescente (D.E.L.)	
Diode Zener		Générateur de tension	
Conducteur ohmique		Résistance variable	
Masse		Condensateur	
Rhéostat		Potentiomètre	
Transistor NPN		Amplificateur opérationnel	
Thermistance		Photorésistance (LDR)	

QUELQUES MATERIELS UTILISES EN PHYSIQUE-CHIMIE

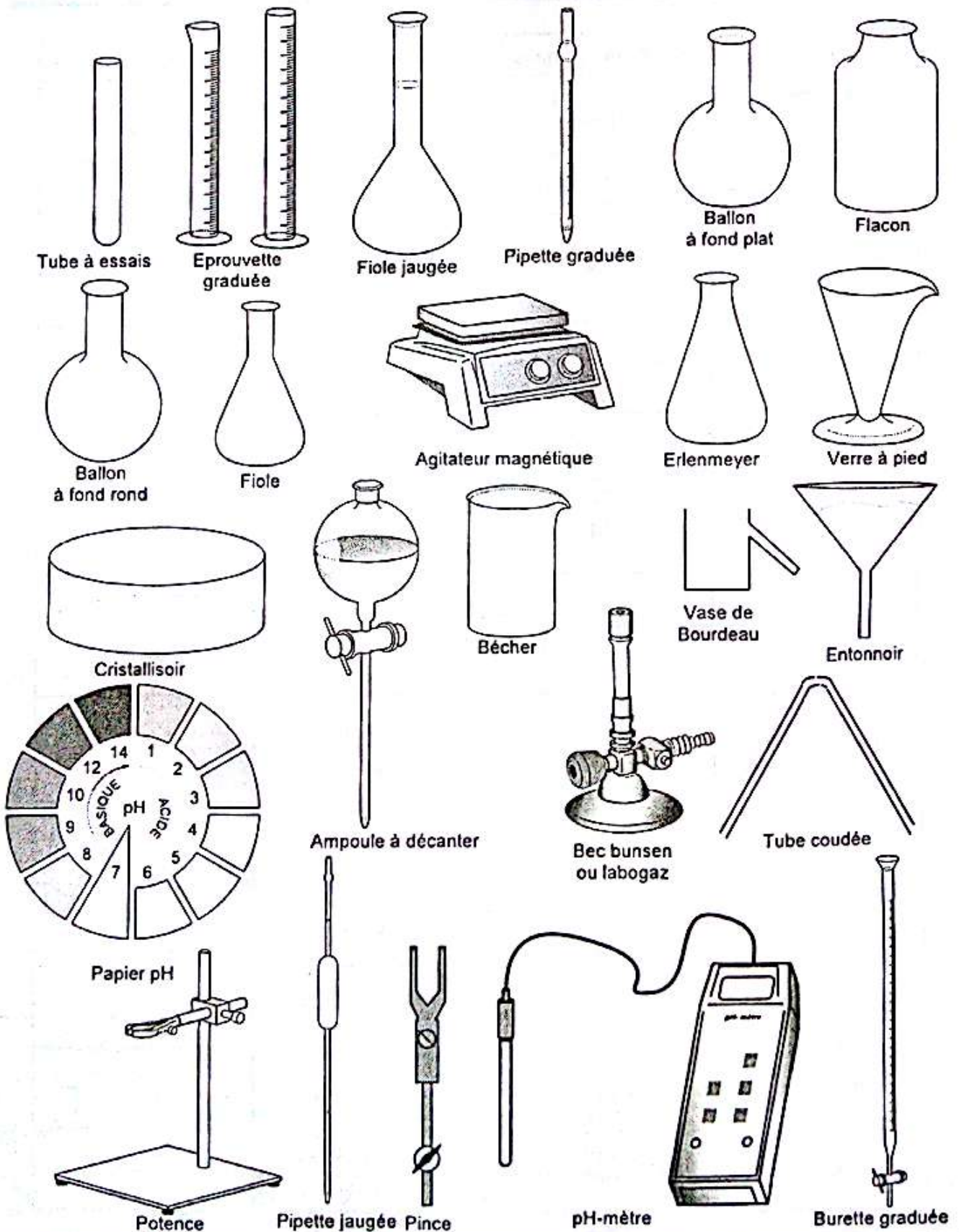


TABLEAU DE CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS CHIMIQUES

Classification périodique des éléments

Couche	Période	Principales colonnes		Éléments de transition	Principales colonnes																
		I	II		III	IV	V	VI	VII	VIII											
K	1	¹ H hydrogène 1,01																			
	2	³ Li lithium 6,94	⁴ Be beryllium 9,01																		
L	3	¹¹ Na sodium 22,9	¹² Mg magnésium 24,3																		
	4	¹⁹ K potassium 39,1	²⁰ Ca calcium 40,1																		
M	5	³⁷ Rb rubidium 85,5	³⁸ Sr strontium 87,6																		
	6	⁵⁵ Cs césium 132,9	⁵⁶ Ba barium 137,3																		
N	7	⁸⁷ Rf rutherfordium 223	⁸⁸ Ra radium 226,1																		

Nombre de masse de l'isotope le plus abondant : A	Numéro atomique : Z	X	M : Masse molaire atomique (g/mole) du mélange isotopique naturel

III	IV	V	VI	VII	VIII
¹¹ B bor 10,8	¹² C carbone 12,0	¹⁴ N azote 14,0	¹⁶ O oxygène 16,0	¹⁹ F fluor 19,0	²⁰ Ne néon 20,2
¹³ Al aluminium 27,0	²⁸ Si silicium 28,1	³¹ P phosphore 31,0	³² S soufre 32,1	³⁵ Cl chlore 35,5	⁴⁰ Ar argon 39,9
³⁹ K potassium 39,1	⁴⁰ Ca calcium 40,1	⁴⁴ Ti titane 47,9	⁵⁶ Fe fer 55,8	⁶³ Cu cuivre 63,5	⁷⁹ Br brome 79,9
⁸⁷ Rb rubidium 85,5	⁸⁸ Ra radium 226,1	⁹¹ Zr zinc 91,2	¹⁰¹ Ag argent 107,9	¹⁰⁸ Pd palladium 106,4	¹²⁷ I iode 126,9
¹³⁷ Ba barium 137,3	¹³⁸ La lanthane 138,9	¹⁴⁶ Sm samarium 147,1	¹⁸² Hf hafnium 178,5	¹⁸⁶ Er europium 187,5	²⁰¹ Hg mercure 200,6
²²³ Fr francium 223	²²⁶ Ra radium 226,1	²³² Th thorium 232,0	²³⁸ U uranium 238,0	²⁴⁴ Cf californium 251	²⁸⁸ Cn copernicium 289



Nicolas Copernic
(19 février 1473 – 24 mai 1543)

Mathématicien, Physicien, Médecin et Astronome Polonais.

Il est célèbre pour avoir développé et défendu la théorie selon laquelle le Soleil se trouve au centre de l'Univers (héliocentrisme) et la Terre tourne autour de lui. Les conséquences de cette théorie sont baptisées révolution copernicienne. Son nom est associé à un référentiel appelé référentiel de Copernic.

M1: CINEMATIQUE DU POINT

Objectifs spécifiques

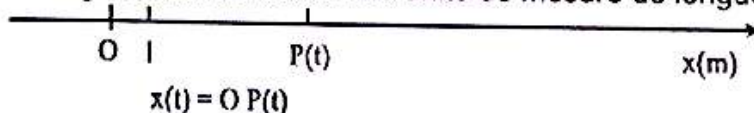
- Définir les vecteurs position, vitesse et accélération d'un point dans un repère donné.
- Etablir l'expression des équations horaires des mouvements uniformes (rectiligne et circulaire) et des mouvements rectilignes uniformément variés.

RAPPEL DE COURS

1. Cinématique à une dimension

1.1. Définition

C'est le cas particulier de la trajectoire rectiligne. Le mobile est repéré par une coordonnée cartésienne $x(t)$ sur un axe x qui coïncide avec la trajectoire. Ceci implique le choix d'une origine, d'un sens et d'une unité de mesure de longueur. (voir figure ci-dessous).



1.2. Vitesse moyenne

La vitesse d'un mobile caractérise la variation de sa position au cours du temps.

Soit deux positions du mobile P_1 et P_2 à deux instants t_1 et t_2 ($t_1 < t_2$). On a :

$v_m(t_1, t_2) = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ où x_1 et x_2 sont les coordonnées des points P_1 et P_2 et Δx est le déplacement du mobile pendant l'intervalle de temps $[t_1, t_2]$.

1.3. Vitesse instantanée

La vitesse instantanée d'un point matériel est la dérivée de sa coordonnée spatiale x

par rapport au temps t , à l'instant considéré : $v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow x(t) = x(t_0) + \int_{t_0}^t v(t') dt'$

Ceci implique la connaissance de la position du mobile à un instant donné t_0 , soit : $x(t_0)$.

Remarque : si Δt est très petit, on peut confondre la vitesse instantanée à la vitesse moyenne ; c'est le cas d'un enregistrement sur une table à coussin d'air.

$$v_n = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{2\tau} ; \tau \text{ est l'intervalle de temps entre deux positions consécutives.}$$

1.4. Accélération instantanée

L'accélération d'un mobile caractérise la variation de sa vitesse au cours du temps.

L'accélération instantanée d'un mobile est la dérivée de sa vitesse par rapport au temps,

$$\text{à l'instant considéré : } a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t a(t') dt'$$

Ceci implique la connaissance de la vitesse du mobile à un instant donné t_0 , soit : $v(t_0)$

$$\text{Remarque : cas d'enregistrement sur une table à coussin d'air, } a_n = \frac{v_{n+1} - v_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} = \frac{v_{n+1} - v_{n-1}}{2\tau}$$

1.5. Deux cas particuliers de mouvement rectiligne : le MRU et le MRUV

a) Mouvement rectiligne uniforme (MRU)

Le MRU est un mouvement rectiligne à vitesse constante : $v(t) = v_0$. Par conséquent :

- $a = \frac{dv_0}{dt} \xrightarrow{\text{(en dérivant)}} a = 0$
- $\frac{dx}{dt} = v_0 \xrightarrow{\text{(en intégrant)}} x(t) = x(t_0) + \int_{t_0}^t v_0 dt' \Rightarrow x(t) = x_0 + v_0(t - t_0)$.

x_0 et v_0 représentent respectivement la position et la vitesse à la date initiale.

b) Mouvement rectiligne uniformément varié (MRUV)

Le MRUV est un mouvement rectiligne à accélération constante : $a = a_0$. Par conséquent :

- $\frac{dv}{dt} = a_0 \xrightarrow{\text{(en intégrant)}} v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t a_0 dt' \Rightarrow v(t) = v_0 + a_0(t - t_0)$.
- $\frac{dx(t)}{dt} = v_0 + a_0(t - t_0) \xrightarrow{\text{(en intégrant)}} x(t) = x_0 + \int_{t_0}^t [v_0 + a_0(t' - t_0)] dt'$
 $\Rightarrow x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a_0(t - t_0)^2$

Conséquences : $v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$

c) Résumé

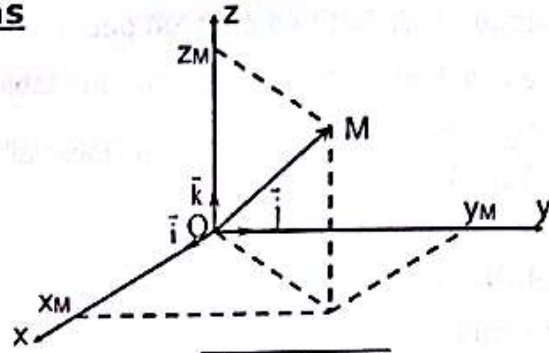
- si $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0 \Rightarrow$ mouvement rectiligne accéléré
- si $\vec{a} \cdot \vec{v} < 0 \Rightarrow$ mouvement rectiligne retardé
- si $\vec{a} \cdot \vec{v} = 0 \Rightarrow$ mouvement rectiligne uniforme

2. Cinématique à plusieurs dimensions

2.1. Repère cartésien : $R(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

a) Vecteur position

$$\vec{OM} = x_M \cdot \vec{i} + y_M \cdot \vec{j} + z_M \cdot \vec{k} \Rightarrow \vec{OM} \begin{pmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{pmatrix}$$



OM est le module du vecteur \vec{OM} . Il est donné par : $OM = \sqrt{x_M^2 + y_M^2 + z_M^2}$

b) Vecteur vitesse

$$\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k} = \dot{x} \cdot \vec{i} + \dot{y} \cdot \vec{j} + \dot{z} \cdot \vec{k} \Rightarrow \vec{v} \begin{pmatrix} v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \\ v_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y} \\ v_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z} \end{pmatrix}$$

v est le module du vecteur \vec{v} . Il est donné par : $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

c) Vecteur accélération

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\dot{x}}{dt} \vec{i} + \frac{d\dot{y}}{dt} \vec{j} + \frac{d\dot{z}}{dt} \vec{k} = \frac{d^2x}{dt^2} \vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2} \vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2} \vec{k}$$

$$\vec{a} = \ddot{x} \cdot \vec{i} + \ddot{y} \cdot \vec{j} + \ddot{z} \cdot \vec{k} \Rightarrow \vec{a} \begin{pmatrix} a_x = \frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} \\ a_y = \frac{d\dot{y}}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y} \\ a_z = \frac{d\dot{z}}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} = \ddot{z} \end{pmatrix}$$

a est le module du vecteur \vec{a} . Il est donné par : $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

2.2. Repère curviligne : la base de Frenet $(O, \vec{\tau}, \vec{n})$

a) Définition : c'est un repère local associé à un point M, décrivant une courbe (\mathcal{C}).

b) Abscisse curviligne \widehat{OM}

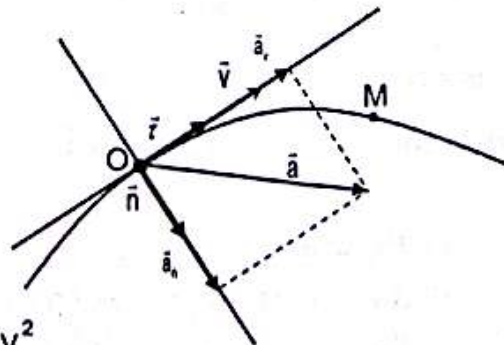
$$\widehat{OM} = s_M$$

c) Vecteur vitesse \vec{v}

$$\vec{v} = \frac{ds}{dt} \vec{\tau}$$

d) Vecteur accélération

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{\tau} + \frac{v^2}{R} \vec{n} \text{ avec } a_t = \frac{dv}{dt} \text{ et } a_n = \frac{v^2}{R}$$



2.3. Mouvement circulaire uniforme (MCU)

a) Définition

Le mouvement est circulaire uniforme si la trajectoire est un cercle et la vitesse constante.

b) Equations horaires

$$\theta = \omega t + \theta_0 \text{ et } s = v_0 t + s_0$$

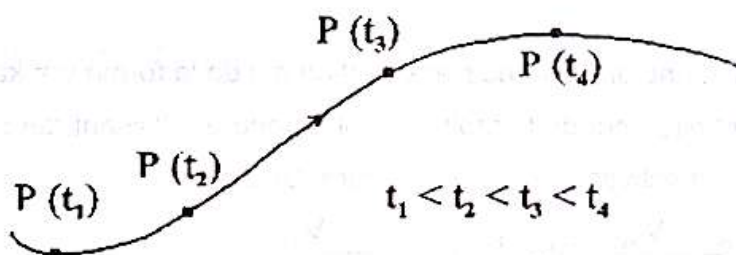
c) Quelques grandeurs caractéristiques

Période T(s)	Fréquence N(Hz)	Abscisse curviligne s(m) et abscisse angulaire θ (rad)	Vitesse angulaire ω (rad/s)	Accélération a(m/s ²)
$T = \frac{2\pi}{\omega}$	$N = \frac{1}{T}$	$s = R\theta$	$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{R} \frac{ds}{dt} = \frac{v}{R}$	$\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n} = \omega^2 R \vec{n}$

3. Etude de la trajectoire

3.1. Définition

On appelle trajectoire d'un mobile l'ensemble des positions successives qu'il occupe au cours du temps (voir figure ci-dessous).



3.2. Nature de la trajectoire

La trajectoire d'un mobile peut-être rectiligne (droite) ou curviligne (courbe).

Elle est déterminée par son équation.

Exemple :

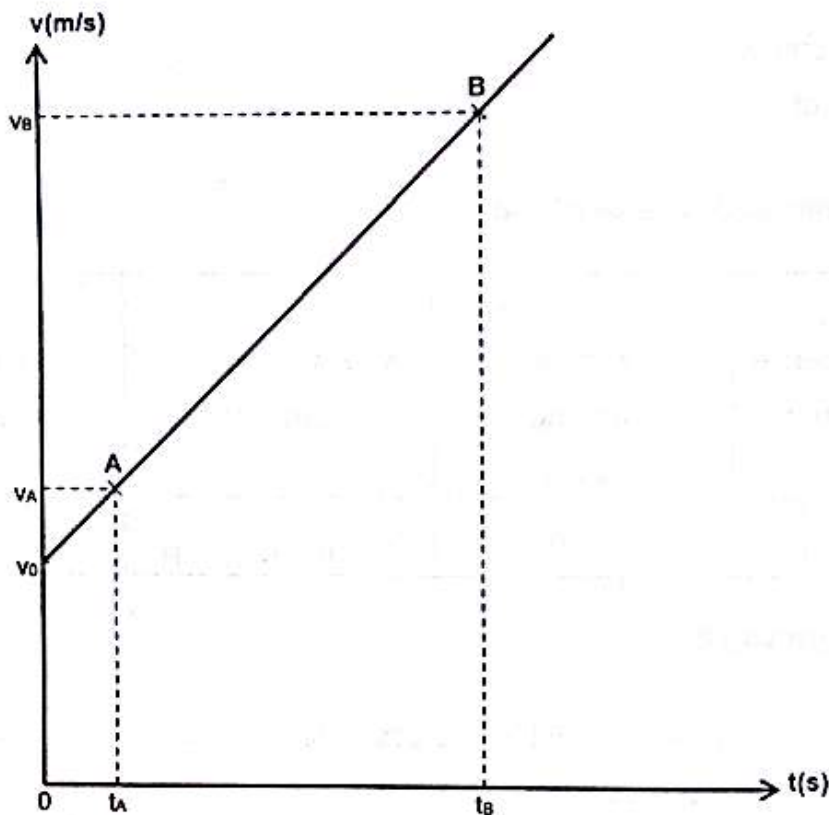
Équation de la trajectoire	Nature de la trajectoire
$y = ax + b$	Droite
$y = ax^2 + bx + c$	Parabole
$x^2 + y^2 = a^2$	Cercle de rayon a

Remarque : le cercle (trajectoire circulaire) est un cas particulier de courbe.

4. Méthode pratique

Comment déterminer l'équation de la droite d'une représentation ?

Exemple : graphe de la vitesse d'un mobile en fonction du temps : $v = f(t)$.



- La courbe obtenue est une droite donc son équation est de la forme $v = kt + b$
 - k est le coefficient directeur de la droite ; il est obtenu en utilisant deux couples de points qui appartiennent effectivement à la droite. Ainsi on a :

$$k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_B - v_A}{t_B - t_A} \quad \text{OU} \quad k = \frac{v_A - v_B}{t_A - t_B}$$

Remarque :

Avant de faire les calculs, il faut s'assurer que les vitesses sont en mètre par seconde (m/s) et les temps en seconde (s) sinon il faudra faire les conversions nécessaires.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta v \text{ en m/s} \\ \Delta t \text{ en s} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{l'unité de } k \text{ est : } \frac{\text{m/s}}{\text{s}} \text{ ou } \text{m/s}^2 \text{ ou encore } \text{m.s}^{-2}$$

k a la même unité que l'accélération a donc k correspond à l'accélération du mobile ($k = a$).

- b est l'ordonnée à l'origine ; c'est-à-dire la vitesse du mobile à $t = 0$ donc $b = v_0$.
- Conclusion : on retrouve l'équation horaire de la vitesse d'un mouvement rectiligne uniformément varié qui est : $v = at + v_0$.

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

Les équations horaires du mouvement d'un point mobile M sont :

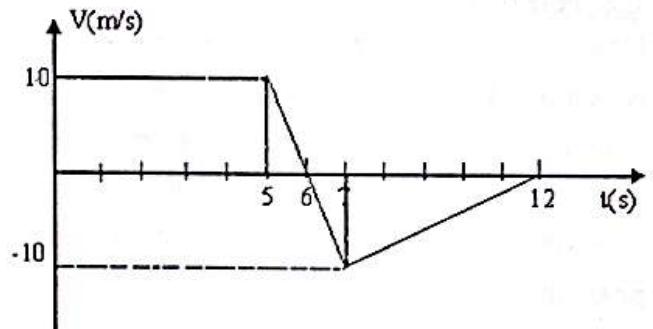
$$\begin{cases} x(t) = t \\ y(t) = 3t + 2 \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

- Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire et donner sa nature.
- Déterminer le vecteur-vitesse \vec{v} et le vecteur-accélération \vec{a} à tout instant.
- Calculer la vitesse du point M à $t = 7$ s. Quelle est alors la position du point M ?
- Quelle est la nature du mouvement du mobile M ? Justifier votre réponse.

Exercice 2

La représentation graphique de la vitesse $v = f(t)$ d'un mobile est donnée à la figure ci-contre.

- Calculer les accélérations du mobile au cours des trois phases du mouvement.
- Déterminer l'expression $v = f(t)$.
On utilisera au début de chaque phase un nouveau repère de temps.



- Tracer la représentation graphique $a = g(t)$ de l'accélération a en fonction du temps, avec $t \in [0 ; 12]$ en secondes.

Echelle : 1 cm pour 1 s et 1 cm pour 2 m/s²

Exercice 3

Les composantes du vecteur accélération d'un point mobile sont $\vec{a}(0, -3, 0)$.

A l'instant $t = 0$, le mobile est en $M_0(1, 2, 0)$ et son vecteur-vitesse initial est $\vec{V}_0(1, 1, 0)$.

- Donner les équations horaires du mouvement.
- Montrer que le mouvement est plan.
- Déterminer l'équation de la trajectoire. En déduire la nature du mouvement.
- Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse du mobile à chaque instant.
- a) En quel point particulier de la trajectoire la vitesse du mobile est minimale ?
b) Calculer la date en ce point.
- Déterminer les coordonnées des points où le mobile coupe l'axe (Ox).
- Déterminer l'intervalle de temps sur lequel le mouvement est accéléré, puis retardé.

Exercice 4

Un point M décrit un arc de cercle OA de centre C et de rayon $R = 2,7$ m.

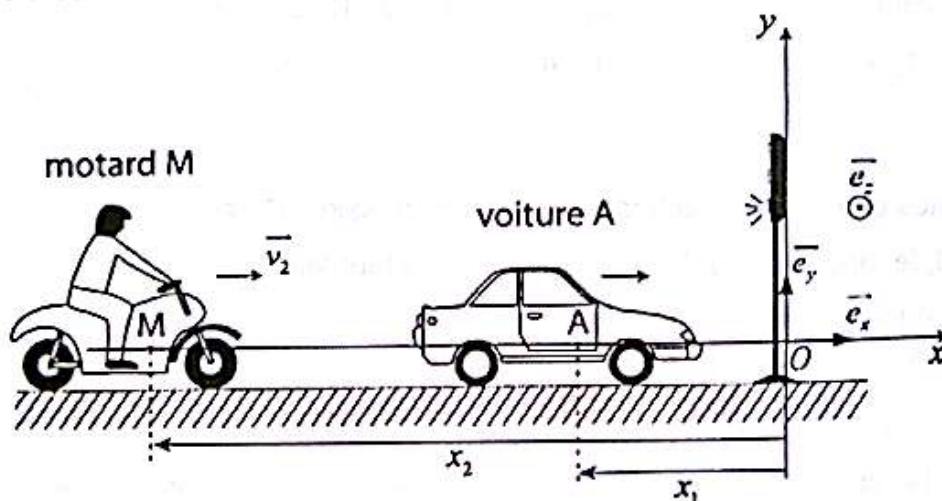
La trajectoire est orientée de O vers A. Le mobile part de O à la date $t = 0$ avec une vitesse V_0 .

A la date t , son abscisse curviligne est $S = OM = -0,6t^2 + 3t$.

- 1- Donner l'expression de la vitesse $V(t)$. Calculer V_0 .
- 2- En A la vitesse du mobile s'annule.
 - 2.1. Déterminer la date en ce point.
 - 2.2. En déduire l'abscisse curviligne de ce point.
- 3- Déterminer, dans la base de Frenet, le vecteur-accelération du point M à la date $t = 1$ s ainsi que sa norme.
- 4- Déterminer l'équation horaire relative à l'abscisse angulaire $\theta = f(t)$.
- 5- Représenter, dans la base de Frenet, les vecteurs vitesse et accélération à la date $t = 1$ s.
Echelle : 1 cm pour 1 m/s et 2 cm pour 1 m/s².

Exercice 5

Une voiture A est arrêtée sur une route horizontale rectiligne à une distance $d_1 = 3$ m d'un feu rouge. Lorsque le feu passe au vert, à l'instant $t = 0$, la voiture démarre avec une accélération constante $a_1 = 3$ m/s². Au même moment un motard M roulant à une vitesse constante $v_2 = 54$ km/h se trouve à une distance $d_2 = 24$ m de la voiture. La voiture et le motard considérés comme des points matériels sont repérés à l'instant t à l'aide de leurs vecteurs positions respectifs $\overline{OA} = x_1 \vec{i}$ et $\overline{OM} = x_2 \vec{i}$. On choisira comme origine O des abscisses la position du feu tricolore.



1. Déterminer les équations horaires $x_1(t)$ et $x_2(t)$ de la voiture et du motard respectivement.
2. Déterminer les instants des dépassements ainsi que les positions de la voiture et du motard à ces instants.
3. Si le motard roulait à la vitesse $v_2 = 36$ km/h pourrait-il rattraper la voiture ? Justifier.
4. Calculer, dans ce cas, l'instant pour lequel la distance qui sépare le motard de la voiture est minimale. En déduire cette distance.

Exercice 6

Une motocyclette, au repos à une lumière rouge, accélère uniformément dès que le feu passe au vert avec une accélération de $1,5 \text{ m/s}^2$. Elle atteint ainsi une vitesse V en 10 s , vitesse qu'elle maintient pendant 30 s . Elle freine ensuite uniformément pendant 5 s pour s'immobiliser à un autre feu rouge.

- Déterminer la vitesse V atteinte à la fin de la phase d'accélération.
- Quelle est la distance parcourue pendant son accélération ?
- Quelle est la valeur a_2 de l'accélération au cours de la deuxième phase ? Justifier.
- Calculer la distance parcourue pendant qu'elle se déplace à vitesse constante ?
- Calculer la valeur a_3 de l'accélération au cours du freinage.
- En déduire l'équation horaire du mouvement au cours du freinage.
- Déterminer, par deux méthodes différentes, la distance parcourue au cours du freinage.
- Quelle distance sépare les deux feux rouges ?
- Tracer le graphique de la vitesse en fonction du temps.

Echelle : 1 cm pour 5 s et 1 cm pour 3 m/s

Exercice 7 (extrait Bac série C session 2007 Cameroun)

Prendre $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Un solide (s) est lancé avec une vitesse initiale \vec{V}_0 à partir du sommet d'un plan incliné d'un angle $\alpha = 30^\circ$ sur l'horizontale.

Le tableau ci-dessous donne les positions successives G_i de son centre d'inertie au cours du temps.

$t_i(\text{s})$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
G_i	G_0	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
$X_i(\text{cm})$	0	16	36	60	88	120

- Dresser le tableau donnant la valeur V_G de la vitesse du centre d'inertie du solide aux dates t_i avec $0 \leq i \leq 4$. On admettra que : $V_G = \frac{d(G_{i-1}, G_{i+1})}{t_{i+1} - t_{i-1}}$
- Tracer sur une feuille de papier millimétré, à remettre avec la copie, le graphe de $V_G = f(t)$.
Echelles : $2 \text{ cm} \longleftrightarrow 0,1 \text{ s}$ et $2 \text{ cm} \longleftrightarrow 100 \text{ cm.s}^{-1}$.
- Déduire de cette courbe :
 - la valeur V_0 de la vitesse qu'a le centre d'inertie au départ ;
 - la valeur de l'accélération du centre d'inertie du solide.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1**

Les équations paramétriques (en unités S.I.) d'un mobile M se déplaçant dans un plan muni

d'un repère orthonormé sont :

$$\begin{cases} x = 3t \\ y = -t^2 + 2t \end{cases}$$

- 1) Etablir l'équation cartésienne de la trajectoire du mobile. En déduire sa nature.
- 2) Calculer la vitesse du mobile au sommet de sa trajectoire.
- 3) Calculer la vitesse du mobile au point d'ordonnée $y = 1$ m.
- 4) Calculer l'accélération du mobile.
- 5) Pour quelle(s) valeur(s) de t le mouvement est-il accéléré ? Retardé ?

Exercice 2

Les équations horaires du mouvement d'un mobile sont :

$$x = A \cos 4\pi t ; y = A \cos(4\pi t - \pi/2) \text{ avec } A = 50 \text{ cm}$$

- 1- Montrer que la valeur du vecteur vitesse est constante. La calculer.
- 2- Même question pour le vecteur accélération.
- 3- Quelle est la nature de la trajectoire de M ? Que représente A pour cette trajectoire ?
- 4- Préciser la direction et le sens du vecteur accélération.

Exercice 3

Sur une portion rectiligne ABCD d'une voie ferrée, un train arrive en A avec une vitesse de 108 km.h^{-1} . Il aborde la marche suivante :

- de A à B ($AB = 800 \text{ m}$), son mouvement est uniformément retardé. Au passage en B, sa vitesse est de 54 km.h^{-1} .
- de B à C, pendant une minute et demie, son mouvement est uniforme.
- de C à D, son mouvement est uniformément accéléré durant 40 s . La vitesse du train au passage en D est de 108 km.h^{-1} .

- 1) Etablir les équations horaires des mouvements et des vitesses des trois phases.
- 2) Calculer en km, la longueur du trajet AD.

Exercice 4

On enregistre une partie du mouvement d'une bille sur un plan incliné, le mouvement se fait suivant la ligne de plus grande pente. On prend comme origine des abscisses la première position enregistrée de la bille et comme date $t = 0$ la date correspondante. On obtient les résultats suivants :

t(s)	0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
x(m)	0	0,17	0,40	0,69	1,04	1,45

- 1- Montrer que le mouvement est rectiligne uniformément varié.
- 2- Quelle est la valeur de l'accélération ?

- 3- Trouver la vitesse de la bille au moment du premier enregistrement.
- 4- Trouver la distance parcourue par la bille entre l'instant du début du mouvement et l'instant du premier enregistrement. On suppose que la bille est lâchée sans vitesse.

Exercice 5

- 1) Un point mobile M_1 se déplace sur un axe $x'x$ vertical ascendant d'un mouvement uniformément varié d'accélération constante $a_1 = -10 \text{ m.s}^{-2}$. A la date $t = 1 \text{ s}$, sa vitesse est $v_1 = 10 \text{ m.s}^{-1}$ et son abscisse $x_1 = 18 \text{ m}$.
 - 1.1. Etablir les expressions de x_1 et de v_1 en fonction du temps.
 - 1.2. Le mobile a été lancé de A à la date $t = 0 \text{ s}$.
Quelles étaient à cette date sa vitesse et son abscisse ?
 - 1.3. A quelle date l'altitude maximale est atteinte ? Quelle est cette altitude maximale ?
 - 1.4. Représenter les graphes de x_1 et de v_1 en fonction du temps pour $0 \leq t \leq 3 \text{ s}$.
Montrer que le mouvement comporte deux phases.
 - 1.5. Calculer la distance parcourue par M_1 entre $t_1 = 1 \text{ s}$ et $t_2 = 3 \text{ s}$.
- 2) Un autre point M_2 est lancé sur le même axe et a pour équation horaire $x_2 = -5t^2 + 25t$.
 - 2.1. A quelle date aura la rencontre M_1 et M_2 ?
 - 2.2. Quelles seront alors les vitesses et les positions des deux mobiles.
- 3) Un point mobile se déplace sur un cercle de centre O et de rayon $R = 1 \text{ m}$. A la date $t = 0$ sa vitesse angulaire est $\frac{d\theta}{dt} = -120 \text{ rad/s}$. A partir de cette date, le mobile décélère et son accélération angulaire constante est $\frac{d^2\theta}{dt^2} = +5 \text{ rad/s}^2$.
 - 3.1. Etablir l'expression de l'abscisse angulaire en fonction du temps.
 - 3.2. A quelle date le mobile s'arrête-t-il ?
 - 3.3. Quelle distance a-t-il parcouru depuis $t = 0 \text{ s}$.

Exercice 6

Sur une autoroute deux(2) voitures roulent sur la même file avec une vitesse de 40 m/s .

Le pare-chocs avant A de la seconde voiture est à 40 m derrière le pare-chocs arrière B de la première voiture. Le véhicule B freine avec une décélération de 5 m/s^2 .

Le véhicule A distrait freine 2 s après avec la même décélération.

- 1) Quelle distance parcourt le deuxième véhicule (A) avant de commencer à freiner ?
- 2) Quelle distance parcourt le premier véhicule (B) pendant ce même temps ?
- 3) Quelle est la distance séparant A et B lorsque le second véhicule commence à freiner ?
- 4) Quelle est la vitesse du premier véhicule à ce moment ?
- 5) En prenant comme origine des dates l'instant où débute le freinage du second véhicule et comme origine des espaces la position où il se trouve alors, établir les équations horaires des mouvements de A et B. Un choc aura-t-il lieu ? Si oui à quelle date ?

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1. Déterminons l'équation cartésienne de la trajectoire et donnons sa nature.

$$\begin{cases} x(t) = t \\ y(t) = 3t + 2 \Rightarrow \boxed{y = 3x + 2} \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

L'équation est sous la forme $y = ax + b$ donc la trajectoire du mobile est une droite.

2. Déterminons le vecteur-vitesse \vec{v} et le vecteur-accélération \vec{a} à tout instant.

$$\dot{x}(t) = 1 \text{ m/s}^2$$

$$\text{vecteur-vitesse : } \vec{v} \begin{cases} \dot{y}(t) = 3 \text{ m/s}^2 \\ \dot{z}(t) = 0 \end{cases}$$

$$\ddot{x}(t) = 0$$

$$\text{vecteur-accélération : } \vec{a} \begin{cases} \ddot{y}(t) = 0 \\ \ddot{z}(t) = 0 \end{cases}$$

3. Calculons la vitesse et la position du point M à $t = 7$ s.

➤ La vitesse est constante à tout instant donc à $t = 7$ s on a :

$$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} = \sqrt{1^2 + 3^2 + 0^2} = \sqrt{10} = 3,16 \text{ m/s}$$

➤ Déterminons la position du point M à cet instant (à $t = 7$ s)

$$\overline{OM} \begin{cases} x(t) = 7 \text{ m} \\ y(t) = 3 \times 7 + 2 \Rightarrow \overline{OM} \begin{cases} x(t) = 7 \text{ m} \\ y(t) = 23 \text{ m} \\ z(t) = 0 \end{cases} \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

4. Déterminons la nature du mouvement du mobile M en justifiant notre réponse.

La vitesse du mobile M est constante à chaque instant et de plus sa trajectoire est une droite d'où le mouvement du mobile est rectiligne uniforme.

Exercice 2

1. Calculons les accélérations du mobile au cours des trois phases du mouvement.

L'accélération a correspond au coefficient directeur de la droite qui vaut : $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

$$\text{➤ Pour } t \in [0 ; 5 \text{ s}] ; a = \frac{10 - 0}{5 - 0} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2 ;$$

$$\text{➤ Pour } t \in [5 \text{ s} ; 7 \text{ s}] ; a = \frac{-10 - 10}{7 - 5} = \frac{-20}{2} = -10 \text{ m/s}^2 ;$$

$$\text{➤ Pour } t \in [7 \text{ s} ; 12 \text{ s}] ; a = \frac{0 - (-10)}{12 - 7} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2 .$$

2. Déterminons l'expression $v = f(t)$.

L'équation de la vitesse est de la forme : $v(t) = at + v_0$

Par ailleurs au début de chaque phase $t = 0$ donc la vitesse initiale vaut :

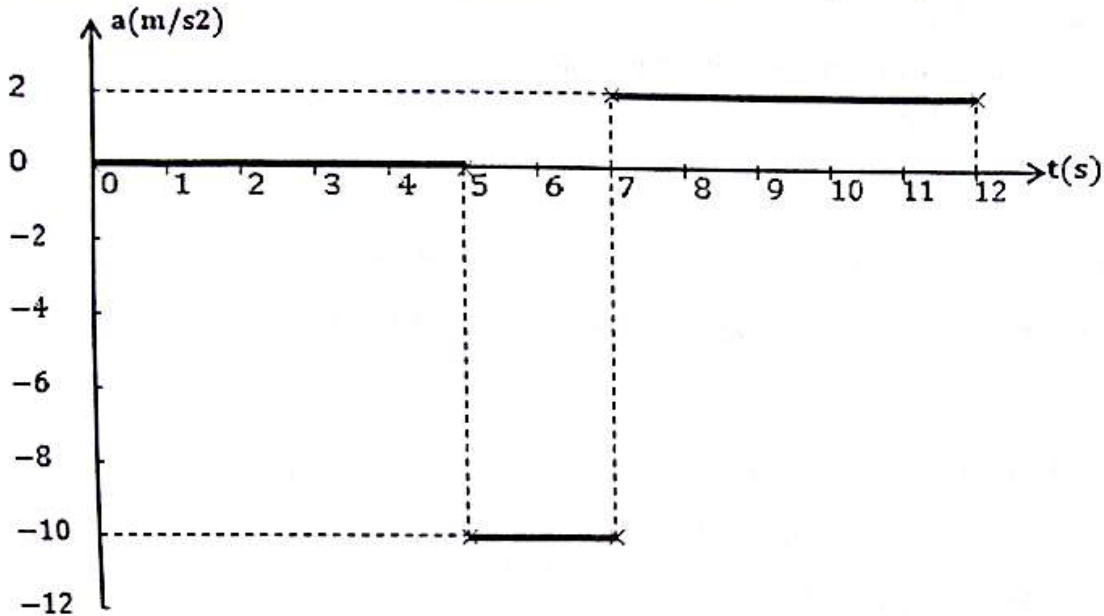
$$\text{➤ } v_0 = 10 \text{ m/s pour } t \in [0 ; 5 \text{ s}] ; t \in [5 \text{ s} ; 7 \text{ s}]$$

$$\text{➤ } v_0 = -10 \text{ m/s pour } t \in [7 \text{ s} ; 12 \text{ s}] .$$

Les expressions $v = f(t)$ sont :

- pour $t \in [0 ; 5 \text{ s}]$, $v(t) = 0 \times t + 10 \Rightarrow v(t) = 10 \text{ m/s}$
- pour $t \in [5 \text{ s} ; 7 \text{ s}]$, $v(t) = -10 \times t + 10 \Rightarrow v(t) = -10t + 10 \text{ m/s}$
- pour $t \in [7 \text{ s} ; 12 \text{ s}]$, $v(t) = 2 \times t - 10 \Rightarrow v(t) = 2t - 10 \text{ m/s}$

3. Représentation graphique $a = g(t)$ de l'accélération a , avec $t \in [0 ; 12]$ en secondes.



Exercice 3

1. Donnons les équations horaires du mouvement.

L'accélération du mobile est constante donc le mouvement est uniformément varié d'où :

$$\overline{OM} = \frac{1}{2} \vec{a} t^2 + \vec{v}_0 t + \overline{OM}_0$$

$$\overline{OM} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix} t^2 + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} t + \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \overline{OM} \begin{cases} x = t + 1 \\ y = -\frac{3}{2} t^2 + t + 2 \\ z = 0 \end{cases}$$

2. Montrons que le mouvement est plan.

La coordonnée du vecteur position sur l'axe (Oz) est nulle donc le mouvement se fait dans le plan (Ox, Oy).

3. Equation de la trajectoire et nature du mouvement.

$$\begin{cases} x = t + 1 \Rightarrow t = x - 1 \\ y = -\frac{3}{2}(x-1)^2 + (x-1) + 2 \Rightarrow y = -\frac{3}{2}(x^2 - 2x + 1) + (x-1) + 2 \\ y = -\frac{3}{2}x^2 + 3x - \frac{3}{2} + x + 1 \Rightarrow y = -\frac{3}{2}x^2 + 4x - \frac{1}{2} \end{cases}$$

L'équation est de la forme $y = ax^2 + bx + c$ donc le mouvement est parabolique.

4. Coordonnées du vecteur vitesse du mobile à chaque instant.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt} \Rightarrow \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = 1 \\ \dot{y} = -3t + 1 \\ \dot{z} = 0 \end{pmatrix}$$

5. a) Point particulier de la trajectoire où la vitesse du mobile est minimale

La vitesse du mobile est minimale si $v = v_x = 1$ m/s ; c'est-à-dire que $v_y = 0$

Donc nous sommes au sommet S de la trajectoire.

b) Valeur de la date en ce point

$$\text{En ce point, } \dot{y}_s = 0 \Rightarrow -3t_s + 1 = 0 \Rightarrow t_s = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ s.}$$

6. Déterminons les coordonnées des points où le mobile coupe l'axe (Ox).

$$\text{Lorsque le mobile coupe l'axe (Ox), } y = 0 \Rightarrow -\frac{3}{2}x^2 + 4x - \frac{1}{2} = 0$$

On obtient une équation du second degré à résoudre

$$\Delta = b^2 - 4ac = 4^2 - 4 \times \left(-\frac{3}{2}\right) \times \left(-\frac{1}{2}\right) = 16 - 3 = 15$$

$$\Rightarrow x_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-4 + \sqrt{15}}{2 \times \left(-\frac{3}{2}\right)} = \frac{-4 + \sqrt{15}}{-3} = 0,04 \text{ m}$$

$$\Rightarrow x_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-4 - \sqrt{15}}{2 \times \left(-\frac{3}{2}\right)} = \frac{4 + \sqrt{15}}{3} = 2,62 \text{ m}$$

Les points de rencontre avec l'axe (Ox) sont donc $M_1(0,04 ; 0 ; 0)$ et $M_2(2,62 ; 0 ; 0)$.

7. Déterminons l'intervalle de temps sur lequel le mouvement est accéléré, puis retardé.

Le mouvement est accéléré si $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0$ et retardé si $\vec{a} \cdot \vec{v} < 0$.

$$\vec{a} \cdot \vec{v} = \ddot{x}\dot{x} + \ddot{y}\dot{y} = 0 \times 1 + (-3) \times (-3t + 1) = 3(3t - 1)$$

Le mouvement est donc :

> accéléré si $3(3t - 1) > 0$ c'est à dire si $t > 0,33$ s ;

> retardé si $3(3t - 1) < 0$ c'est à dire si $t < 0,33$ s.

Exercice 4

1- Donnons l'expression de la vitesse V. Calculons V_0 .

$$V = \frac{dS}{dt} = \frac{d(-0,6t^2 + 3t)}{dt} = -0,6 \times 2t + 3 \Rightarrow V(t) = \underline{\underline{-1,2t + 3}}$$

$$\text{à } t = 0, V = V_0 = -1,2 \times 0 + 3 \Rightarrow V_0 = \underline{\underline{3 \text{ m/s}}}$$

2- En A la vitesse du mobile s'annule.

2.1. Déterminons la date en ce point.

$$\text{En A, } V = V_A = 0 \text{ donc } -1,2t_A + 3 = 0 \Leftrightarrow 1,2t_A = 3 \Rightarrow t_A = \frac{3}{1,2} = \underline{\underline{2,5 \text{ s}}}$$

2.2. Déduisons l'abscisse curviligne de ce point.

$$\text{En A, } t_A = 2,5 \text{ s donc } S_A = -0,6 \times (2,5)^2 + 3 \times 2,5 = \underline{3,75 \text{ m}}$$

3- Déterminons le vecteur-accelération du point M à la date $t = 1 \text{ s}$ ainsi que sa norme.

Dans la base de Frenet, $a = a_r \vec{r} + a_n \vec{n}$

$$\text{A } t = 1 \text{ s on a : } \begin{cases} a_r = \frac{dV}{dt} = \frac{d(-1,2 \times 1 + 3)}{dt} = \frac{d(1,8)}{dt} = 0 \\ a_n = \frac{V^2}{R} = \frac{1,8^2}{2,7} = 1,2 \text{ m/s}^2 \end{cases} \text{ donc } \vec{a} = \vec{a}_n = 1,2 \vec{n}$$

$$\text{Norme : } a = a_n = 1,2 \text{ m/s}^2$$

4- Déterminons l'équation horaire relative à l'abscisse angulaire $\theta = f(t)$.

$$\theta = \omega_0 t + \theta_0 = \frac{V_0}{R} t + \frac{S_0}{R}$$

$$\text{De plus à } t = 0 \text{ s, } S_0 = -0,6 \times (0)^2 + 3 \times 0 = 0 \text{ et } V_0 = 3 \text{ m/s}$$

$$\text{Donc } \theta = \frac{3}{2,7} t + \frac{0}{2,7} = \underline{1,11 t}$$

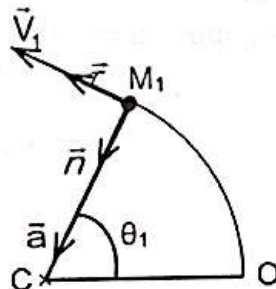
5- Représentons, dans la base de Frenet, les vecteurs vitesse et accélération à la date $t = 1 \text{ s}$.

Echelle : 1 cm pour 1 m/s et 2 cm pour 1 m/s².

$$\text{A } t = 1 \text{ s, } \vec{V}_1 = (-1,2 \times 1 + 3) \vec{r} = 1,8 \vec{r} \Rightarrow \|\vec{V}_1\| = 1,8 \text{ cm}$$

$$\vec{a} = \vec{a}_n = 1,2 \vec{n} \Rightarrow \|\vec{a}\| = 2,4 \text{ cm}$$

$$\theta_1 = 1,11 \times 1 = 1,11 \text{ rad ou } \theta_1 = \frac{1,11 \times 180}{\pi} = 63,6^\circ \approx 64^\circ$$



Exercice 5

1. Equations horaires respectives $x_1(t)$ et $x_2(t)$ de la voiture et du motard.

➤ Pour la voiture

On a un mouvement rectiligne uniformément varié avec $v_{01} = 0$ car la voiture est au repos à $t = 0$. De plus $x_{01} = d_1 = -3 \text{ m}$ car la voiture est à 3 m avant le feu (origine).

$$x_1(t) = \frac{1}{2} a_1 t^2 + v_{01} t + x_{01} = \frac{1}{2} a_1 t^2 + d_1 = \frac{1}{2} \times 3 t^2 - 3 \Rightarrow x_1(t) = 1,5 t^2 - 3$$

➤ Pour le motard

On a un mouvement rectiligne uniforme avec $v_2 = 54 \text{ km/h} = \frac{54}{3,6} = 15 \text{ m/s}$.

De plus à $t = 0$, $x_{02} = -27 \text{ m}$ car le motard est à 24 m avant la voiture donc à $24 + 3 = 27 \text{ m}$ avant le feu (origine). Donc on a : $x_2(t) = v_2 t + x_{02} \Rightarrow x_2(t) = 15t - 27$

2. Instants des dépassements et positions de la voiture et du motard à ces instants.

Il y a dépassement si et seulement si $x_1(t) = x_2(t)$.

$$\Rightarrow 1,5t^2 - 3 = 15t - 27 \Rightarrow 1,5t^2 - 15t + 24 = 0$$

$$\Delta = 15^2 - 4 \times 1,5 \times 24 = 81$$

$$t_1 = \frac{15 - \sqrt{81}}{2 \times 1,5} = 2 \text{ s} \Rightarrow x = 15 \times 2 - 27 = 3 \text{ m}$$

$$t_2 = \frac{15 + \sqrt{81}}{2 \times 1,5} = 8 \text{ s} \Rightarrow x' = 15 \times 8 - 27 = 93 \text{ m}$$

3. Vérifions si le motard peut rattraper la voiture en roulant à la vitesse $v_2 = 36 \text{ km/h}$.

$$\text{Si } v_2 = 36 \text{ km/h} = \frac{36}{3,6} = 10 \text{ m/s} \Rightarrow x'_2(t) = v_2 t + d_2 = 10t - 27$$

Il y a dépassement si et seulement si $x_1(t) = x'_2(t)$; ce qui revient à résoudre l'équation :

$$1,5t^2 - 3 = 10t - 27 \Rightarrow 1,5t^2 - 10t + 24 = 0$$

$$\Delta = 10^2 - 4 \times 1,5 \times 24 = -44$$

Cette équation n'a pas de solution car Δ est négatif donc ils ne vont pas se rencontrer.

4. Instant pour lequel la distance qui sépare le motard de la voiture est minimale.

$$\Delta x = x_1 - x'_2 \Rightarrow 1,5t^2 - 3 - (10t - 27) = 1,5t^2 - 10t + 24$$

Cette distance est minimale si sa dérivée est nulle c'est-à-dire :

$$\Delta \dot{x} = 3t - 10 = 0 \Rightarrow t_{\min} = \frac{10}{3} = 3,33 \text{ s}$$

Déduisons cette distance.

$$\Delta x_{\min} = 1,5t_{\min}^2 - 10t_{\min} + 24 = 1,5 \times 3,33^2 - 10 \times 3,33 + 24 = 7,33 \text{ m}$$

Exercice 6

1. Vitesse atteinte à la fin de la phase d'accélération

Le mouvement est rectiligne uniformément accéléré ou varié donc $v = a_1 t + v_0$

À $t = 0 \text{ s}$, la motocyclette est au repos donc $v_0 = 0$

À la fin de cette phase, $t = \Delta t_1 = 10 \text{ s} \Rightarrow v = 1,5 \times 10 + 0 = 15 \text{ m/s}$

2. Distance parcourue pendant son accélération

Le mouvement étant rectiligne uniformément varié on a : $v^2 - v_0^2 = 2a_1(x - x_0)$

$$\Rightarrow v^2 - v_0^2 = 2a_1 d_1 \Rightarrow d_1 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a_1} = \frac{15^2 - 0^2}{2 \times 1,5} = 75 \text{ m}$$

3. Valeur a_2 de l'accélération au cours de la deuxième phase

Lors de cette phase le mouvement est rectiligne uniforme donc $a_2 = 0$.

4. Distance parcourue pendant qu'elle se déplace à vitesse constante

Le mouvement est rectiligne uniforme donc : $x = v_0t + x_0 \Rightarrow x - x_0 = d_2 = v_0t = v_0\Delta t$

À la fin de la phase d'accélération, $v = 15 \text{ m/s}$ ce qui correspond à la vitesse initiale de la deuxième phase. Donc $d_2 = 15 \times 30 = 450 \text{ m}$.

5. Valeur a_3 de l'accélération au cours du freinage.

Le mouvement est rectiligne uniformément retardé ou varié donc $v = a_3t + v_0$

À la fin de la deuxième phase $v = 15 \text{ m/s}$ (mouvement uniforme) ce qui correspond à la vitesse initiale de la phase de freinage.

A la fin de cette phase, $t = \Delta t_3 = 5 \text{ s}$ et la motocyclette s'immobilise donc $v = v_3 = 0 \text{ m/s}$.

$$\Rightarrow v - v_0 = a_3\Delta t \Rightarrow a_3 = \frac{v_3 - v_0}{\Delta t_3} = \frac{0 - 15}{5} = -3 \text{ m/s}^2$$

6. Equation horaire du mouvement au cours du freinage.

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 = \frac{1}{2}(-3)t^2 + 15t + 0 \Rightarrow x = -1,5t^2 + 15t$$

7. Distance parcourue au cours du freinage par deux méthodes différentes

Le mouvement étant rectiligne uniformément varié on a : $v^2 - v_0^2 = 2a_3(x - x_0)$

$$\Rightarrow v^2 - v_0^2 = 2a_3d_3 \Rightarrow d_3 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a_3} = \frac{0^2 - 15^2}{2 \times (-3)} = 37,5 \text{ m}$$

Autre méthode (utilisation de l'équation horaire) : $d_3 = -1,5 \times 5^2 + 15 \times 5 = 37,5 \text{ m}$

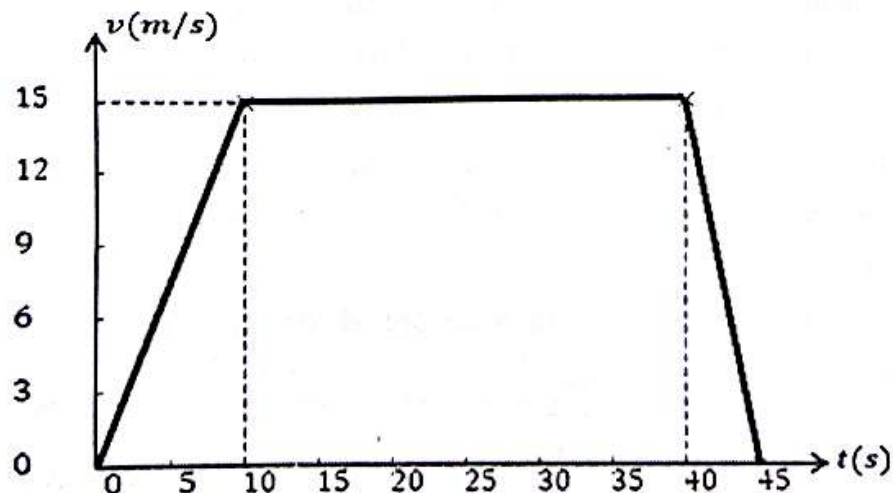
8. Distance séparant les deux feux rouges

$$D = d_1 + d_2 + d_3 = 75 + 450 + 37,5 = 562,5 \text{ m}$$

9. Tracé du graphique de la vitesse en fonction du temps.

Les équations des différentes phases sont :

- pour $t \in [0 ; 10 \text{ s}]$, $v = 1,5t$: phase d'accélération (durée 10 s) ;
- pour $t \in [10 ; 40 \text{ s}]$, $v = 15 \text{ m/s}$: deuxième phase (durée 30 s) ;
- pour $t \in [40 ; 45 \text{ s}]$, $v = -3t + 15$: phase de freinage (durée 5 s).



Exercice 7 (extrait Bac série C session 2007 Cameroun)

1. Tableau de la vitesse V_G du centre d'inertie du solide aux dates t_i avec $0 \leq i \leq 4$.

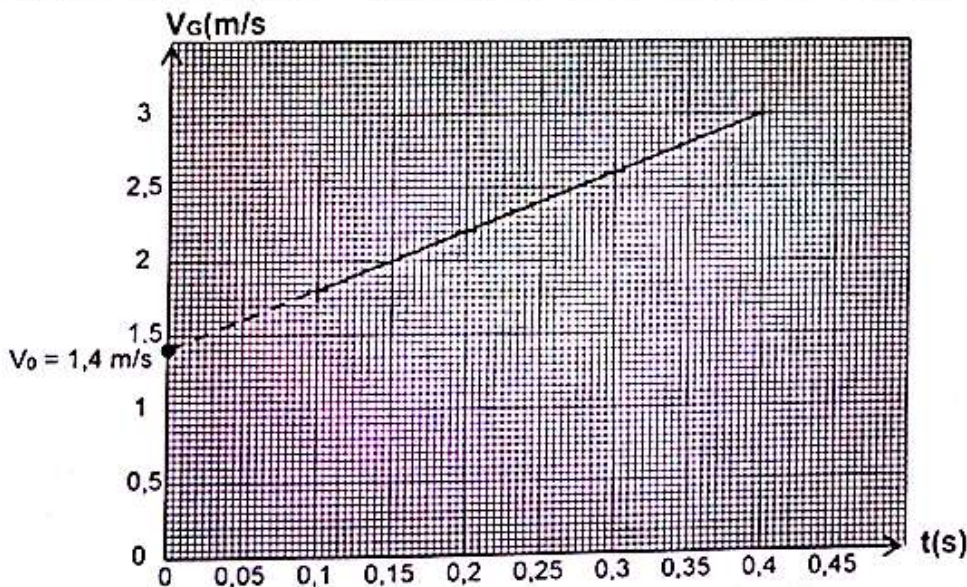
$$\text{On admettra que : } V_G = \frac{d(G_{i-1}, G_{i+1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \Rightarrow V_i = \frac{X_{i+1} - X_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

$$\text{Exemples : } V_1 = \frac{X_{1+1} - X_{1-1}}{t_{1+1} - t_{1-1}} = \frac{X_2 - X_0}{t_2 - t_0} = \frac{(36 - 0) \cdot 10^{-2}}{0,2 - 0} = \underline{1,8 \text{ m/s}} \text{ ou } \underline{180 \text{ cm/s}}$$

$$V_4 = \frac{X_{4+1} - X_{4-1}}{t_{4+1} - t_{4-1}} = \frac{X_5 - X_3}{t_5 - t_3} = \frac{(120 - 60) \cdot 10^{-2}}{0,5 - 0,3} = \underline{3,0 \text{ m/s}} \text{ ou } \underline{300 \text{ cm/s}}$$

$t_i(\text{s})$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
G_i	G_0	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
$X_i(\text{cm})$	0	16	36	60	88	120
$V_i(\text{m/s})$	X	1,8	2,2	2,6	3,0	X

2. Tracé du graphe de $V_G = f(t)$. Echelles : 2 cm pour 0,1 s et 2 cm pour 100 cm.s⁻¹.



3. Dédution de la courbe de :

a) la valeur V_0 de la vitesse qu'a le centre d'inertie du solide au départ ;

V_0 est la valeur de la vitesse à la date $t = 0$ s c'est à dire l'ordonnée à l'origine :

$V_0 = 1,4 \text{ m/s}$ (voir la courbe ci-dessus).

b) la valeur de l'accélération a_G du centre d'inertie du solide.

La courbe est une droite qui passe par l'origine donc l'équation de cette droite est de la forme : $V_G = a_G t + V_0$

où a_G est la pente ou le coefficient directeur de la droite $V_G = f(t)$

$$\text{soit : } a = \frac{\Delta V_G}{\Delta t} = \frac{2,6 - 1,8}{0,3 - 0,1} = \underline{4 \text{ m/s}^2}$$



Galileo Galilei dit Galilée
(1564-1642)

Physicien, Mathématicien et Astronome Italien

Il est célèbre pour avoir jeté les fondements des sciences mécaniques ainsi que pour sa défense opiniâtre de la conception copernicienne de l'univers. En son hommage, un référentiel dit galiléen est ainsi nommé.

MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SYSTEME MATERIEL

Objectif spécifique :

- Appliquer la relation $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}_G$ à un solide dans un référentiel galiléen.

RAPPEL DE COURS

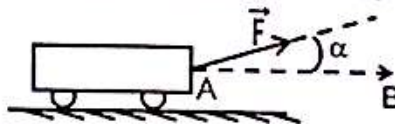
1) Travail d'une force constante

1.1. Définition

Lorsqu'une force \vec{F} s'exerce sur un objet en mouvement, elle lui communique ou lui prend une quantité d'énergie appelée travail $W(\vec{F})$, égale au produit scalaire du vecteur force \vec{F} par le vecteur déplacement \vec{AB} .

$$W(\vec{F})_{A \rightarrow B} = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha \quad \text{où } \alpha = (\vec{F}; \vec{AB})$$

avec $W(\vec{F})_{A \rightarrow B}$ en joule (J) ; F en newton(N) et AB en mètres(m)



1.2. Conséquences

Le travail d'une force constante est une grandeur algébrique car il peut-être positif ou négatif.

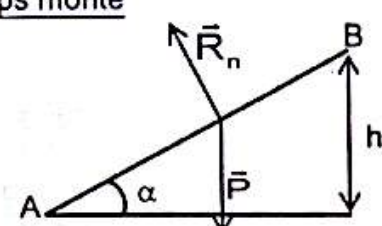
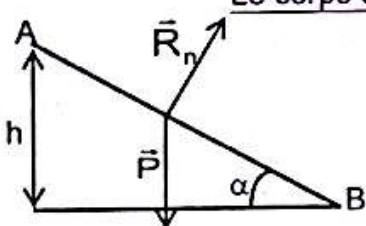
Son signe dépend de l'angle entre les vecteurs force et déplacement.

$$W(\vec{F})_{A \rightarrow B} = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha \quad \text{où } \alpha = (\vec{F}; \vec{AB})$$

Valeur de α	Signe ou valeur de $\cos \alpha$	Signe ou valeur de $W(\vec{F})$	Nature du travail
$0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2} \text{ rad}$	Positif	Positif	Moteur
$\frac{\pi}{2} \text{ rad} < \alpha \leq \pi \text{ rad}$	Négatif	Négatif	Résistant
$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$	Nul	Nul	Nul

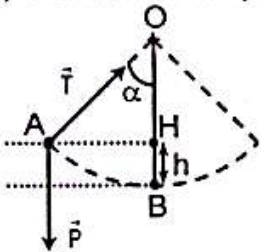
1.1. Travail du poids d'un corps

a) Plan incliné

<p><u>Le corps monte</u></p>  <p>$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = -mgh = -mgAB\sin\alpha$</p>	<p><u>Le corps descend</u></p>  <p>$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = mgh = mgAB\sin\alpha$</p>
--	---

NB : $W(\vec{R}_n)_{B \rightarrow A} = W(\vec{R}_n)_{A \rightarrow B} = 0$ car $\vec{R}_n \perp \vec{AB}$

b) Pendule élastique



$h = OB - OH = l - l \cos\alpha = l(1 - \cos\alpha)$

si le corps monte : $W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = -mgh = -mg\ell(1 - \cos\alpha)$

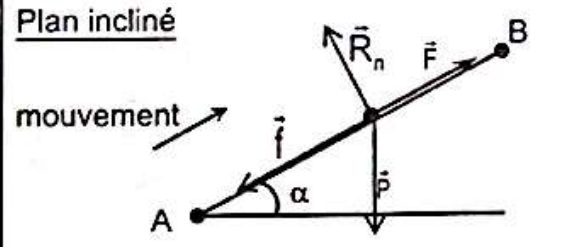
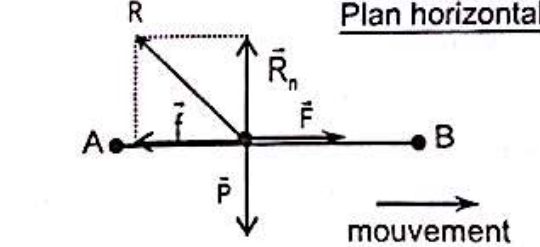
si le corps descend : $W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = mgh = mg\ell(1 - \cos\alpha)$

où $\ell = OA = OB$

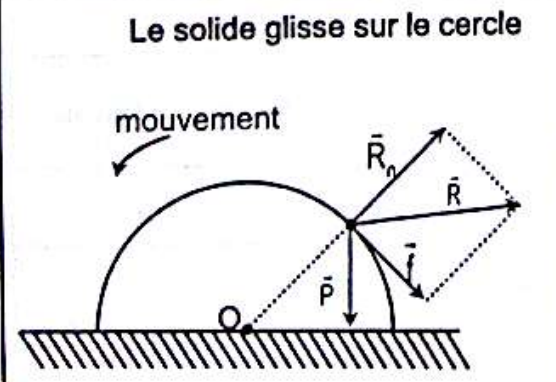
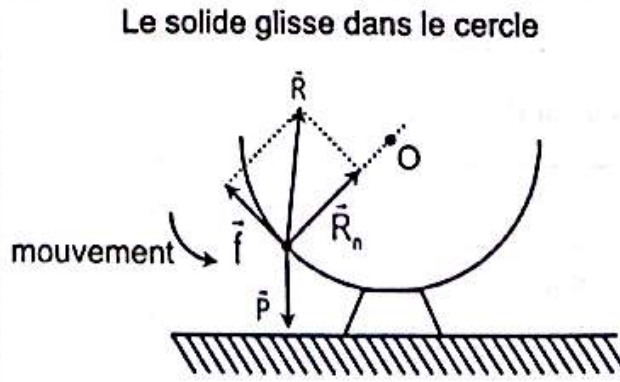
NB : $W(\vec{T})_{A \rightarrow B} = W(\vec{T})_{A \rightarrow B} = 0$ car $\vec{T} \perp \vec{\ell}$

1.2. Travail de la force motrice et des forces de frottement

Si la force motrice \vec{F} et les forces de frottement \vec{f} existent alors on a :

<p><u>Plan incliné</u></p>  <p>$W(\vec{f})_{A \rightarrow B} = -f \cdot AB$</p> <p>$W(\vec{F})_{A \rightarrow B} = F \cdot AB$</p>	<p><u>Plan horizontal</u></p>  <p>$W(\vec{f})_{A \rightarrow B} = -f \cdot AB$</p> <p>$W(\vec{F})_{A \rightarrow B} = F \cdot AB$</p>
---	---

1.3. Représentation des forces dans le cas d'un mouvement circulaire

<p><u>Le solide glisse sur le cercle</u></p> 	<p><u>Le solide glisse dans le cercle</u></p> 
--	--

Remarque :

- Si les frottements sont nuls, la réaction du plan \vec{R} est égale à la réaction normale \vec{R}_n .
- Si les frottements existent, la réaction du plan \vec{R} est égale à la somme de la force de frottement \vec{f} et de la réaction normale $\vec{R}_n \Rightarrow \vec{R} = \vec{f} + \vec{R}_n$ (voir schémas ci-avant).
- Pour le mouvement circulaire, la réaction normale passe par le centre du cercle.

2) Puissance d'une force constante

2.1. Puissance moyenne

$P_m = \frac{W(\vec{F})}{\Delta t}$ avec P_m : puissance moyenne en watts (W) ; $W(\vec{F})$: travail de la force en joule (J) ; Δt : durée en seconde (s).

2.2. Puissance instantanée

$P_t = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \times v \times (\vec{F}; \vec{v})$ avec P_t : puissance instantanée en watts (W) ; F : valeur de la force en newton (N) ; v : valeur de la vitesse en mètre par seconde (m/s ou m.s⁻¹).

3) Théorème du centre d'inertie

3.1. Référentiel galiléen ou inertiel

C'est un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié c'est-à-dire qu'un objet isolé ou pseudo-isolé est en mouvement de translation rectiligne uniforme au cours du temps.

3.2. Enoncé du théorème

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

4) Théorème de l'énergie cinétique

4.1. Expression de l'énergie cinétique

$E_c = \frac{1}{2}mv^2$ avec E_c : énergie cinétique en joule (J) ; m : masse du corps en kilogramme (kg) ; v : vitesse du corps en mètre par seconde (m/s ou m.s⁻¹).

4.2. Enoncé du théorème

La variation de l'énergie cinétique d'un solide en translation entre deux instants, est égale à la somme algébrique des travaux des forces que subit le solide : $\Sigma W(\vec{F}_{\text{ext}}) = \Delta E_c$.

5) Méthode de résolution d'un problème en mécanique

- Préciser le système à étudier.
- Préciser le référentiel galiléen utilisé muni d'un repère orthonormé approprié.
- Faire le bilan des forces extérieures, puis les représenter sur un schéma.
- Appliquer le théorème du centre d'inertie ou le théorème de l'énergie cinétique.

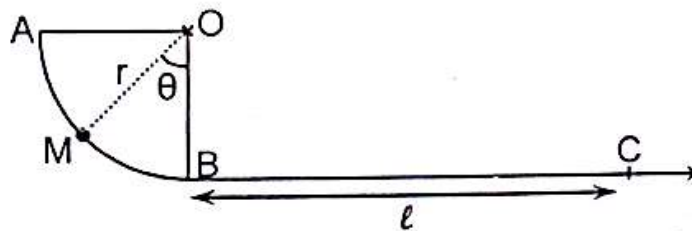
EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

On considère un skieur S de masse $m = 80 \text{ kg}$ sur une pente faisant un angle $\alpha = 10,0^\circ$ avec l'horizontale. Il est tiré par une tige faisant le même angle α avec l'horizontale. La force de traction \vec{T} de la tige a une intensité $T = 400 \text{ N}$. Le skieur remonte la pente à la vitesse constante $v = 0,80 \text{ m/s}$. Les frottements \vec{f} sont supposés non nuls et constants.

- 1) Faire un schéma et expliciter le bilan des forces s'appliquant sur le skieur.
- 2) Donner la valeur de l'accélération du mouvement du skieur. Justifier votre réponse.
- 3) Appliquer le théorème du centre d'inertie, et exprimer f en fonction des données du problème : g , m , α et T .
- 4) Calculer la valeur numérique de \vec{f} . On donne : $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- 5) Calculer la distance D parcourue par le skieur au bout de $\Delta t = 10,0 \text{ min}$.

Exercice 2

Un mobile de masse m , supposé ponctuel, peut glisser le long d'une piste ABC (voir figure ci-dessous).

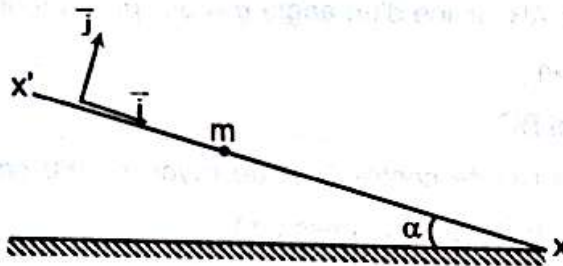


1. La partie curviligne AB est un quart de cercle parfaitement lisse, de telle sorte que les forces de frottements y soit négligeables. Le mobile est lancé en A avec une vitesse initiale $V_A = 2 \text{ m.s}^{-1}$, verticale et dirigé vers le bas.
 - 1.1 Etablir l'expression de la vitesse V_M du mobile en un point quelconque de l'arc du cercle en fonction de v_A , g , r , et θ .
Faire l'application numérique au point B.
 - 1.2 Etablir l'expression littérale du module R de la réaction \vec{R} de la piste sur le mobile en M en fonction de m , g , r , θ et v_A .
Faire l'application numérique au point B.
2. La portion BC est rectiligne et rugueuse. On peut assimiler les forces de frottements à une force unique \vec{f} , constante et opposé au mouvement.
 - 2.1 Sachant que $V_C = 2 \text{ m.s}^{-1}$, calculer f .
 - 2.2 Calculer le travail des forces de frottements sur la portion BC.

Données : $m = 150 \text{ g}$; $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$; $l = 2 \text{ m}$; $r = 1 \text{ m}$.

Exercice 3 (extrait Bac série D Session Normale 2006 Côte d'Ivoire)

Un mobile de masse m , assimilable à un point matériel est lâché sans vitesse initiale sur une table inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale (voir figure). On suppose que le mobile est soumis au cours du mouvement à une force de frottement \vec{f} opposée à sa vitesse.



1.

1.1. Faire le bilan des forces agissant sur le mobile et les représenter sur un schéma.

1.2. Montrer que l'accélération du centre d'inertie G du mobile vaut $a = g \sin \alpha - \frac{f}{m}$.

2. Un relevé des distances parcourues par le centre d'inertie du mobile au cours du temps à partir de l'instant $t = 0$ s, a donné le tableau suivant :

t (s)	0,00	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42
d (10^{-2} m)	0,0	1,1	2,5	4,4	6,9	10,0	13,6
t^2 (10^{-2} s ²)	0,00	1,4	3,2	5,8	9,0	13,0	17,6

2.1. Représenter le graphique $d = f(t^2)$.

Echelles :

➤ en abscisses : 1 cm représente 10^{-2} s² et

➤ en ordonnées : 1 cm représente 10^{-2} m.

2.2. Déterminer la pente ou le coefficient directeur k du graphe.

2.3. L'équation horaire du mouvement est de la forme : $d = \frac{1}{2} at^2$.

En déduire la valeur de l'accélération du mouvement.

2.4. Calculer la valeur de la force de frottement qui agit sur le mobile dans ce cas.

Données : $\alpha = 30^\circ$; $m = 0,5$ kg ; $g = 10$ m.s⁻².

Exercice 4 (extrait Bac série D Session 2009 Madagascar)

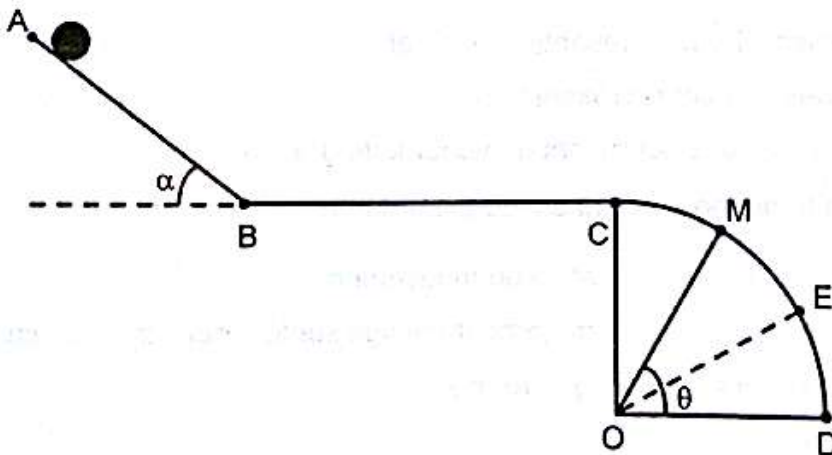
On prend pour l'intensité de pesanteur $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Une bille de masse $m = 50 \text{ g}$, assimilable à un point matériel, est abandonnée sans vitesse initiale en un point A d'une gouttière ABCD. Cette gouttière est constituée :

- d'un tronçon rectiligne AB incliné d'un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport au plan horizontal et de longueur $AB = 1,6 \text{ m}$;
- d'un tronçon horizontal BC ;
- d'un tronçon circulaire CD de centre O et de rayon $r = 60 \text{ cm}$ et telle que (OC) est perpendiculaire à (BC) (voir figure ci-dessous) ;
- A, B, C appartiennent à un même plan vertical (P).

La force de frottement \vec{f} qui s'applique sur la bille ne s'exerce qu'entre B et C ; \vec{f} est colinéaire et de sens contraire à la vitesse de la bille ; son intensité est $f = 0,4 \text{ N}$.

- 1) Calculer la vitesse de la bille en B.
- 2) Déterminer la longueur BC pour que la bille arrive en C avec une vitesse nulle.
- 3) La bille part du point C avec une vitesse pratiquement nulle et aborde le tronçon circulaire CD. La position de la bille, en un point M de CD, est repérée par l'angle $\theta = (\overline{OD}, \overline{OM})$.
 - a- Exprimer en fonction de m , g et θ l'intensité de la réaction \vec{R} de la gouttière sur la bille au point M.
 - b- Sachant que la bille quitte la gouttière au point E tel que $\theta_1 = (\overline{OD}, \overline{OE})$, calculer la valeur de θ_1 .



EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (extrait Bac série C session 2009 Cameroun)

Un solide homogène de masse $m = 100 \text{ g}$ est abandonné sans vitesse initiale au sommet d'un plan incliné d'angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à l'horizontale (voir figure 1).

A la fin de la descente son énergie cinétique E_c vaut $12,8 \text{ J}$. Les frottements sur le plan sont équivalents à une force unique de module égale au dixième du poids du solide.

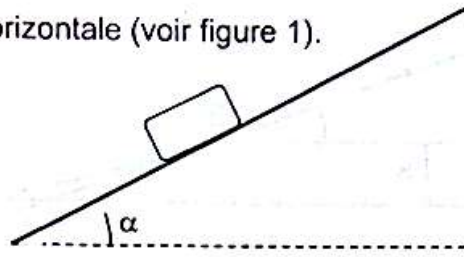


Figure 1

On prendra $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

1. Exprimer puis calculer le module a_G du vecteur accélération du centre d'inertie G du solide.
2. Écrire l'équation horaire du mouvement du centre d'inertie. On prendra pour origine des dates la date de départ et pour origine des espaces le point de départ.
3. Calculer la durée du mouvement.
4. Calculer la distance d parcourue.

Exercice 2 : (extrait Bac série D session Juin 2009 Cameroun)

Un solide (S) de masse $m = 150 \text{ g}$ est lancé à partir d'un point O sur une piste rectiligne inclinée d'angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à l'horizontale avec une vitesse initiale de valeur V_0 inconnue. Un dispositif permet de mesurer à des dates données la vitesse du solide.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

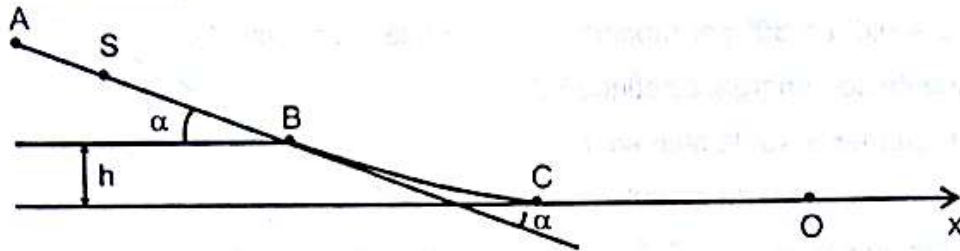
$t(10^{-3} \text{ s})$	80	160	245	315	408	481	574	642	722	802
$v(\text{m/s})$	1,18	1,48	1,75	1,91	2,22	2,47	2,71	2,91	3,09	3,39

On prendra l'accélération de la pesanteur $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

1. Construire le graphe de $v = f(t)$ avec les échelles suivantes : 20 mm pour $100 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ et 20 mm pour $0,5 \text{ m.s}^{-1}$.
2. Déterminer à l'aide du graphe l'accélération du solide (S) ainsi que sa vitesse initiale.
En déduire que la somme des forces qui s'opposent au mouvement du solide n'est pas nulle.
3. Établir, par application du théorème du centre d'inertie au solide (S) et en prenant pour somme des forces qui s'opposent au mouvement une force \vec{F} constante parallèle à la ligne de plus grande pente de la piste et de sens contraire au mouvement, l'expression de l'intensité de la force \vec{F} .
4. Calculer la valeur expérimentale de l'intensité de la force \vec{F} .

Exercice 3 (extrait Bac D session normale 2005 Côte d'Ivoire)

On étudie le mouvement d'un solide S supposé ponctuel, de masse m , qui glisse sur la piste schématisée ci-dessous, situé dans un plan vertical. On suppose les frottements négligeables.



La partie CO est rectiligne et horizontale.

La partie BC est curviligne.

La partie AB, rectiligne, de longueur L , fait l'angle α avec la partie CO.

On suppose que les parties AB et CO sont respectivement tangentes en B et C à la courbe BC.

On appelle h la différence d'altitude entre les points B et C où $h = 5$ cm.

On donne : $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$; $m = 100 \text{ g}$; $AB = L = 30 \text{ cm}$; $\alpha = 12^\circ$ ($\sin\alpha = 0,208$; $\cos\alpha = 0,978$).

1. Mouvement sur la partie rectiligne AB

Le solide est lâché en A sans vitesse initiale.

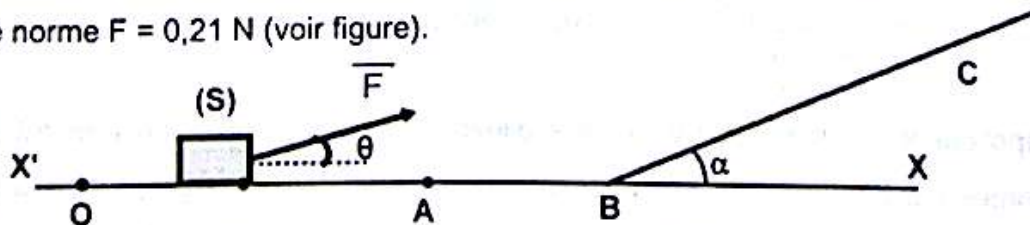
- 1.1. Faire le bilan des forces extérieures exercées sur S. Les représenter sur un schéma.
- 1.2. Exprimer l'intensité a du vecteur accélération de S, en fonction de g et α .
- 1.3. Calculer la valeur numérique de a .
- 1.4. Calculer la durée t du trajet AB.
- 1.5. Exprimer V_B , la vitesse de S en B en fonction de α et L et la calculer.

2. Mouvement sur la partie BC

Calculer V_C , vitesse de S en C.

Exercice 4 (extrait Bac série D session Juin 2009 Cameroun)

On pose un solide (S) de masse $m = 420 \text{ g}$ sur une piste rectiligne. La piste étant horizontale, le solide reste immobile, son centre d'inertie étant en un point O d'une droite (x', x) . On lui communique, à une date considérée comme origine des dates, pendant une durée $\Delta t_1 = 10 \text{ s}$, une force \vec{F} , d'intensité constante et dont sa direction fait un angle $\theta = 15^\circ$ avec l'horizontale et de norme $F = 0,21 \text{ N}$ (voir figure).



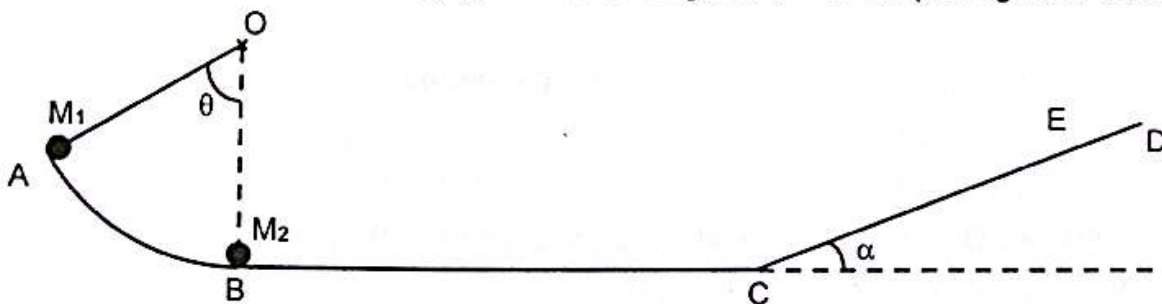
1. À la fin des dix secondes, l'action de la force \vec{F} cesse et le solide arrive en A avec une vitesse v_A . On admet que le contact piste-solide se fait sans frottement.
 - 1.1. Déterminer l'accélération a_1 du mouvement du centre d'inertie du solide (S) pendant les dix secondes au cours desquelles le solide est soumis à la force \vec{F} .

- 1.2. Quelle est la nature du mouvement de (S) ? Écrire les équations horaires.
- 1.3. Calculer la valeur de sa vitesse v_A au point A.
- 1.4. Déterminer la longueur ℓ du trajet OA.
2. Au bout de la piste au point B, le solide aborde un plan rugueux incliné d'un angle $\alpha = 20^\circ$ par rapport au plan horizontal. Il est alors soumis à des forces de frottement équivalentes à une unique force \vec{f} , colinéaire au vecteur vitesse et de valeur constante. Sur le plan incliné, il parcourt une distance d et parvient au point C avec une vitesse quasi nulle. On donne $BC = 3 \text{ m}$ et $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.
 - 2.1. Calculer la vitesse v_B du solide au bas du plan incliné.
 - 2.2. Déterminer l'accélération a_2 du solide.
 - 2.3. Calculer la valeur f de la force \vec{f} .
 - 2.4. Quelle est la durée Δt_2 du trajet BC ?
3. On suppose maintenant que le plan incliné est lisse.
 - 3.1. Que vaut la nouvelle accélération a_3 ?
 - 3.2. Vérifier que le solide passe par C sans s'arrêter.
 - 3.3. Déterminer sa vitesse lorsqu'il passe par C.

Exercice 5 (extrait Bac série D session 2013 Madagascar)

Dans tout le problème, on néglige les frottements et on prendra $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Un pendule simple est constitué par une bille ponctuelle M_1 de masse m_1 suspendue au bout d'un fil inextensible de masse négligeable et de longueur $\ell = 40 \text{ cm}$ (voir figure ci-dessous).



- 1) On écarte le système d'un angle $\theta = 60^\circ$ par rapport à sa position d'équilibre verticale et on le lâche sans vitesse initiale.
Calculer la vitesse V_1 de la bille M_1 lors de son passage à la position d'équilibre.
- 2) Au passage à la position d'équilibre, la bille M_1 heurte une autre bille ponctuelle M_2 de masse m_2 . Cette dernière part du point B avec la vitesse $v_2 = 4 \text{ m.s}^{-1}$ et suit une piste BCD qui comprend deux parties : une partie rectiligne horizontale BC et une partie rectiligne CD inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontal et raccordée tangentiellement en C à BC. Les points A, B, C, D se trouvent dans un même plan vertical. La bille M_2 s'arrête au point E de la piste CD (voir figure ci-dessus).
 - 2.1. Calculer l'accélération du mouvement de la bille M_2 sur le plan incliné CD.
 - 2.2. Déterminer la distance CE.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

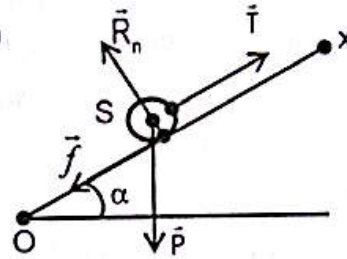
1) Schéma et le bilan des forces s'appliquant sur le skieur.

système : skieur S de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère (Ox)

bilan des forces :

- le poids \vec{P} du skieur ;
- la réaction normale \vec{R}_n de la pente ;
- les forces de frottement \vec{f} ;
- la force de traction \vec{T} de la tige.



2) Donnons la valeur de l'accélération du mouvement du skieur en justifiant notre réponse

Le skieur remonte la pente à la vitesse constante donc : $a = \frac{dv}{dt} = 0$

3) Exprimons f en fonction des données du problème : m, g, α et T

Appliquons le théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{T} + \vec{R}_n + \vec{f} + \vec{P} = m\vec{a}$

On projette ensuite sur l'axe (Ox) : $T_x + R_x + f_x + P_x = ma_x$,

- $T_x = T$ car \vec{T} est orientée dans le sens du mouvement du skieur ;
- $R_x = 0$ car \vec{R}_n est perpendiculaire à l'axe (Ox) ;
- $f_x = -f$ car \vec{f} est opposée au mouvement du skieur ;
- $P_x = -mg \sin \alpha$;
- $a_x = a = 0$;

ce qui donne : $T - f - mg \sin \alpha = 0$, soit finalement $f = T - mg \sin \alpha$

4) Calculons la valeur numérique de \vec{f} .

$$f = 400 - 80 \times 10 \times \sin 10^\circ = 261 \text{ N}$$

5) Calculons la distance D parcourue par le skieur au bout de $\Delta t = 10,0 \text{ min}$

La vitesse du skieur est constante donc on a : $D = v \times \Delta t$

Application numérique : $\Delta t = 10 \times 60 = 600 \text{ s} \Rightarrow D = 0,80 \times 600 = 480 \text{ m}$

Exercice 2

1. La partie curviligne AB est un quart de cercle parfaitement lisse.

1.1 Expression de la vitesse V_M du mobile en fonction de v_A , g, r, et θ .

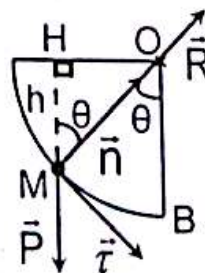
système : mobile de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

muni de la base de Freinet ($M, \vec{\tau}, \vec{n}$),

bilan des forces :

- le poids \vec{P} du mobile ;
- la réaction \vec{R} de la piste ;



Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et M :

$$\Delta E_{c_{A \rightarrow M}} = \Sigma W_{A \rightarrow M}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow E_{c_M} - E_{c_A} = W_{A \rightarrow M}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow M}(\vec{R})$$

$$\frac{1}{2} m v_M^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = mgh + 0 \Rightarrow \frac{1}{2} (v_M^2 - v_A^2) = gh \Rightarrow v_M^2 - v_A^2 = 2gh$$

$$\Rightarrow v_M^2 = 2gh + v_A^2 \Rightarrow v_M = \sqrt{2gh + v_A^2}$$

Par ailleurs en utilisant le triangle OMH rectangle en H on a :

$$\cos \theta = \frac{MH}{OM} = \frac{h}{r} \Rightarrow h = r \cos \theta \text{ d'où on a : } v_M = \sqrt{2gr \cos \theta + v_A^2}$$

Application numérique au point B.

Au point B la mesure de l'angle θ est nulle donc on a :

$$v_B = \sqrt{2gr \cos 0^\circ + v_A^2} = \sqrt{2gr + v_A^2} \Rightarrow v_B = \sqrt{2 \times 10 \times 1 + 2^2} = \underline{4,9 \text{ m/s}}$$

1.2 Expression littérale du module R en fonction de m, g, r, θ et v_A .

Théorème du centre d'inertie appliqué au mobile en M :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m \vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} = m \vec{a}$$

Projection sur l'axe (M, \vec{n}) : $-P \cos \theta + R = m a_n$ avec $a_n = \frac{v_M^2}{r}$

$$\Rightarrow R = mg \cos \theta + m \frac{v_M^2}{r} = m \left(g \cos \theta + \frac{v_M^2}{r} \right) = m \left(g \cos \theta + \frac{2gr \cos \theta + v_A^2}{r} \right)$$

$$\Rightarrow R = m (g \cos \theta + 2g \cos \theta + v_A^2) = \underline{m (3g \cos \theta + v_A^2)}$$

Application numérique au point B.

Au point B la mesure de l'angle θ est nulle donc on a :

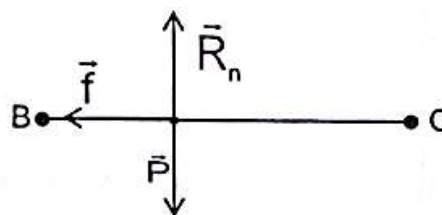
$$R = m (3g \cos 0^\circ + v_A^2) = \underline{m (3g + v_A^2)} \Rightarrow R = 0,15 \times (3 \times 10 + 2^2) = \underline{5,1 \text{ N}}$$

2. La portion BC est rectiligne et rugueuse.

2.1 Sachant que $V_C = 2 \text{ m.s}^{-1}$, calculons f.

bilan des forces :

- > le poids \vec{P} du mobile,
- > la réaction normale \vec{R}_n de la piste,
- > les forces de frottement \vec{f} .



Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre B et C :

$$\Delta E_{c_{B \rightarrow C}} = \Sigma W_{B \rightarrow C}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow E_{c_C} - E_{c_B} = W_{B \rightarrow C}(\vec{P}) + W_{B \rightarrow C}(\vec{R}_n) + W_{B \rightarrow C}(\vec{f})$$

$$\frac{1}{2} m v_C^2 - \frac{1}{2} m v_B^2 = 0 + 0 - fBC \Rightarrow \frac{1}{2} m (v_C^2 - v_B^2) = -f \ell \Rightarrow f = \frac{m(v_B^2 - v_C^2)}{2\ell}$$

$$\text{Application numérique : } f = \frac{0,15 \times (4,9^2 - 2^2)}{2 \times 2} = \underline{0,75 \text{ N}}$$

2.2 Travail des forces de frottements sur la portion BC.

$$W_{B \rightarrow C}(\vec{f}) = -f \ell = -0,75 \times 2 = \underline{-1,5 \text{ J}}$$

Exercice 3 (extrait Bac série D Session Normale 2006 Côte d'Ivoire)

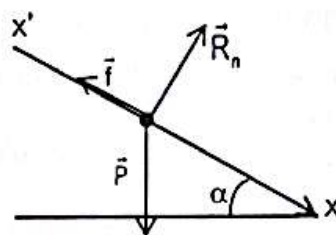
1.

1.1. Bilan et représentations des forces agissant sur le mobile

système : mobile de masse m
référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces :

- poids \vec{P} du mobile ;
- force de frottement \vec{f} ;
- réaction normale \vec{R}_n de la piste.



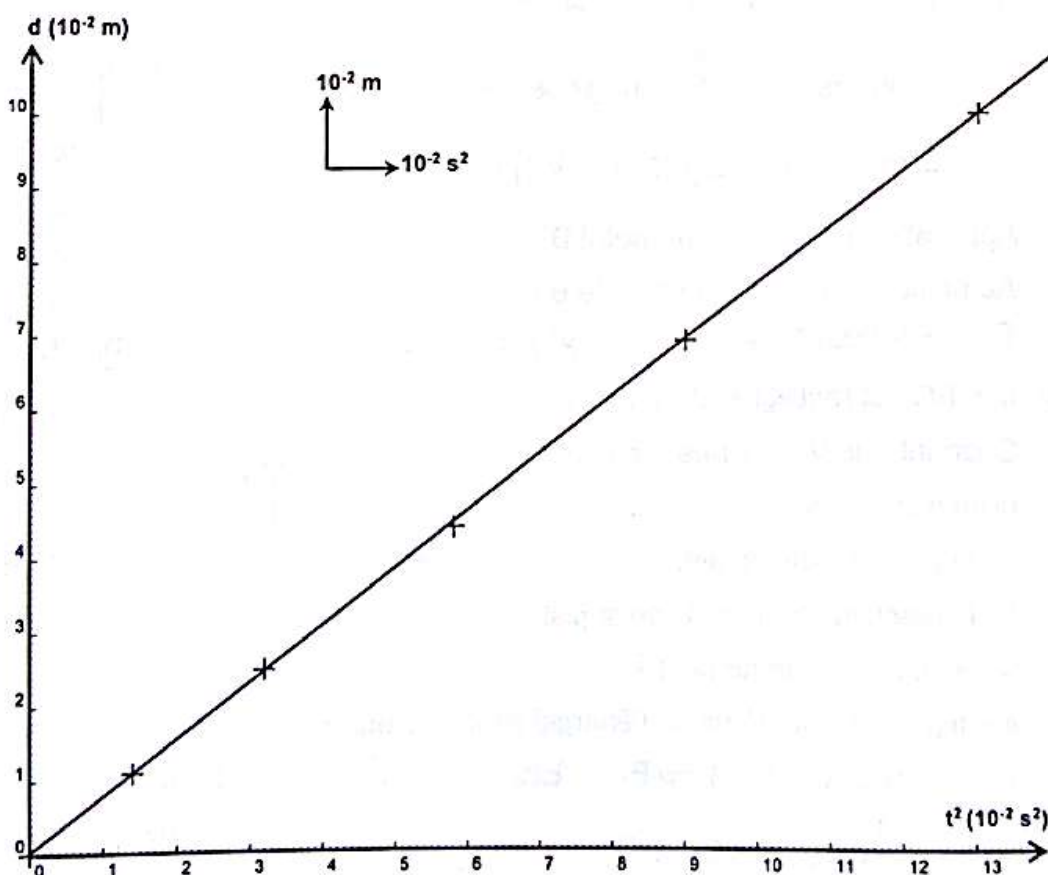
1.2. Détermination de l'accélération a du centre d'inertie du mobile

Théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R}_n + \vec{f} = m\vec{a}$

Projection sur l'axe $(x'x)$: $mg \sin \alpha + 0 - f = ma \Rightarrow a = g \sin \alpha - \frac{f}{m}$

2.

2.1. Représentation graphique $d = f(t^2)$



2.2. Pente ou coefficient directeur du graphe

$$k = \frac{\Delta d}{\Delta t^2} = \frac{(10 - 0,00) \cdot 10^{-2}}{(13 - 0,00) \cdot 10^{-2}} = 0,77 \text{ m.s}^{-2}$$

2.3. Valeur de l'accélération :

$$d = \frac{1}{2}at^2 = kt^2 \Rightarrow a = 2k = 2 \times 0,77 = 1,54 \text{ m.s}^{-2}$$

2.4. Valeur de la force de frottement

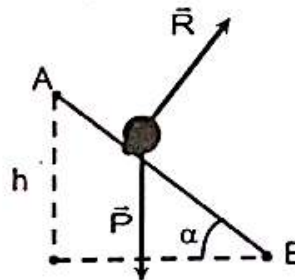
$$a = g \sin \alpha - \frac{f}{m} \Rightarrow f = m(g \sin \alpha - a) = 0,5 \times (10 \times \sin 30^\circ - 1,54) = 1,73 \text{ N.}$$

Exercice 4 (extrait Bac D Madagascar Session 2009)

1) Calculons la vitesse de la bille en B.

système : bille de masse m
référentiel terrestre supposé galiléen
bilan des forces :

- > le poids \vec{P} de la bille ;
- > la réaction \vec{R} de la gouttière ;



Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et B :

$$\Delta E_{C_{A \rightarrow B}} = \Sigma W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow E_{C_B} - E_{C_A} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

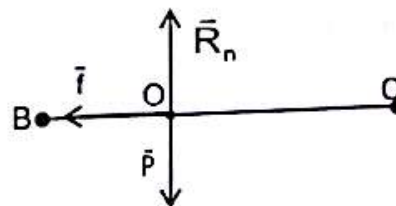
$$\frac{1}{2}mv_B^2 - 0 = mgh + 0 \Rightarrow \frac{1}{2}v_B^2 = gh \Rightarrow v_B^2 = 2gh \Rightarrow v_B = \sqrt{2gh}$$

$$\text{or } \sin \alpha = \frac{h}{AB} \Rightarrow h = AB \sin \alpha \Rightarrow v_B = \sqrt{2gAB \sin \alpha}$$

$$\text{Application numérique : } v_B = \sqrt{2 \times 10 \times 1,6 \times \sin 30^\circ} = \underline{4 \text{ m/s}}$$

2) Déterminons la longueur BC pour que la bille arrive en C avec une vitesse nulle.

- bilan des forces :
- > le poids \vec{P} de la bille,
 - > la réaction normale \vec{R}_n de la gouttière,
 - > les forces de frottement \vec{f} .



Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre B et C :

$$\Delta E_{C_{B \rightarrow C}} = \Sigma W_{B \rightarrow C}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow E_{C_C} - E_{C_B} = W_{B \rightarrow C}(\vec{P}) + W_{B \rightarrow C}(\vec{R}_n) + W_{B \rightarrow C}(\vec{f})$$

$$0 - \frac{1}{2}mv_B^2 = 0 + 0 - fBC \Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = fBC \Rightarrow BC = \frac{mv_B^2}{2f}$$

$$\text{Application numérique : } BC = \frac{50 \cdot 10^{-3} \times 4^2}{2 \times 0,4} = \underline{1 \text{ m}}$$

3) La bille part de C avec une vitesse pratiquement nulle et aborde le tronçon circulaire CD.

a- Exprimons en fonction de m , g et θ l'intensité de la réaction \vec{R} au point M.

bilan des forces :

- le poids \vec{P} de la bille,
- la réaction \vec{R} de la gouttière,

Théorème du centre d'inertie

appliqué à la bille en M :

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}$$

Projection sur l'axe (M, \vec{n}) : $P \sin \theta - R = ma_n$

$$\text{or } a_n = \frac{V_M^2}{r} \Rightarrow R = mg \sin \theta - m \frac{V_M^2}{r} = m \left(g \sin \theta - \frac{V_M^2}{r} \right)$$

Déterminons d'abord la vitesse V_M au point M

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre C et M :

$$\Delta E_{C \rightarrow M} = \Sigma W_{C \rightarrow M}(\vec{F}_{\text{ext}}) \Rightarrow E_{C_M} - E_{C_C} = W_{C \rightarrow M}(\vec{P}) + W_{C \rightarrow M}(\vec{R})$$

$$\frac{1}{2} m v_M^2 - 0 = mgh + 0 \Rightarrow \frac{1}{2} v_M^2 = gh \Rightarrow v_M^2 = 2gh \Rightarrow v_M = \sqrt{2gh} \text{ avec } h = CH$$

Par ailleurs $h = OC - OH = r - OH$

En outre en utilisant le triangle OMH rectangle en H on a :

$$\sin \theta = \frac{OH}{OM} = \frac{OH}{r} \Rightarrow OH = r \sin \theta \Rightarrow h = r - r \sin \theta = r(1 - \sin \theta) \text{ d'où : } v_M = \sqrt{2gr(1 - \sin \theta)}$$

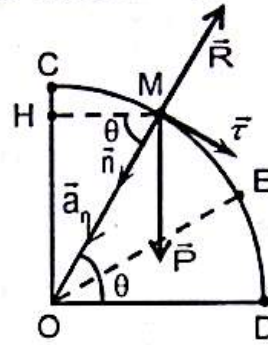
$$\Rightarrow R = m \left(g \sin \theta - \frac{2gr(1 - \sin \theta)}{r} \right) = m(g \sin \theta - 2g(1 - \sin \theta))$$

$$\Rightarrow R = m(g \sin \theta - 2g + 2g \sin \theta) = m(3g \sin \theta - 2g) \Rightarrow R = mg(3 \sin \theta - 2)$$

b- Sachant que la bille quitte la gouttière au point E, calculons la valeur de θ_1 .

La bille quitte la gouttière si et seulement si $R = 0$ et $\theta = \theta_1 = (\overline{OD}, \overline{OE})$

$$\text{soit : } mg(3 \sin \theta_1 - 2) = 0 \Rightarrow 3 \sin \theta_1 - 2 = 0 \Rightarrow \sin \theta_1 = \frac{2}{3} \Rightarrow \theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{2}{3} \right) = \underline{41,8^\circ}$$





Johannes Kepler
(1571-1630)

Astronome, Physicien, Astrologue, Mathématicien et Philosophe Allemand

Il est célèbre pour avoir étudié l'hypothèse héliocentrique (la Terre tourne autour du Soleil) de Nicolas Copernic, et surtout pour avoir découvert que les planètes ne tournent pas en cercle parfait autour du Soleil mais en suivant des ellipses. Il énonça alors trois lois qui portent son nom : lois de Kepler.

INTERACTION GRAVITATIONNELLE (Tle C & E uniquement)

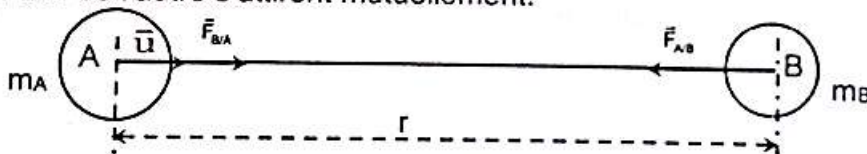
Objectif spécifique

- Appliquer la relation $\Sigma \vec{f} = m\vec{a}_G$ à un solide dans un repère géocentrique pour décrire les mouvements des satellites.

RAPPEL DU COURS

1.) Loi de gravitation universelle

Deux corps A et B à répartition sphérique, de masses respectives m_A et m_B , placés à une distance r l'un de l'autre s'attirent mutuellement.

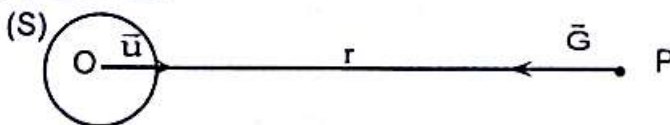


$$\vec{F}_{A/B} = -G \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} \vec{u} = -\vec{F}_{B/A}$$

où G est la constante de gravitation universelle ($G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI).

2.) Champ de gravitation

2.1) Définition



Le corps (S), de masse M , crée au point P, le champ de gravitation \vec{G} tel que : $\vec{G} = -G \frac{M}{r^2} \vec{u}$

2.2) Relation entre force et champ

Si l'on place, un corps de masse m au point P, alors il subit la force d'attraction : $\vec{F} = m\vec{G}$

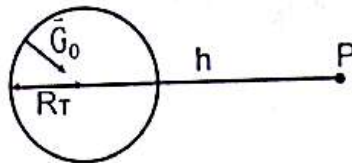
2.1) Champ de gravitation terrestre à une altitude h

G_0 : champ de gravitation au niveau du sol

R_T : rayon terrestre ($R_T = 6400$ km)

h : altitude en mètre(m)

$$G = \frac{G_0 R_T^2}{(R_T + h)^2}$$



Remarque :

Avec une excellente approximation, on peut confondre le champ de pesanteur \vec{g} et le champ de gravitation \vec{G} ainsi que le poids \vec{P} et la force de gravitation \vec{F} .

3.) Mouvement des satellites dans le référentiel géocentrique

Dans le référentiel géocentrique, un satellite, situé à une altitude h est animé d'un mouvement circulaire uniforme.

Ses caractéristiques sont :

- accélération : $\vec{a} = \vec{g}$
- vitesse : $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{r}}$ avec $r = R_T + h$
- période : $T = \frac{2\pi r}{v}$ (en seconde)

Remarque :

Un satellite géostationnaire en mouvement dans le plan équatorial, tourne autour de la terre dans le même sens, à la même vitesse angulaire et avec la même période.

4.) Les lois de Kepler

Le mouvement d'une planète autour du Soleil s'étudie dans le référentiel de Copernic.

Il est régi par trois lois appelées loi de Kepler :

- > 1^{ère} loi : la trajectoire d'une planète est une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers.
- > 2^{ème} loi : pendant des durées égales, le segment de droite joignant le soleil et la planète balaie des aires égales.

> 3^{ème} loi :
$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

r : demi grand axe (en m)

T : période de révolution de la planète (en s)

M : masse de la planète (en kg)

G : constante de gravitation ($G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI)

Remarque : si la trajectoire de la planète est circulaire de rayon R alors $r = R$.

EXERCICES RESOLUS

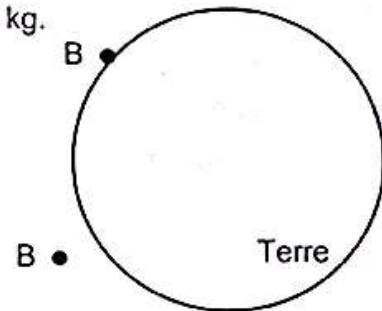
Pour tous les exercices on prendra :

- constante universelle de la gravitation : $g = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$;
- rayon terrestre : $R = 6,38 \cdot 10^3 \text{ km}$;
- champ de pesanteur à la surface terrestre : $g_0 = 9,80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Exercice 1

On considère une boule de pétanque de masse $m = 0,816 \text{ kg}$.

1. Exprimer puis calculer la valeur de la force gravitationnelle $F_{T/B}$ exercée par la Terre sur cette boule de pétanque.
2. Sur le schéma ci-contre, on représente la boule de pétanque par le point B.



- En prenant pour échelle 1 cm pour 4 N, représenter la force que la Terre exerce sur la boule.
3. Quel lien y a-t-il entre le poids de cette boule sur Terre et cette force ?
En déduire la valeur de l'intensité de la pesanteur sur Terre.
4. Représenter sur le même schéma que précédemment et avec la même échelle, la force que la boule exerce sur la Terre. Justifier votre représentation.

Donnée : Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; on notera la constante de gravitation G .

Exercice 2

Un satellite est à l'altitude $z = 600 \text{ km}$ au-dessus de la Terre. Sa masse est $m = 5 \text{ t}$.

Le satellite est situé à la distance $d_L = 3,77 \cdot 10^5 \text{ km}$ du centre de la Lune et à la distance $d_S = 1,49 \cdot 10^8 \text{ km}$ du centre du Soleil.

- 1) Quelles sont les intensités des forces de gravitation \vec{F}_T , \vec{F}_L et \vec{F}_S exercées respectivement par la Terre, la Lune et Soleil sur le satellite ? Conclure.

Données : les masses de la Terre, de la Lune, du Soleil sont respectivement $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $M_L = 7,34 \cdot 10^{22} \text{ kg}$; $M_S = 1,98 \cdot 10^{30} \text{ kg}$;

On notera la constante universelle de gravitation G .

- 2) Le satellite s'éloigne de la Terre dans la direction de la Lune.
Jusqu'à quelle distance d , mesurée à partir du centre de la Terre, peut-on négliger au millième près la force de gravitation lunaire ?

(La distance centre de la Terre-centre de la Lune est $D = 3,84 \cdot 10^5 \text{ km}$)

Exercice 3

On suppose que la terre possède une répartition sphérique de masse.

- 1) Etablir l'expression du champ de gravitation G de la Terre à l'altitude z en fonction de g , M , R_T et z .

2) Montrer qu'à l'altitude z le champ de gravitation G est donné par la relation :

$$G = g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2}, \text{ avec } g_0 = \text{champ de gravitation au sol.}$$

3) On place à l'aide d'une fusée un satellite assimilable à un point matériel de masse m , sur une orbite circulaire à l'altitude z .

a) Montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

b) Etablir l'expression de la vitesse du satellite en fonction de g_0 du rayon de la Terre R_T , et de l'altitude z . Calculer la valeur de la vitesse du satellite pour $z = 10^3$ km.

c) Quelle est la période de révolution de ce satellite ?

4) Un satellite géostationnaire reste constamment à la verticale d'un même point de la surface de la Terre.

a) Quelle est la période d'un tel satellite ?

b) Exprimer l'altitude du satellite en fonction de la période T , du champ g_0 et du rayon R_T de la Terre. Calculer la valeur de l'altitude du satellite.

Exercice 4

Dans tout l'exercice on admet que :

- la Terre présente une répartition de masse à symétrie sphérique ;
- on peut confondre le champ gravitationnel \vec{G} de la Terre et le champ de pesanteur terrestre noté \vec{g} ;
- les satellites artificiels de la Terre sont considérés comme ponctuels.

Le tableau suivant donne les caractéristiques des orbites circulaires de Météosat et de spot, satellites artificiels de la terre.

	Satellite n°1(Météosat)	Satellite n°2 (Spot)
Période T (min)	$1,43 \cdot 10^3$	101
Rayon de l'orbite r (km)	$4,21 \cdot 10^4$	$7,20 \cdot 10^3$

1) Calculer pour chacun des satellites le rapport $\frac{T^2}{r^3}$. Que remarquez-vous ?

2) Etablir que dans le référentiel géocentrique, le mouvement d'un satellite terrestre de masse m en orbite circulaire est uniforme.

3) Donner l'expression de la vitesse v en fonction de G , M et r .

Dans le cas des satellites terrestres montrer que le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}. \text{ Quel nom donne-t-on à cette loi ?}$$

4) Montrer que l'on peut en déduire une valeur de la masse M de la terre.

N.B. : La constante universelle de gravitation sera noté G .

Exercice 5 : (extrait Bac C & E session normale 2003 Côte d'Ivoire)

1. Jupiter, comme la Terre sont des planètes du système solaire. Elles tournent autour du soleil de masse M_s sur des orbites quasiment circulaire de rayons R_1 et R_2 .

La force responsable de ces mouvements est la force de gravitation universelle d'intensité :

$$F = \frac{Gm_1m_2}{d_{12}^2}$$

1.1. Que représente G , m_1 , m_2 et d_{12} dans la formule (1).

1.2. Quel est le référentiel utilisé pour fournir les données du tableau (A) ?

Tableau (A)	Période T en jour	Rayon de l'orbite en 10^6 km
Terre	$T_r = 365$	$R_r = 150$
Jupiter	$T_r = 4333$	R_J

1.3. Dans ce référentiel, établir l'expression de la période T_r du mouvement de la terre sur son orbite en fonction de G , M_s et R_r .

1.4. Calculer la valeur du rapport $\frac{T_r^2}{R_r^3}$.

1.5. Écrire l'expression de la période T_J du mouvement de Jupiter sur son orbite en fonction de G , M_s et R_J .

1.6. En déduire la valeur de R_J .

2. Jupiter possède des satellites qui tournent autour d'elle sur des orbites considérés comme circulaires de rayons r .

Données :

Tableau (B)	IO	EUROPE	GANYMEDE	GALISTE
Période T en heures	42,5	85,2	172	400
Rayon de l'orbite r (10^6 km)	0,42	0,67	1,07	1,88
$T^2(10^{11} \text{ S}^2)$	0,23	0,94	3,8	20,64
$r^3(10^{26} \text{ m}^3)$	0,74	3	12,2	66,4

2.1. Quel est le référentiel utilisé pour fournir les données du tableau (B) ?

2.2. Dans ce référentiel, donner l'expression littérale de la période d'un satellite en fonction de G , M_J (masse de Jupiter) et r .

2.3. Représenter le graphe donnant les variations de T^2 en fonction de r^3 .

Échelle : $1 \text{ cm} \rightarrow 2 \cdot 10^{11} \text{ S}^2$; $1 \text{ cm} \rightarrow 4 \cdot 10^{26} \text{ m}^3$.

2.4. Utiliser le graphe pour calculer la masse de Jupiter. On donne $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I.}$

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1**

Une planète «de type terrestre habitable», capable d'abriter une vie extra-terrestre, nommée Gliese c, est la première et la plus légère des quelques 200 connues à ce jour à «posséder à la fois une surface solide ou liquide et une température proche de celle de la Terre», selon ses découvreurs Genevois.

Dans tout l'exercice, l'étoile Gliese 581 est notée E et son exo-planète Gliese c est notée C.

Données complémentaires : caractéristiques de la planète C :

- Valeur du champ de gravitation à la surface: $g_0 = 22 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Masse estimée : $M_c = 3,0 \cdot 10^{25} \text{ kg}$
- Rayon estimé : $R_c = 9,6 \cdot 10^6 \text{ m}$.
- Unité Astronomique : $1 \text{ UA} = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$

Les applications numériques de cet exercice se feront sans utiliser la valeur numérique de la constante de gravitation universelle G.

PREMIERE PARTIE

- 1) On considère la planète C de masse M_c . Le mouvement de l'un de ses satellites S, assimilé à un point matériel de masse m , est étudié dans un référentiel considéré comme galiléen, muni d'un repère dont le centre coïncide avec le centre O de la planète C et les trois axes dirigés vers trois étoiles fixes. On admet que la planète a une distribution de masse à symétrie sphérique et que l'orbite de son satellite est un cercle de centre O et de rayon r .
- 1.1. Enoncer la loi de gravitation universelle puis donner, schéma à l'appui, sa formulation vectorielle à l'altitude h .
- 1.2. Montrer que le mouvement du satellite S est uniforme.
- 1.3. Etablir, en fonction de g_0 , R_c et h , l'expression de la vitesse v du satellite S sur son orbite. Faire l'application numérique, sachant que $h = 20 \text{ km}$.
- 1.4. Etablir l'expression de la vitesse de libération du satellite S à l'altitude h .
Faire l'application numérique.

DEUXIEME PARTIE:

- 2) Cette étude se fera dans un référentiel, considéré comme galiléen, lié au centre de l'étoile E. L'étoile E possède trois planètes actuellement identifiées : Gliese b notée B, Gliese c notée C et Gliese d notée D. On considère que ces trois planètes se déplacent sur des orbites pratiquement circulaires. Le tableau ci-dessous regroupe quelques caractéristiques de ces planètes B, C et D.

Période (jours)	$T_b = 5,366$	$T_c = ?$	$T_d = 84,44$
Rayon trajectoire (UA)	$r_b = ?$	$r_c = 7,27 \cdot 10^{-2}$	$r_d = 2,54 \cdot 10^{-1}$

- 2.1. Enoncer la troisième loi de Kepler, relative à la période de révolution de la planète autour de son étoile.

- 2.2. Calculer la valeur de la constante de proportionnalité intervenant dans cette loi en utilisant les données du tableau ci-dessus.
- 2.3. On utilisera le jour pour l'unité de temps et l'unité astronomique pour unité de distance.
- 2.4. Calculer, en unité astronomique, le rayon de la trajectoire de la planète B et en jours la période de la planète C.

Exercice 2 (extrait Bac C & E session normale 2009 Côte d'Ivoire)

La Terre est supposée sphérique, de rayon $R = 6400$ km. Elle tourne sur elle-même en 24 heures. On considère un satellite de la Terre, décrivant une trajectoire circulaire de centre O, à l'altitude Z. On donne : $g_0 = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$; $T_0 = 86\,400 \text{ s}$ (Période de la Terre).

1.
 - 1.1. Définir le référentiel d'étude du mouvement du satellite.
 - 1.2. Représenter sur un schéma la ou les force(s) appliquée(s) au satellite.
 - 1.3. Déterminer l'accélération du satellite en fonction de G, M_T , Z et R.
 - 1.4. Montrer que son mouvement est uniforme.
2. Exprimer en fonction de l'accélération de la pesanteur g_0 au niveau de la mer, de l'altitude Z et du rayon R de la Terre :
 - 2.1. l'accélération du satellite ;
 - 2.2. la vitesse du satellite ;
 - 2.3. la période du satellite.
3. L'orbite circulaire est dans le plan de l'équateur. Le satellite reste constamment au-dessus d'un point M de l'équateur. On dit qu'il est géostationnaire.
Calculer la valeur Z de l'altitude de ce satellite géostationnaire.

Exercice 3 (extrait Bac C & E session normale 1992 Côte d'Ivoire)

On considère dans un référentiel géocentrique, un satellite S de masse m gravitant autour de la Terre d'un mouvement uniforme sur une orbite supposée circulaire de rayon r et située dans le plan sensiblement équatorial.

- 1- En utilisant la loi d'attraction universelle, exprimer sa vitesse angulaire ω_S en fonction du paramètre r. On utilisera la valeur g_0 de l'intensité de la pesanteur sur la Terre supposée sphérique, de rayon R et de masse M.
- 2- Application numérique : Calculer ω_S ainsi que la période T_S avec les valeurs approchées suivantes : $R = 6,40 \cdot 10^6 \text{ m}$; $g_0 = 9,81 \text{ N/kg}$; $r = 3,85 \cdot 10^8 \text{ m}$ (les résultats avec trois chiffres significatifs).
- 3- Compte tenu de la vitesse angulaire de rotation de la terre sur elle-même, que l'on calculera, verra-t-on de la Terre le satellite S se déplacer vers l'EST ou vers l'OUEST ? Justifier la réponse.
- 4- Calculer l'accélération « a » subie par le satellite dans son mouvement orbital.
En déduire sa masse m si la valeur de la force attractive terrestre F vaut environ $2 \cdot 10^{20} \text{ N}$.

Exercice 4 (extrait Bac C & E session normale 2005 Côte d'Ivoire)

La Terre est assimilée à une sphère de rayon R_T et de masse M_T . Elle possède une répartition de masse à symétrie sphérique.

On suppose galiléen, le repère géocentrique dont l'origine coïncide avec le centre de la Terre et dont les axes ont une direction fixe par rapport aux étoiles.

1. Deux corps sphériques de masse m_1 et m_2 , dont les centres sont distants de r , exercent l'un sur l'autre des forces d'attraction ayant pour intensité : $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$.

G est la constante de gravitation universelle.

1.1.

- 1.1.1. Écrire l'expression de l'intensité F_0 de la force que la Terre exerce sur un corps ponctuel de masse $m = 1$ kg placé à sa surface.

1.1.2.

- a) Dédurre de la question 1.1.1, l'expression de la masse M_T de la Terre en fonction de g_0 , R_T et G .

- b) Calculer M_T .

On donne : $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ S.I. ; $g_0 = 9,8$ m.s⁻² ; $R_T = 6370$ km.

- 1.2. Montrer qu'à l'altitude h au-dessus de la Terre, l'intensité du champ de gravitation

est donnée par la relation : $g = g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$

g_0 est l'intensité du champ de gravitation terrestre au niveau du sol.

2. Un satellite assimilé à un point matériel décrit une orbite circulaire dont le centre est confondu avec celui de la Terre. Il est à l'altitude h .

- 2.1. Montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

- 2.2. Établir en fonction de g_0 , R_T et h , l'expression de :

2.2.1. la vitesse v du satellite ;

2.2.2. la période T du satellite ;

- 2.3. Calculer v et T .

- 2.4. On pose $r = R_T + h$.

- 2.4.1. Montrer que le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ est égal à une constante. C'est la 3^{ème} loi de Kepler.

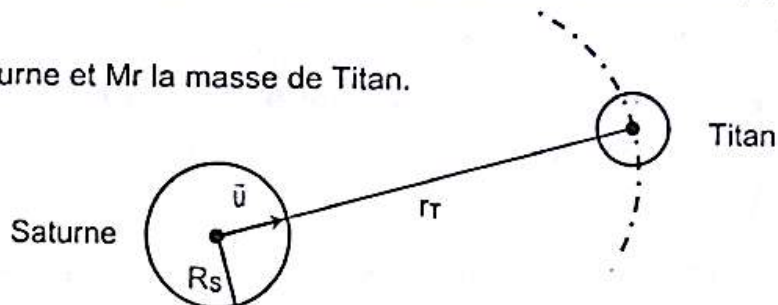
- 2.4.2. Exprimer le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ en fonction de M_T et G .

- 2.4.3. Calculer la masse M_T de la Terre. Cette valeur est-elle compatible avec celle de la question 1.1.2 ? On donne : $h = 300$ km.

Exercice 5 (extrait Bac C & E session normale 2013 Côte d'Ivoire)

Le 15 octobre 1997, le véhicule spatial CASSINI emportait à son bord la sonde HUYGENS destinée à l'exploration des anneaux de Saturne. Titan, le plus gros satellite de Saturne, a été découvert en 1655. On étudie le mouvement supposé circulaire de Titan dans le référentiel centré sur Saturne et dont les trois axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines supposées fixes.

On notera M_S la masse de Saturne et M_T la masse de Titan.



- 1- Reproduire le schéma ci-dessus et y représenter qualitativement la force gravitationnelle \vec{F} qui agit sur Titan.
- 2- Donner l'expression vectorielle de cette force.
- 3- Établir l'expression du vecteur-accélération du centre d'inertie de Titan sur son orbite et le représenter qualitativement sur le schéma précédent.
- 4- Montrer que le mouvement de Titan sur son orbite est uniforme.
- 5- Établir en fonction de G , M_S et r_T :
 - 5.1. l'expression de la vitesse V_T du centre d'inertie de Titan ;
 - 5.2. l'expression de la période de révolution T_T de Titan autour de Saturne.
- 6- Montrer qu'au cours de sa révolution autour de Saturne :

$$\frac{T_T^2}{r_T^3} = K = \text{constante} \quad (3^{\text{ème}} \text{ loi de Kepler})$$
- 7- En fait Saturne possède un cortège de satellites dont au moins 60 ont été identifiés à ce jour. Parmi eux, figurent Rhéa et Dioné découverts par Jean-Dominique Cassini respectivement en 1672 et 1684.
 - 7.1. Montrer que ces deux satellites vérifient la 3^{ème} loi de Kepler.
 - 7.2. En déduire la masse M_S de Saturne.

On donne :

- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I}$
- Rayon de l'orbite de Rhéa : $r_R = 527070 \text{ km}$
- Période de révolution de Rhéa autour de Saturne : $T_R = 4,518 \text{ jours soit } 390355 \text{ s}$
- Rayon de l'orbite de Dioné : $r_D = 377400 \text{ km}$
- Période de révolution de Dioné autour de Saturne : $T_D = 2,737 \text{ jours soit } 236477 \text{ s}$

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1. Expression puis calcul de la valeur de la force gravitationnelle $F_{T/B}$.

$$F_{T/B} = \frac{G \cdot M_T \cdot m}{R_T^2}$$

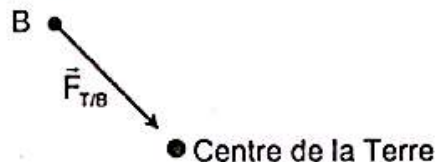
$$\text{Application numérique : } F_{T/B} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5,98 \cdot 10^{24} \times 0,816}{(6,38 \cdot 10^6)^2} = 8 \text{ N}$$

2. Représentation de la force que la Terre exerce sur la boule.

Soit x la longueur du vecteur :

$$x = \frac{F_{T/B}}{4} = \frac{8}{4} = 2 \text{ cm}$$

Donc la longueur du vecteur est de 2 cm.



3. Lien entre le poids de la boule sur Terre et cette force.

Le poids (noté P) est l'autre appellation de la force exercée par la terre sur un objet.

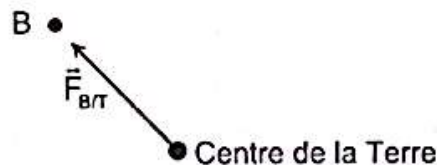
Déduisons la valeur de l'intensité de la pesanteur sur Terre.

$$\left. \begin{array}{l} \vec{P} = \vec{F}_{T/B} \Rightarrow P = F_{T/B} \\ \text{or } P = mg \end{array} \right\} \Rightarrow g = \frac{F_{T/B}}{m} = \frac{8}{0,816} = 9,80 \text{ N.kg}^{-1}$$

4. Représentation de la force que la boule exerce sur la Terre.

D'après le principe des interactions

le vecteur $\vec{F}_{T/B}$ et le vecteur $\vec{F}_{B/T}$ ont la même direction, des sens opposés et des longueurs identiques.

**Exercice 2**

- 1) Intensités des forces de gravitation F_T , F_L et F_s exercées par la Terre, la Lune et Soleil

➤ On suppose que :

- le satellite est pratiquement ponctuel par rapport à la Terre, la Lune ou le Soleil ;
- la Terre, la Lune et Soleil sont des objets sphériques dont la masse volumique ne dépend que de la distance à leur centre.

➤ La loi de Newton permet alors d'évaluer :

$$\bullet F_T = \frac{G \cdot m \cdot M_T}{(R+z)^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5 \cdot 10^3 \times 5,98 \cdot 10^{24}}{(6,38 \cdot 10^6 + 600 \cdot 10^3)^2} = 4,09 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$\bullet F_L = \frac{G \cdot m \cdot M_L}{(d_L^2)^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5 \cdot 10^3 \times 7,34 \cdot 10^{22}}{(3,77 \cdot 10^5 \times 10^3)^2} = 0,172 \text{ N}$$

$$\bullet F_s = \frac{G \cdot m \cdot M_s}{(d_s^2)^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5 \cdot 10^3 \times 1,98 \cdot 10^{30}}{(1,49 \cdot 10^8 \times 10^3)^2} = 29,7 \text{ N}$$

➤ Conclusion : les forces de gravitation \vec{F}_L et \vec{F}_s sont négligeables devant la force de gravitation terrestre. Il en est de même pour tous les objets au voisinage de la Terre.

2) Déterminons la distance d à laquelle on peut négliger la force de gravitation lunaire.

Lorsque le satellite est à la distance d du centre de la Terre, il est à la distance $(D - d)$ du centre de la Lune, alors $F_L = \frac{F_T}{1000}$

$$d'où \text{ on a : } F_T = \frac{G \cdot m \cdot M_L}{(D-d)^2} = \frac{G \cdot m \cdot M_T}{1000d^2} \Rightarrow 1000M_L d^2 = M_T (D-d)^2$$

On aboutit à l'équation du second degré en d : $(1000M_L - M_T)d^2 + 2M_T Dd - M_T D^2 = 0$

L'unique solution positive est $d = 8,53 \cdot 10^7 \text{ m} = 8,53 \cdot 10^4 \text{ km}$.

Ainsi jusqu'à l'altitude $(d - R) = 8,53 \cdot 10^4 - 6,38 \cdot 10^3 = 78\,920 \text{ km} \approx 79\,000 \text{ km}$.

On peut négliger au millième près la force de gravitation lunaire. En d'autres termes pour les satellites terrestres, seule la force de gravitation terrestre joue un rôle.

Exercice 3

1) Expression du champ de gravitation G de la Terre en fonction de G , M , R_T et z .

Soit G le champ de gravitation et G la constante de gravitation donc on a : $G = \frac{G \cdot M}{(R+z)^2}$

2) Montrons qu'à l'altitude z le champ de gravitation G est donné par : $G = g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2}$

$$g_0 = \frac{G \cdot M}{R_T^2} \Rightarrow G = \frac{G \cdot M}{R_T^2} \times \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2} = g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2}$$

3)

a) Montrons que le mouvement du satellite est uniforme.

Système : satellite de masse m

Référentiel géocentrique supposé galiléen

Appliquons le théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{g} = \vec{a}$

$$\vec{a} \begin{pmatrix} a_t = \frac{dv}{dt} \\ a_n = \frac{v^2}{r} \end{pmatrix} \text{ or } \vec{G} \begin{pmatrix} G_t = 0 \\ G_n = g \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} \frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = \text{cste} \Rightarrow \text{mouvement uniforme} \\ \frac{v^2}{r} = G \Rightarrow v = \sqrt{Gr} \end{cases}$$

b) Expression de la vitesse en fonction de g_0 du rayon de la Terre R_T , et de l'altitude z

$$v = \sqrt{Gr} = \sqrt{G(R_T + z)} = \sqrt{g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2} (R_T + z)} = R_T \sqrt{\frac{g_0}{R_T + z}}$$

$$\text{Application numérique : } v = 6,38 \cdot 10^6 \times \sqrt{\frac{9,8}{6,38 \cdot 10^6 + 10^6}} = 7,35 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

c) Période de révolution du satellite

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(R_T + z)}{v} = \frac{2\pi(R_T + z)}{R_T} \sqrt{\frac{R_T + z}{g_0}} = \frac{2\pi}{R_T} \sqrt{\frac{(R_T + z)^3}{g_0}}$$

$$\text{Application numérique : } T = \frac{2 \times \pi}{6,38 \cdot 10^6} \sqrt{\frac{(6,38 \cdot 10^6 + 10^6)^3}{9,8}} = 6307 \text{ s}$$

4)

a) Période du satellite géostationnaire

C'est la période de la rotation de la Terre : $T = 24 \text{ h}$ b) Expression de l'altitude en fonction de la période T , du champ g_0 et du rayon R_T

$$T = \frac{2\pi}{R_T} \sqrt{\frac{(R_T + z)^3}{g_0}} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{R_T^2} \times \frac{(R_T + z)^3}{g_0} \Rightarrow \frac{T^2 R_T^2 g_0}{4\pi^2} = (R_T + z)^3$$

$$\Rightarrow R_T + z = \sqrt[3]{\frac{T^2 R_T^2 g_0}{4\pi^2}} \Rightarrow z = \sqrt[3]{\frac{T^2 R_T^2 g_0}{4\pi^2}} - R_T$$

$$\text{Application numérique : } z = \sqrt[3]{\frac{(24 \times 3600)^2 \times (6,38 \cdot 10^6)^2 \times 9,8}{4 \times \pi^2}} - 6,38 \cdot 10^6 \approx 3,6 \cdot 10^7 \text{ m}$$

Exercice 41) Calcul du rapport $\frac{T^2}{r^3}$ pour chacun des satellites

	Satellite n°1 (Météosat)	Satellite n°2 (Spot)
Période T (min)	$1,43 \cdot 10^3$	101
Rayon de l'orbite r (km)	$4,21 \cdot 10^4$	$7,20 \cdot 10^3$
$\frac{T^2}{r^3}$	$9,86 \cdot 10^{-14}$	$9,84 \cdot 10^{-14}$

Remarque :

il faut d'abord convertir la période en seconde (1 min = 60 s) et le rayon en mètre

(1 km = 10^3 m) avant de faire le rapport $\frac{T^2}{r^3}$.On constate que le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ est pratiquement constant $\left(\frac{T^2}{r^3} \approx 9,85 \cdot 10^{-14} \text{ S.I.} \right)$

2) Mouvement du satellite

Système : satellite de masse m

Référentiel géocentrique supposé galiléen

Appliquons le théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{g} = \vec{a}$

$$\vec{a} \begin{pmatrix} a_t = \frac{dv}{dt} \\ a_n = \frac{v^2}{r} \end{pmatrix} \text{ or } \vec{g} \begin{pmatrix} g_t = 0 \\ g_n = g \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} \frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = \text{cste} \Rightarrow \text{mouvement uniforme} \\ \frac{v^2}{r} = g \Rightarrow v = \sqrt{gr} = \sqrt{\frac{G.M}{r^2} r} = \sqrt{\frac{G.M}{r}} \end{cases}$$

3) Montrons que le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ peut s'écrire sous la forme $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$

$$T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi r \sqrt{\frac{r}{G.M}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2 r^2 \frac{r}{G.M} = \frac{4\pi^2 r^3}{G.M} \Rightarrow \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G.M}$$

Nom de la loi : c'est la loi de Kepler.

4) Masse de la Terre

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G.M} \Rightarrow M = \frac{4\pi^2}{G} \times \frac{r^3}{T^2}$$

$$\text{Application numérique : } M = \frac{4 \times \pi^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} \times \frac{1}{9,85 \cdot 10^{-14}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Exercice 5 (extrait Bac C & E session normale 2003 Côte d'Ivoire)

1. Les planètes du système solaire tournent autour du soleil sur des orbites circulaires.

1.1. Ce que représente G, m_1 , m_2 et d_{12} dans la formule (1).

$$\text{Dans la formule } F = \frac{Gm_1m_2}{d_{12}^2},$$

- G représente la constante de gravitation universelle
- m_1 représente la masse du satellite ou du soleil
- m_2 représente la masse du satellite ou du soleil
- d_{12} représente le rayon de l'orbite

1.2. Le référentiel utilisé pour fournir les données du tableau (A)

C'est le référentiel de Copernic ou héliocentrique.

1.3. Expression de la période T_T du mouvement de la terre en fonction de G, M_s et R_T .

$$F = \frac{GM_T M_s}{R_T^2} = \frac{M_T}{R_T} v^2 \text{ avec } v^2 = \frac{GM_s}{R_T}$$

$$\text{Par définition, } T_T = \frac{2\pi R_T}{v} \Rightarrow T_T = 2\pi \sqrt{\frac{R_T^3}{GM_s}}$$

1.4. Calcul de la valeur du rapport $\frac{T_T^2}{R_T^3}$.

$$\frac{T_T^2}{R_T^3} = \frac{(365 \times 24 \times 3600)^2}{(150 \cdot 10^9)^3} \Rightarrow \frac{T_T^2}{R_T^3} = 2,95 \cdot 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$$

1.5. Expression de la période T_J du mouvement de Jupiter fonction de G, M_s et R_J .

$$\text{Par analogie du résultat du 1.3 on a : } T_J = \frac{2\pi R_J}{v} \Rightarrow T_J = 2\pi \sqrt{\frac{R_J^3}{GM_s}}$$

1.6. En déduire la valeur de R_J .

$$T_T = 2\pi \sqrt{\frac{R_T^3}{GM_s}} \Rightarrow T_T^2 = 4\pi^2 \times \frac{R_T^3}{GM_s} = \frac{4\pi^2 R_T^3}{GM_s} \Rightarrow \frac{T_T^2}{R_T^3} = \frac{4\pi^2}{GM_s} = \text{constante}$$

$$\Rightarrow \frac{T_T^2}{R_T^3} = \frac{T_J^2}{R_J^3} \Rightarrow R_J = R_T^3 \sqrt{\frac{T_J^2}{T_T^2}} \Rightarrow R_J = 7,8 \cdot 10^{11} \text{ m.}$$

2.

2.1. Référentiel utilisé pour fournir les données du tableau (B)

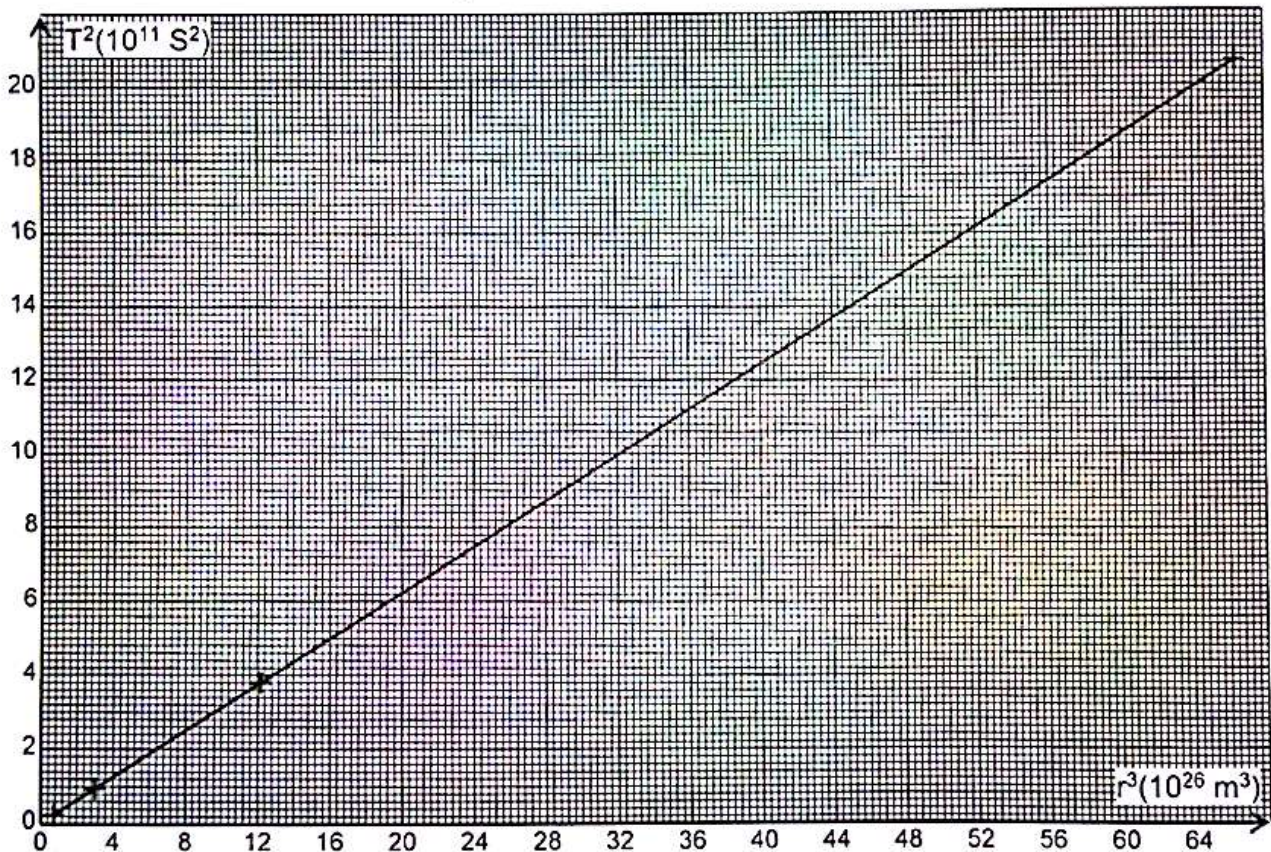
C'est le référentiel centré sur Jupiter.

2.2. Expression littérale de la période d'un satellite en fonction de G , M_J et r .

Par analogie avec les calculs précédents on a : $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_J}}$.

2.3. Graphe donnant les variations de T^2 en fonction de r^3 .

Échelle : 1 cm \rightarrow $2 \cdot 10^{11}$ S² ; 1 cm \rightarrow $4 \cdot 10^{26}$ m³.



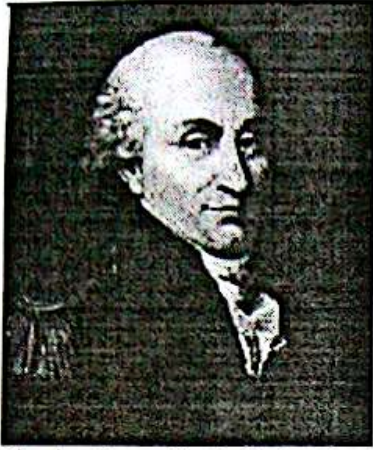
2.4. Utilisons le graphe pour calculer la masse de Jupiter.

On obtient une droite passant par l'origine dont l'équation est de la forme $T^2 = kr^3$, avec k comme coefficient directeur.

$$\text{On a, } k = \frac{\Delta T^2}{\Delta r^3} = \frac{(20,94 - 0,23) \cdot 10^{11}}{(6,4 - 0,74) \cdot 10^{26}} = 3,1 \cdot 10^{-16} \text{ S.I.}$$

$$\text{Or } \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_J} \Rightarrow M_J = \frac{4\pi^2}{G} \times \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G} \times \frac{1}{k}$$

$$\text{Application numérique : } M_J = \frac{4 \times \pi^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} \times \frac{1}{3,1 \cdot 10^{-16}} \Rightarrow M_J = 1,9 \cdot 10^{27} \text{ kg .}$$



Charles Augustin de Coulomb
(1736 - 1806)

Officier, Ingénieur et Physicien Français

Il est surtout connu pour les expériences historiques qu'il réalisa à l'aide d'une balance de torsion pour déterminer la force qui s'exerce entre deux charges électriques (loi portant son nom).

Son nom fût également donné à l'unité de charge électrique, le coulomb (C).

MOUVEMENT DANS UN CHAMP UNIFORME

Objectif spécifique

- Déterminer les équations du mouvement d'un solide dans un champ de pesanteur.
- Déterminer le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme

RAPPEL DE COURS

1. Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

1.1) Chute libre rectiligne

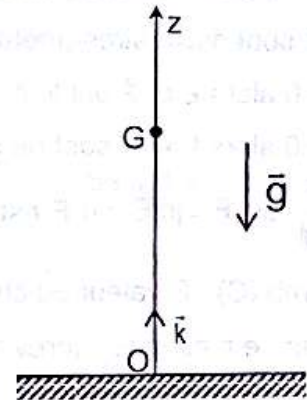
a) Sans vitesse initiale ($v_0 = 0$)

$$\vec{a} = \vec{g} \Rightarrow a_z = -g \quad v_z = -gt \Rightarrow z = -\frac{1}{2}gt^2 + z_0$$

a) Avec vitesse initiale ($v_0 \neq 0$)

$$a = -g \Rightarrow v = -gt + v_0$$

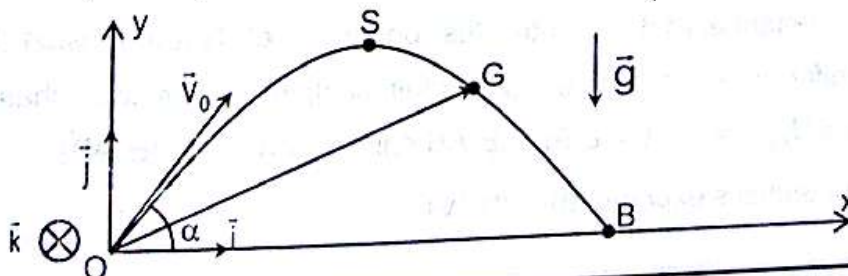
$$z = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + z_0$$



1.2) Chute libre parabolique

$$\vec{P} = m\vec{a}_G \text{ or } \vec{P} = m\vec{g} \text{ d'où } \vec{a}_G = \vec{a} = \vec{g} = -g\vec{j} \Rightarrow \vec{a} \begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \\ \ddot{z} = 0 \end{cases}$$

$$\vec{v}_0 \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y}_0 = v_0 \sin \alpha \\ \dot{z}_0 = 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y} = -gt + v_0 \sin \alpha \\ \dot{z} = 0 \end{pmatrix} ; \vec{OG} \begin{pmatrix} x = v_0 t \cos \alpha \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \alpha \\ z = 0 \end{pmatrix}$$



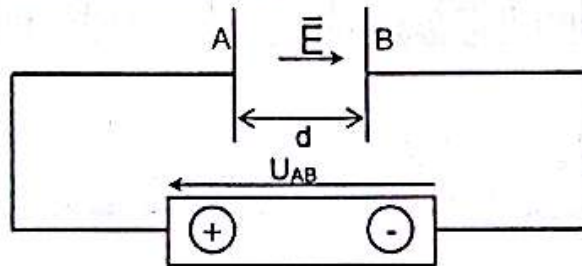
Edition 2017

- Équation cartésienne : $t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y = -\frac{g}{2v_0^2(\cos \alpha)^2} x^2 + x \tan \alpha$
- Flèche : $v_s = 0 \Rightarrow t_s = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \Rightarrow y_s = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$
- Portée horizontale : $y_B = 0 \Rightarrow x_B = OB = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

2. Mouvement d'une particule chargée dans un champ \vec{E} uniforme

2.1) Champ électrostatique uniforme

a. Définition



Une charge q , en mouvement dans un champ électrostatique uniforme \vec{E} , est soumise à une force électrostatique constante \vec{F} telle que $\vec{F} = q\vec{E}$ ou $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

b. Conséquences

- \vec{E} et \vec{F} sont colinéaires (même direction).
- si $q > 0$ alors \vec{E} et \vec{F} ont le même sens.
- si $q < 0$ alors \vec{E} et \vec{F} sont de sens contraires.
- $E = \frac{F}{|q|}$ ou $F = |q|E$ où F est la valeur de la force en newton (N) ; q la charge électrique en coulomb (C) ; E valeur du champ électrique en volt par mètre (V/m).

Remarque : e n'est pas l'abréviation d'électron mais la charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

c. Caractéristiques du champ électrostatique

- direction : perpendiculaires aux plaques ;
- sens : celui des potentiels décroissants (ou de la plaque positive à la plaque négative) ;
- valeur : $E = \frac{|U_{AB}|}{d}$ où U_{AB} la tension entre les plaques (en V) ; d la distance entre les plaques (en m) ; E valeur du champ électrostatique (en V/m).

d. Différence de potentiel

La différence de potentiel (d.d.p.) entre les points A et B (ou tension U_{AB}) d'un champ électrostatique uniforme \vec{E} est égale au produit scalaire du vecteur champ par le vecteur déplacement \vec{AB} : $U_{AB} = V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB} = E \cdot AB \cdot \cos \alpha$ où $\alpha = (\vec{E}, \vec{AB})$.

La différence de potentiel s'exprime en volts (V).

e. Travail de la force électrostatique

Le travail de la force électrostatique \vec{F} lors d'un déplacement quelconque d'un point A à un point B, est égale au produit scalaire du vecteur force \vec{F} par le vecteur déplacement \overline{AB} .

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB} = q\vec{E} \cdot \overline{AB} = q(V_A - V_B) = qU_{AB}; \text{ le travail s'exprime en joule (J).}$$

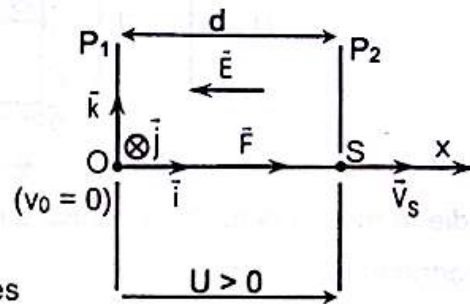
Remarque : le travail peut aussi s'exprimer en électronvolt (eV) : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

2.2) Étude du mouvement

a) Accélération de particules : vitesse initiale nulle ($v_0 = 0$)

Le dispositif est un condensateur plan chargé : deux armatures planes, parallèles et distantes de d , entre lesquelles on applique une tension U .

Des particules sont produites à la date $t = 0$, avec une vitesse négligeable, en O au voisinage de l'armature P_1 de même signe. Elles sont repoussées par cette armature et attirées par l'armature P_2 (voir figure ci-contre).



Elles sont repoussées par cette armature et attirées par l'armature P_2 (voir figure ci-contre).

Nous déterminons leur mouvement dans le repère orthonormé $(O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ lié au référentiel terrestre supposé galiléen.

Le poids étant négligeable devant la force électrique, le vecteur accélération des particules est :

$$\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q\vec{E}}{m} = -\frac{qE}{m}\vec{i}$$

- **Coordonnées des vecteurs accélération, vitesse initiale et position initiale ($t = 0$) :**

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = \ddot{x} = -\frac{qE}{m} \\ a_y = \ddot{y} = 0 \\ a_z = \ddot{z} = 0 \end{cases}; \vec{v}_0 \begin{cases} v_{x_0} = \dot{x}_0 = 0 \\ v_{y_0} = \dot{y}_0 = 0 \\ v_{z_0} = \dot{z}_0 = 0 \end{cases}; \overline{OM}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases}$$

- **Coordonnées des vecteurs vitesse et position à un instant quelconque ($t \neq 0$) :**

$$\vec{v} \begin{cases} v_x = \dot{x} = -\frac{qE}{m}t \\ v_y = \dot{y} = 0 \\ v_z = \dot{z} = 0 \end{cases}; \overline{OM} \begin{cases} x = -\frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 \\ y = 0 \\ z = 0 \end{cases}$$

➤ Puisque d'une part : $a_y = 0$ et $v_{y0} = 0$, et d'autre part $a_z = 0$ et $v_{z0} = 0$, il n'y a pas de mouvement sur les axes \overline{Oy} et \overline{Oz} et le mouvement s'effectue suivant l'axe \overline{Ox} .

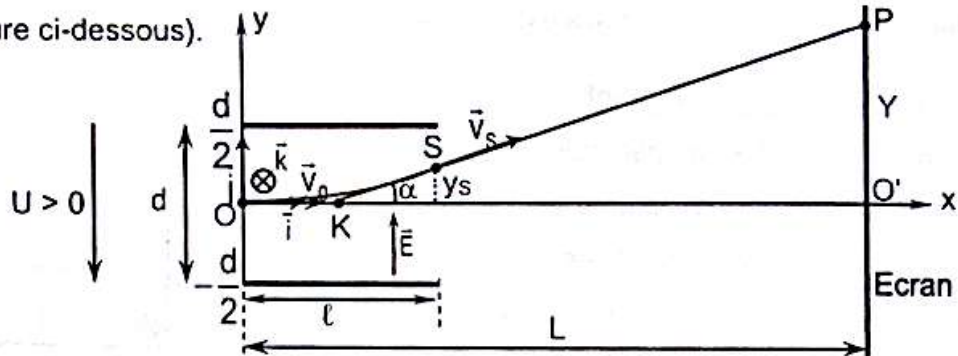
➤ Sur l'axe \overline{Ox} , l'accélération est constante et le mouvement est uniformément varié,

ses équations horaires s'écrivent : $\ddot{x} = -\frac{qE}{m}$; $\dot{x} = -\frac{qE}{m}t$; $x = -\frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2$.

b) Déviation d'un faisceau de particules : vitesse initiale non nulle ($v_0 \neq 0$).

On dévie un faisceau de particules grâce à un condensateur plan chargé sous la tension U .

Soit une particule de charge q et de masse m arrivant dans le champ électrique uniforme \vec{E} en O , à la date $t=0$, avec le vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 perpendiculaire au vecteur champ électrique \vec{E} (voir figure ci-dessous).



On étudie le mouvement de la particule dans le référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère orthonormé $(O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

L'accélération est calculée comme précédemment : $\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} = \frac{qE}{m} \vec{j}$

- Coordonnées des vecteurs accélération, vitesse initiale et position initiale ($t = 0$) :

$$\vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = \frac{qE}{m} \\ \ddot{z} = 0 \end{pmatrix} ; \vec{v}_0 \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_0 \\ \dot{y}_0 = 0 \\ \dot{z}_0 = 0 \end{pmatrix} ; \overline{OM}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases}$$

- Coordonnées des vecteurs vitesse et position à un instant quelconque ($t \neq 0$) :

$$\vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = v_0 \\ \dot{y} = \frac{qE}{m}t \\ \dot{z} = 0 \end{pmatrix} ; \overline{OG} \begin{pmatrix} x = v_0t \\ y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m}t^2 \\ z = 0 \end{pmatrix}$$

➤ Sur l'axe \overline{Oz} : $a_z = 0$ et $v_{z0} = 0$; il n'y a donc pas de mouvement suivant \overline{Oz} et le mouvement est plan, il s'effectue dans le plan de la figure, c'est-à-dire (Ox, Oy) .

➤ Sur l'axe \overline{Ox} , l'accélération est nulle et le mouvement est uniforme.

➤ Sur l'axe \overline{Oy} , l'accélération est constante et le mouvement est uniformément varié.

- Équation cartésienne de la trajectoire : $t = \frac{x}{v_0} \Rightarrow y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = \frac{1}{2} \frac{qU}{mdv_0^2} x^2$

• Déflexion électrostatique

$$\tan \alpha = \frac{O'P}{O'K} = \frac{Y}{L - \frac{\ell}{2}} = \frac{y_s}{\frac{\ell}{2}} \Rightarrow Y = 2 \times \left(L - \frac{\ell}{2}\right) \times \frac{y_s}{\ell} = \left(L - \frac{\ell}{2}\right) \times \frac{qU\ell}{mdv_0^2} \text{ où } y_s = \frac{qUx_s^2}{2mdv_0^2} = \frac{qU\ell^2}{2mdv_0^2}$$

NB : pour que la particule puisse sortir des plaques il faut que : $y_s < \frac{d}{2} \Rightarrow \frac{qU\ell^2}{2mdv_0^2} < \frac{d}{2}$

Au delà du point de sortie S , le mouvement des particules est rectiligne uniforme.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1 (extrait Bac série C session 2007 Cameroun) Etude d'un "corner" au football
 Dans un match de football, on parle de corner au bénéfice de l'équipe adverse lorsqu'un joueur met le ballon hors de son camp par la largeur du stade passant par la ligne de ses buts. Le joueur adverse Sorel pose alors le ballon (B) au point de corner. A l'aide du pied, il propulse (B) qui démarre avec une vitesse \vec{V}_0 contenue dans un plan vertical parallèle à la ligne des buts. Elle fait avec l'horizontale du point de départ un angle $\alpha = 45^\circ$.
 La situation est décrite par la figure ci-dessous. Prendre $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

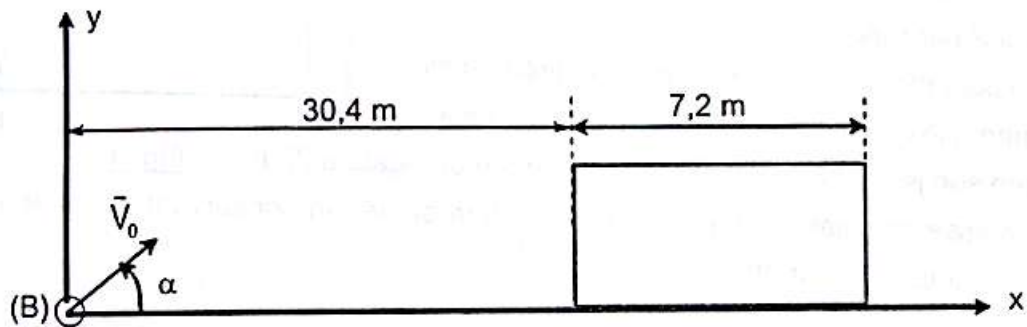


Figure : Tir de corner au football

- Établir l'équation cartésienne de la trajectoire du centre d'inertie du ballon.
 L'origine du repère d'espace sera prise à la position de départ et celle des dates à l'instant de départ. On négligera la résistance de l'air.
- Déterminer l'expression de la hauteur maximum H_{\max} atteinte par le ballon en fonction du module V_0 de la vitesse initiale du ballon.
- Déterminer l'expression de la portée X du ballon en fonction du module V_0 de la vitesse initiale du ballon.
- On appelle premier poteau de la cage des buts, pour le gardien, le poteau qui est le plus proche du ballon avant son départ. Le second poteau, est le plus éloigné. Le corner sera dit réussi par le tireur si le ballon tombe entre le premier et le deuxième poteau.
 Déterminer un encadrement de V_0 pour que le corner soit réussi.
 Le premier poteau est situé à 30,4 m du point de corner et la largeur des buts est de 7,2 m.

Exercice 2 (extrait Bac série D 2nd groupe session 2014 NIGER)
 Dans une compétition de lancer de poids, un athlète lance une boule métallique (ou boulet) avec une vitesse initiale \vec{V}_0 faisant un angle α avec l'horizontale, d'un point I situé à une altitude H du point O au sol (voir Fig. 1). Le mouvement de la boule est étudié dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen. On définit le repère d'espace (O, x, y) où Ox est un axe terrestre considéré comme galiléen. On définit le repère d'espace (O, x, y) où Ox est un axe horizontal au niveau du sol et Oy un axe vertical ascendant. L'origine du temps correspond à l'instant du lancer de la boule au point I. On néglige la résistance de l'air.

- Etablir les expressions des composantes V_x et V_y du vecteur-vitesse instantanée $\vec{v}(t)$.
- Déduire les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de la boule.

- 3) a) Exprimer l'équation de la trajectoire du mouvement.
 b) Quelle est sa nature ?

- 4) La boule est lancée avec une vitesse initiale $v_0 = 12 \text{ m.s}^{-1}$ d'une altitude $H = 2,5 \text{ m}$ et l'angle α vaut 40° . On donne $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$. Déterminer :
 a) l'altitude maximale à laquelle se trouvera la boule ;
 b) la distance à laquelle se trouve le point d'impact au sol P par rapport à l'origine O.

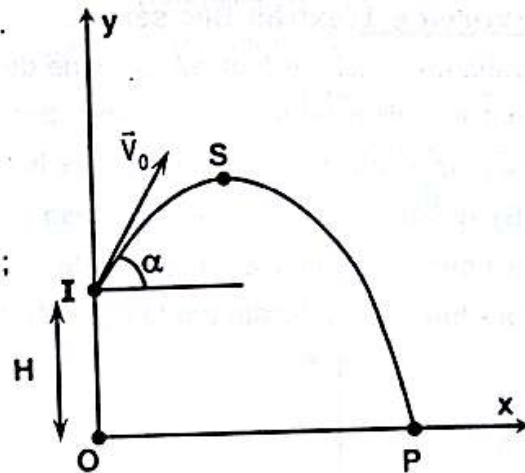


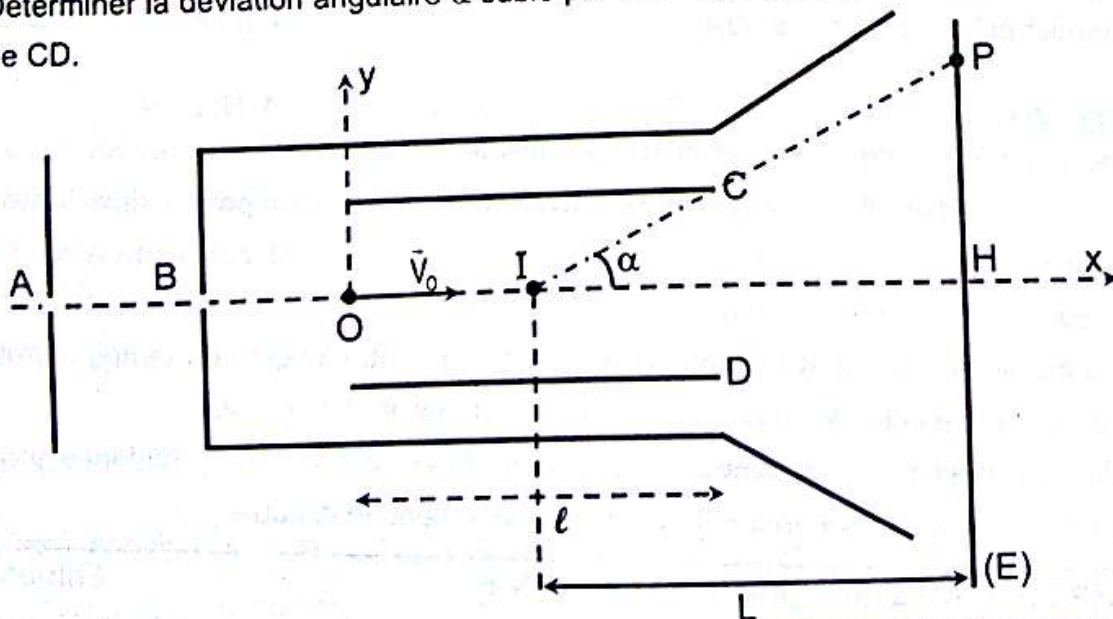
Fig. 1

- 5) L'athlète peut monter sur le podium des cérémonies s'il est parmi les trois meilleurs lanceurs. Pour cela, il faut que son jet soit à une distance supérieure ou égale à 20 m. Quelle vitesse minimale doit-il communiquer à la boule, en conservant le même angle α et la même altitude H, pour être sur le podium ?

Exercice 3

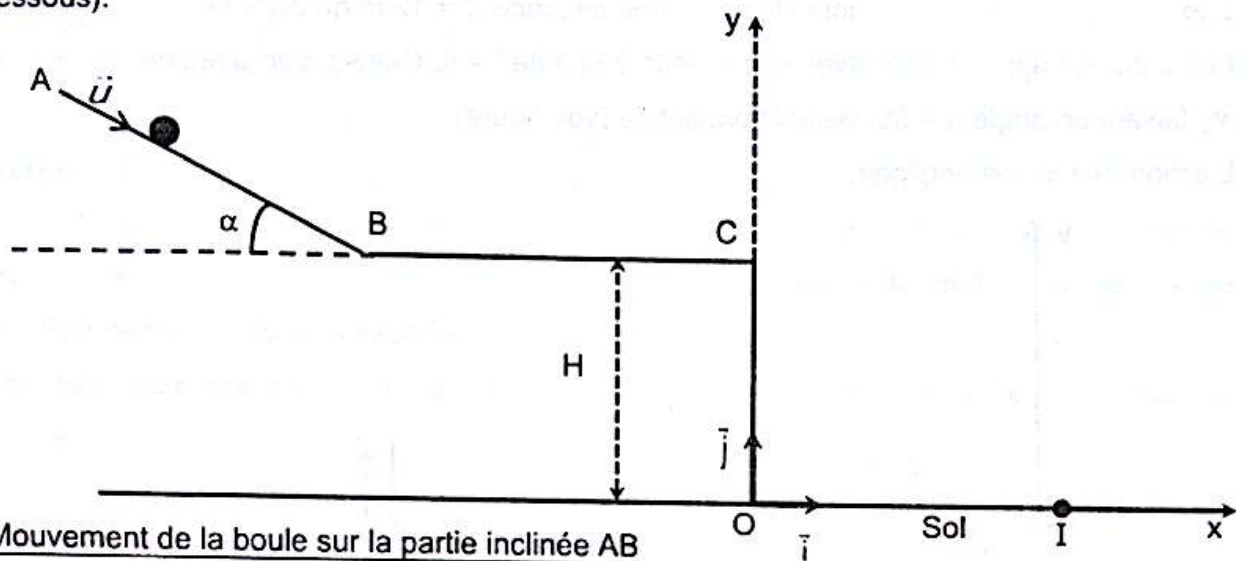
Un noyau d'hélium (${}^4\text{He}^{2+}$) sort d'une source, pratiquement sans vitesse par l'ouverture A. Il est soumis à l'action d'une tension accélératrice U_0 .

- Quelle est la vitesse V_B lorsqu'il passe dans l'ouverture B ?
 On donne : $m_{\text{He}} = 6,65 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $U_0 = 1,04 \cdot 10^4 \text{ V}$.
 La distance séparant les deux électrodes A et B est $d = 2 \text{ cm}$.
- Quel est le temps mis par le noyau d'hélium pour aller de A à B ? (\vec{E} est uniforme).
- Sortant de B, le noyau arrive en O entre C et D, de longueur ℓ , séparées de d' .
 $V_D - V_C = U > 0$. Déterminer l'équation de la trajectoire du noyau entre C et D.
- Un écran luminescent (E) est placé perpendiculairement à l'axe OX, à la distance L du milieu I du condensateur CD. Déterminer l'ordonnée Y sur l'axe OY du point d'impact du noyau sur l'écran (E). On donne : $V_0 = 10^6 \text{ m/s}$; $U = 5000 \text{ V}$; $\ell = d' = 10 \text{ cm}$; $L = 20 \text{ cm}$.
- Déterminer la déviation angulaire α subie par He^{2+} lors de la traversée du champ électrique de CD.



Exercice 4 (extrait Bac Blanc Régional série D 2016 D.R.E.N. Abidjan 3 C.I.)

Une boule de masse m assimilable à un point matériel se déplace sur le trajet ABC et au-delà de C dépourvue de tous frottements. La partie ABC est située dans un plan vertical. (Voir figure ci-dessous).

1) Mouvement de la boule sur la partie inclinée AB

La bille part de A sans vitesse initiale.

1-1) Faire le bilan des forces extérieures agissant sur la boule et les représenter qualitativement.

1-2) Énoncer le théorème du centre d'inertie.

1-3) Établir l'expression de la valeur algébrique a_u de l'accélération en fonction de g et de α .

1-4) Établir l'expression de la vitesse V_B de la boule au point B en fonction de g , L et α .

1-5) Calculer V_B .

2) Mouvement de la boule sur la partie horizontale BC

La boule aborde la partie horizontale BC avec la vitesse \vec{V}_B

2-1) Préciser la nature du mouvement de la boule sur cette partie.

2-2) Comparer alors à V_B , la valeur V_C de la vitesse au point C.

3) Mouvement de la boule au-delà du point C, dans le champ de pesanteur uniforme.

À l'instant $t = 0$, la boule quitte le point C avec un vecteur-vitesse \vec{V}_C horizontal de valeur $V_C = 2 \text{ m/s}$ et atterrit en un point I sur le sol.

3-1) Déterminer dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de la boule.

3-2) Établir l'équation cartésienne de la trajectoire de la boule et préciser sa nature.

3-3) Déterminer les coordonnées du point d'impact I de la boule sur le sol.

3-4) Déduire la durée de chute Δt .

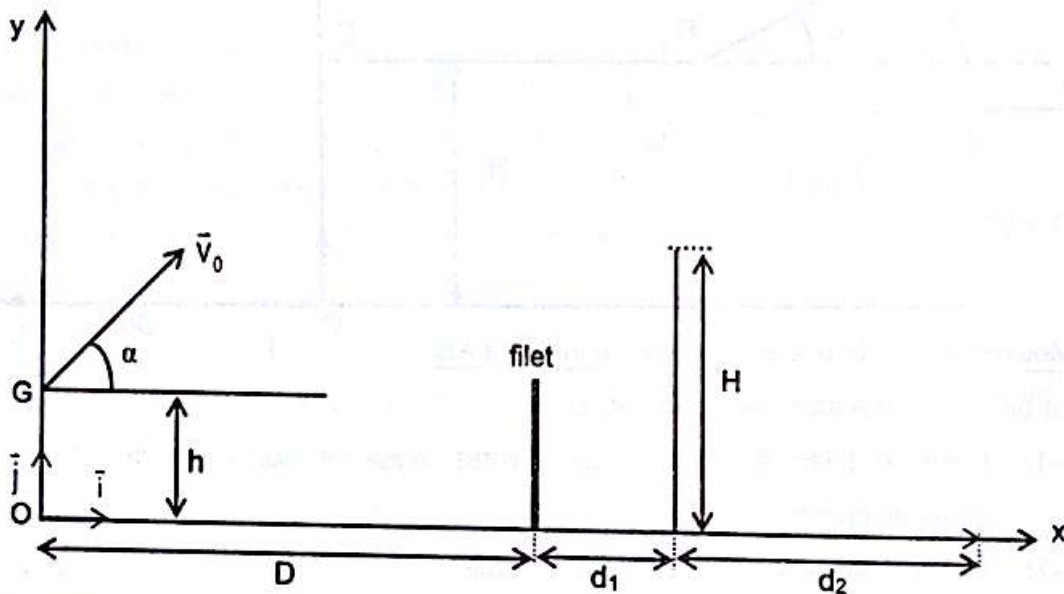
Données : $g = 10 \text{ m/s}^2$; $AB = L = 80 \text{ cm}$, $H = 110 \text{ cm}$, $\sin \alpha = 0,25$.

Exercice 5 : (extrait Bac C & E Session normale 2008 Côte d'Ivoire)

Au cours d'une compétition de tennis, deux joueurs A et B s'affrontent. Le joueur A, voyant son adversaire avancer, décide de le loper. Le centre d'inertie G de la balle de masse m est à une hauteur $h = 0,50$ m du sol et le filet à une distance $D = 12$ m du point O.

Le joueur A frappe la balle avec sa raquette à la date $t = 0$. Celle-ci part avec un vecteur vitesse \vec{v}_0 faisant un angle $\alpha = 60^\circ$ avec l'horizontale (voir figure).

L'action de l'air est négligée.



On donne : $v_0 = 14 \text{ m.s}^{-1}$; $g = 9,80 \text{ m.s}^{-2}$

1. Déterminer dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) :
 - 1.1. les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de G en fonction de g , v_0 , α , h et t ;
 - 1.2. l'équation cartésienne de la trajectoire du centre d'inertie G de la balle ;
 - 1.3. vérifier que cette équation s'écrit : $y = -0,10x^2 + 1,73x + 0,50$.
2. Le joueur B, se trouvant à une distance $d_1 = 2$ m derrière le filet tente d'arrêter la balle en levant verticalement sa raquette, à une hauteur $H = 3$ m.
Montrer que le joueur B ne peut intercepter la balle.
3. La balle tombe au point C situé sur l'axe Ox.
Calculer la distance OC.
4. La distance séparant le joueur B et la ligne de fond est $d_2 = 10$ m.
 - 4.1. La balle tombe-t-elle dans la surface de jeu ?
 - 4.2. Déterminer :
 - 4.2.1. la vitesse avec laquelle la balle arrive au point C ;
 - 4.2.2. le temps mis par la balle pour atteindre le point C.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** : La catapulte

Un jouet permet de catapulter des pierres. Les pierres sont éjectées d'un point O avec une vitesse initiale \vec{v}_0 faisant un angle α avec le plan horizontal. Elles retombent 2 m plus loin au bout de 1 s sur le même plan horizontal passant par O. Déterminez la valeur de l'angle α .

Exercice 2 : Chute de pierres

Jean étudie la chute de deux pierres : il laisse tomber la première du haut d'un immeuble de hauteur h égale à 20 m sans vitesse initiale et mesure la durée de la chute. Il lance ensuite la deuxième pierre avec une vitesse initiale horizontale \vec{v}_0 .

1) Envisager deux repères : origine au pied de l'immeuble et origine au point de lancement des pierres.

Établir les équations horaires de chacune des deux pierres dans chacun des deux repères.

2) Déterminer la durée de chute de chacune des pierres. Dépend-elle du repère ?

3) Aurait-on obtenu la même durée de chute si la vitesse initiale \vec{v}_0 n'avait pas été horizontale?

Exercice 3 : Feu d'artifice

Deux fusées A et B sont tirées simultanément à partir du sol. La fusée A part du point O, origine du repère (O, \vec{i}, \vec{j}) à l'instant $t = 0$, avec la vitesse initiale \vec{v}_0 située dans un plan vertical Oxy et faisant un angle α avec l'axe horizontal. La fusée B est tirée du point P avec une vitesse verticale \vec{v}_1 . On donne : $v_0 = 40$ m/s ; $v_1 = 42$ m/s.

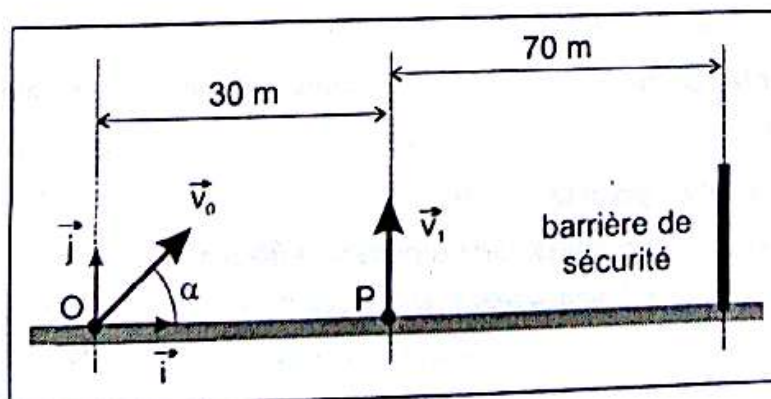
1) Etablir les équations horaires de chacune des deux fusées dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) .

2) Les deux fusées explosent au bout de 5 s.

Déterminer α pour que l'explosion de la fusée A ait lieu à la verticale du point P.

3) Déterminer la distance qui sépare les deux fusées au moment de l'explosion ?

4) Si la fusée A n'explose pas, à quelle distance du point O retombe-t-elle ? La barrière de sécurité étant disposée comme sur la figure, les spectateurs sont-ils en sécurité ? Justifier.



Exercice 4 : (extrait Bac D session normale 2009 Côte d'Ivoire)

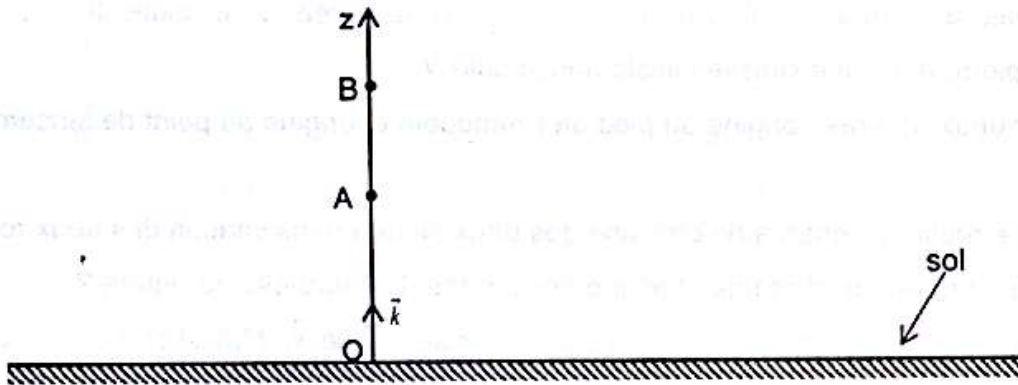
Le jeu de Volley-ball

Les parties I et II sont indépendantes. On prendra $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

Au cours d'un match de volley-ball, un joueur effectue le service. Le service est réussi si la balle passe au dessus du filet et tombe à moins de 9 m derrière celui-ci.

I. Première phase

Le joueur lance la balle verticalement vers le haut d'un point A situé à une hauteur $h_A = 1,80 \text{ m}$ du sol. La balle atteint le sommet de trajectoire au point B tel que $h_B = OB = 3,10 \text{ m}$ (voir figure).

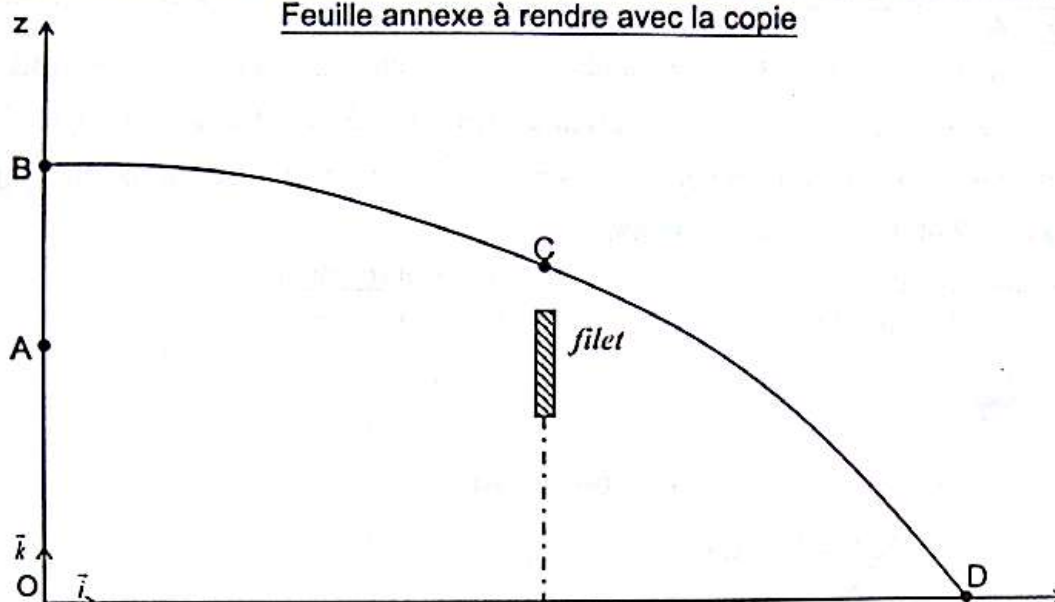


- Déterminer la vitesse v_A avec laquelle la balle a été lancée en A.
- Établir l'expression de la vitesse $v(t)$ du centre d'inertie G de la balle dans le repère (O, \vec{k}) .
- Déterminer la durée du trajet AB.

II. Deuxième phase

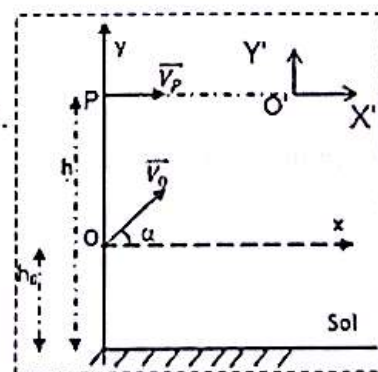
Il frappe la balle quand celle-ci est au point B et lui communique une vitesse horizontale.

- Établir les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du mouvement de G dans le repère (O, \vec{i}, \vec{k}) (voir feuille annexe). En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire. L'instant où la balle quitte le point B est choisi comme origine des dates.
- La balle passe par le point C de coordonnées $x_C = 9,3 \text{ m}$ et $z_C = 2,5 \text{ m}$, situé à la verticale du filet.
 - Exprimer la vitesse en fonction de g , x_C , z_C et z_B .
 - Représenter sur la courbe en annexe les vecteurs vitesse \vec{V}_0 et \vec{V}_C selon une échelle de votre choix.
- La balle tombe sur le sol au point D.
 - Calculer l'abscisse x_D du point D. On prendra $v_0 = 26,6 \text{ m.s}^{-1}$.
 - Le service est-il réussi ? Justifier votre réponse.

**Exercice 5** (extrait Bac séries S2-S2A-S4-S5 session 2016 Sénégal)

Les mobiles sont assimilés à des points matériels. Leurs mouvements sont étudiés dans le plan vertical rapporté au repère (Ox, Oy) . Pour mettre en pratique une partie de ses connaissances un élève de terminale S se comporte comme un chasseur. Il cherche alors à atteindre, avec une flèche, un pigeon en mouvement rectiligne, horizontal. Le pigeon de masse $m_p = 400 \text{ g}$ est à une altitude h du sol et se déplace avec une vitesse constante de module $V_p = 12,6 \text{ ms}^{-1}$. A un instant $t_0 = 0$, le pigeon passe par un point P situé à la verticale du chasseur. Au même instant le chasseur lui envoie une flèche avec une vitesse initiale \vec{V}_0 faisant un angle $\alpha = 45^\circ$ avec l'horizontale. La flèche a une masse $m_f = 50 \text{ g}$. La pointe de la flèche est partie d'un point O d'altitude $h_0 = 1,2 \text{ m}$ avec la vitesse \vec{V}_0 de module $V_0 = 25 \text{ m.s}^{-1}$. Donnée : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

1. Etablir les équations horaires des mouvements du pigeon et de la flèche.
2. Etablir les équations des trajectoires du pigeon et de la flèche. Préciser la nature de chaque trajectoire.
3. La flèche atteint le pigeon à la date $t_1 = 0,9 \text{ s}$ en un point O' .
 - 3.1. Déterminer l'altitude h de vol du pigeon.
 - 3.2. Déterminer les coordonnées du point O' .
 - 3.3. Déterminer les caractéristiques du vecteur-vitesse de la flèche à l'instant où elle rencontre le pigeon.
 - 3.4. Juste après la rencontre, le pigeon et la flèche forment un solide de centre d'inertie G. La vitesse, en O' , de ce centre d'inertie vaut $V_{O'} = 16,0 \text{ m.s}^{-1}$ et fait un angle $\beta = 10^\circ$ avec l'horizontale.
 - 3.4.1. Calculer la norme de la vitesse du centre d'inertie G à l'instant où il touche le sol.
 - 3.4.2. Calculer durée de la chute de l'ensemble (pigeon + flèche).
 - 3.4.3. Déterminer, dans le système d'axes (Ox, Oy) , les coordonnées du point de chute du centre d'inertie G.



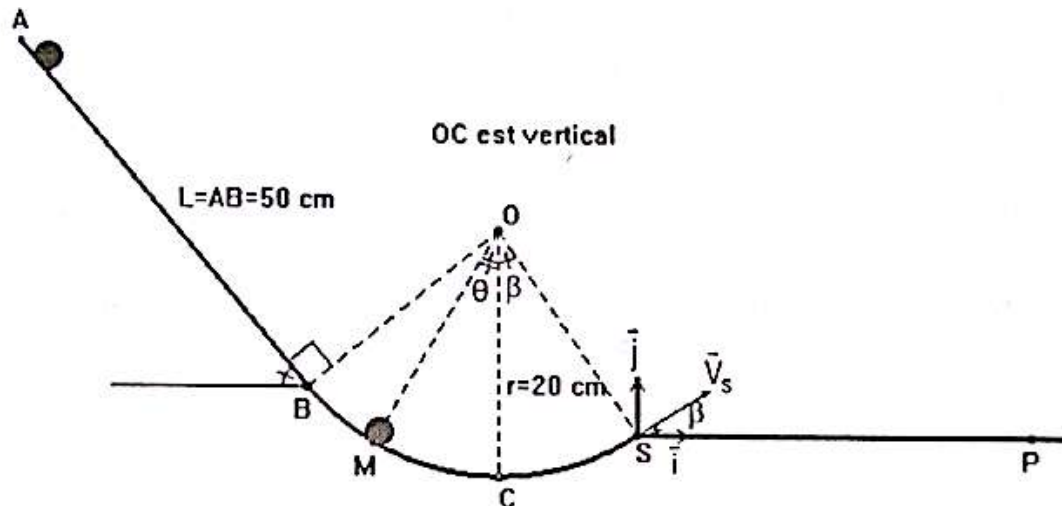
Exercice 6

Une bille de masse $m = 30 \text{ g}$ se déplace sans frottement sur un trajet ABS représenté ci-dessous : AB est un plan incliné de longueur $AB = L = 50 \text{ cm}$ faisant un angle $\alpha = 30^\circ$ avec l'horizontale et BC est un arc de cercle de centre O et de rayon $r = 20 \text{ cm}$. Donnée: $g = 9,8 \text{ N/kg}$

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.

Partie 1: Étude du mouvement du solide sur le plan incliné

A l'instant initial $t = 0 \text{ s}$, la bille est lâchée sans vitesse au point A.



1. Déterminer l'expression de l'accélération de la bille sur le plan incliné.
2. En déduire la nature du mouvement.
3. Déterminer l'équation horaire de la bille sur le plan incliné (le point A étant choisi comme origine des espaces).
4. Déterminer la date et la vitesse de la bille lors de son passage au point B.

Partie 2: étude du mouvement de la bille dans la glissière

La bille aborde la partie circulaire \widehat{BS} avec une vitesse $V_B = 2,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

La bille est repérée au point M par son abscisse angulaire $\theta = \widehat{MOC}$.

1. Exprimer la vitesse de la bille en M en fonction de g , r , θ , α et V_B sachant que $\widehat{BOC} = \alpha$.
2. Exprimer l'intensité de la réaction \vec{R} de la bille en fonction de m , g , r , θ , V_B et α .
3. En quel point cette réaction est-elle maximale ? Justifier et calculer cette valeur.
4. Déterminer la vitesse de la bille au point S sachant que $\beta = \widehat{COS} = 20^\circ$.

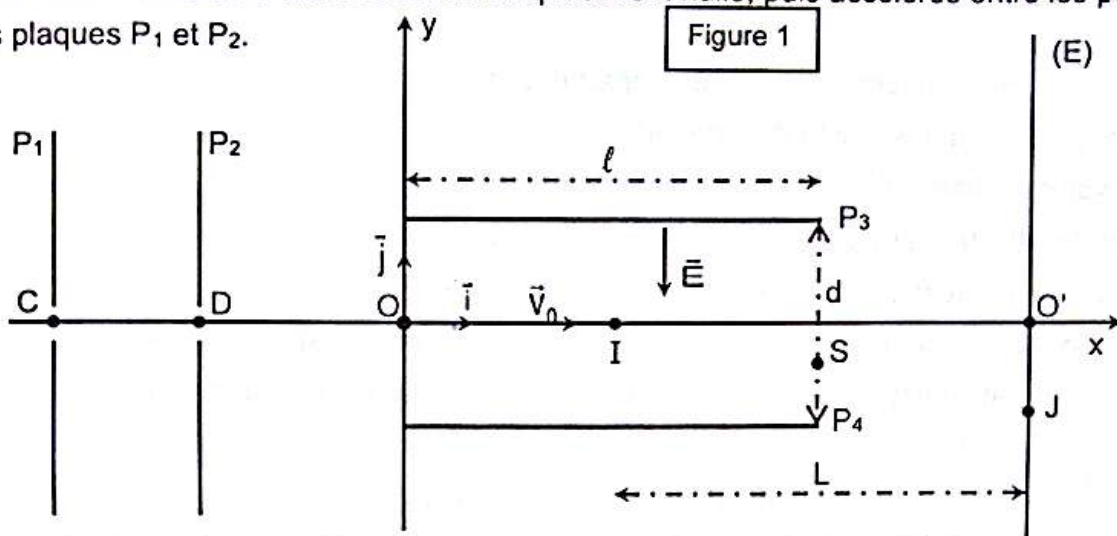
Partie 3: Mouvement de chute libre de la bille

La bille quitte à $t = 0$ le plan au point S avec une vitesse $V_S = 2,26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ faisant un angle β avec l'horizontale.

1. Établir les équations horaires du mouvement de la bille dans le repère (S, \vec{i}, \vec{j})
2. Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire de la bille.
3. Quelle est la nature du mouvement ?
4. Déterminer la flèche et l'abscisse du point d'impact P.

Exercice 7 : (extrait Bac C & E session normale 2013 Côte d'Ivoire)

Dans tout l'exercice, on suppose que le mouvement des protons a lieu dans le vide et on néglige leur poids par rapport aux autres forces. On considère le dispositif de la figure 1. Des protons sont émis en C avec une vitesse quasiment nulle, puis accélérés entre les points C et D des plaques P_1 et P_2 .



- 1- Préciser le signe de la tension U_{CD} pour que les protons soient accélérés. Justifier la réponse.
- 2- On posera pour la suite $|U_{CD}| = U$.
 - 2.1. Exprimer la vitesse v_D d'un proton en D en fonction de U , e , et m_P .
 - 2.2. Calculer v_D .
- 3- Après la traversée de la plaque P_2 en D, les protons pénètrent en O entre deux plaques parallèles. P_3 et P_4 de longueur ℓ et distantes de d . La tension U' appliquée à ces plaques crée un champ électrostatique uniforme \vec{E} . Donnée: $\ell = 20$ cm et $d = 7$ cm
 - 3.1. Montrer que l'énergie cinétique d'un proton se conserve entre D et O.
 - 3.2. Etablir dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) les équations horaires du mouvement d'un proton dans la région limitée par les plaques P_3 et P_4 .
 - 3.3. Vérifier que l'équation de la trajectoire peut s'écrire : $y = -\frac{U'}{4dU}x^2$
 - 3.4. Déterminer la condition à laquelle doit satisfaire la tension U' pour que les protons sortent du champ électrostatique \vec{E} sans heurter la plaque P_4 .
 - 3.5. Déterminer U' pour que les protons sortent du champ en passant par le point S de coordonnées $(\ell; -\frac{d}{5})$.
- 4- À la sortie du champ électrostatique par le point S, les protons sont reçus en un point J, sur un écran plat et placé perpendiculairement à l'axe Ox.
 - 4.1. Représenter qualitativement la trajectoire d'un proton entre les points O et J.
 - 4.2. Établir l'expression littérale de la déviation $O'J$ du spot sur l'écran (E).
 - 4.3. Calculer la distance $O'J$.

On donne : $L = 20$ cm ; $U = 10^3$ V ; $m_P = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg ; $OI = \frac{\ell}{2}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac série C session 2007 Cameroun)**1. Equation cartésienne de la trajectoire du centre d'inertie (G) du ballon**

Etablissons d'abord les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de G.

origine des espaces : Position de départ (O) de G.

origine des dates : instant de départ.

système : ballon (B) de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère (O, \vec{i}, \vec{j})

bilan des forces : le poids \vec{P} du ballon

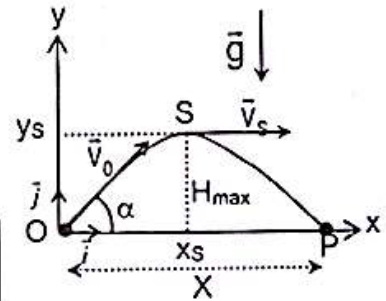
théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m\vec{a} \Leftrightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g} = \text{cste}$

l'accélération est constante donc le mouvement du ballon est uniformément varié

$$\text{On a : } \begin{cases} \vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 = \vec{g}t + \vec{v}_0 \\ \overline{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \overline{OG}_0 = \frac{1}{2}\vec{g}t^2 + \vec{v}_0t + \overline{OG}_0 \end{cases}$$

$$\text{A } t = 0, \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{pmatrix}; \overline{OG}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{pmatrix}; \vec{v}_0 \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y}_0 = v_0 \sin \alpha \end{pmatrix}$$

$$\text{A } t \neq 0, \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y} = -gt + v_0 \sin \alpha \end{pmatrix}; \overline{OG} \begin{pmatrix} x = v_0 t \cos \alpha \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \alpha \end{pmatrix}$$



Déduisons maintenant l'équation cartésienne de la trajectoire de G.

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + x \tan \alpha$$

$$\text{A.N. : } y = -\frac{1}{2} \times \frac{10}{v_0^2 \cos^2 45^\circ} x^2 + x \tan 45^\circ = -\frac{1}{2} \times \frac{10x^2}{v_0^2 \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2} + x \times 1 \Rightarrow y = \frac{-10x^2}{v_0^2} + x$$

2. Expression de la hauteur maximum H_{max} atteinte par le ballon en fonction de v_0

Au sommet S de la trajectoire, $x = x_s$, $y = y_s = H_{max}$ et $\dot{y}(x_s) = 0$

$$\Rightarrow -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \times 2 \times x_s + \tan \alpha = 0 \Rightarrow -\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \alpha} x_s + \tan \alpha = 0 \Rightarrow x_s = \tan \alpha \times \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow x_s = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \times \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin \alpha \times \cos \alpha}{g} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \times \cos \alpha}{2g} \Rightarrow x_s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$y_s = H_{max} = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \times \left(\frac{v_0^2 \sin \alpha \times \cos \alpha}{g}\right)^2 + \frac{v_0^2 \sin \alpha \times \cos \alpha}{g} \times \tan \alpha$$

$$\Rightarrow H_{max} = -\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \Rightarrow H_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$\text{Application numérique : } H_{max} = \frac{v_0^2 \times \sin^2 45^\circ}{2 \times 10} = \frac{v_0^2 \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2}{2 \times 10} = \frac{v_0^2 \times \frac{1}{2}}{2 \times 10} \Rightarrow H_{max} = \frac{v_0^2}{40}$$

Autre méthode :

$$v_s = 0 \Rightarrow t_s = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \Rightarrow y_s = -\frac{1}{2}g \left(\frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 + v_0 \left(\frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right) \sin \alpha \Rightarrow H_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

3. Expression de la portée X du ballon en fonction de v_0 .

La portée X est l'abscisse du point (P) d'ordonnée nulle qui est le point de chute du ballon. En ce point, $y = 0$ et $X = OP$

$$\text{D'où } -\frac{1}{2}g \frac{X^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + X \tan \alpha = 0 \Rightarrow \left(-\frac{1}{2}g \frac{X}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \right) X = 0$$

$$\Rightarrow -\frac{1}{2}g \frac{X}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha = 0 \Rightarrow \frac{1}{2}g \frac{X}{v_0^2 \cos^2 \alpha} = \tan \alpha \Rightarrow X = \frac{2v_0^2 \cos^2 \alpha \tan \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow X = \frac{2v_0^2 \cos^2 \alpha \times \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}}{g} = \frac{2v_0^2 \cos \alpha \times \sin \alpha}{g} \Rightarrow X = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$\text{Application numérique : } X = \frac{v_0^2 \times \sin(2 \times 45^\circ)}{10} = \frac{v_0^2 \times \sin 90^\circ}{10} \Rightarrow X = \frac{v_0^2}{10}$$

4. Encadrement de v_0 pour que le corner soit réussi.

Le corner est réussi si la portée X est telle que : $30,4 \text{ m} < X < 30,4 \text{ m} + 7,2 \text{ m}$

$$\Rightarrow 30,4 < \frac{v_0^2}{10} < 37,6 \Rightarrow 10 \times 30,4 < v_0^2 < 37,6 \times 10 \Rightarrow 304 < v_0^2 < 376$$

$$\Rightarrow \sqrt{304} < v_0 < \sqrt{376} \Rightarrow 17,43 \text{ m.s}^{-1} < v_0 < 19,39 \text{ m.s}^{-1}$$

Exercice 2 (extrait Bac série D 2nd groupe session 2014 NIGER)

1. Expressions des composantes V_x et V_y du vecteur-vitesse instantanée $\vec{V}(t)$.

système : boule métallique (ou boulet) de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère (O, x, y)

bilan des forces : le poids \vec{P} du boulet

théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m\vec{a} \Leftrightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g} = \text{cste}$

L'accélération est constante donc le mouvement du boulet est uniformément varié

$$\text{On a : } \vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0$$

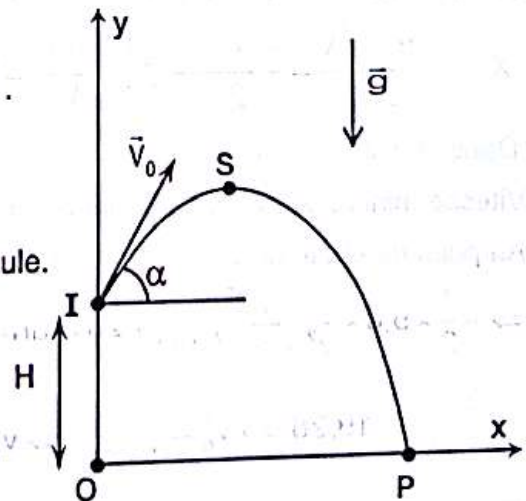
$$\text{A } t = 0, \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{pmatrix}; \overline{OG}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = H \end{pmatrix}; \vec{v}_0 \begin{cases} \dot{x}_0 = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y}_0 = v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

$$\text{A } t \neq 0, \vec{v} \begin{pmatrix} v_x(t) = v_0 \cos \alpha \\ v_y(t) = -gt + v_0 \sin \alpha \end{pmatrix}$$

2. Equations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de la boule.

$$\text{On a : } \overline{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0 t + \overline{OG}_0$$

$$\overline{OG} \begin{pmatrix} x(t) = v_0 t \cos \alpha \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \alpha + H \end{pmatrix}$$



3. a) Expression de l'équation de la trajectoire du mouvement.

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y = -\frac{1}{2}g \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 + v_0 \sin \alpha \times \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right) + H$$

$$y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + x \tan \alpha + H$$

b) Nature de la trajectoire du mouvement : l'équation de la trajectoire est sous la forme $y = ax^2 + bx + c$ donc la trajectoire du mouvement est une parabole.

4. On donne : $v_0 = 12 \text{ m.s}^{-1}$; $H = 2,5 \text{ m}$; $\alpha = 40^\circ$ et $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$. Déterminons :

a) l'altitude maximale à laquelle se trouvera la boule.

Au sommet S de la trajectoire, $x = x_s$, $y = y_s = H_{\max}$ et $\dot{y}(x_s) = 0$

$$\Rightarrow -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} 2x_s + \tan \alpha = 0 \Rightarrow -\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \alpha} x_s + \tan \alpha = 0 \Rightarrow x_s = \tan \alpha \times \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow x_s = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \times \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin \alpha \times \cos \alpha}{g} \Rightarrow x_s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$y_s = H_{\max} = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \times \left(\frac{v_0^2 \sin \alpha \times \cos \alpha}{g} \right)^2 + \left(\frac{v_0^2 \sin \alpha \times \cos \alpha}{g} \right) \times \tan \alpha + H$$

$$\Rightarrow H_{\max} = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \times \frac{v_0^4 \sin^2 \alpha \times \cos^2 \alpha}{g^2} + \frac{v_0^2 \sin \alpha \times \cos \alpha}{g} \times \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + H$$

$$\Rightarrow H_{\max} = -\frac{v_0^2 \sin \alpha}{2g} + \frac{v_0^2 \sin \alpha}{g} + H \Rightarrow H_{\max} = \frac{v_0^2 \sin \alpha}{g} + H$$

$$\text{Application numérique : } H_{\max} = \frac{12^2 \times \sin^2 40^\circ}{2 \times 9,8} + 2,5 = \underline{5,5 \text{ m}}$$

b) la distance à laquelle se trouve le point d'impact au sol P par rapport à l'origine O.

La portée X est l'abscisse du point (P) d'ordonnée nulle qui est le point de chute du ballon.

En ce point, $y = 0$ et $X = OP$ d'où $-\frac{1}{2}g \frac{X^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + X \tan \alpha + H = 0$

$$\Rightarrow -\frac{1}{2} \times 9,8 \times \frac{X^2}{12^2 \times \cos^2 40^\circ} + X \tan 40^\circ + 2,5 = 0 \Rightarrow -0,058X^2 + 0,84X + 2,5 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4ac = 0,84^2 - 4 \times (-0,058) \times 2,5 = 1,2856$$

$$X_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-0,84 - \sqrt{1,2856}}{2 \times (-0,058)} = \underline{17 \text{ m}} \quad \text{et} \quad X_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-0,84 + \sqrt{1,2856}}{2 \times (-0,058)} < 0$$

Donc la distance entre l'origine O et le point d'impact au sol P est : 17 m.

5. Vitesse minimale à communiquer à la boule pour un jet supérieure ou égale à 20 m.

Au point de chute du ballon, $y = 0$. Pour $X \geq 20 \text{ m}$, la distance minimale est : $X = 20 \text{ m}$.

$$\Rightarrow -\frac{1}{2} \times 9,8 \times \frac{20^2}{v_0^2 \times \cos^2 40^\circ} + 20 \times \tan 40^\circ + 2,5 = 0 \Rightarrow -\frac{3340}{v_0^2} + 16,78 + 2,5 = 0$$

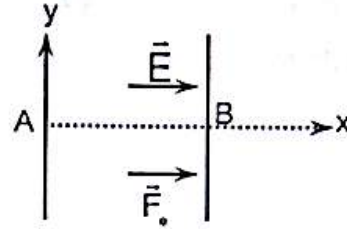
$$\Rightarrow \frac{3340}{v_0^2} = 19,28 \Rightarrow v_0^2 = \frac{3340}{19,28} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{3340}{19,28}} = \underline{13,16 \text{ m/s}}$$

Exercice 3**1. Vitesse V_B lorsqu'il passe dans l'ouverture B**

système : noyau d'hélium

référentiel de laboratoire supposé galiléen muni

du repère (Axy)

bilan des forces : la force électrostatique \vec{F}_e 

Remarque :

- U_0 est une tension accélératrice donc $U_0 = V_A - V_B > 0$;
- $U_0 > 0 \Rightarrow V_A > V_B$ donc \vec{E} est orienté de A vers B car il décroît les potentiels ;
- $q = +2e > 0$ donc \vec{F} et \vec{E} ont le même sens c'est-à-dire de A vers B.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et B :

$$\Delta E_{c_{A \rightarrow B}} = \Sigma W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow E_{c_B} - E_{c_A} = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e)$$

$$\frac{1}{2} m_{He} v_B^2 - 0 = q(V_A - V_B) \Rightarrow \frac{1}{2} m_{He} v_B^2 = 2eU_0 \Rightarrow v_B^2 = \frac{4eU_0}{m_{He}} \Rightarrow v_B = \sqrt{\frac{4eU_0}{m_{He}}}$$

$$\text{Application numérique : } v_B = \sqrt{\frac{4 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,04 \cdot 10^4}{6,65 \cdot 10^{-27}}} = \underline{1,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}}$$

2. Temps mis par le noyau d'hélium pour aller de A à B (\vec{E} est uniforme).D'après le théorème du centre d'inertie, $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$

L'accélération est constante donc le mouvement est uniformément varié.

$$\vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 = \frac{q\vec{E}}{m}t + \vec{v}_0 \quad \text{et} \quad \overline{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \overline{OG}_0 = \frac{q\vec{E}}{2m}t^2 + \vec{v}_0t + \overline{OG}_0$$

$$\text{À } t = 0 \text{ s, } \vec{a} \left(\begin{array}{l} \ddot{x} = \frac{qE}{m} = \frac{2eE}{m} \\ \ddot{y} = 0 \end{array} \right) ; \vec{v}_0 \left(\begin{array}{l} \dot{x}_0 = 0 \\ \dot{y}_0 = 0 \end{array} \right) ; \overline{OG}_0 \left(\begin{array}{l} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{array} \right)$$

$$\text{À } t \neq 0, \vec{v} \left(\begin{array}{l} \dot{x} = \frac{2eE}{m}t \\ \dot{y} = 0 \end{array} \right) ; \overline{OG} \left(\begin{array}{l} x = \frac{eE}{m}t^2 \\ y = 0 \end{array} \right) \Rightarrow x(t) = \frac{eE}{m}t^2$$

En B, $x = d = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$; il faut donc résoudre l'équation du 2nd degré suivante :

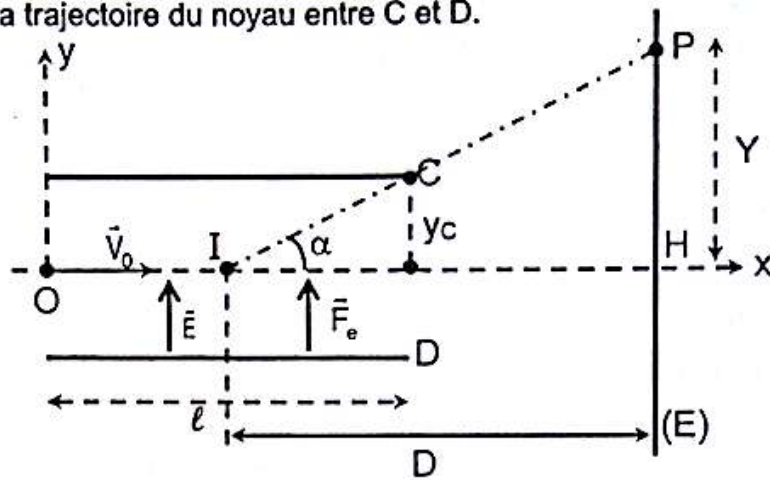
$$\frac{eE}{m}t^2 = d \Rightarrow t^2 = \frac{md}{eE} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{md}{eE}} = \sqrt{\frac{md}{e \frac{U_0}{d}}} = \sqrt{\frac{md^2}{eU_0}}$$

$$\text{Application numérique : } t = \sqrt{\frac{6,65 \cdot 10^{-27} \times (2 \cdot 10^{-2})^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,04 \cdot 10^4}} = \underline{4 \cdot 10^{-8} \text{ s}}$$

3. Déterminons l'équation de la trajectoire du noyau entre C et D.

bilan des forces :

la force électrostatique \vec{F}_e



Remarque :

- > $V_D - V_C > 0 \Rightarrow V_D > V_C$ donc \vec{E} est orienté de D vers C car il décroît les potentiels ;
- > $q = +2e > 0$ donc \vec{F} et \vec{E} ont le même sens c'est-à-dire de D vers C.

D'après le théorème du centre d'inertie, $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$

L'accélération est constante donc le mouvement est uniformément varié.

$$\vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 = \frac{q\vec{E}}{m}t + \vec{v}_0 \quad \text{et} \quad \vec{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{OG}_0 = \frac{q\vec{E}}{2m}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{OG}_0$$

$$\text{À } t = 0 \text{ s, } \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = \frac{qE}{m} = \frac{2eE}{m} \end{pmatrix} ; \vec{v}_0 \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_0 \\ \dot{y}_0 = 0 \end{pmatrix} ; \vec{OG}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{À } t \neq 0, \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = v_0 \\ \dot{y} = \frac{2eE}{m}t \end{pmatrix} ; \vec{OG} \begin{pmatrix} x = v_0t \\ y = \frac{eE}{m}t^2 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x = v_0t \Rightarrow t = \frac{x}{v_0} \\ y = \frac{eE}{m}t^2 = \frac{eE}{m} \left(\frac{x}{v_0} \right)^2 \Rightarrow \boxed{y = \frac{eEx^2}{mv_0^2}} \end{cases}$$

4. Déterminons l'ordonnée Y sur l'axe OY du point d'impact du noyau sur l'écran (E).

$$\tan \alpha = \frac{y_c}{\frac{\ell}{2}} = \frac{PH}{IH} \Rightarrow \frac{2y_c}{\ell} = \frac{Y}{L} \Rightarrow Y = \frac{2Ly_c}{\ell} \quad \text{avec} \quad y_c = \frac{eEx_c^2}{mv_0^2} = \frac{eU\ell^2}{md'v_0^2}$$

$$\text{donc } Y = \frac{2L \frac{eU\ell^2}{md'v_0^2}}{\ell} = \frac{2LeU\ell}{md'v_0^2} \Rightarrow Y = \frac{2LeU}{mv_0^2} \quad \text{car } \ell = d'$$

$$\text{Application numérique : } Y = \frac{2 \times 0,20 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 5000}{6,65 \cdot 10^{-27} \times (10^6)^2} = 0,048 \text{ m}$$

5. Déviation angulaire α subie par He^{2+} lors de la traversée du champ électrique de CD.

$$\tan \alpha = \frac{Y}{L} = \frac{0,048}{0,20} = 0,24 \Rightarrow \alpha = \tan^{-1}(0,24) \approx 14^\circ$$

Exercice 4 (extrait Bac Blanc Régional série D 2016 D.R.E.N. Abidjan 3 C.I.)1) Mouvement de la boule sur la partie inclinée AB

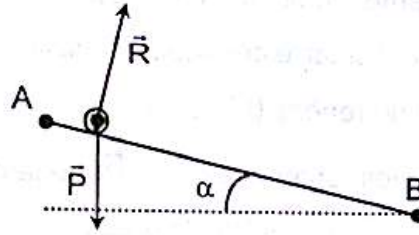
1-1) Bilan des forces extérieures agissant sur la boule et leur représentation qualitative.

système : bille de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces :

- le poids \vec{P} de la bille ;
- la réaction normale \vec{R} du plan incliné.



1-2) Enoncé du théorème du centre d'inertie.

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces appliquées à un solide est égale au produit de sa masse m par le vecteur-accelération de son centre d'inertie :

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

1-3) Expression de la valeur algébrique a_u de l'accélération en fonction de g et de α .Théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m \vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} = m \vec{a} = m a_u \vec{u}$ Projection sur l'axe $(x'x)$: $mg \sin \alpha + 0 = m a_u \Rightarrow a_u = g \sin \alpha$ 1-4) Expression de la vitesse V_B de la boule au point B en fonction de g , L et α .D'après le théorème de l'énergie cinétique, $\Delta E_{C_{A \rightarrow B}} = \Sigma W(\vec{F}_{\text{ext}})_{A \rightarrow B}$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) \Rightarrow \frac{1}{2} m (v_B^2 - v_A^2) = mgAB \sin \alpha + 0$$

La bille part de A sans vitesse initiale donc $v_A = 0$.

$$\Rightarrow v_B^2 - 0^2 = 2gAB \sin \alpha \Rightarrow v_B^2 = 2gL \sin \alpha \Rightarrow v_B = \sqrt{2gL \sin \alpha}$$

1-5) Calcul de V_B .

$$v_B = \sqrt{2 \times 10 \times 0,8 \times 0,25} \Rightarrow v_B = \underline{2 \text{ m/s}}$$

2) Mouvement de la boule sur la partie horizontale BC

2-1) Précisons la nature du mouvement de la boule sur cette partie.

La boule aborde la partie horizontale BC sans frottement et avec la vitesse constante

 \vec{V}_B donc le mouvement de la boule sur cette partie est rectiligne uniforme.2-2) Comparons alors à V_B , la valeur V_C de la vitesse au point C.Le mouvement est uniforme sur la partie BC donc : $V_B = V_C = 2 \text{ m/s}$.

3) Mouvement de la boule au-delà du point C, dans le champ de pesanteur uniforme.

3-1) Equations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de la boule dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) .

Système : la boule de masse m
référentiel terrestre supposé galiléen
muni du repère (O, \vec{i}, \vec{k})

bilan des forces : le poids \vec{P} de la boule
théorème du centre d'inertie :

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m\vec{a}$$

$$\Leftrightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g} = \text{cste}$$

l'accélération est constante donc

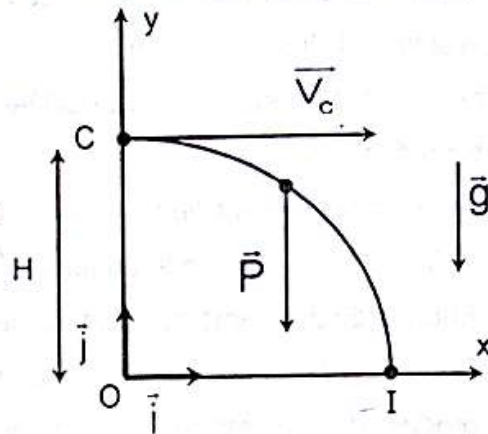
le mouvement de la boule est uniformément varié

$$\vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_c \quad \text{et} \quad \overline{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_c t + \overline{OG}_0$$

$$\text{À } t = 0 \text{ s, } \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{pmatrix} ; \vec{v}_c \begin{pmatrix} \dot{x}_c = v_c \\ \dot{y}_c = 0 \end{pmatrix} ; \overline{OG}_0 = \overline{OC} \begin{pmatrix} x_c = 0 \\ y_c = OC = H \end{pmatrix}$$

$$\text{À } t \neq 0 \text{ s, } \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = v_c \\ \dot{y} = -gt \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \overline{OG} \begin{pmatrix} x(t) = v_c t \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + H \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \overline{OG} \begin{pmatrix} x(t) = 2t \\ y(t) = -\frac{10}{2}t^2 + 1,10 = -5t^2 + 1,10 \end{pmatrix}$$



3-2) Equation cartésienne de la trajectoire de la boule et précision de sa nature.

$$x = v_c t \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_c} \Rightarrow y = -\frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_c} \right)^2 + H \Rightarrow y = -\frac{g}{2v_c^2} x^2 + H$$

$$\text{Application numérique : } y = -\frac{10}{2 \times 2^2} x^2 + 1,10 = -1,25x^2 + 1,10$$

L'équation de la trajectoire est de la forme : $y = ax^2 + bx + c$ donc la trajectoire de la boule est une parabole.

3-3) Déterminons les coordonnées du point d'impact I de la boule sur le sol.

$$\text{Au point d'impact I, } y_I = 0 \Rightarrow -\frac{1}{2}gt_I^2 + H = 0 \Rightarrow t_I^2 = \frac{2H}{g} \Rightarrow t_I = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$\Rightarrow t_I = \sqrt{\frac{2 \times 1,10}{10}} = 0,22 \text{ s} \Rightarrow \overline{OI} \begin{pmatrix} x_I = 2t_I = 2 \times 0,22 = 0,44 \text{ m} \\ y_I = 0 \end{pmatrix}$$

3-4) Dédution de la durée de chute : $\Delta t = t_I = \sqrt{\frac{2H}{g}} = 0,22 \text{ s}$

Exercice 5 (extrait Bac C & E Session Normale 2008)1. Déterminons dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) :1.1. les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de G en fonction de g , v_0 , α , h et t .
système : balle de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

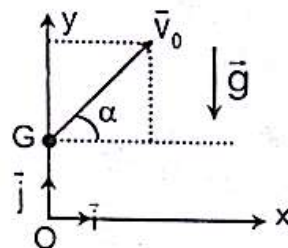
muni du repère (O, \vec{i}, \vec{j}) bilan des forces : le poids \vec{P} de la balle

théorème du centre d'inertie :

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m\vec{a} \Leftrightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g}$$

$$\vec{a}(\ddot{x} = 0; \ddot{y} = -g); \vec{OG}_0(x_0 = 0; y_0 = h); \vec{v}_0(\dot{x}_0 = v_0 \cos \alpha; \dot{y}_0 = v_0 \sin \alpha)$$

$$\vec{v}(\dot{x} = v_0 \cos \alpha; \dot{y} = -gt + v_0 \sin \alpha); \vec{OG}(x = v_0 t \cos \alpha; y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \alpha + h)$$



1.2. l'équation cartésienne de la trajectoire du centre d'inertie G de la balle

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y = -\frac{1}{2}g \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 + v_0 \sin \alpha \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right) + h = -\frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha + h$$

1.3. Vérifions que cette équation s'écrit : $y = -0,10x^2 + 1,73x + 0,50$.

$$y = -\frac{9,8}{2 \times 14^2 \times \cos^2 60^\circ} x^2 + \tan 60^\circ x + 0,5 = -0,10x^2 + 1,73x + 0,5$$

2. Montrons que le joueur B ne peut intercepter la balle : On a, $x_B = D + d_1 = 12 + 2 = 14$ m.D'après l'équation ci-dessus, $y_B = 0,10 \times 14^2 + 1,73 \times 14 + 0,50 = 5,12$ m. $y_B > H$ donc la balle ne peut être interceptée.

3. Calcul de la distance OC

La balle tombe en un point C donc $y_C = 0 \Rightarrow -0,10x_C^2 + 1,73x_C + 0,50 = 0$

$$\Delta = 1,73^2 + 4 \times 0,10 \times 0,50 = 3,1929.$$

$$x_1 = \frac{-1,73 - \sqrt{3,1929}}{2 \times (-0,10)} = 17,6 \text{ m ou } x_2 = \frac{-1,73 + \sqrt{3,1929}}{2 \times (-0,10)} < 0$$

Le point C se trouve dans le sens des abscisses positives donc $OC = x_C = 17,6$ m.4. La distance séparant le joueur B et la ligne de fond est $d_2 = 10$ m.4.1. Voyons si la balle tombe dans la surface de jeu : $L = D + d_1 + d_2$

$$\Rightarrow L = 12 + 2 + 10 = 24 \text{ m} \Rightarrow OC < L; \text{ donc la balle tombe dans la surface de jeu.}$$

4.2. Déterminons :

4.2.1. la vitesse avec laquelle la balle arrive au point C

d'après le théorème de l'énergie cinétique, $\Delta E_{c_{G-C}} = \Sigma W(\vec{F}_{\text{ext}})_{G-C}$

$$\Rightarrow E_{c_C} - E_{c_G} = W(\vec{P}) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh \Rightarrow v_C = \sqrt{v_0^2 + mgh}$$

$$\text{Application numérique : } v_C = \sqrt{14^2 + 2 \times 9,8 \times 0,5} = 14,3 \text{ m/s}$$

4.2.2. le temps mis par la balle pour atteindre le point C

$$\text{En C, } t_C = \frac{OC}{v_0 \cos \alpha} = \frac{17,6}{14 \times \cos 60^\circ} = 2,51 \text{ s}$$



Sir Isaac Newton
(1642-1727)

Mathématicien, Physicien, Astronome, Philosophe, Alchimiste, et Théologien Anglais

En mécanique, il a établi les trois lois universelles du mouvement qui sont : le principe d'inertie, le principe fondamental de la dynamique (ou théorème du centre d'inertie) et le principe des actions réciproques.

Son nom a été donné pour l'unité de la valeur d'une force, le newton (N).

OSCILLATEURS MECANIQUES LIBRES

Objectif spécifique

- Déterminer les caractéristiques du mouvement d'un oscillateur mécanique non amorti.

RAPPEL DE COURS

1. Force de rappel ou tension du ressort

C'est la force qui tend à ramener le ressort vers sa position initiale. Elle est caractérisée par :

- sa direction : axe du ressort ;
- son sens : opposé au mouvement du ressort ;
- sa valeur : $T = k|x| = k|\ell - \ell_0|$ avec k en $N.m^{-1}$; x en mètre (m) ; T en newton (N).

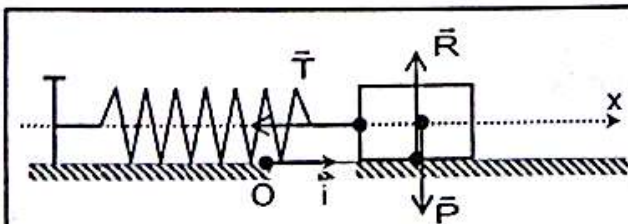


Figure 1 (ressort allongé) : $\vec{T} = -kx\vec{i}$

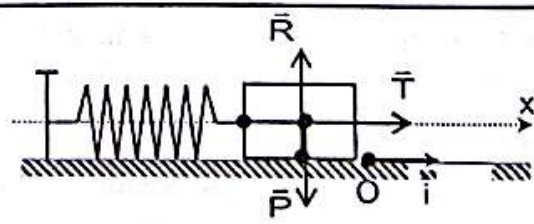


Figure 2 (ressort comprimé) : $\vec{T} = kx\vec{i}$

2. Oscillateur mécanique

C'est un système mécanique animé d'un mouvement de va et vient (appelé mouvement oscillatoire) autour de sa position d'équilibre.

3. Equation différentielle

a) Oscillateur horizontal

D'après le théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G \Rightarrow \vec{T} + \vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}_G$

Par projection sur l'axe Ox :

➤ figure 1 : $-T + 0 + 0 = ma_G \Rightarrow -kx = m\ddot{x} \Rightarrow m\ddot{x} + kx = 0 \Rightarrow \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$;

➤ figure 2 : $T + 0 + 0 = m \times (-a_G) \Rightarrow kx = -m\ddot{x} \Rightarrow m\ddot{x} + kx = 0 \Rightarrow \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$.

Dans les deux cas on obtient l'équation différentielle : $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$

b) Oscillateur vertical (séries C & E uniquement)

➤ Condition d'équilibre du solide S.

système : solide S de masse m
référentiel terrestre supposé
galiléen

bilan des forces :

- le poids \vec{P} du solide,
- la tension \vec{T} du ressort

A l'équilibre, on a : $\vec{P} + \vec{T} = \vec{0} \Rightarrow P = T$

➤ Bilan des forces qui s'exercent sur S.

- le poids \vec{P} du solide ;
- la tension \vec{T}' du ressort

A l'équilibre, on a : $\vec{P} + \vec{T}' = \vec{0} \Rightarrow P = T'$

➤ Equation différentielle du mouvement.

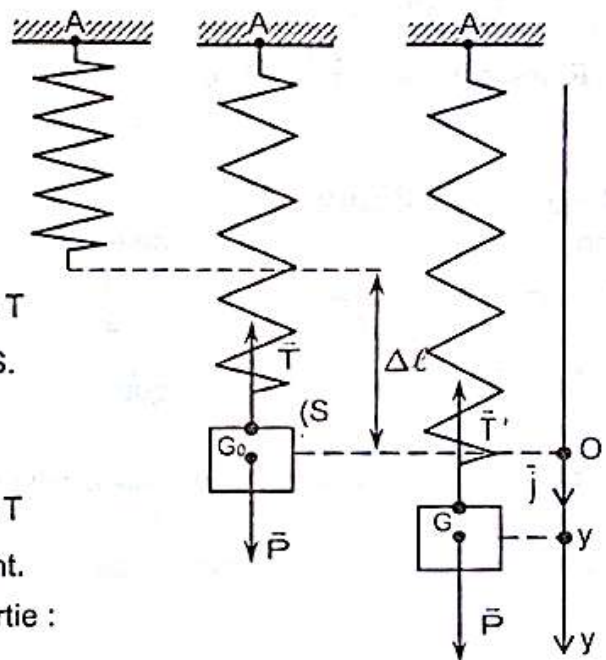
D'après le théorème du centre d'inertie :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{T}' = m\vec{a}$$

Par projection sur l'axe(Oy) : $P_y + T'_y = ma_y$ avec $T'_y = k(\Delta\ell + y)$

$$mg - k(\Delta\ell + y) = m\ddot{y} \Rightarrow mg - k\Delta\ell - ky = m\ddot{y} \Rightarrow 0 - ky = m\ddot{y}$$

$$\Rightarrow \ddot{y} + \frac{k}{m}y = 0 \text{ car } mg = k\Delta\ell$$



4. Solution de l'équation différentielle

La solution de cette équation différentielle est de la forme : $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$

- X_m : amplitude ou élongation maximale du mouvement exprimée en mètres (m) ;
- φ : phase à l'origine des temps. Elle s'exprime en radian (rad) ;
- ω_0 : pulsation propre en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$;
- $\omega_0 t + \varphi$: phase à la date t. Elle s'exprime en radian (rad).

Remarque : la solution générale de l'équation différentielle de l'oscillateur vertical est :

$$y(t) = Y_m \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

5. Grandeurs caractéristiques**5.1. Pulsation propre**

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{avec } k \text{ en } \text{N.m}^{-1}; m \text{ en } \text{kg}; \omega_0 \text{ en } \text{rad.s}^{-1}$$

5.2. Période propre

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{avec } T_0 \text{ en } \text{s}$$

5.3. Fréquence propre

$$N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{avec } \omega_0 \text{ en } \text{rad.s}^{-1}; N_0 \text{ en } \text{Hz}$$

$$\text{Remarque : } \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = 2\pi N_0$$

6. Etude énergétique

L'énergie mécanique E_m est constante.

$$E_m = E_c + E_{pE} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kX_m^2 = \frac{1}{2}mV_{\max}^2$$

- $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ est l'énergie cinétique ;
- $E_{pE} = \frac{1}{2}kx^2$ l'énergie potentielle élastique.

EXERCICES RESOLUS

Remarque : les frottements seront négligés dans tous les exercices.

Exercice 1 (extrait Bac séries S2 ; S2A ; S4 ; S5 2^{ème} Grpe 2009 Sénégal)

L'équation horaire du mouvement d'un mobile ponctuel est donnée par :

$$x = 2 \cdot 10^{-2} \cos\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right) \text{ en unités S.I. La constante de raideur du ressort est : } k = 100 \text{ N/m.}$$

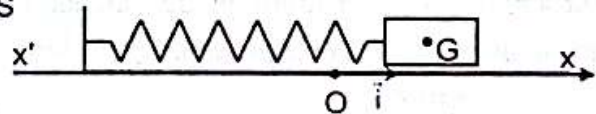
1. Préciser les valeurs de l'amplitude, de la période, de la fréquence et de la phase initiale du mouvement de ce point matériel.
2. Calculer la vitesse et l'accélération de ce point matériel à la date $t = 0$.
3. Montrer que l'énergie mécanique de l'oscillateur est constante et en déduire sa valeur.

Exercice 2

Un ressort de suspension de voiture de raideur k et à spires non jointives est fixé avec une extrémité sur un banc d'essai. Un solide S , de masse m , fixé à l'autre extrémité du ressort peut glisser sans frottement sur une tige rigide horizontale $x'x$. L'abscisse du centre d'inertie G de S est repérée par rapport à la position O de G au repos. On écarte S de sa position d'équilibre et on le lâche, sans vitesse initiale, à l'instant $t = 0$. Son abscisse est alors $x = X_m$.

On donne : $k = 4 \text{ kN/m}$, $m = 100 \text{ kg}$ et $X_m = 5 \text{ cm}$.

- 1- Faire le bilan des forces appliquées au solide S et les représenter.



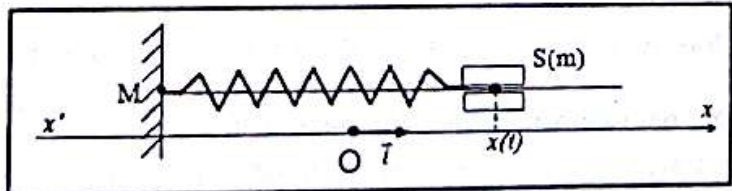
- 2- Etablir l'équation différentielle du mouvement.
- 3- En déduire l'équation horaire du mouvement de S .
- 4- Calculer la période pour les mêmes données numériques.
- 5- Montrer que l'énergie mécanique de l'oscillateur est constante et peut se mettre sous la forme $E_m = \frac{1}{2} m V_m^2$ où V_m est la vitesse maximale.
- 6- Retrouver l'équation différentielle à partir de l'expression de l'énergie mécanique.

Exercice 3

On dispose d'un ressort à spires non jointives, de masse négligeable et constante de raideur k . A l'une des extrémités du ressort, on accroche un solide S cylindrique creux de masse m . L'ensemble (ressort + solide) peut glisser sans frottement sur une tige horizontale. L'autre extrémité du ressort est fixée en M comme l'indique la figure ci-contre.

On étudie le mouvement du centre

d'inertie G de S dans le repère $(O; \vec{i})$;



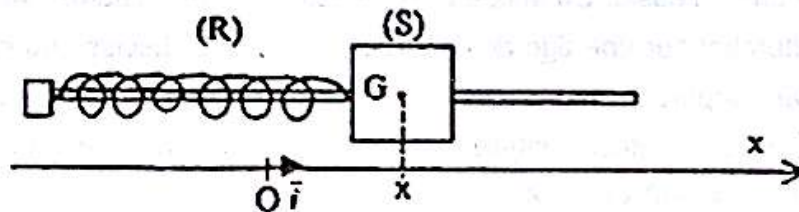
O étant la position de G à l'équilibre. On écarte S de sa position d'équilibre et on le libère sans vitesse initiale. A l'instant t_0 , choisi comme origine des temps, son abscisse est x_0 et sa vitesse \vec{v}_0 . On donne : $m = 0,2 \text{ kg}$; $k = 5 \text{ N.m}^{-1}$; $x_0 = + 3 \text{ cm}$; $v_0 = - 0,1 \text{ m.s}^{-1}$.

- 1) Calculer l'énergie mécanique de l'oscillateur à l'instant t_0 .

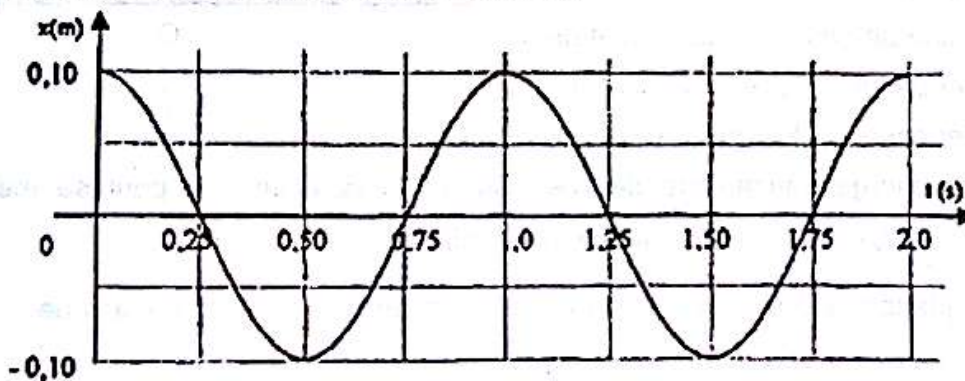
- 2) Par convention, on suppose que l'énergie potentielle est nulle pour la position d'équilibre. En appliquant le principe de conservation de l'énergie mécanique, déterminer :
 - a) la vitesse de S au passage par la position d'équilibre ;
 - b) les positions pour lesquelles la vitesse s'annule.
- 3) Etablir l'équation différentielle du mouvement de G.
- 4) En déduire l'équation horaire du mouvement en respectant le choix de l'origine des dates plus haut.

Exercice 4

Un solide (S) de masse m , de centre d'inertie G, peut glisser sans frottement sur une tige horizontale. Il est accroché à un ressort (R) à spires non jointives, de raideur $k = 4,0 \text{ N.m}^{-1}$. Lorsque le solide (S) est à l'équilibre, son centre d'inertie G se situe à la verticale du point O, origine de l'axe des abscisses. Le solide est écarté de 10 cm de sa position d'équilibre et abandonné sans vitesse initiale à la date $t = 0 \text{ s}$.



On procède à l'enregistrement des positions successives de G au cours du temps par un dispositif approprié. On obtient la courbe ci-dessous :



- 1) Reproduire sur la copie le schéma du dispositif expérimental ci-dessus puis représenter et nommer les forces en G, sans souci d'échelle, s'exerçant sur le solide (S).
- 2) Etablir l'équation différentielle régissant le mouvement de son centre d'inertie G.
- 3) Une solution de l'équation différentielle peut s'écrire sous la forme : $x(t) = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t + \varphi\right)$ (X_m est l'amplitude et φ la phase initiale).
 - 3.1. Retrouver l'expression de la période propre T_0 en fonction de m et de k .
 - 3.2. Déterminer X_m , T_0 , ω_0 et φ .
 - 3.3. En déduire l'équation horaire du mouvement.
 - 3.4. Déterminer l'instant auquel le solide repasse en O, après l'instant initial.
 - 3.5. Calculer la valeur de la masse m du solide (S).

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1**

- 1) Pour déterminer la constante de raideur k du ressort, on accroche une de ses extrémités à un support fixe. Lorsqu'on accroche une masse marquée $m = 200 \text{ g}$ à son autre extrémité, son allongement vaut 10 cm (voir figure 1).

Vérifier que la raideur du ressort vaut 20 N.m^{-1} . On prendra $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

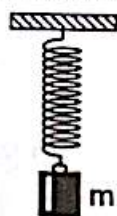


Figure 1

- 2) On fixe maintenant le ressort étudié comme l'indique la figure 2. Le ressort est horizontal ; A est son extrémité fixe. On accroche à son autre extrémité un solide S de masse $m = 200 \text{ g}$. Ce solide peut se déplacer sans frottement le long d'un axe horizontal Ox. A l'équilibre, le centre d'inertie G du solide coïncide avec l'origine O du repère.

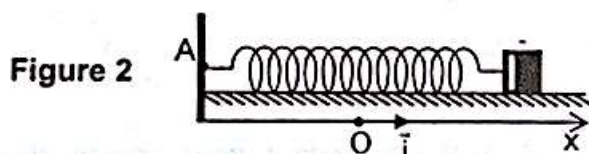


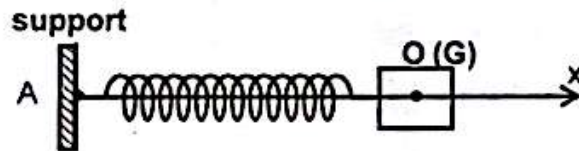
Figure 2

Le solide est supposé en mouvement et dans la position représentée sur la figure 2.

- 2.1. Faire l'inventaire des forces exercées sur le solide S.
 - 2.2. Etablir l'équation différentielle qui régit le mouvement de G.
 - 2.3. En déduire l'expression de la pulsation propre ω_0 de cet oscillateur et celle de sa période propre T_0 . Faire l'application numérique de ω_0 et T_0 . On prendra $2\pi = 6,3$.
 - 2.4. Vérifier que $x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ est solution de l'équation différentielle précédente.
- 3) On allonge maintenant le ressort en tirant le solide vers la droite. Le point G a alors pour abscisse $0,15 \text{ m}$. A l'instant $t = 0$, on lâche le solide sans vitesse initiale.
- 3.1. Déterminer l'équation horaire $x(t)$ et la vitesse $v(t)$ du solide.
On utilisera les valeurs numériques de X_m , ω_0 et φ .
 - 3.2. En déduire la valeur maximale de la vitesse.
 - 3.3. Calculer l'élongation $x(t)$ et $v(t)$ pour $t = 1 \text{ s}$.
- 4) Montrer que l'énergie mécanique est constante et en déduire sa valeur.

Exercice 2 (extrait Bac série D session Juin 2015 Burkina Faso)

Une tige rigide Ax est fixée en A à un support vertical. Un ressort à spires non jointives, de masse négligeable, de raideur $k = 12 \text{ N/m}$ est enfilé en A au même support. L'autre extrémité du ressort est liée à un solide S, de masse $m = 10 \text{ g}$. Le solide S et le ressort peuvent coulisser sans frottement le long de la tige Ax. Le ressort n'étant ni comprimé ni étiré, le centre d'inertie G du solide se trouve en O, position que l'on prendra pour origine des abscisses. L'axe des abscisses Ax est orienté positivement de la gauche vers la droite comme l'indique la figure ci-dessous.



On écarte le solide S de sa position d'équilibre. L'abscisse de son centre d'inertie est alors en $x_0 = 2,0 \text{ cm}$. A la date $t = 0$, on le lance vers A avec une vitesse \vec{V}_0 dont la norme est $v = 1,2 \text{ m/s}$.

- 1) Déterminer la vitesse de S au passage par la position d'équilibre.
- 2) Quelle est l'amplitude du mouvement des oscillations ?
- 3) Etablir l'équation différentielle du mouvement de G.

En déduire l'équation horaire du mouvement en prenant pour origine des dates celle précisée plus haut.

- 4) Exprimer, à la date t , l'énergie cinétique $E_c(t)$ et l'énergie potentielle élastique $E_{pe}(t)$ de S lié au ressort.

N.B : On considère que l'énergie potentielle pour la position d'équilibre du système est nulle.

- 5) On pose $E = E_c(t) + E_{pe}(t)$. Montrer que E est constante et calculer sa valeur.

Que représente E pour le système ?

Exercice 3 (extrait Bac série D session Juin 2009 Bénin)

On donne $k = 80 \text{ N.m}^{-1}$; $m_1 = 100 \text{ g}$; $H = 2 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

On réalise un pendule élastique à l'aide d'un ressort hélicoïdal à spires non jointives de raideur k et d'un solide S_2 de masse m_2 que supporte l'extrémité libre du ressort.

On dispose d'une piste ABOC inscrite dans un plan vertical.

✓ La partie AB est un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontal de hauteur H .

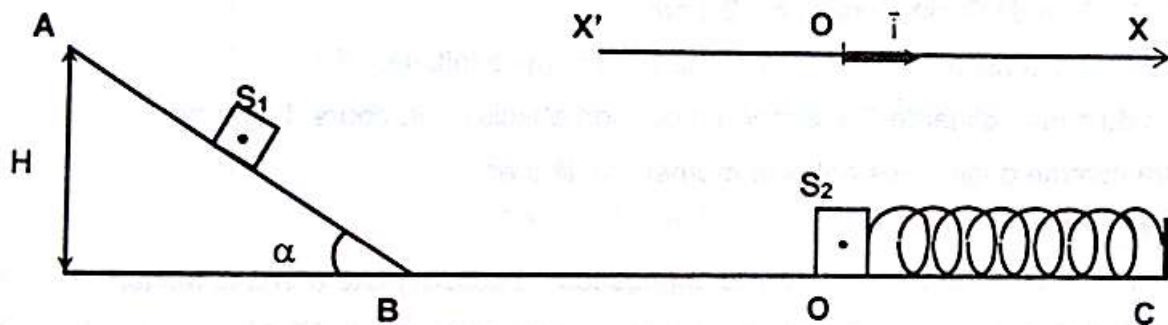
✓ La partie BOC est un plan horizontal.

On suppose que les pertes d'énergie mécanique en B sont négligeables.

Le pendule élastique est dans la position horizontale et le centre de gravité du solide est confondu avec le point O origine du repère (O, \vec{i}) .

Un solide S_1 de masse $m_1 = m_2$ est lâché du point A sans vitesse initiale. Les frottements sont nuls sur toute la piste ABOC.

Les deux solides sont ponctuels.

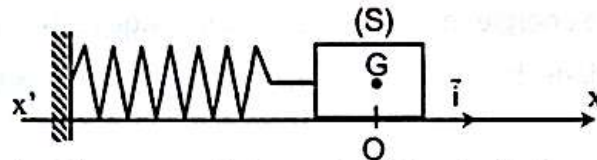


1. En prenant la référence de l'énergie potentielle de pesanteur dans le plan horizontal contenant BOC, calculer la vitesse du solide au point B en utilisant le principe de conservation de l'énergie mécanique.
2. Montrer que la vitesse du solide au point O est égale à sa vitesse au point B.
3. Le solide S_1 percute le solide S_2 . Les deux solides restent solidaires après le choc.
 - a) Montrer que la vitesse de l'ensemble (S_1, S_2) après le choc est $V = 3,16 \text{ m.s}^{-1}$.
 - b) En utilisant le principe de conservation de l'énergie mécanique, calculer le raccourcissement maximal subi par le ressort.
On précise qu'à l'instant du choc le ressort garde sa longueur à vide l_0 .
 - c) Montrer que le système (S_1, S_2) est un oscillateur harmonique.
 - d) Établir l'équation horaire du mouvement.
On prendra pour instant initial, l'instant du choc et la position initiale, la position correspondante.

Exercice 4 (extrait Bac C & E session normale 2010 Côte d'Ivoire)

Au cours d'une séance de travaux pratiques (TP), un professeur et ses élèves étudient le pendule élastique. Le dispositif est horizontal et constitué d'un solide (S) de masse $m = 100 \text{ g}$ et d'un ressort à spires non jointives de constante de raideur $k = 40 \text{ N/m}$.

Le solide (S) fixé à une des extrémités du ressort, peut se déplacer sans frottements le long d'un banc à coussin d'air suivant l'axe $x'x$. L'autre extrémité du ressort reste fixée à un support solidaire du banc (voir figure ci-dessous).



A l'équilibre du système (solide + ressort), le centre d'inertie G du solide coïncide avec l'origine du repère (O, \vec{i}) liée à la tige. L'énergie potentielle du système est alors nulle.

Yao est choisi pour manipuler. Il écarte le solide (S) de sa position d'équilibre en comprimant le ressort. L'abscisse de G est alors $x_0 = -2,5 \text{ cm}$.

Dans cette nouvelle position, il lâche le solide sans vitesse initiale.

La position du centre d'inertie G est repérée par son abscisse au cours du temps.

On prendra comme origine des dates le moment du lâcher.

Etude du mouvement.

- 1- Sur un schéma, représenter les forces appliquées au solide, juste après le lâcher.
- 2- Etablir l'équation différentielle qui régit ce type de mouvement.

La solution de l'équation différentielle est de la forme $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$.

Détermination des grandeurs

- 3- Que représentent X_m , ω_0 et φ ?
- 4- Calculer les valeurs numériques de X_m , ω_0 et φ .
- 5- Vérifier que l'expression de la vitesse de S est $v = -0,5 \sin(20t + \pi)$.

Etude énergétique.

Le solide (S) passe pour la deuxième fois au point d'abscisse $x = 0$, à la date t' et avec une vitesse de valeur v' .

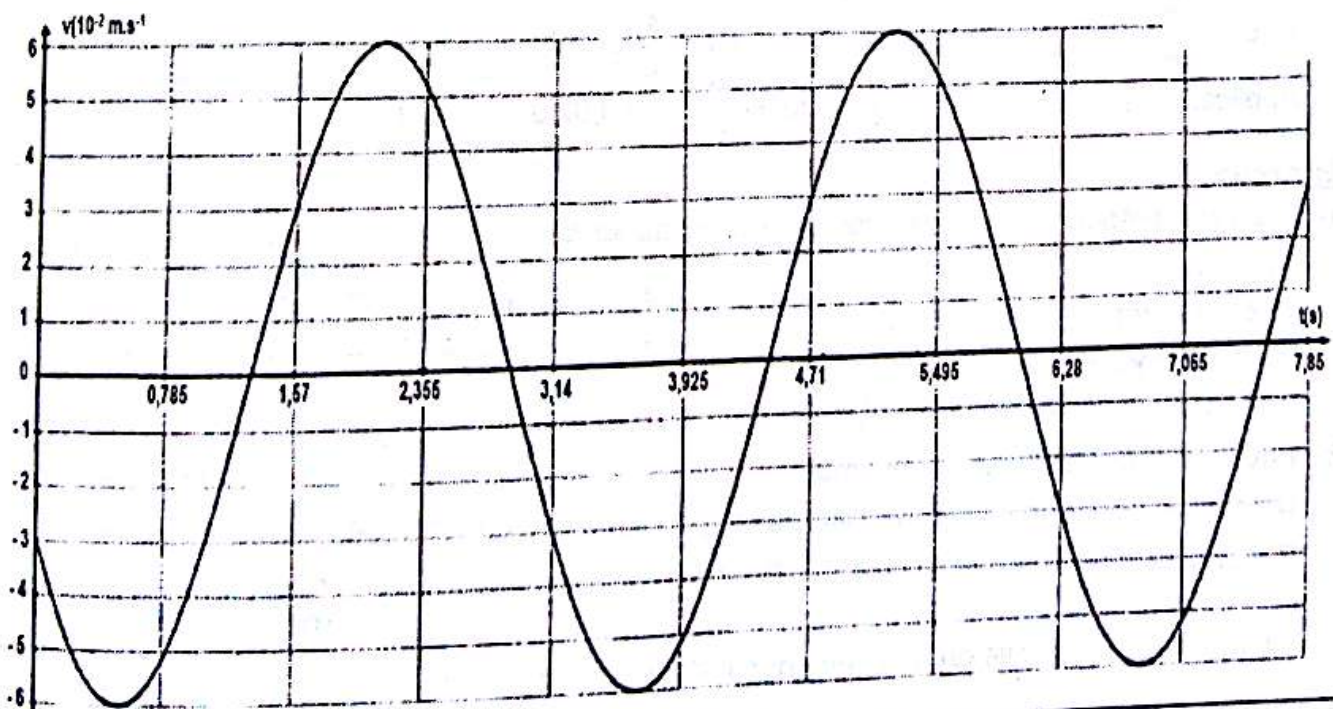
- 6- Déterminer la valeur de t' et les caractéristiques de \vec{v}' .
- 7- Etablir en fonction du temps, les expressions : de l'énergie cinétique E_c ; de l'énergie potentielle élastique E_p ; de l'énergie mécanique du système E_m .
- 8- Dédire de ce qui précède, que le système est conservatif. Calculer la valeur de E_m .
- 9- Représenter qualitativement dans le même repère les diagrammes des énergies (cinétique, potentielle et mécanique) en fonction de la position x , $x \in [-X_m ; X_m]$.

Exercice 5

On considère un pendule élastique constitué d'un solide (S) de centre d'inertie G et de masse m, fixé à l'extrémité d'un ressort à spires non jointives de constante de raideur k. L'ensemble est astreint à se déplacer sans frottements sur un axe Ox horizontal et le centre d'inertie G du solide S se situe à l'origine O de l'axe lorsque le système est au repos.

On écarte le solide de sa position d'équilibre d'un allongement x_0 dans le sens positif, puis à cette position prise comme instant initial t_0 on le libère avec une vitesse initiale v_0 . Des oscillations prennent alors naissance. A un instant t quelconque, au cours des oscillations, l'élongation du solide obéit à l'équation : $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$.

- 1) Donner l'expression de la vitesse v du pendule élastique à l'instant t.
- 2) La courbe ci-dessous, représente les variations de la vitesse v du solide(S) en fonction du temps.
 - 2.1. Comment appelle-t-on le régime des oscillations du pendule élastique ? Justifier.
 - 2.2. Déterminer graphiquement la période T_0 des oscillations. En déduire la pulsation ω_0 et l'amplitude maximale X_m .
- 3) A partir de la courbe, dans quel sens se déplace le solide après l'instant initial de lancement ? Déduire alors la valeur de φ .
- 4) Donner l'expression numérique de la vitesse v du pendule élastique.
- 5) Déterminer la valeur de x_0 .
- 6) On suppose que l'énergie cinétique de cet oscillateur est égale à $E_c = 1,125 \cdot 10^{-2}$ J quand le solide S est à sa position d'équilibre.
En déduire la masse m du solide puis la constante de raideur k du ressort.



Edition 2017

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1. Précisons les valeurs de l'amplitude, de la période, de la fréquence et de la phase initiale

La solution générale de l'équation différentielle est : $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$.

L'équation horaire est : $x = 2 \cdot 10^{-2} \cos\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right)$. Donc par identification on a :

➤ L'amplitude : $X_m = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$;

➤ La période propre : $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ or $\omega_0 = 40\pi \text{ rad/s}$ donc $T_0 = \frac{2\pi}{40\pi} = 0,05 \text{ s}$ ou $5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$

➤ La fréquence propre : $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ Hz}$

➤ La phase initiale : $\varphi = -\frac{\pi}{6} \text{ rad}$

2. Calculons la vitesse et l'accélération du point matériel à l'instant $t = 0 \text{ s}$.

Déterminons d'abord la vitesse v et l'accélération a du point matériel à chaque instant.

➤ $x = 2 \cdot 10^{-2} \cos\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right) \Rightarrow v = \dot{x} = -2 \cdot 10^{-2} \times 40\pi \sin\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right) = -0,8\pi \sin\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right)$

➤ $v = -0,8\pi \sin\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right) \Rightarrow a = \dot{v} = -0,8\pi \times 40\pi \cos\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right) = -32\pi^2 \cos\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right)$

➤ $v_0 = -0,8 \times \pi \times \sin\left(40\pi \times 0 - \frac{\pi}{6}\right) = -0,8 \times \pi \times \sin\left(-\frac{\pi}{6}\right) = -0,8 \times \pi \times (-0,5) = 1,26 \text{ m/s}$

➤ $a_0 = -32 \times \pi^2 \times \cos\left(40\pi \times 0 - \frac{\pi}{6}\right) = -32 \times \pi^2 \times \cos\left(-\frac{\pi}{6}\right) = -273,5 \text{ m/s}^2$

3. Montrons que l'énergie mécanique de l'oscillateur est constante et déduisons sa valeur.

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m (-\omega_0 X_m \sin(\omega_0 t + \varphi))^2 + \frac{1}{2} k (X_m \cos(\omega_0 t + \varphi))^2$$

$$\Rightarrow E_m = \frac{1}{2} m \omega_0^2 X_m^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \frac{1}{2} k X_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi) \text{ or } \omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

$$\Rightarrow E_m = \frac{1}{2} k X_m^2 (\sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \cos^2(\omega_0 t + \varphi)) = \frac{1}{2} k X_m^2 \times 1 = \frac{1}{2} k X_m^2 = \text{cste}$$

$$\text{Application numérique : } E_m = \frac{1}{2} \times 100 \times (2 \cdot 10^{-2})^2 = 0,02 \text{ J ou } 2 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

Exercice 2

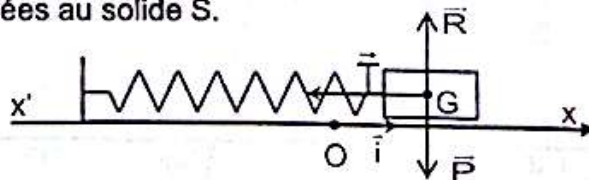
1- Bilan et représentation des forces appliquées au solide S.

système : solide S de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces :

➤ le poids \vec{P} du solide, la réaction normale \vec{R} de l'axe et la tension \vec{T} du ressort.



2- Equation différentielle du mouvement.

$$\text{D'après le théorème du centre d'inertie : } \Sigma \vec{F}_{ext} = m \vec{a}_G \Rightarrow \vec{T} + \vec{P} + \vec{R} = m \vec{a}_G$$

$$\text{Par projection sur l'axe } (x'x) : T + 0 + 0 = m a_G \Rightarrow -kx = m \ddot{x} \Rightarrow \ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0$$

$$\text{L'équation différentielle du mouvement est donc : } \ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0$$

3- Déduisons l'équation horaire du mouvement de S.

➤ Détermination de la pulsation propre : $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{4000}{100}} = 6,32 \text{ rad.s}^{-1}$

➤ Détermination de la phase φ : la solution générale de l'équation différentielle est :

$$x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) ; \text{ à } t = 0, x(0) = X_m = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

$$x(0) = X_m \cos(\omega_0 \times 0 + \varphi) \Rightarrow X_m = X_m \cos(\varphi) \Rightarrow \cos(\varphi) = \frac{X_m}{X_m} = 1 \Rightarrow \varphi = 0^\circ$$

L'équation horaire devient : $x(t) = 5 \cdot 10^{-2} \cos(6,32t)$.

4- Calculons la période pour les mêmes données numériques.

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{100}{4000}} = 0,993 \Rightarrow T_0 \approx 1 \text{ s}$$

5- Montrons que l'énergie mécanique est constante et peut se mettre sous $E_m = \frac{1}{2} m V_m^2$.

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m (-\omega_0 X_m \sin(\omega_0 t + \varphi))^2 + \frac{1}{2} k (X_m \cos(\omega_0 t + \varphi))^2$$

$$\Rightarrow E_m = \frac{1}{2} m \omega_0^2 X_m^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \frac{1}{2} k X_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi) \text{ or } \omega_0^2 = \frac{k}{m} \Rightarrow k = m \omega_0^2$$

$$\Rightarrow E_m = \frac{1}{2} k X_m^2 (\sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \cos^2(\omega_0 t + \varphi)) \text{ or } \omega_0 X_m = V_m \Rightarrow X_m = \frac{V_m}{\omega_0} \text{ et } k = m \omega_0^2$$

$$\Rightarrow E_m = \frac{1}{2} k X_m^2 = \frac{1}{2} m \omega_0^2 \frac{V_m^2}{\omega_0^2} = \frac{1}{2} m V_m^2 = \text{cste car } m \text{ et } V_m \text{ sont des constantes.}$$

6- Retrouvons l'équation différentielle à partir de l'expression de l'énergie mécanique.

$$E_m = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k x^2 = \text{cste} \Rightarrow \frac{dE_m}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d\left(\frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k x^2\right)}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} \times 2 m \dot{x} \ddot{x} + \frac{1}{2} \times 2 k x \dot{x} = 0 \Rightarrow \dot{x} (m \ddot{x} + k x) = 0 \Rightarrow m \ddot{x} + k x = 0$$

Or $\dot{x} \neq 0$ donc $\ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0$. On retrouve donc l'équation différentielle du mouvement.

Exercice 31) Calculons l'énergie mécanique de l'oscillateur à l'instant t_0 .

$$E_{m_0} = E_{p_0} + E_{c_0} = \frac{1}{2} k x_0^2 + \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$\text{Application numérique : } E_{m_0} = \frac{1}{2} \times 5 \times (3 \cdot 10^{-2})^2 + \frac{1}{2} \times 0,2 \times (-0,1)^2 = \underline{3,25 \cdot 10^{-3} \text{ J}}$$

2) En appliquant le principe de conservation de l'énergie mécanique, déterminons :

a) la vitesse de S au passage par la position d'équilibre E ;

Par convention, l'énergie potentielle est nulle pour la position d'équilibre : $E_{p_E} = 0$

$$E_{m_E} = E_{p_E} + E_{c_E} = 0 + \frac{1}{2} m v_E^2 = \frac{1}{2} m v_E^2$$

Or l'énergie mécanique du système se conserve donc $E_{m_E} = E_{m_0}$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} m v_E^2 = E_{m_0} \Rightarrow v_E^2 = \frac{2 E_{m_0}}{m} \Rightarrow v_E = \sqrt{\frac{2 E_{m_0}}{m}}$$

$$\text{Application numérique : } v_E = \sqrt{\frac{2 \times 3,25 \cdot 10^{-3}}{0,2}} = \underline{0,18 \text{ m/s}}$$

b) les positions pour lesquelles la vitesse s'annule.

$$\text{A cette position on a : } E_m = E_p + E_c = \frac{1}{2} kx^2 + 0 = \frac{1}{2} kx^2$$

Or l'énergie mécanique du système se conserve donc $E_m = E_{m_0}$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} kx^2 = E_{m_0} \Rightarrow x^2 = \frac{2E_{m_0}}{k} \Rightarrow x = \sqrt{\frac{2E_{m_0}}{k}} \text{ ou } x = -\sqrt{\frac{2E_{m_0}}{k}}$$

$$\text{Application numérique : } x = \sqrt{\frac{2 \times 3,25 \cdot 10^{-3}}{5}} = \underline{0,036 \text{ m}} \text{ ou } x = \underline{-0,036 \text{ m}}$$

3) Etablissement de l'équation différentielle du mouvement de G.

$$E_m = \frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} m\dot{x}^2 = \text{constante} \Rightarrow \frac{dE_m}{dt} = 0$$

$$\text{Or } \frac{dE_m}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} m\dot{x}^2\right)}{dt} = \frac{1}{2} \times 2kx\dot{x} + \frac{1}{2} \times 2m\dot{x}\ddot{x} = \dot{x}(kx + m\ddot{x}) = m\dot{x}\left(\frac{k}{m}x + \ddot{x}\right)$$

$$\text{Donc } \frac{dE_m}{dt} = 0 \Rightarrow m\dot{x}\left(\frac{k}{m}x + \ddot{x}\right) = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{k}{m}x + \ddot{x} = 0} \text{ car } m\dot{x} \neq 0$$

4) Equation horaire du mouvement en respectant le choix de l'origine des dates plus haut.

L'équation horaire est de la forme : $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ et $\dot{x}(t) = -\omega_0 X_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$

A $t = 0$, $x_0 = 3 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $v_0 = -0,1 \text{ m/s}$

➤ X_m correspond à la valeur de la position pour laquelle la vitesse s'annule donc :

$$\underline{X_m = 0,036 \text{ m} = 3,6 \text{ cm}}$$

$$\text{➤ } x(0) = X_m \cos(\omega_0 \times 0 + \varphi) \Rightarrow x_0 = X_m \cos(\varphi) \Rightarrow \cos \varphi = \frac{x_0}{X_m} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,036} = 0,83$$

$$\Rightarrow \varphi = \cos^{-1}(0,83) \approx 0,6 \text{ rad} \text{ ou } \varphi = -0,6 \text{ rad}$$

$$\text{➤ } \dot{x}(0) = -\omega_0 X_m \sin(\omega_0 \times 0 + \varphi) \Rightarrow v_0 = -\omega_0 X_m \sin(\varphi) \Rightarrow \sin \varphi = -\frac{v_0}{\omega_0 X_m}$$

$$\text{Or } \sin \varphi = -\frac{(-0,1)}{\omega_0 X_m} = \frac{0,1}{\omega_0 X_m} > 0 \text{ donc } \varphi > 0 \Rightarrow \underline{\varphi = 0,6 \text{ rad}}$$

$$\text{➤ } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{5}{0,2}} = \underline{5 \text{ rad/s}} \text{ donc l'équation horaire devient : } \underline{x(t) = 3,6 \cdot 10^{-2} \cos(5t + 0,6)}$$

Exercice 4

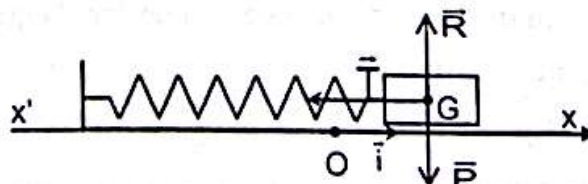
1) Schéma du dispositif expérimental et représentation des forces s'exerçant sur le solide (S).

système : solide S de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces :

- le poids \vec{P} du solide,
- la réaction normale \vec{R} de l'axe
- la tension \vec{T} du ressort.



2) Etablissement de l'équation différentielle régissant le mouvement de son centre d'inertie G.

D'après le théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}_G \Rightarrow \vec{T} + \vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}_G$

Par projection sur l'axe(x'x) : $T + 0 + 0 = ma_G \Rightarrow -kx = m\ddot{x} \Rightarrow \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$

L'équation différentielle du mouvement est donc : $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$ (1)

3) X_m est l'amplitude et φ la phase initiale.

3.1. Retrouvons l'expression de la période propre T_0 en fonction de m et de k .

Une solution de l'équation différentielle : $x(t) = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$

$$\Rightarrow \frac{dx}{dt} = -X_m \frac{2\pi}{T_0} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right) \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$$

$$\Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 x(t) \Leftrightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 x(t) = 0 \quad (2)$$

A partir des équations (1) et (2), on a : $\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \frac{k}{m} \Leftrightarrow \left(\frac{T_0}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{k} \Leftrightarrow T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

3.2. Déterminons X_m , T_0 , ω_0 et φ : d'après l'oscillogramme, on a :

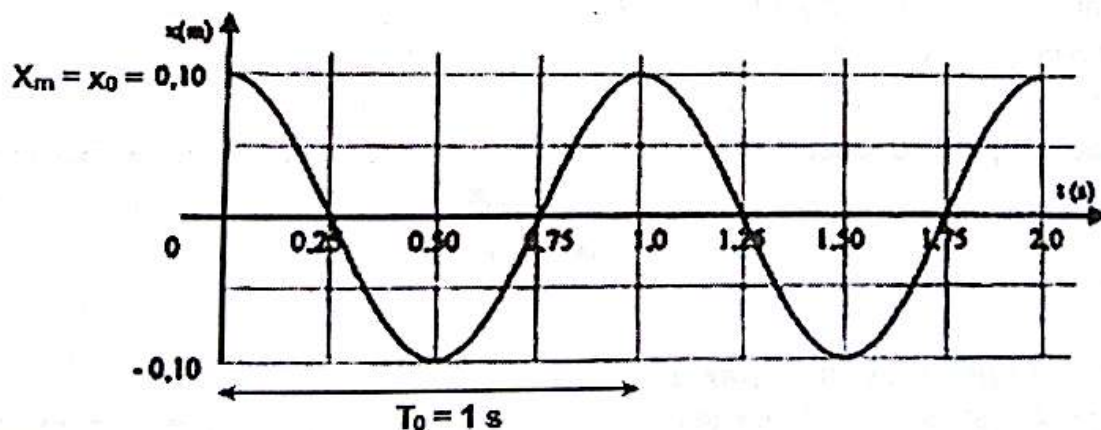
➤ $X_m = 0,10 \text{ m}$

➤ $T_0 = 1 \text{ s}$

➤ $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2\pi}{1} = 2\pi \text{ rad/s}$

➤ $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$; à $t = 0$, $x(0) = X_m = 0,10 \text{ m}$ donc $x(0) = X_m \cos(\omega_0 \times 0 + \varphi)$

$\Rightarrow X_m = X_m \cos(\varphi) \Rightarrow \cos(\varphi) = \frac{X_m}{X_m} = 1 \Rightarrow \varphi = 0^\circ$



3.3. Dédution de l'équation horaire du mouvement.

$$x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \text{ donc } x(t) = 0,1 \cos(2\pi t)$$

3.4. Déterminons l'instant auquel le solide repasse en O, après l'instant initial.

A partir de l'oscillogramme on trouve que le solide passe en O quand $x = 0$ c'est-à-dire à $t = 0,25 \text{ s}$. Il repasse alors en O à $t = 0,75 \text{ s}$. La date correspondant est donc $t = 0,75 \text{ s}$.

3.5. Calculons la valeur de la masse m du solide (S).

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \Leftrightarrow m = \frac{k}{\omega_0^2} = \frac{4}{4\pi^2} = \frac{1}{\pi^2} = 0,1013 \text{ kg} = 101,3 \text{ g}$$



Nikola Tesla
(1857 - 1943)

Inventeur et Ingénieur Américain d'origine Serbe

Il a mis au point les premiers alternateurs permettant la naissance des réseaux électriques de distribution en courant alternatif, dont il est l'un des pionniers. Il est connu pour avoir su mettre en pratique la découverte du caractère ondulatoire de l'électromagnétisme en utilisant les fréquences propres des composants des circuits afin de maximiser leur rendement. En hommage, son nom fût donné à l'unité du champ magnétique, le tesla(T)

CHAMP MAGNETIQUE

Objectifs spécifiques

- Déterminer les caractéristiques de quelques champs magnétiques.

RAPPEL DE COURS

1. Vecteur champ magnétique

Il règne un champ magnétique dans une région de l'espace, lorsqu'une aiguille aimantée y subit des actions. Les caractéristiques du vecteur champ magnétique sont :

- point d'application : le point M considéré ;
- direction : celle d'une aiguille aimantée placée au point M ;
- sens : celui du SUD vers le NORD d'une aiguille aimantée placée au point M ;
- valeur : dépend de la source et du point considéré. Elle s'exprime en tesla (T).

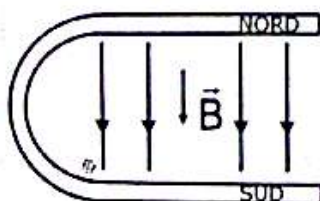


2. Champ magnétique créé par un aimant

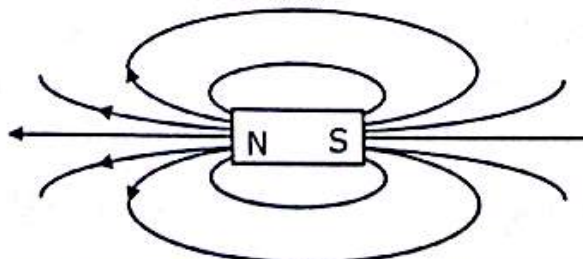
Une ligne de champ est une ligne tangente en chacun de ses points au vecteur champ magnétique et orientée dans le même sens que celui-ci.

Le spectre magnétique est l'ensemble des lignes de champ magnétique.

Aimant en U



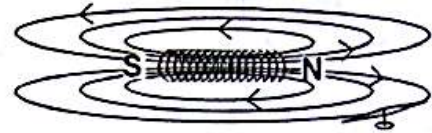
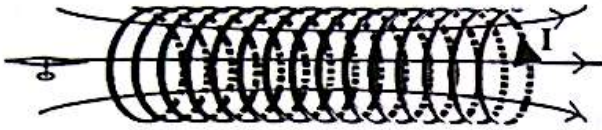
Aimant droit



3. Topographie du champ créé par un solénoïde

C'est une bobine constituée d'un enroulement de fil conducteur sur un cylindre de rayon r .

Si L et r sont de même grandeur, on parle de solénoïde. Si $L \geq 10r$, le solénoïde est dit infini ou long. A l'intérieur d'un solénoïde, les lignes de champ sont parallèles et le champ magnétique est uniforme. A l'extérieur, elles sont semblables à celui d'un aimant droit.

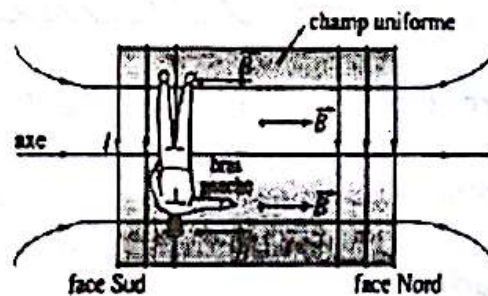
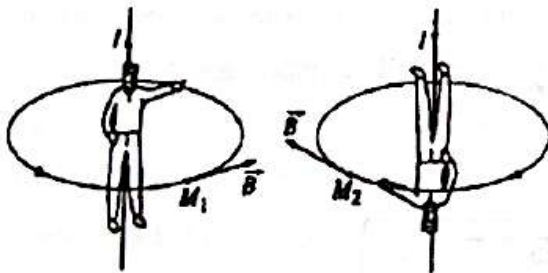


4. Comment déterminer le sens du champ magnétique ?

4.1. Règle du bonhomme d'Ampère.

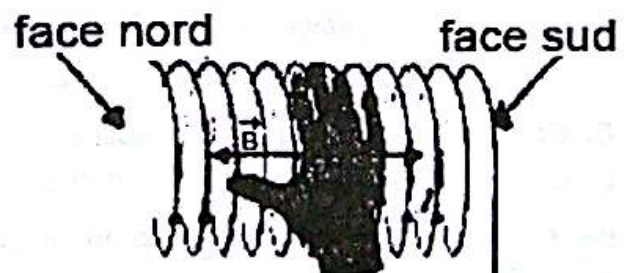
C'est une règle d'orientation dans l'espace qui s'applique au fil rectiligne et au solénoïde :

- L'observateur d'Ampère est placé le long du fil conducteur de telle sorte que le courant circule de ses pieds vers sa tête ;
- Il regarde le point M de l'espace où doit être déterminé le sens du vecteur champ magnétique ;
- Son bras gauche levé dans le plan contenant ses épaules indique alors le sens du champ magnétique au point M.



4.2. Règle de la main droite.

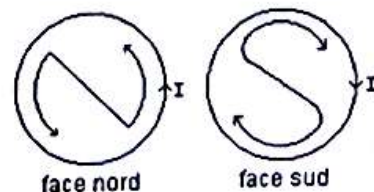
Si on plaque la main droite contre le fil, la paume face au centre de la bobine, les doigts orientés dans le sens du courant électrique, le pouce tendu indique la direction du champ magnétique à l'intérieur de la bobine.



4.3. Reconnaître les bobines d'une face

On se place devant la face à identifier et on inscrit un "N" ou un "S" avec des flèches en bout de lettre :

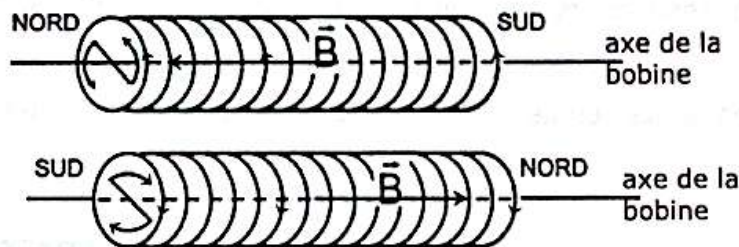
- la face considérée est une face nord si les flèches sur la lettre "N" sont dans le même sens que le courant ;
- la face considérée est une face sud si les flèches sur la lettre "S" sont dans le même sens que le courant.



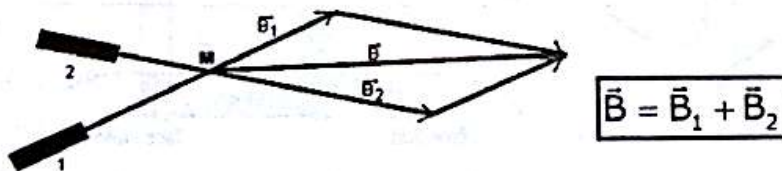
5. Caractéristiques du champ magnétique.

- direction : celle de l'axe de la bobine ;
- sens : dans le sens SUD-NORD de la bobine ;
- valeur : $B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{L} I$
 - B : Champ magnétique à l'intérieur du solénoïde en teslas (T).
 - $\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}$ S.I (perméabilité magnétique du vide)
 - n : nombre de spires par mètre du solénoïde (spires.m⁻¹).
 - N : nombre de spires du solénoïde
 - L : longueur du solénoïde en mètres (m).
 - I : Intensité du courant circulant dans le solénoïde en ampères (A)

6. Représentation du champ magnétique



7. Superposition de champs magnétiques



Si les champs magnétiques \vec{B}_1 et \vec{B}_2 sont perpendiculaires alors $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$

8. Champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre peut-être considéré comme le champ créé par un aimant droit placé au centre de la Terre. Ce champ magnétique est la résultante de deux composantes :

- \vec{B}_H : composante horizontale du champ magnétique terrestre au point M.
- \vec{B}_V : composante verticale du champ magnétique terrestre au point M.

$$\vec{B} = \vec{B}_H + \vec{B}_V$$

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** : (extrait Bac série D session 2009 Côte d'Ivoire)

Étude du champ magnétique créé par un solénoïde long

Les deux parties sont indépendantes.

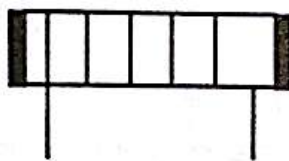
Partie AUn solénoïde parcouru par un courant continu d'intensité I crée un champ magnétique \vec{B} .

1. Reproduire le schéma du solénoïde ci-dessous et représenter :

1.1. Le sens choisi du courant ;

1.2. Les lignes de champ et leur sens ;

1.3. Le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde (direction et sens).



2. Compléter le schéma ci-contre en y indiquant les faces du solénoïde.

Partie B

Pour utiliser ce solénoïde, on se propose de déterminer le nombre de spires qui n'est malheureusement pas indiqué. Pour ce faire, on mesure la valeur du champ magnétique \vec{B} à l'intérieur du solénoïde en faisant varier l'intensité du courant I qui le traverse.

1. Faire un schéma annoté du dispositif expérimental.

2. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

I(A)	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
B(mT)	0	0,63	0,94	1,25	1,55	1,89	2,15	2,48	2,80

2.1. Tracer la courbe $B = f(I)$.

Échelle : 1 cm pour 0,5 A et 1 cm pour 0,5 mT.

2.2. Déduire de la courbe que B est proportionnelle à I et déterminer le coefficient de proportionnalité k (en unité SI).2.3. Donner l'expression de B en fonction de la longueur du solénoïde ℓ , du nombre de spires N , de l'intensité I du courant et de la perméabilité du vide μ_0 .2.4. Déterminer le nombre de spires N .Données : $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ (unité SI) ; $\ell = 40$ cm ; section de base $S = 20$ cm².

Exercice 2

On considère deux aimants droits A_1 et A_2 , créant chacun au point P , des champs magnétiques notés respectivement \vec{B}_1 et \vec{B}_2 . Leurs valeurs sont $B_1 = 40 \text{ mT}$ et $B_2 = 30 \text{ mT}$.

Les axes D_1 et D_2 des aimants sont perpendiculaires.

1. Reproduire le schéma et indiquer les pôles des aimants.

2. Le champ magnétique \vec{B} au point P résulte de la présence des deux aimants A_1 et A_2 , ainsi on peut écrire : $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$

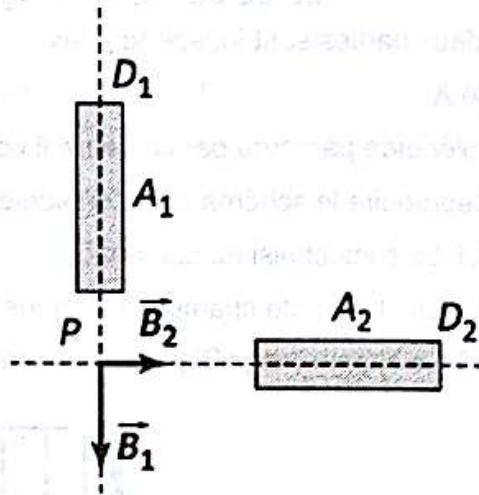
Déterminer au point P , la valeur du champ magnétique \vec{B} résultant de la superposition de \vec{B}_1 et \vec{B}_2 par une construction graphique.

3. Déterminer la valeur de \vec{B} par le calcul.

4. La valeur du champ magnétique terrestre est-elle négligeable devant la valeur de \vec{B} ? Comparer ces deux valeurs.

5. Représenter une aiguille aimantée placée en P en faisant apparaître ses pôles nord et sud.

6. Calculer l'angle entre la direction de l'aiguille et l'axe D_1 de l'aimant A_1 .

**Exercice 3** (extrait Bac Blanc Lycée Municipal 1 Attécoubé 2016 Côte d'Ivoire)

Soit un solénoïde de longueur $L = 50 \text{ cm}$, comportant 350 spires de 4 cm de diamètre.

Son axe horizontal est perpendiculaire au méridien magnétique.

1) Ce solénoïde peut-il être considéré comme long ?

2) En l'absence de courant quel sens prend une petite aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical placée dans la région centrale du solénoïde ? La représenter sur la vue.

3) On fait circuler à présent un courant continu d'intensité I dans le solénoïde.

L'aiguille aimantée fait alors un angle $\alpha = 30^\circ$ avec l'axe du solénoïde.

3.1. Dessiner sur le schéma la nouvelle position de l'aiguille.

Représenter sur ce schéma le champ magnétique créé au centre de la bobine, la composante horizontale du champ magnétique terrestre le champ résultant. Justifier.

3.2. Préciser (en fonction du sens du courant choisi) la face sud et la face nord. Expliquer.


3.3. Calculer l'intensité du courant (on rappelle la valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre : $B_h = 2.10^{-5} \text{ T}$).

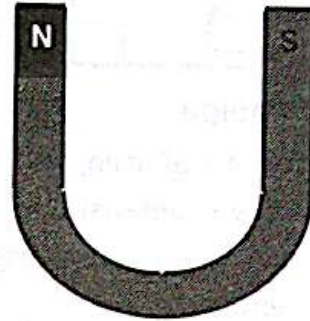
4) On impose une intensité $I = 0,9 \text{ A}$. La valeur du champ magnétique créé au centre du solénoïde vaut : $B = 0,8 \text{ mT}$. On juxtapose un solénoïde identique au précédent de façon à constituer un solénoïde de longueur double. On alimente les deux solénoïdes en série et de façon à ce que le courant les parcourt dans le même sens.

Que vaut la valeur du champ magnétique à l'intérieur de cette association

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1 (extrait Bac Blanc Régional série D 2016 DREN Abidjan 3 C.I.)
Spectre de champ magnétique crée par un aimant droit et un aimant en U

- 1) Définir le spectre magnétique.
- 2) Reproduire et représenter sur l'aimant en U schématisé ci-contre, le spectre du champ magnétique crée en indiquant le sens des lignes de champ.
- 3) Placer convenablement l'aiguille aimantée suivante  sur une des lignes de champ située à l'intérieur des branches de cet aimant.
- 4) Préciser la nature du champ magnétique crée à l'intérieur de l'aimant en U.

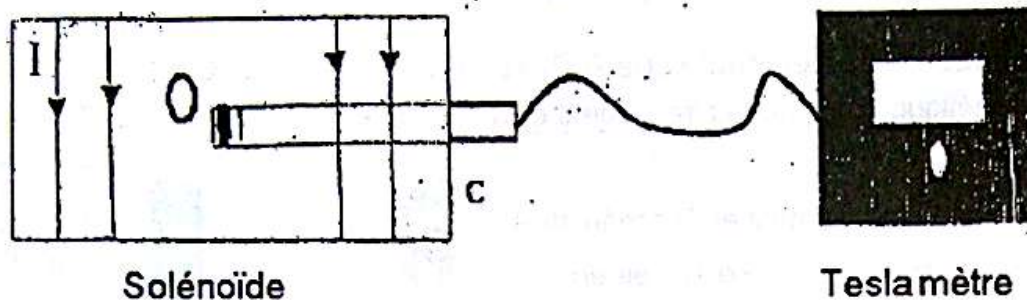


Exercice 2 (extrait Bac série D 1^{er} groupe session 2014 NIGER)

Une sonde d'un tesla-mètre est placée au centre O d'un solénoïde. On mesure l'intensité du champ en fonction de l'intensité du courant électrique qui circule dans le solénoïde. Les résultats des mesures sont donnés par le tableau suivant :

I(A)	0	1	2	3	4	5
B(mT)	0	2,51	5,03	7,54	10,05	12,60

- 1) Représenter la fonction $B = f(I)$. Quel type de courbe obtient-on ?
On donne comme échelle : 2 cm pour 1 A ; 2 cm pour 5 mT.
- 2) Le solénoïde comporte $N = 800$ spires. Il est considéré comme infiniment long.
En utilisant le tracé obtenu, déterminer sa longueur ℓ . On donne $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI.
- 3) On place une aiguille aimantée à l'intérieur de ce solénoïde, au centre. En l'absence du courant dans le solénoïde, l'aiguille prend la direction du champ magnétique terrestre \vec{B}_H , perpendiculaire à l'axe du solénoïde. En présence du courant, l'aiguille tourne d'un angle α par rapport à sa position initiale. On règle l'intensité du courant à $I = 4,6$ mA ; l'angle prend alors la valeur $\alpha = 30^\circ$.
 - a) Préciser sur un schéma le sens de circulation du courant dans le solénoïde et représenter sur le même schéma les champs magnétiques qui agissent sur l'aiguille.
 - b) Exprimer l'intensité du champ magnétique créé par le solénoïde en fonction de N , ℓ et I .
 - c) Déterminer la valeur de l'intensité de la composante horizontale du champ magnétique terrestre \vec{B}_H .

Exercice 3 (extrait Bac Blanc 2013 Lycée Sainte Marie Cocody C.I.)

Solénoïde

Tesla mètre

La sonde à effet Hall d'un tesla mètre est placée au centre O d'un solénoïde de longueur $L = 40$ cm (figure ci-dessus). Les valeurs B_0 du champ magnétique, mesurées en fonction de l'intensité I du courant, sont regroupées dans le tableau suivant : On négligera le champ magnétique terrestre.

I(A)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
B_0 (mT)	0,6	1,2	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5

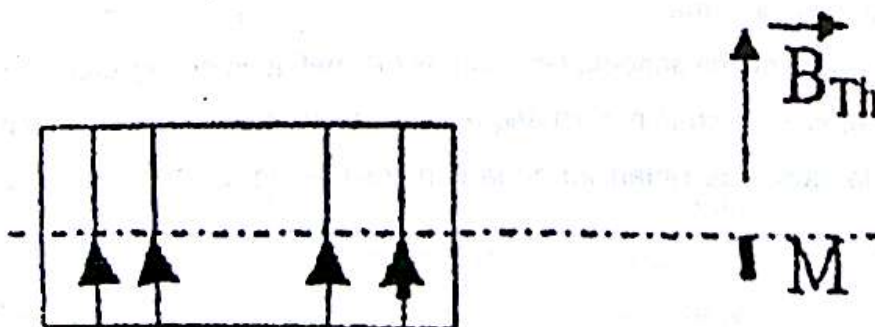
1)

1.1. Tracer la représentation graphique de $B_0 = f(I)$.Echelle : 2 cm \rightarrow 0,5 A et 2 cm \rightarrow 1 mT,

1.2. Déterminer l'équation de la courbe obtenue

2) Donner l'expression théorique de la valeur de B_0 au centre du solénoïde.En déduire le nombre N de spires du solénoïde étudié. On donne : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ S.I.3) Donner la direction et le sens du champ magnétique B_0 au point O et indiquer l'orientation d'une aiguille alimentée placée devant la face A du solénoïde sur un schéma clair.

4)

4.1. Maintenant en tenant compte du champ magnétique terrestre B_{Th} , horizontal, orthogonal à l'axe d'une bobine comportant 1600 spires par mètre de longueur et parcourue par un courant d'intensité $I = 10$ mA, placée à une distance d d'un point M (voir figure) ; de quel angle α (par rapport à l'axe de la bobine) tournerait une aiguille aimantée placée au point M si $B_{Th} = 2 \cdot 10^{-5}$ T ? (Faire un schéma clair).4.2. Calculer la valeur B_1 du champ résultant.4.3. Comment ajouter une deuxième bobine identique, placée à la même distance d de M pour que le champ total résultant soit nul en ce point ? Faire le schéma et calculer l'intensité I du courant qui doit traverser cette bobine dans ce cas.

Exercice 4 (extrait Bac série C session 2009 Cameroun)

Une bobine plate circulaire comportant 10 spires de rayon $R = 2,2 \text{ cm}$ chacune est placée tel que son plan est confondu avec le méridien magnétique du lieu. En son centre O se trouve une petite aiguille pouvant tourner dans un plan horizontal autour d'axe vertical.

Les figures a et b traduisent la situation.

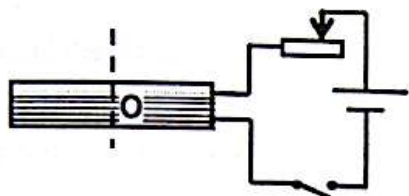


Figure a : vue de dessus

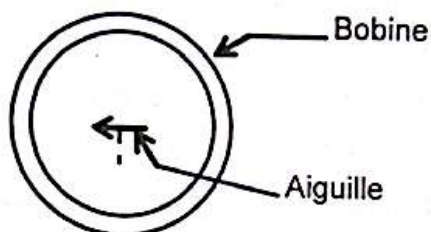


Figure b : vue de face de la bobine

1. Le circuit est ouvert. Quelle position prend l'aiguille aimantée ?
2. Le circuit est ensuite fermé et l'aiguille aimantée s'immobilise dans une position qui fait un angle α avec la précédente.
 - 2.1. Pourquoi l'aiguille dévie-t-elle ?
 - 2.2. Si on inverse les bornes du générateur alimentant ce circuit que se passe-t-il ?
3. A l'aide du rhéostat on fait varier l'intensité I du courant dans le circuit et on note les valeurs correspondantes de l'angle alpha.

Le tableau ci-dessous est alors obtenu :

I(A)	0	1	2	3	4	5	6
α (degré)	0	85,6	88	88,6	89	89,2	89,3
$\tan(\alpha)$	0	13	28,6	40,9	57,3	71,6	81,8

- 3.1. Tracer la courbe $\tan(\alpha) = f(I)$.

Échelle : abscisse : 2 cm pour 1 A ; ordonnée : 1 cm pour 5 unité de $\tan \alpha$.

- 3.2. Soit B_0 , l'intensité du champ créé au centre O de la bobine et B_H la composante horizontale du champ magnétique terrestre.

Donner l'expression de $\tan(\alpha)$ en fonction de B_0 et de B_H .

- 3.3. Calculer alors la valeur expérimentale de B_H .

On rappelle que le champ magnétique créé au centre d'une bobine plate parcourue par un courant d'intensité I et comportant N spires circulaires de rayon R a pour valeur

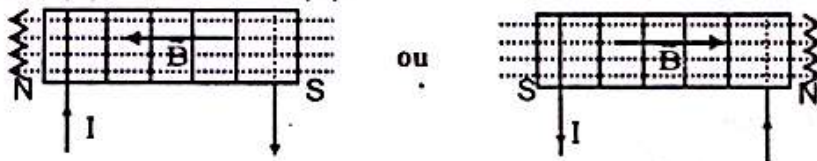
$$B_0 = 2\pi \cdot 10^{-7} \frac{NI}{R}$$

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1(Extrait Bac D session normale 2009 Côte d'Ivoire)

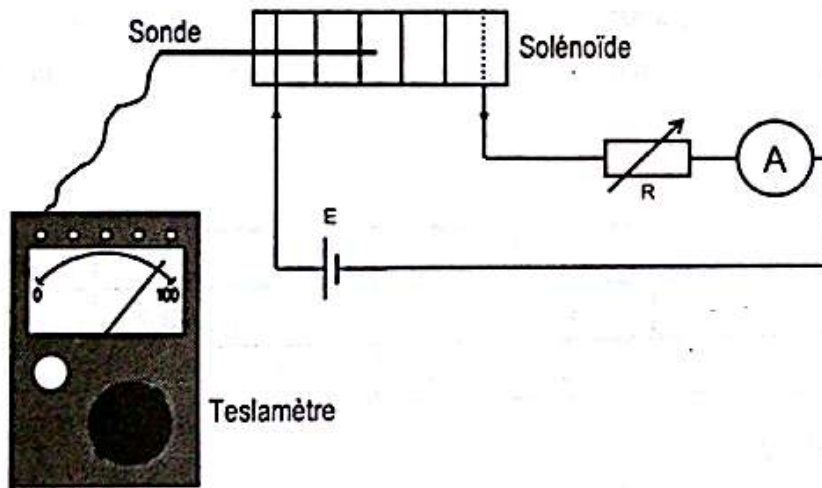
Partie A

1. Reproduction du schéma du solénoïde et représentation : voir schéma ci-dessous
 - 1.1. du sens choisi du courant : il est soit de la gauche vers la droite, soit de la droite vers la gauche.
 - 1.2. des lignes de champ et leurs sens : à l'intérieur du solénoïde, elles sont parallèles et orientées du Sud vers le Nord.
 - 1.3. du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde : il a pour direction l'axe du solénoïde et orienté du Sud vers le Nord.
2. Les faces du solénoïde : le champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde est orienté de la face Sud(S) à la face Nord(N).



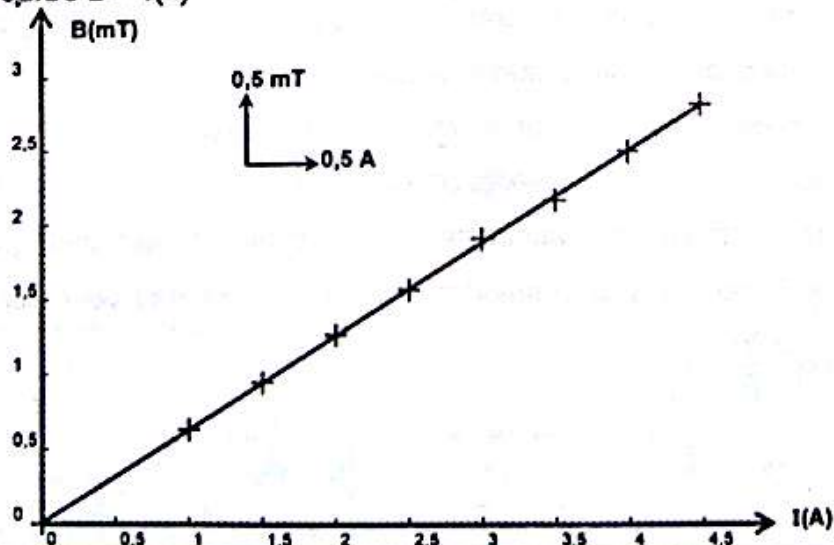
Partie B

1. Schéma annoté du dispositif expérimental



2.

2.1. Tracé de la courbe $B = f(I)$



2.2. Exploitation de la courbe

B est proportionnel à I car le graphe obtenu est une droite passant par l'origine des axes ou le graphe est de la forme $B = kI$.

$$\text{Coefficient de proportionnalité : } k = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{(2,80 - 1,25) \cdot 10^{-3}}{4,5 - 2} = 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ T/A}$$

2.3. Expression du champ B en fonction de ℓ , N , I et μ_0

$$\left. \begin{array}{l} B = \mu_0 n I \\ n = \frac{N}{\ell} \end{array} \right\} \Rightarrow B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$$

2.4. Calcul du nombre de spires :

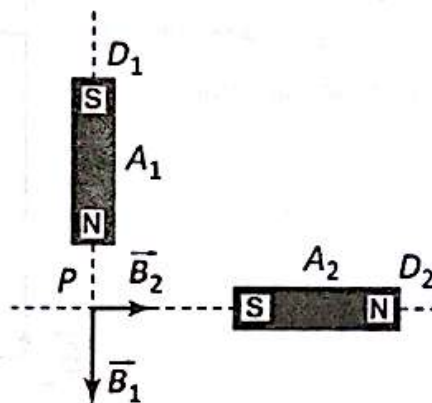
$$\left. \begin{array}{l} B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I \\ B = kI \end{array} \right\} \Rightarrow k = \mu_0 \frac{N}{\ell} \Rightarrow N = \frac{k\ell}{\mu_0} = \frac{6,2 \cdot 10^{-4} \times 0,4}{4 \times \pi \cdot 10^{-7}} = 197$$

Exercice 2

1. Reproduisons le schéma et indiquons les pôles des aimants

Le champ magnétique sort du pôle nord de l'aimant et rentre par le pôle sud.

On obtient donc la répartition des pôles ci-contre.

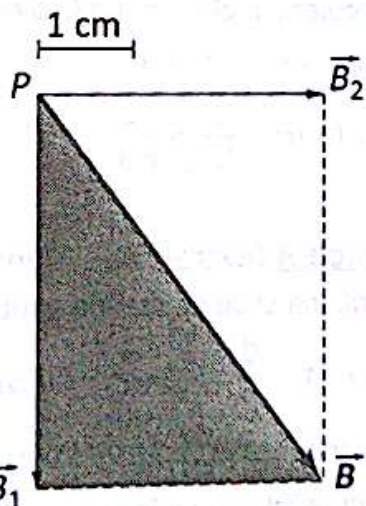


2. Déterminons au point P, la valeur du champ magnétique \vec{B} résultant

On construit les deux vecteurs \vec{B}_1 et \vec{B}_2 avec une même échelle, en respectant l'angle de 90° entre leurs directions. L'échelle choisie est : 1 cm pour 10 mT.

On construit le vecteur \vec{B} représentant la somme des deux vecteurs \vec{B}_1 et \vec{B}_2 .

Sur le schéma tracé, on mesure une longueur de 5,0 cm pour le vecteur \vec{B} , on en déduit que $B = 50 \text{ mT}$.



3. Déterminons la valeur de \vec{B} par le calcul.

Le quadrilatère construit sur les vecteurs \vec{B}_1 et \vec{B}_2 est un parallélogramme avec un angle droit à P, le triangle grisé est donc un triangle rectangle.

On utilise le théorème de Pythagore avec les valeurs des champs, soit : $B^2 = B_1^2 + B_2^2$

$$\Rightarrow B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ mT}$$

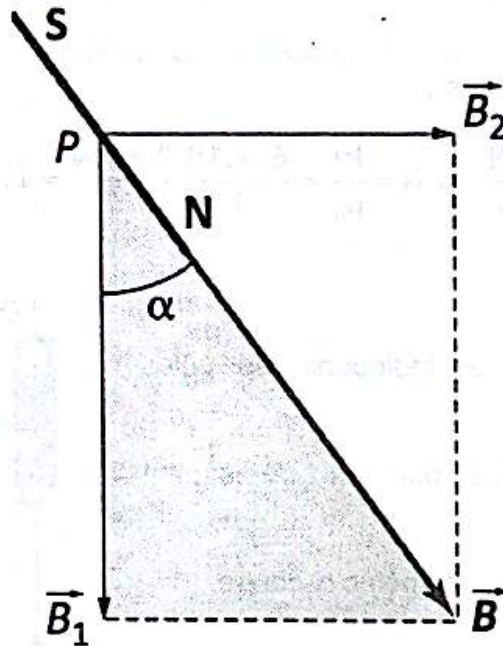
On retrouve la même valeur pour B que par la construction graphique.

4. Comparons la valeur du champ magnétique terrestre à celle de \vec{B}

La valeur du champ magnétique terrestre est d'environ $50 \mu\text{T}$, elle est donc environ 1 000 fois plus faible que celle du champ \vec{B} dû aux deux aimants. Elle est donc négligeable devant la valeur de \vec{B} .

5. Représentons une aiguille aimantée en P en faisant apparaître ses pôles nord et sud

Une aiguille aimantée placée en P prend la direction du champ qui règne en P : le vecteur \vec{B} « traverse » l'aiguille du pôle sud au pôle nord.

6. Calculons l'angle entre la direction de l'aiguille et l'axe D_1 de l'aimant A_1 .

Calculer l'angle α entre la direction de l'aiguille et l'axe D_1 de l'aimant A_1 revient à calculer l'angle entre \vec{B} et \vec{B}_1 dans le triangle rectangle grisé :

$$\text{soit } \tan \alpha = \frac{B_2}{B_1} = \frac{30}{40} = 0,75 \Rightarrow \alpha = \tan^{-1}(0,75) = 37^\circ.$$

Exercice 3 (extrait Bac Blanc Lycée Municipal 1 Attécoubé 2016 Côte d'Ivoire)

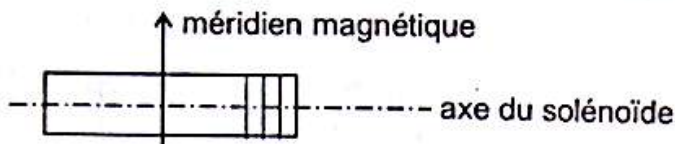
1) Vérifions si ce solénoïde peut être considéré comme long.

$$10 \times r = 10 \times \frac{d}{2} = 10 \times \frac{4}{2} = 20 \text{ cm or } L = 50 \text{ cm donc } L > 10 \times r$$

La longueur du solénoïde est supérieure à 10 fois le rayon, donc le solénoïde est considéré comme infiniment long.

2) Sens pris par une aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical en l'absence de courant.

En absence de courant dans le solénoïde, l'aiguille de la boussole n'est soumise qu'au champ magnétique terrestre, elle se place donc parallèlement au méridien magnétique, c'est à dire ici perpendiculairement à l'axe du solénoïde.



3) On fait circuler à présent un courant continu d'intensité I dans le solénoïde.

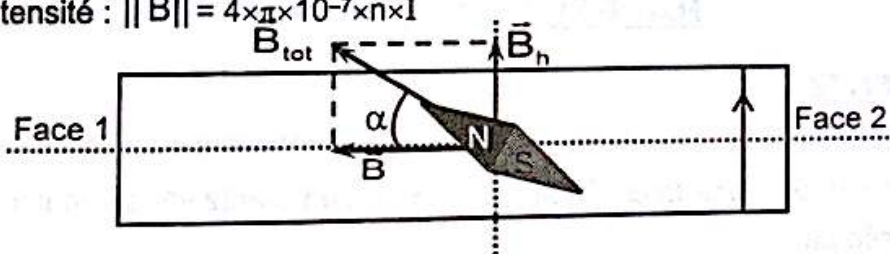
3.1. Dessin de la nouvelle position de l'aiguille et représentation du champ magnétique créé au centre de la bobine, la composante horizontale du champ magnétique terrestre et le champ résultant sur ce schéma en justifiant.

Lorsque le solénoïde est traversé par un courant, l'aiguille est alors soumise au champ magnétique résultant, somme vectorielle de la composante horizontale du champ magnétique terrestre et du champ créé par le solénoïde : $\vec{B}_{tot} = \vec{B} + \vec{B}_h$

L'aiguille va tourner depuis sa position perpendiculairement à l'axe du solénoïde jusqu'à sa position sur ce champ résultant d'un angle $\alpha = 30^\circ$ avec l'axe du solénoïde.

Un solénoïde long traversé par un courant électrique crée un champ magnétique \vec{B} , dont les caractéristiques en son centre sont :

- > direction : parallèle à l'axe du solénoïde
- > sens : donné par la règle du Bonhomme d'Ampère ;
ici orienté de la face 2 vers la face 1 (voir figure ci-dessous).
- > intensité : $|| \vec{B} || = 4 \times \pi \times 10^{-7} \times n \times I$



3.2. Détermination (en fonction du sens du courant choisi) de la face sud et la face nord.

Le champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde est orienté de la face Sud vers la face Nord donc la face 2 est SUD et la face 1 est NORD.

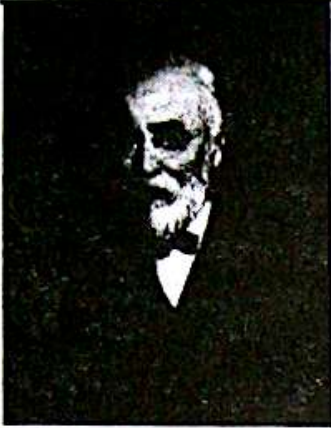
3.3. Calcul de l'intensité du courant (on rappelle que : $B_h = 2.10^{-5} T$).

$$\tan \alpha = \frac{B_h}{B} = \frac{B_h}{\mu_0 n I} = \frac{B_h}{\mu_0 \frac{N}{L} I} \Rightarrow I = \frac{L B_h}{\mu_0 N \tan \alpha}$$

$$\text{Application numérique : } I = \frac{50.10^{-2} \times 2.10^{-5}}{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 350 \times \tan 30^\circ} \approx 0,04 \text{ A} = 4.10^{-2} \text{ A}$$

4) La valeur du champ magnétique à l'intérieur de l'association.

L'ensemble constitue toujours un solénoïde long. Le nombre de spires par unité de longueur n'a pas changé, donc le champ non plus. La valeur du champ au centre de l'association sera donc $B = 0,8 \text{ mT}$.



Hendrick Antoon Lorentz
(1853-1928)
Physicien Hollandais

La majorité de ses travaux portèrent sur l'électromagnétisme. Il a laissé son nom aux transformations de Lorentz qui sont à la base de la théorie de la relativité restreinte ainsi qu'à la force magnétique de Lorentz. Lorentz partagea, en 1902, le prix Nobel de physique avec Pieter Zeeman « en reconnaissance des extraordinaires services qu'ils ont rendus par leurs recherches sur l'influence du magnétisme et sur les phénomènes radiatifs ».

MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME

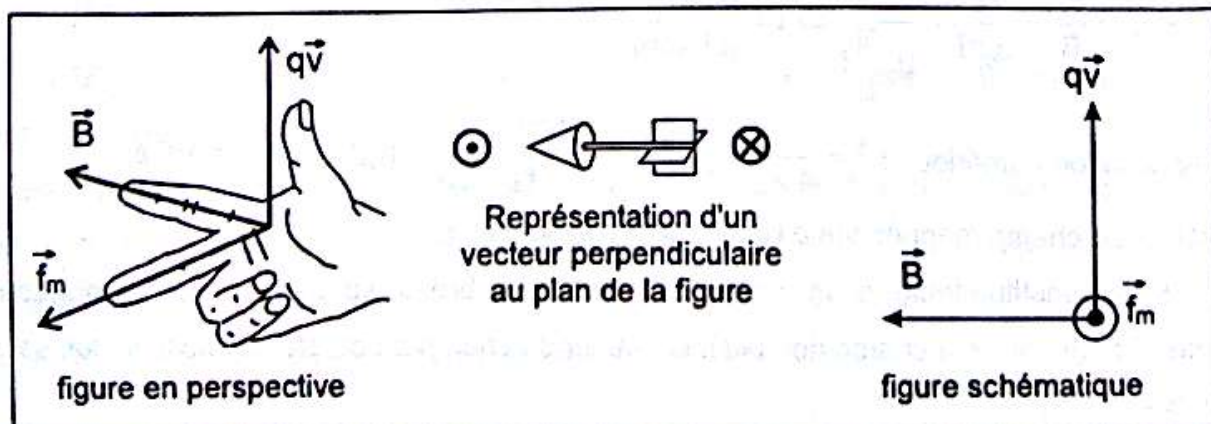
Objectifs spécifiques

- Connaître les caractéristiques de la force de Lorentz
- Appliquer la relation $\Sigma \vec{f} = m\vec{a}$ pour étudier le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme (cas où le vecteur-vitesse initial est normal au vecteur champ magnétique).

RAPPEL DE COURS

1) Force de LORENTZ

- Une particule de charge q animée d'une vitesse \vec{V} qui pénètre dans un champ magnétique uniforme \vec{B} est soumise à une force \vec{f} appelée force de Lorentz et définie par : $\vec{f} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$. Elle est caractérisée par :
 - Direction : \vec{f} est perpendiculaire à la fois à \vec{V} et à \vec{B}
 - Sens : le trièdre $(q\vec{V}, \vec{B}, \vec{f})$ est direct
 - Valeur : $f = |q|vB\sin(\vec{v}, \vec{B})$ où f en newton(N) ; q en coulomb(C) ; v en m/s ; B en tesla(T)
 - Règle du trièdre direct



2) Mouvement d'une particule chargée dans un champ \vec{B} uniforme

Une particule de masse m , de charge q et de vecteur vitesse \vec{v}_0 pénètre dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} . On suppose que $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$.

On néglige le poids de la particule. Montrons que le mouvement est plan, uniforme et circulaire.

2.1. Mouvement plan

Appliquons le théorème du centre d'inertie à la particule dans le repère $R(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

$\vec{f} = q\vec{v} \wedge \vec{B} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{v} \wedge \vec{B}}{m}$. Le repère $R(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ est tel que $\vec{k} // \vec{B}$ et $(\vec{i}, \vec{j}) \perp \vec{B}$.

$a_z = \ddot{z} = \vec{a} \cdot \vec{k} = 0$ car $\vec{a} \perp \vec{k} \Rightarrow v_z = 0$ car $v_{0z} = 0 \Rightarrow z = 0$ car la particule est en O à t_0 .

\Rightarrow Le mouvement se déroule dans le plan orthogonal à \vec{B} , c'est à dire dans le plan (O, \vec{i}, \vec{j}) .

2.2. mouvement uniforme

La puissance $p = \vec{F} \cdot \vec{v} = 0$ et $p = \frac{W_{(\vec{F})}}{\Delta t} = 0$ donc $w_{(\vec{F})} = 0$

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique $\Delta E_c = W_{(\vec{F})} = 0$ donc $v = v_0 = \text{constante}$.

2.3. Mouvement circulaire

Pour un mouvement curviligne on a : $\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{e}_t$ or $v = v_0 = \text{constante}$ donc $\frac{dv}{dt} = 0$

$$\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n} = \frac{q\vec{v} \wedge \vec{B}}{m} \Leftrightarrow \frac{v^2}{R} = \frac{|q|vB}{m} \Rightarrow R = \frac{mv}{|q|B}$$

m, v, q et B sont constants donc R est constant \Rightarrow Le mouvement est donc circulaire.

2.4. Conclusion générale : nature du mouvement

Une particule chargée entrant dans un champ magnétique avec une vitesse perpendiculaire au champ décrit un mouvement circulaire et uniforme dans un plan perpendiculaire au champ.

Le rayon de la trajectoire est donné par l'expression : $R = \frac{mv}{|q|B}$

3) APPLICATIONS

3.1. Spectrographe de masse

Le spectrographe de masse sert à séparer les isotopes d'un même élément.

Il est formé de trois chambres où règne un vide très poussé.

> Chambre d'ionisation

On y produit des ions de même charge q mais de masses m_1 et m_2 différentes.

> Chambre d'accélération

A travers une première fente, les ions pénètrent dans cette chambre avec une vitesse

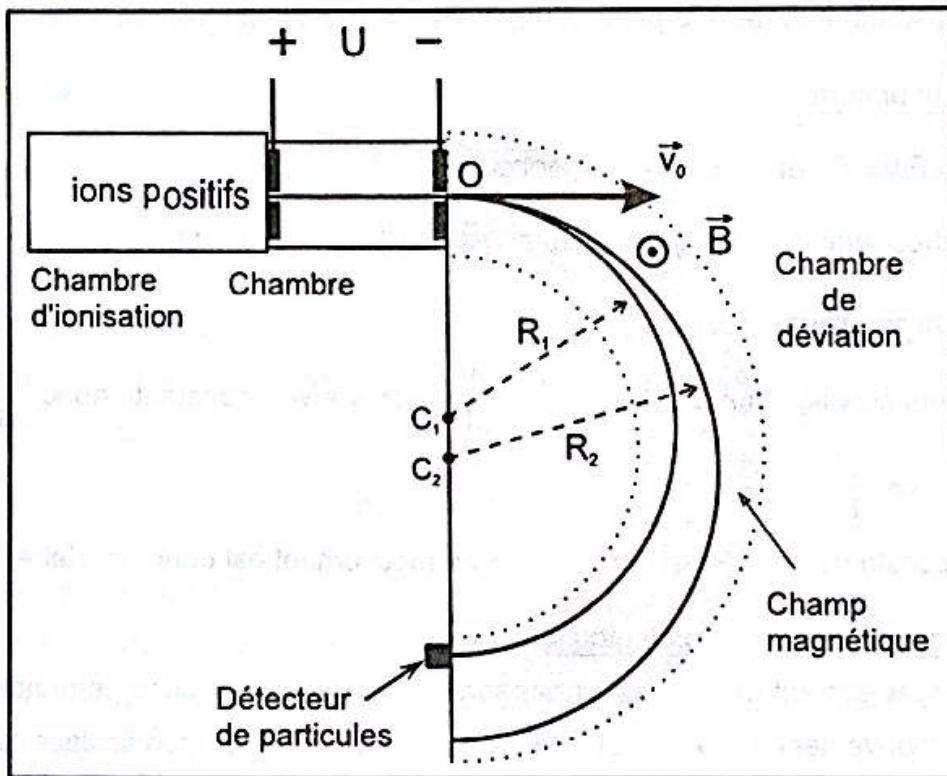
négligeable. Ils sont accélérés par la tension $U > 0$ et sortent avec la vitesse $v_0 = \sqrt{\frac{2|q|U}{m}}$

➤ **Chambre de déviation**

Les ions sont déviés par un champ magnétique \vec{B} et ont pour trajectoire des demi-cercles dont les rayons R_1 et R_2 dépendent des masses m_1 et m_2 tel que :

$$R_1 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_1 U}{|q|}} \quad \text{et} \quad R_2 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_2 U}{|q|}}$$

Le rayon de la trajectoire augmente avec la masse. On arrive ainsi à recueillir sur le détecteur des particules de même masse ; la position du détecteur permet de déterminer le rayon R de la trajectoire. Connaissant la charge q , on détermine la masse m de la particule.



3.2. La déflexion magnétique

L'image, sur un écran de télévision, est donnée par l'impact d'un faisceau d'électrons. Ce faisceau balaye l'écran de gauche à droite, de haut en bas. Il est dévié par des champs magnétiques créés par des bobines défectrices. Pour simplifier, nous allons considérer le champ magnétique \vec{B} uniforme et constant (voir figure ci-après).

Considérons un électron pénétrant en O dans le champ magnétique avec la vitesse \vec{v}_0 perpendiculaire à \vec{B} . Dans la région où règne le champ magnétique, il décrit un arc de cercle \widehat{OM} . Après le point M, son mouvement est rectiligne et uniforme car il n'est plus soumis à aucune force. Sa trajectoire est la tangente en M à l'arc \widehat{OM} . Il arrive sur l'écran en P.

Evaluons la distance $Y = O'P$ appelée **déflexion magnétique**.

Le dispositif est tel que : $\ell \ll L$ et $\ell \ll R$. On a : $R = \frac{mv_0}{eB}$

La déviation angulaire est : $\alpha = \frac{OM}{R} \approx \frac{\ell}{R}$ car $\ell \ll R$

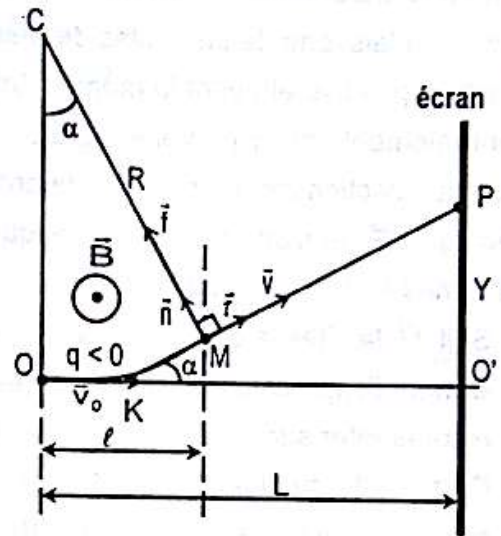
En remplaçant R par son expression,

on obtient : $\alpha = \frac{\ell}{R} = \frac{\ell}{\frac{mv_0}{eB}} = \frac{eB\ell}{mv_0}$

Par ailleurs, $\tan \alpha = \frac{O'P}{O'K} = \frac{Y}{L - \frac{\ell}{2}} \approx \frac{Y}{L}$ (car $\ell \ll L$).

Comme α est petit ($\alpha < 10^\circ$), $\tan \alpha \approx \alpha$ d'où $\alpha = \frac{Y}{L}$.

Soit : $Y = \alpha L = \frac{eB\ell}{mv_0} \times L \Rightarrow Y = \frac{e\ell LB}{mv_0}$



3.3. Le cyclotron

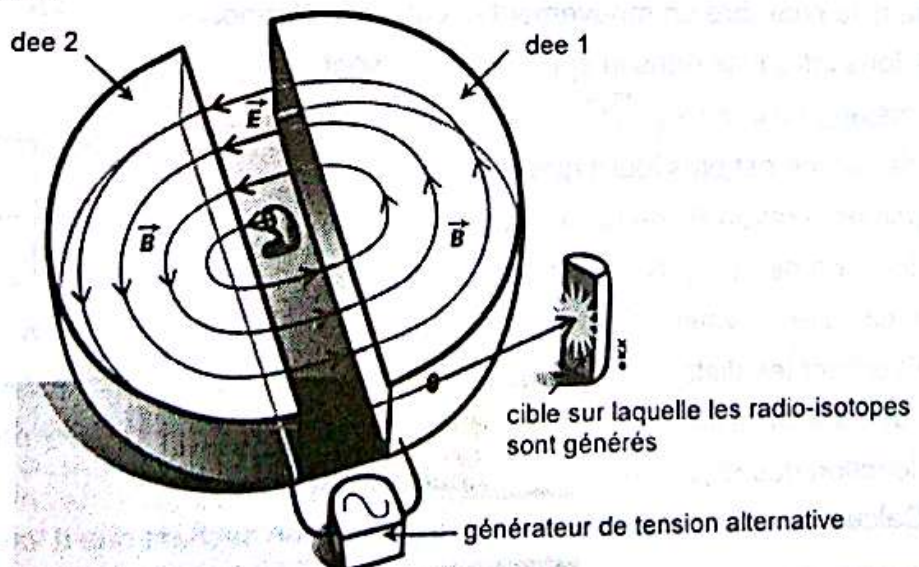
Le cyclotron est un accélérateur de particules. Il utilise à la fois un champ électrique \vec{E} (accélérateur) et un champ magnétique \vec{B} (déviateur). Le dispositif comporte deux demi-cylindres appelés « D » ou « Dees », entre lesquels on établit un champ électrique alternatif (voir figure ci-dessous). A l'intérieur des « D », existe un champ magnétique uniforme. Les particules de charge q sont accélérées à chaque passage entre les « D ». Pour cela, la fréquence N du champ électrique \vec{E} est égale à celle du mouvement des particules. En négligeant le temps de leur passage entre les « D », les particules font un tour en :

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{v} \times R = \frac{2\pi}{v} \times \frac{mv}{|q|B} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{|q|B} \text{ soit } N = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

Soit $U = V_{D1} - V_{D2}$, la différence de potentielle entre les « D ».

Après chaque tour, l'énergie cinétique des particules s'accroît de : $\Delta E_c = 2|qU|$.

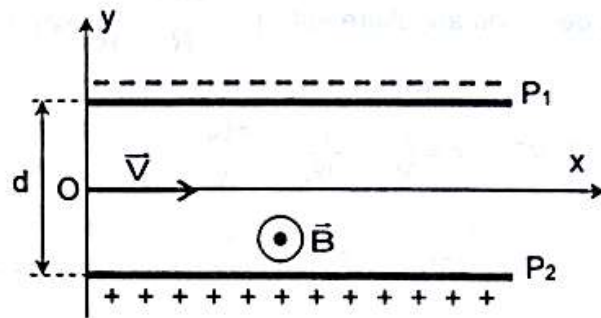
Après n tours, $\Delta E_c = 2n|qU|$.



EXERCICES RESOLUS

Exercice 1 (extrait Bac série C session 2007 Cameroun)

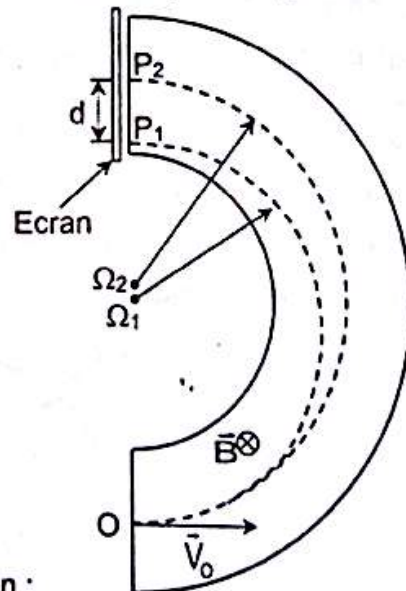
Dans une expérience de physique, on veut utiliser un faisceau de particules de même charge q positive et ayant la même vitesse. Généralement pour y parvenir, on les soumet à l'action simultanée d'un champ électrique \vec{E} et d'un champ magnétique \vec{B} uniformes et orthogonaux.



1. Soit \vec{v} la vitesse d'une des particules à l'entrée du condensateur siège de l'expérience. Donner l'expression de chacune des forces appliquées sur elle. On négligera son poids.
2. Représenter sur la particule, toutes les forces ci-dessus.
3. Calculer le module V_0 de la vitesse \vec{v} de la particule pour que son mouvement soit rectiligne uniforme. Prendre $B = 10^{-2} \text{ T}$; $U = U_{P2} - U_{P1} = 200 \text{ V}$; $d = 10 \text{ cm}$.
4. Qu'advient-il aux particules dont la vitesse V est :
 - a) supérieure à V_0 ?
 - b) inférieure à V_0 ?

Exercice 2 (extrait Bac série C session 2009 Cameroun)

Un spectrographe de masse est un appareil permettant de séparer les isotopes d'un élément chimique. Sa partie principale est une chambre de déviation dans laquelle règne un champ magnétique entrant (voir figure ci-contre).



1. Rappeler la définition du terme « isotope ».
2. Des ions de même charge $q = -e$ chacun sont introduits dans la chambre en O avec une même vitesse \vec{v}_0 normale au vecteur champ magnétique. En négligeant l'effet du poids montrer que chaque ion a dans la chambre un mouvement circulaire uniforme.
3. Les ions introduits dans le spectrographe sont un mélange d'isotopes $^{35}_{17}\text{Cl}^-$ et $^{A}_{17}\text{Cl}^-$ du chlore. Le deuxième est plus lourd que le premier. Exprimer le rayon R_1 de la trajectoire de l'ion $^{35}_{17}\text{Cl}^-$ en fonction de m_1 , q , B et V_0 ; où m_1 est la masse de l'ion ; puis calculer sa valeur. Prendre : $V_0 = 1,47 \cdot 10^5 \text{ m.s}^{-1}$; $B = 0,1 \text{ T}$; $m_1 = 5,8 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$.
4. a) Exprimer les distances OP_1 et OP_2 en fonction respectivement de R_1 et de R_2 . En déduire la distance d séparant les points d'impact P_1 et P_2 des deux ions sur l'écran en fonction des rayons R_1 et R_2 de leurs trajectoires.
 - b) Calculer la masse atomique A du deuxième ion sachant que d vaut $6,1 \text{ cm}$.

Exercice 3

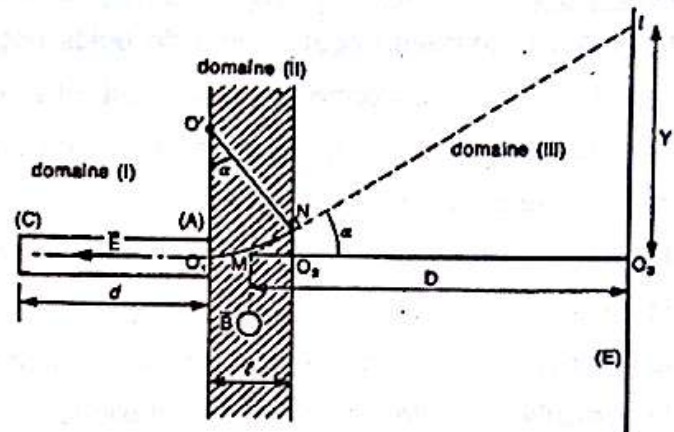
$D = 40 \text{ cm}$; $\ell = 1 \text{ cm}$; $d = 10 \text{ cm}$; $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $E = 5 \cdot 10^4 \text{ V.m}^{-1}$.

Dans tout l'exercice, on négligera le poids des électrons devant les autres forces.

1) Des électrons de masse m sont émis sans vitesse initiale par la cathode (C).

a) Donner la nature du mouvement de l'électron entre (C) et (A) où existe un champ \vec{E} .

b) Que vaut la vitesse v_0 d'un électron au point O_1 ?



2) Arrivés en O_1 , les électrons sont soumis sur une distance ℓ (domaine II) à un champ magnétique uniforme \vec{B} perpendiculaire au plan de la figure. On donne : $B = 2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$.

a) Quel doit être le sens du vecteur \vec{B} pour que les électrons décrivent l'arc O_1N ?

b) Établir l'expression du rayon $R = O_1O_2 = O_1N$ de cet arc de cercle. Calculer R .

3) Quelle est la nature de la trajectoire des électrons dans le domaine II ?

4) Le domaine III est limité par un écran (E) sur lequel arrivent les électrons.

Exprimer en fonction de m , e , B , D , ℓ et v_0 la déflexion magnétique Y .

On supposera que M se trouve au milieu du domaine II et que l'angle α est faible. Calculer Y .

Exercice 4

Dans un cyclotron à protons, on donne : $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

- la valeur du champ magnétique uniforme dans les dees est $B = 1,00 \text{ T}$,
- la tension maximale alternative sinusoïdale établit entre les dees est $U_m = 2 \cdot 10^3 \text{ V}$.

- 1.) Montrer que dans un dee, le mouvement d'un proton est circulaire uniforme.
- 2.) a) Exprimer littéralement le temps mis par un proton pour effectuer un demi-tour.
b) Ce temps dépend-il de la vitesse du proton ? Calculer sa valeur numérique.
- 3.) En déduire la valeur de la fréquence N de la tension alternative qu'il faut établir entre les dees pour que les protons subissent une accélération maximale à chaque traversée de l'intervalle entre les dees. Le temps de traversée de l'intervalle étant négligeable.
- 4.) Calculer l'énergie cinétique transmise au proton lors de chacune de ses accélérations.
- 5.) La vitesse d'injection des protons étant négligeable, on désire que sa vitesse atteigne la valeur $v = 2 \cdot 10^4 \text{ km.s}^{-1}$. Calculer le nombre de tours décrit par le proton dans le cyclotron.
- 6.) A quel rayon sont-ils extraits sachant qu'ils sont émis à proximité immédiate du centre ?

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** : Champs électrique et magnétique

Une particule chargée négativement de poids négligeable pénètre avec une vitesse v_0 dans différents champs uniformes qui peuvent être électrique ou magnétique. Indiquer, selon le mouvement ultérieur de la particule, le type de champ dont il s'agit :

Dès qu'elle entre dans le champ :

1. la particule décrit un mouvement rectiligne uniforme,
2. la particule décrit un mouvement rectiligne uniformément retardé,
3. la particule décrit un mouvement circulaire uniforme,
4. la particule décrit un mouvement parabolique.

Faites dans les quatre cas un croquis où vous représentez la trajectoire de la particule, la force qu'elle subit et le vecteur-champ en question. Justifier votre choix.

Exercice 2 : Electron dans un champ magnétique

Un électron est envoyé avec une vitesse v_0 horizontale de norme $2 \cdot 10^7$ m/s dirigée vers la droite dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} de norme 10 mT, perpendiculaire au vecteur-vitesse.

1. Faites une figure et précisez le sens de \vec{B} pour que l'électron soit dévié vers le bas.
2. Donnez les caractéristiques de la force \vec{F} qu'il subit dans la base curviligne et calculez sa norme. Comparer celle-ci à celle de son poids P .
3. Calculez le rayon R de la trajectoire et de la durée nécessaire T pour parcourir un tour complet.
4. On double la vitesse initiale. Comment varient le rayon et la période ? Justifier.
5. Qu'est-ce qui change, lorsqu'on envoie la particule avec une vitesse initiale identique, mais parallèle au champ magnétique ? Justifier.

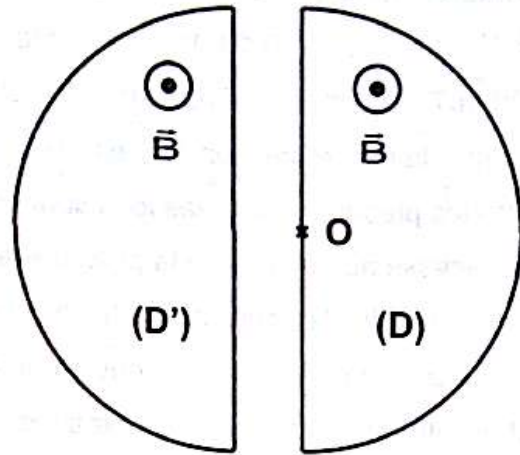
Exercice 3 : Particules α dans un champ magnétique

Des particules α pénètrent à la vitesse $v_0 = 10^3$ km/s horizontale dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} vertical vers le haut. On néglige leur poids.

1. Faites une figure soignée où vous indiquez \vec{v}_0 , \vec{B} et la force de Lorentz.
2. Déterminez les caractéristiques de \vec{B} pour que les particules α décrivent un demi-cercle de rayon 20 cm.
3. Les particules α ont été accélérées sous une tension U qu'on vous demande de calculer.

Exercice 4

Un cyclotron est constitué par deux boîtes demi-cylindres D et D' à l'intérieur desquelles règne un champ magnétique \vec{B} . Dans l'espace régnant entre ces deux boîtes, on établit une tension alternative U. Des ions positifs sont injectés en O avec une vitesse négligeable.



vue de dessus

- 1) Exprimer et calculer l'énergie cinétique des ions à leur première arrivée en D'.
Donnés : $q = 2e$; $m = 0,33 \cdot 10^{-25}$ kg ; $U = 100$ kV.
- 2) Les ions pénètrent dans D'. On donne : $B = 1,0$ T.
 - a) Donner la nature de leur mouvement ultérieur.
 - b) Exprimer le rayon R_1 de leur trajectoire en fonction de B, q, U et m.
- 3) Les ions ressortent D' et sont accélérés à nouveau par la tension U.
 - a) Etablir l'expression de leur énergie et de leur vitesse à l'entrée en D.
 - b) Exprimer le rayon de la trajectoire des électrons dans D.
 - c) Généraliser : donner l'expression du rayon de la trajectoire en fonction de R_1 (puis de B, q, U et m) et du nombre n de passage entre D et D'.
- 4) Calculer la durée d'un demi-tour. En déduire la fréquence de la tension alternative U.
- 5) Le rayon du cyclotron est de 49,5 cm.

Calculer le nombre total de tours décrits par les ions et leur énergie à la sortie du cyclotron.

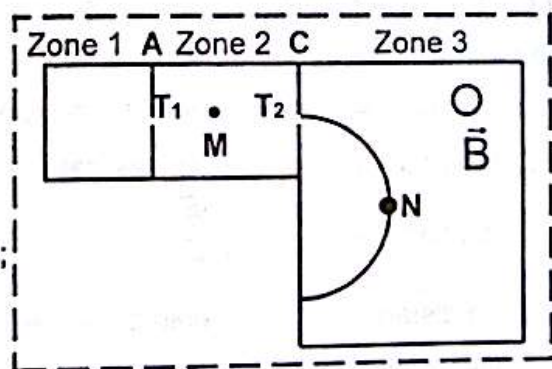
Exercice 5 (extrait Bac séries S2, S2A, S4 et S5 2011 Sénégal)

On se propose de déterminer le nombre de masse de l'un des isotopes du potassium, élément chimique, mélange de deux types d'isotopes : ^{39}K et ^{41}K

L'isotope ^{39}K est plus abondant.

On utilise alors un spectrographe de masse constitué essentiellement de trois compartiments.

Dans le premier compartiment, les atomes de potassium sont ionisés en cations ($^{39}\text{K}^+$ et $^{41}\text{K}^+$) ; dans le deuxième compartiment, les ions sont accélérés, leurs vitesses initiales étant



négligeables et dans le troisième compartiment, les ions sont soumis à l'action d'un champ magnétique ; en fin de course, ils atteignent un écran luminescent.

Données : Le mouvement des particules a lieu dans le vide ;

le poids d'un ion est négligeable devant la force électrique et la force magnétique.

La charge élémentaire est $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; la tension U établie entre les plaques A et C a pour valeur $U = V_A - V_C = 1,0 \cdot 10^3 \text{ V}$; l'intensité du champ magnétique régnant dans la zone 3 est $B = 100 \text{ mT}$; la masse d'un nucléon est $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; la masse de l'ion $^{39}\text{K}^+$ est $m_1 = 39m_0$; la masse de l'ion $^x\text{K}^+$ est $m_2 = xm_0$.

1) Entre les plaques A et C, les ions sont accélérés par un champ électrique uniforme.

Leur vitesse au point T_1 de la plaque A est supposée nulle.

1.1. Reproduire la figure sur la feuille de copie et représenter la force électrique s'exerçant sur un ion potassium se trouvant en M.

1.2. Montrer que, arrivés au niveau de la plaque C, en T_2 , tous les ions potassium ont la même énergie cinétique.

1.3. Montrer alors qu'en T_2 , la vitesse de chaque ion $^{39}\text{K}^+$ a pour expression : $V_1 = \sqrt{\frac{2eU}{39m_0}}$.

En déduire, sans démonstration, l'expression de la vitesse V_2 des isotopes $^x\text{K}^+$ en T_2 .

2) A partir de T_2 , les ions pénètrent dans la zone 3 avec des vitesses perpendiculaires à la plaque C. Chaque type d'isotope effectue, dans le plan de la figure, un mouvement circulaire uniforme.

2.1. En un point N de l'une des trajectoires, représenter sur la figure déjà reproduite, la vitesse d'un ion potassium et la force magnétique qui s'exerce sur cet ion.

2.2. Compléter la figure en représentant le sens du champ magnétique régnant dans la zone 3.

3) Montrer que le rayon de la trajectoire des ions $^{39}\text{K}^+$ a pour expression $R_1 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{78m_0U}{e}}$

En déduire l'expression du rayon R_2 de la trajectoire des isotopes $^x\text{K}^+$.

4) Déterminer, par calcul, la valeur du rayon R_1 de la trajectoire des ions $^{39}\text{K}^+$.

5) Les deux types d'isotopes rencontrent l'écran luminescent en deux points d'impact I_1 et I_2 ; le point d'impact I_1 étant plus lumineux.

5.1. Préciser, en justifiant, le point d'impact de chaque type d'isotopes.

5.2. Montrer que le rapport des rayons des trajectoires des isotopes du potassium dans

la zone 3 est $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{39}{x}}$.

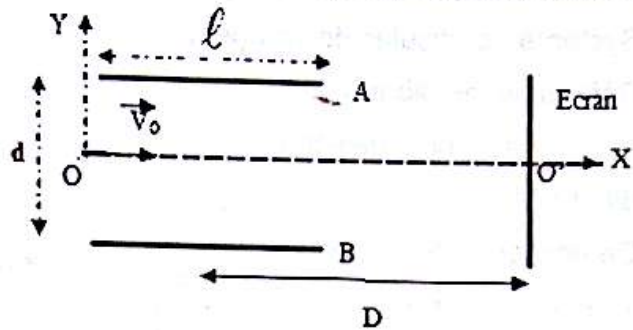
5.3. La distance entre les points d'impact est $d = 2,5 \text{ cm}$.

Déterminer la valeur du nombre de masse x de l'isotope $^x\text{K}^+$.

Exercice 6 (extrait Bac séries S1 & S3 session 2014 Sénégal)

Pour déterminer la charge massique d'une particule, on utilise un dispositif de déflexion électrique constitué de deux plaques conductrices A et B planes, horizontales, parallèles, de longueur ℓ , distantes de d (voir figure).

Une particule de masse m et de charge $q > 0$ pénètre au point O équidistant des deux plaques avec une vitesse \vec{V}_0 horizontale. Le dispositif est placé dans le vide et on ne tiendra pas compte du poids de la particule dans tout l'exercice.



1. Exprimer, en fonction de V_0 , m et q , la tension U_0 sous laquelle la particule a été accélérée à partir d'une vitesse nulle pour atteindre cette vitesse V_0 .
2. Un champ électrique uniforme \vec{E} est créé par une tension constante $U_{AB} < 0$ appliquée entre les plaques A et B. On pose $|U_{AB}| = U$.
 - 2.1. Recopier la figure et représenter le vecteur champ électrique entre les plaques.
 - 2.2. Le mouvement est rapporté au repère (OX, OY) . Etablir l'équation de la trajectoire de la particule dans le champ électrique. Quelle est la nature de cette trajectoire ?
 - 2.3. Exprimer l'ordonnée du point de sortie S de la particule du champ électrique en fonction de m , V_0 , U , ℓ , d et q .
 - 2.4. Quelle condition doit remplir la tension U pour que la particule puisse sortir du champ sans heurter les plaques ?
3. A sa sortie du champ électrique, la particule arrive en un point P d'un écran placé perpendiculairement à l'axe OX , à la distance D du milieu des plaques. Soit O' , le point d'intersection de l'axe OX avec l'écran.
 - 3.1. Quelle est la nature du mouvement de la particule à la sortie des plaques ? Justifier.
 - 3.2. Exprimer la déviation $Y = O'P$ de la particule en fonction de m , q , U , d , ℓ , D et V_0 .
4. On établit, par un moyen approprié, un champ magnétique uniforme \vec{B} perpendiculaire au champ électrique \vec{E} dans l'espace compris entre les plaques. On règle la valeur de \vec{B} de manière à ce que le spot initialement en P soit ramené à O' .
 - 4.1. Représenter alors le vecteur champ magnétique \vec{B} .
 - 4.2. Exprimer l'intensité B du champ magnétique en fonction de V_0 , U , d et la calculer.
 - 4.3. Etablir l'expression de la charge massique $\frac{q}{m}$ de la particule en fonction de Y , ℓ , D , d , U et en déduire sa valeur.
 - 4.4. Identifier la particule.

Données : $\ell = 5 \text{ cm}$; $d = 2 \text{ cm}$; $D = 40 \text{ cm}$; $V_0 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1}$; $U = 400 \text{ V}$; $Y = O'P = 1,5 \text{ cm}$

Particule	H^+	Li^+	He^{2+}
Charge massique (10^7 C.kg^{-1})	9,58	1,36	4,77

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac série C session 2007 Cameroun)

1) Donnons l'expression de chacune des forces appliquées sur la particule.

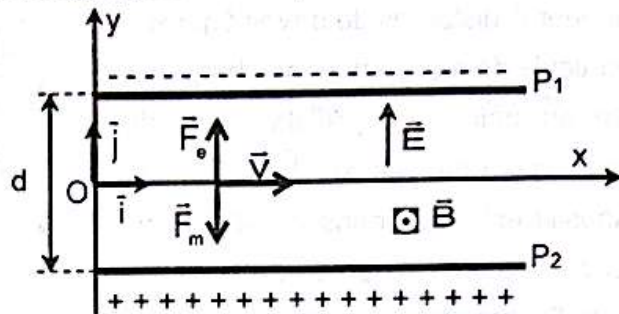
Système : particules de charge q

Référentiel de laboratoire

considéré comme galiléen,

Bilan des forces :

On néglige le poids de la particule.

➤ Force électrostatique : $\vec{F}_e = q\vec{E}$;➤ Force magnétique de Lorentz : $\vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B}$ 

2) Représentation de toutes les forces sur la particule.

➤ La particule est de charge positive ($q > 0$) ; elle subit de la part du champ électrique \vec{E} une force électrique \vec{F}_e de direction verticale, de même sens que \vec{E} c'est-à-dire vers le haut : (voir schéma ci-dessous).

➤ La particule est de charge positive ($q > 0$) ; elle subit de la part du champ magnétique \vec{B} une force magnétique de Lorentz \vec{F}_m de direction perpendiculaire au plan défini par (\vec{v}, \vec{B}) , de sens tel que le trièdre $(\vec{v}, \vec{B}, \vec{F}_m)$ soit direct c'est à dire vers le bas (voir schéma ci-dessous).

3) Calcul de la vitesse V_0 de la particule pour un mouvement rectiligne uniforme.

D'après le principe de l'inertie, le mouvement est rectiligne uniforme si la particule est pseudo-isolée ; c'est-à-dire la somme des forces qui s'exerce sur elle est nulle soit :

$$\vec{F}_e + \vec{F}_m = \vec{0}$$

Ces deux forces sont directement opposées c'est à dire de même direction, de sens contraire et de même norme soit : $F_e = F_m \Leftrightarrow eE = ev_0B \Rightarrow E = v_0B \Rightarrow v_0 = \frac{E}{B}$.

$$\left. \begin{array}{l} v_0 = \frac{E}{B} \\ E = \frac{|U|}{d} \end{array} \right\} \Rightarrow v_0 = \frac{|U|}{Bd} = \frac{200}{10^{-2} \times 0,1} = 2.10^5 \text{ m/s}$$

Remarque : parmi les particules entrant en O, seules celles ayant la vitesse $v_0 = \frac{E}{B}$ auront un mouvement rectiligne uniforme ; on a réalisé ainsi un « sélecteur ou filtre de vitesse ».

4) Mouvements des particules :

a) de vitesse supérieure à v_0 .L'intensité de la force magnétique est supérieure à celle de la force électrique : $F_m > F_e$ Les particules dévient vers le bas (sens opposé à celui de \vec{E}).b) de vitesse inférieure à v_0 . $F_e > F_m$. Les particules dévient vers le haut (sens de \vec{E}).

Exercice 2 (extrait Bac série C session 2009 Cameroun)

1) Rappelons la définition du terme « isotope ».

Des éléments sont dits isotopes s'il ont le même numéro atomique mais des nombres de masse différents.

2) Montrons que chaque ion a dans la chambre un mouvement circulaire uniforme.

Système : ions de charge q

Référentiel de laboratoire

considéré comme galiléen,

Bilan des forces :

Force magnétique de Lorentz : $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$

(on néglige le poids de la particule).

> mouvement uniforme

La puissance $p = \vec{F} \cdot \vec{v} = 0$ et $p = \frac{W_{(\vec{F})}}{\Delta t} = 0$ donc $w_{(\vec{F})} = 0$

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique

$\Delta E_C = W_{(\vec{F})} = 0$ donc $v = v_0 = \text{constante}$.

Le mouvement de chaque ion est donc uniforme.

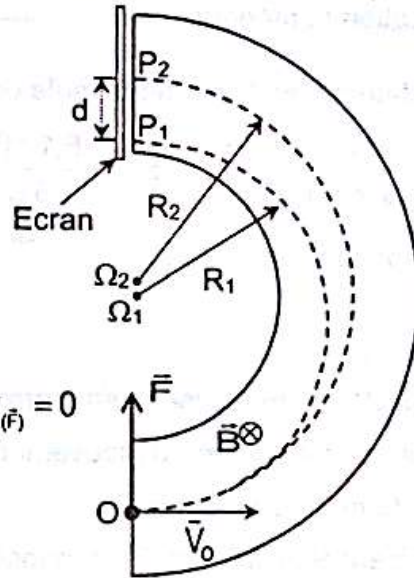
> Mouvement circulaire

Pour un mouvement curviligne on a : $\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{\tau}$ or $v = v_0 = \text{constante}$ donc $\frac{dv}{dt} = 0$

$$\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n} = \frac{q\vec{v} \wedge \vec{B}}{m} \Leftrightarrow \frac{v^2}{R} = \frac{|q|vB}{m} \Rightarrow R = \frac{mv}{|q|B}$$

m, v, q et B sont constants donc R est constant. Le mouvement est donc circulaire.

D'où chaque ion a dans la chambre un mouvement circulaire uniforme.



3) Exprimons le rayon R_1 de la trajectoire de l'ion ${}^{35}_{17}\text{Cl}^-$ en fonction de m_1, q, B et V_0 .

$$R_1 = \frac{m_1 v_0}{|q|B} = \frac{m_1 v_0}{eB}$$

Application numérique : $R_1 = \frac{5,8 \cdot 10^{-26} \times 1,47 \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^{-19} \times 0,1} = \underline{0,532875 \text{ m}}$

4) a) Exprimons les distances OP_1 et OP_2 en fonction respectivement de R_1 et de R_2 .

OP_1 et OP_2 sont les diamètres respectives des deux demi-cercles de rayons R_1 et R_2 .

Donc : $OP_1 = 2R_1$ et $OP_2 = 2R_2$

Déduction de la distance d séparant P_1 et P_2 en fonction des rayons R_1 et R_2 .

Le deuxième isotope ${}^A_{17}\text{Cl}^-$ est plus lourd que le premier ${}^{35}_{17}\text{Cl}^-$ donc on a :

$$d = P_1 P_2 = OP_2 - OP_1 = 2R_2 - 2R_1 = 2(R_2 - R_1)$$

b) Calculons la masse atomique A du deuxième ion sachant que d vaut 6,1 cm.

$$d = 2(R_2 - R_1) = 2\left(\frac{m_2 v_0}{eB} - R_1\right) \Rightarrow \frac{d}{2} = \frac{m_2 v_0}{eB} - R_1 \Rightarrow \frac{m_2 v_0}{eB} = \frac{d}{2} + R_1 \Rightarrow m_2 = \frac{eB \times \left(\frac{d}{2} + R_1\right)}{v_0}$$

Application numérique : $m_2 = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \times 0,1 \times \left(\frac{6,1 \times 10^{-2}}{2} + 0,532875\right)}{1,47 \cdot 10^5} = \underline{6,1 \cdot 10^{-26} \text{ kg}}$

Pour déterminer A, on fait la règle de trois suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} 35 \longrightarrow 5,8 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \\ A \longrightarrow 6,1 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \end{array} \right\} \Rightarrow A = \frac{6,1 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \times 35}{5,8 \cdot 10^{-26} \text{ kg}} \approx \underline{37}$$

L'isotope inconnu est donc : ${}_{17}^{37}\text{Cl}^-$.

Exercice 3

1) Des électrons de masse m sont émis sans vitesse initiale par la cathode (C)

a) Donnons la nature du mouvement de l'électron entre (C) et (A) où existe un champ \vec{E}

système : les électrons

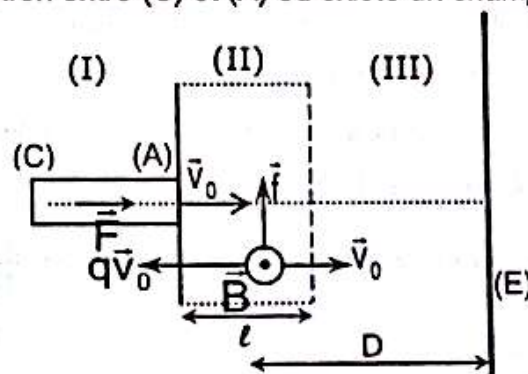
référentiel de laboratoire supposé galiléen

bilan des forces : force électrostatique \vec{F}

théorème du centre d'inertie :

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

$$\Rightarrow q \vec{E} = m \vec{a}_G \Rightarrow \vec{a}_G = \frac{q \vec{E}}{m} = \overline{\text{cste}}$$



Donc le mouvement de l'électron entre (C) et (A) est rectiligne uniformément varié.

b) Valeur de la vitesse v_0 d'un électron au point O_1

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre (C) et (A) :

$$\Delta E_{C \rightarrow A} = \Sigma W_{C \rightarrow A}(\vec{F}_{\text{ext}}) \Rightarrow E_{C_A} - E_{C_C} = W_{C \rightarrow A}(\vec{F}) \Rightarrow \frac{1}{2} m v_A^2 - \frac{1}{2} m v_C^2 = q \vec{E} \cdot \overline{CA}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} m v_0^2 - 0 = -e(-E)d \Rightarrow \frac{1}{2} m v_0^2 = eEd \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2eEd}{m}}$$

Application numérique : $v_0 = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 5 \cdot 10^4 \times 0,1}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 4,2 \cdot 10^7 \text{ m/s}$

2) Les électrons sont soumis, sur une distance ℓ , à un champ magnétique uniforme \vec{B}

a) Sens du vecteur \vec{B} pour que les électrons décrivent l'arc O_1N

Tout électron qui pénètre dans le champ magnétique est soumis à la force de Lorentz.

La charge des électrons est négative donc \vec{v} et $q\vec{v}$ sont de sens contraire.

Pour que les électrons décrivent l'arc O_1N il faut que le trièdre $(q\vec{v}, \vec{B}, \vec{f})$ soit direct.

Le champ \vec{B} doit donc être orienté vers l'avant c'est-à-dire sortant (voir schéma).

b) Expression et valeur du rayon $R = O'O_1 = O'N$ de cet arc de cercle.

Appliquons le théorème du centre d'inertie à la particule

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{f} = q\vec{v} \wedge \vec{B} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{v} \wedge \vec{B}}{m} \Rightarrow a = \frac{evB}{m}$$

Par ailleurs : $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_r = a_n \vec{n} + a_r \vec{r} = \frac{v^2}{R} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{r}$ or $v = v_0 = \text{constante}$ donc $\frac{dv}{dt} = 0$

$$\Rightarrow \vec{a} = \frac{v_0^2}{R} \vec{n} = \frac{q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}}{m} \Leftrightarrow \frac{v^2}{R} = \frac{ev_0 B}{m} \Rightarrow R = \frac{mv_0}{eB}$$

Application numérique : $R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \times 4,2 \cdot 10^7}{1,6 \cdot 10^{-19} \times 2 \cdot 10^{-3}} = 0,1194375 \text{ m} \approx 0,12 \text{ m}$.

3) La nature de la trajectoire des électrons dans le domaine II

Le rayon R de la trajectoire et la vitesse v_0 des électrons sont constants.

Donc le mouvement des électrons dans le champ magnétique est circulaire et uniforme.

4) Exprimons en fonction de m, e, B, D, ℓ et v_0 la déflexion magnétique Y , puis calculons Y .

$$\tan \alpha = \frac{IO_3}{MO_3} = \frac{Y}{D} \Rightarrow Y = D \tan \alpha$$

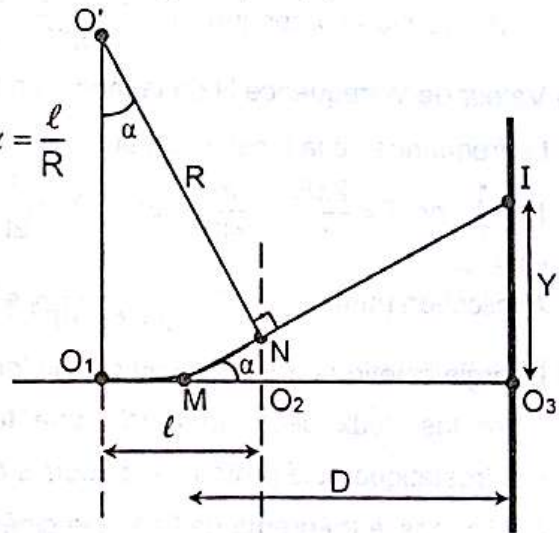
$$O_1N \approx \ell = R\alpha \text{ car } \alpha \text{ très petit donc } \alpha \approx \tan \alpha = \frac{\ell}{R}$$

$$\Rightarrow Y = D \times \frac{\ell}{R} = D \times \frac{\ell}{\frac{mv_0}{eB}}$$

$$\Rightarrow Y = \frac{eB\ell D}{mv_0}$$

A.N. : $Y = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \times 2 \cdot 10^{-3} \times 10^{-2} \times 40 \cdot 10^{-2}}{9,1 \cdot 10^{-31} \times 4,2 \cdot 10^7}$

$$\Rightarrow Y = 0,0335 \text{ m} = 33,5 \text{ mm}$$



Exercice 4

1.) Montrons que dans un dee, le mouvement d'un proton est circulaire uniforme

système : proton

référentiel de laboratoire supposé galiléen muni de la base de Frenet

bilan des forces : force de Lorentz \vec{f}

> Mouvement uniforme : $\vec{f} \perp \vec{v} \Rightarrow p = \vec{f} \cdot \vec{v} = 0$ et $p = \frac{W_{(i)}}{\Delta t} = 0$ donc $W_{(i)} = 0$

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique $\Delta E_c = W_{(i)} = 0 \Rightarrow v = v_0 = \text{constante}$.

> Mouvement circulaire : appliquons le théorème du centre d'inertie à la particule

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{f} = q\vec{v} \wedge \vec{B} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{v} \wedge \vec{B}}{m} \Rightarrow a = \frac{|q|vB}{m}$$

Pour un mouvement curviligne on a : $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_r = a_n \vec{n} + a_r \vec{r} = \frac{v^2}{R} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{r}$

or $v = v_0 = \text{constante}$ donc $\frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n} = \frac{q\vec{v} \wedge \vec{B}}{m} \Leftrightarrow \frac{v^2}{R} = \frac{|q|vB}{m} \Rightarrow R = \frac{mv}{|q|B}$

m, v, q et B sont constants donc R est constant. Le mouvement est donc circulaire.

D'où le proton dans le champ magnétique a un mouvement circulaire uniforme.

2.) a) Expression littérale du temps mis par un proton pour effectuer un demi-tour.

Lorsque le proton effectue un demi-tour il parcourt la distance $d = \frac{2\pi R}{2} = \pi R$

$$R = \frac{mv}{|q|B} \Rightarrow v = \frac{|q|BR}{m} \text{ or } t = \frac{d}{v} = \frac{\pi R}{\frac{|q|BR}{m}} = \frac{\pi m}{|q|B} \Rightarrow t = \frac{\pi m}{|q|B}$$

b) Voyons si ce temps dépend de la vitesse du proton ; puis calculons sa valeur

$t = \frac{\pi m}{|q|B}$; il n'y a pas de vitesse dans l'expression du temps donc le temps ne dépend pas de la vitesse du proton.

Application numérique : $t = \frac{\pi \times 1,67 \cdot 10^{-27}}{1,6 \cdot 10^{-19} \times 1} \approx 3,3 \cdot 10^{-8} \text{ s}$

3.) Valeur de la fréquence N de la tension alternative à établir entre les dees.

La fréquence de la tension est aussi la fréquence du mouvement circulaire uniforme

$$N = \frac{1}{T} \text{ or } T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B} = 2t \Rightarrow N = \frac{1}{2t} = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

Application numérique : $N = \frac{1}{2 \times 3,3 \cdot 10^{-8}} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Hz}$

4.) Énergie cinétique transmise au proton lors de ses accélérations entre les dees.

Entre les deux dees on établit une tension électrique U_m donc il y règne un champ électrostatique et le proton y est soumis à une force électrostatique.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre les dees : $\Delta E_{c_{i \rightarrow f}} = \Sigma W(\vec{F}_{ext})_{i \rightarrow f}$

$$\Rightarrow E_{c_f} - E_{c_i} = W(\vec{F}) \Rightarrow E_{c_0} - 0 = q(U_m) \Rightarrow E_c = qU_m = 1,6 \cdot 10^{-19} \times 2 \cdot 10^3 = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

5.) Nombre de tours que le proton devra décrire dans le cyclotron.

Pour un tour, le proton parcourt les deux dees ; ainsi l'énergie cinétique transmise au proton est $2E_{c_0}$. Donc pour n tour, l'énergie cinétique est $2nE_{c_0}$ où E_{c_0} est l'énergie cinétique transmise au proton lors de chacune de ses accélérations entre les dees.

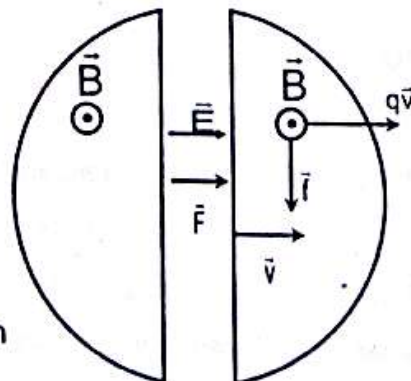
$$2nE_{c_0} = E_c \Rightarrow 2nE_{c_0} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow n = \frac{mv^2}{4E_{c_0}}$$

Application numérique :

$$n = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \times (2 \cdot 10^7)^2}{4 \times 3,2 \cdot 10^{-16}} \approx 522 \text{ tours}$$

6.) Calcul du rayon décrit par les protons

$$R = \frac{mv}{|q|B} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \times 2 \cdot 10^7}{1,6 \cdot 10^{-19} \times 1} = 0,20875 \text{ m} \approx 209 \text{ mm}$$





Pierre Simon marquis de Laplace
(1749-1827)

Astronome, Mathématicien et Physicien Français

Il contribua de façon décisive à l'émergence de l'astronomie mathématique reprenant et étendant le travail de ses prédécesseurs dans son traité intitulé Mécanique Céleste. On son honneur la force électromagnétique qui s'exerce sur l'ensemble des charges d'un matériau conducteur porte son nom, force de Laplace.

FORCE ELECTROMAGNETIQUE DE LAPLACE

Objectif spécifique

- Appliquer la loi de Laplace à un élément de circuit parcouru par un courant continu et placé dans un champ magnétique uniforme.

RAPPEL DE COURS

1) Equilibre d'un solide tournant autour d'un axe fixe

1.1. Moment d'une force par rapport à un axe

Le moment d'une force par rapport à un axe de rotation (Δ) est une grandeur qui caractérise l'effet de cette force sur un solide en rotation autour de cet axe. On le note $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F})$.

Sa valeur est le produit de la valeur de cette force par la distance d qui sépare le support de cette force à l'axe de rotation. Il s'exprime en N.m. C'est une grandeur algébrique :

- si la force tend à faire tourner le solide dans le sens positif choisi alors son moment est positif : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = +F \times d > 0$ (voir figure 1) ;
- si la force tend à faire tourner le solide dans le sens contraire du sens positif choisi alors son moment est négatif : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = -F \times d < 0$ (voir figure 2) ;
- si la force coupe l'axe de rotation alors son moment est nul : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = 0$ (voir figure 3).

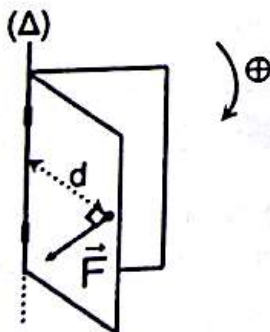


Figure 1

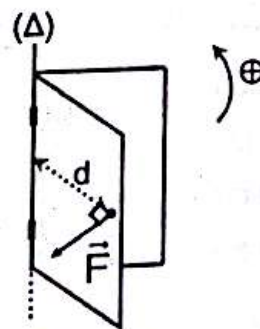


Figure 2

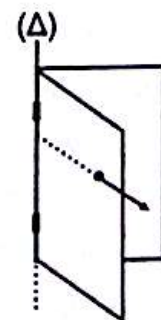


Figure 3

1.2. Conditions d'équilibre

- La somme des moments des forces appliquées au solide est nulle : $\Sigma \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_{\text{ext}}) = 0$
- La somme des forces appliquées au solide est nulle : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$

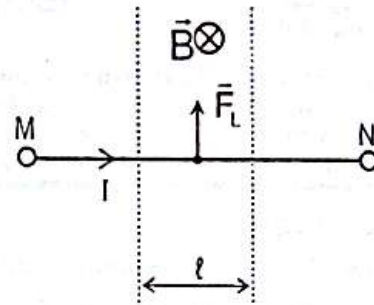
2) Force de Laplace

2.1. Définition

Un conducteur rectiligne parcouru par un courant électrique d'intensité I , dans une portion de longueur l et plongée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} , subit une force magnétique appelée force de Laplace, définie par : $\vec{F}_L = I(\vec{l} \wedge \vec{B})$.

2.2. Caractéristiques

- ✓ point d'application : milieu de la longueur plongée dans le champ magnétique ;
- ✓ direction : perpendiculaire au plan (\vec{l}, \vec{B}) ;
- ✓ sens : tel que $(\vec{l}, \vec{B}, \vec{F}_L)$ forme un trièdre direct ;
- ✓ valeur : $F_L = I l B \sin \alpha$ avec $\alpha = (\vec{l}, \vec{B})$.



2.3. Propriétés

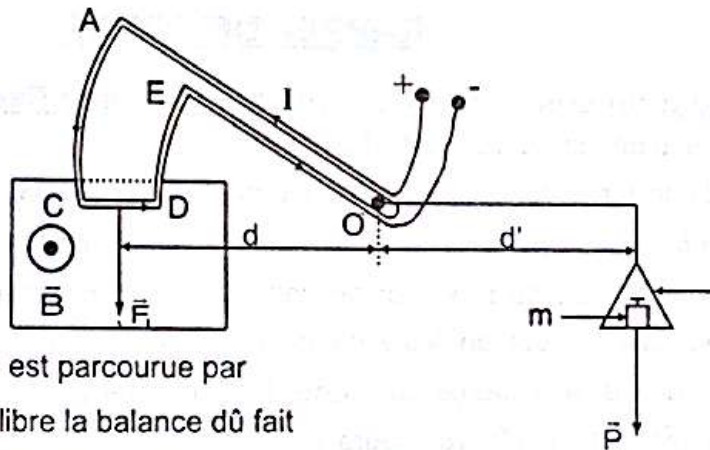
- ✓ si \vec{B} et \vec{l} parallèles ($\alpha = 0$ ou $\alpha = \pi$) $\Rightarrow F_L = 0$;
- ✓ si \vec{B} et \vec{l} perpendiculaires ($\alpha = \frac{\pi}{2}$) $\Rightarrow F_L = I l B$.

3) Applications

3.1. Balance de Cotton

C'est une balance dont une extrémité porte un plateau.

L'autre extrémité, plongée dans le champ magnétique d'un aimant, est un cadre



rigide en cuivre qui, lorsqu'elle est parcourue par

un courant électrique, déséquilibre la balance dû fait

de la force de Laplace. Pour l'équilibrer, il faut placer des masses marquées dans le plateau.

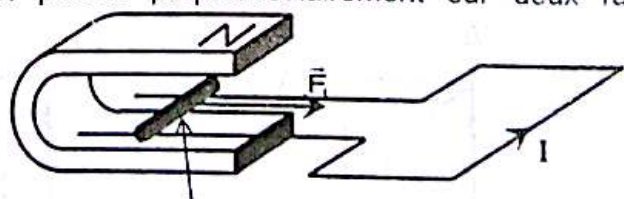
3.2. Rails de Laplace

Une tige conductrice mobile en cuivre est placée perpendiculairement sur deux rails conducteurs horizontaux, également

en cuivre. L'ensemble est plongé dans le champ magnétique d'un aimant en U.

Lorsque le courant électrique traverse la tige

en cuivre, elle se déplace dans un sens ou dans l'autre selon le sens du courant électrique.



4) Loi de Pouillet

Dans un circuit électrique en série, l'intensité du courant est le quotient de la différence entre la somme des forces électromotrices f.é.m. et la somme des forces contre électromotrices f.c.é.m.

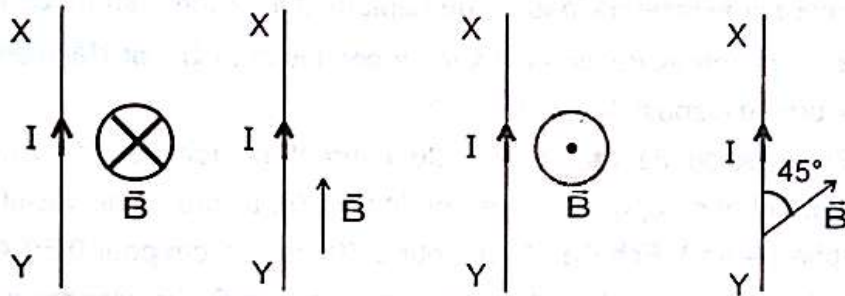
par la somme des résistances :
$$I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum R}$$

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Un conducteur XY, parcouru par un courant d'intensité I est placé dans un champ magnétique \vec{B} uniforme.

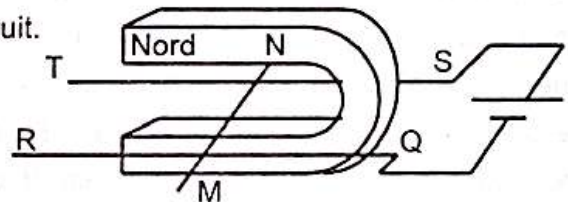
Dans chacun des cas suivants, représenter la force électromagnétique qui s'exerce sur le conducteur et calculer l'intensité de cette force. Données : $I = 1 \text{ A}$; $XY = 10 \text{ cm}$; $B = 10^{-4} \text{ T}$



Exercice 2

Deux tiges de cuivre QR et ST constituent deux rails conducteurs horizontaux sur lesquels peut se déplacer une barre cylindrique MN qui ferme le circuit.

Un aimant en U crée un champ magnétique \vec{B} .



- 1- Le générateur a une f.é.m. de 6 V et la résistance totale du circuit est 2 Ω .

Quelle est la valeur de l'intensité I du courant qui traverse le circuit ?

- 2- Quelle est la particularité du champ magnétique entre les deux branches de l'aimant ?

Donner la direction et le sens du vecteur champ magnétique entre les branches de l'aimant.

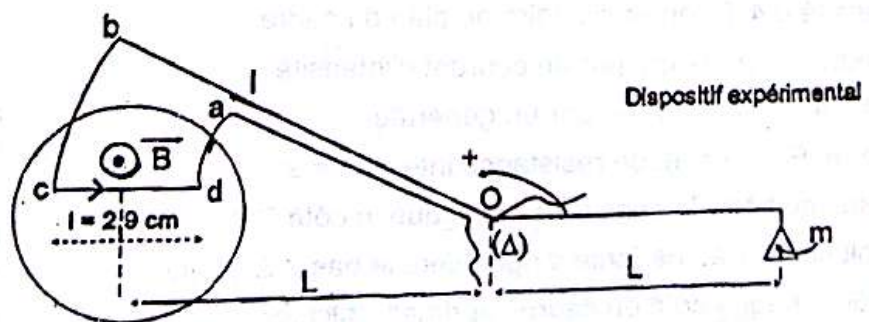
- 3- La valeur du champ magnétique est $B = 0,05 \text{ T}$. La longueur MN est de 10 cm. On suppose que la barre est soumise sur toute sa longueur au champ magnétique.

Donner les caractéristiques de la force électromagnétique agissant sur la barre MN.

- 4- On intervertit les pôles de l'aimant. Que se passe-t-il ?

Exercice 3 (extrait Bac Blanc Régional série D 2016 DREN Abidjan 3 C.I.)

Pour déterminer la valeur du champ magnétique créé à l'intérieur d'un aimant en U, on utilise un dispositif expérimental schématisé ci-contre. Le générateur permettant de faire circuler



le courant électrique n'est pas représenté.

- 1) Nommer le dispositif expérimental.

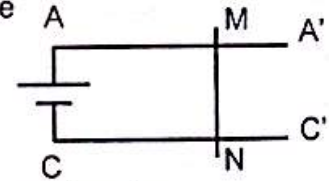
- 2) On place différentes masses marquées dans le plateau de droite et on détermine l'intensité I nécessaire pour rétablir l'équilibre du dispositif. Le résultat des mesures sont consignées dans le tableau suivant :

$m(\text{mg})$	2,50	6,25	12,50	17,50	22,50	27,50
$I(\text{A})$	0,40	1,00	2,00	2,75	3,55	4,35

- 2.1. Représenter sur le schéma la force de Laplace qui s'exerce sur le conducteur CD.
 2.2. Montrer que les forces de Laplace sur les conducteurs bc et da n'ont aucune influence sur l'équilibre du dispositif.
- 3) Déterminer l'expression de l'intensité I du courant en fonction de B (valeur du champ magnétique), g , l et m en appliquant les conditions d'équilibre au dispositif.
 4) Tracer le graphe $I = f(m)$. Echelle : 1 cm pour 2,50 mg et 1 cm pour 0,50 A.
 5) Déduire de cette courbe, la valeur du champ magnétique B . On prendra $g = 9,80 \text{ N/kg}$.

Exercice 4

Deux rails métalliques, parallèles, horizontaux AA' et CC', distants de 10 cm, sont reliés à un générateur de courant continu de f.é.m. E et de résistance interne $r = 1 \Omega$. Sur ces deux rails une tige métallique MN peut glisser sans frottement en restant perpendiculaire aux rails. Le circuit est parcouru par un courant d'intensité $I = 0,5 \text{ A}$. La résistance équivalente au circuit extérieur au générateur est constante et vaut $R = 11 \Omega$. Lorsque l'ensemble est plongé dans un champ magnétique uniforme, d'intensité $B = 0,5 \text{ T}$, perpendiculaire au plan des rails, la tige se déplace vers la droite du schéma.

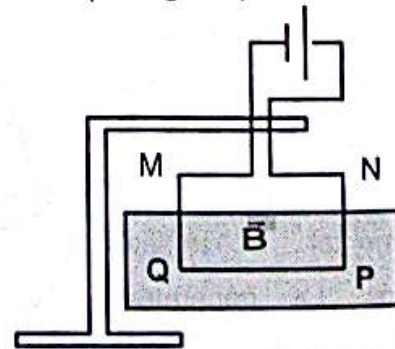


- 1- Indiquer le sens du courant circulant dans la tige.
- 2- Déterminer la valeur de la f.é.m. du générateur.
- 3- Déterminer les caractéristiques de la force exercée sur la tige. La représenter.
- 4- Déterminer le sens du champ magnétique. Le représenter sur le schéma.

Exercice 5

Un cadre vertical carré MNPQ, de côté $a = 10 \text{ cm}$, est constitué d'un enroulement comportant $N = 1000$ spires. Sa moitié inférieure est plongée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} d'intensité $0,4 \text{ T}$ perpendiculaire au plan du cadre.

Ce cadre est parcouru par un courant d'intensité constante $I = 2 \text{ A}$ délivré par un générateur de f.é.m. $E = 12 \text{ V}$ et de résistance interne $r = 2 \Omega$.

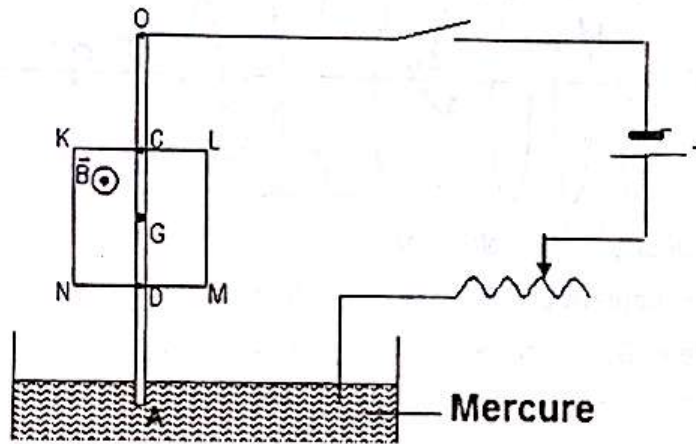


- 1- Quel doit être le sens de \vec{B} afin que le côté PQ du cadre soit soumis à une force dirigée vers le bas ? Expliquer.
- 2- Pour chaque côté du cadre exprimer, calculer, puis représenter à l'échelle la force électromagnétique qui s'y exerce.
- 3- Le cadre se comporte comme un conducteur ohmique de résistance R . Faire un schéma du circuit électrique équivalent, puis calculer R .

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1 (extrait Bac série D session 2008 Madagascar)

On réalise l'expérience représentée par la figure ci-dessous. La tige OA est un conducteur électrique rigide, homogène, de masse $m = 50 \text{ g}$ et de longueur $OA = \ell = 40 \text{ cm}$. Elle peut osciller, dans le plan vertical, autour d'un axe horizontal passant par le point O. Une partie CD de cette tige, de longueur $CD = \frac{\ell}{2} = 20 \text{ cm}$, est plongée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} d'intensité $B = 3,25 \cdot 10^{-2} \text{ T}$. Le champ magnétique est délimité dans le plan vertical par le rectangle KLMN. Le centre d'inertie G de la tige se trouve au milieu de [CD]. On ferme l'interrupteur, un courant d'intensité $I = 20 \text{ A}$ passe dans le circuit. La tige s'incline d'un angle α par rapport à la verticale. Tous les frottements sont négligeables et on prendra $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.



- 1) Représenter les forces appliquées à la tige OA lorsqu'elle est en équilibre.
- 2) A l'équilibre, déterminer l'angle α .

Exercice 2

Une tige de cuivre MN, de masse $m = 20 \text{ g}$ et de section constante est placée sur deux rails parallèles et horizontaux (PQ) et (RS), perpendiculairement aux rails. Les rails sont reliés par un générateur débitant un courant électrique d'intensité $I = 3 \text{ A}$. L'ensemble est placé dans un champ magnétique uniforme \vec{B} , vertical et descendant d'intensité $B = 0,2 \text{ T}$.

(Voir figure 1). On admettra que la tige ne peut que glisser sans frottement sur les rails.

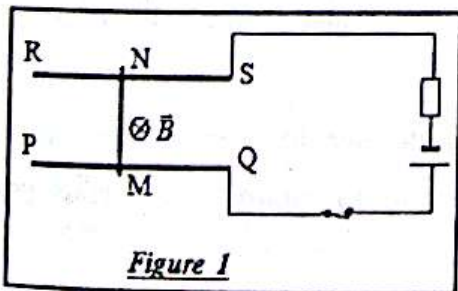


Figure 1

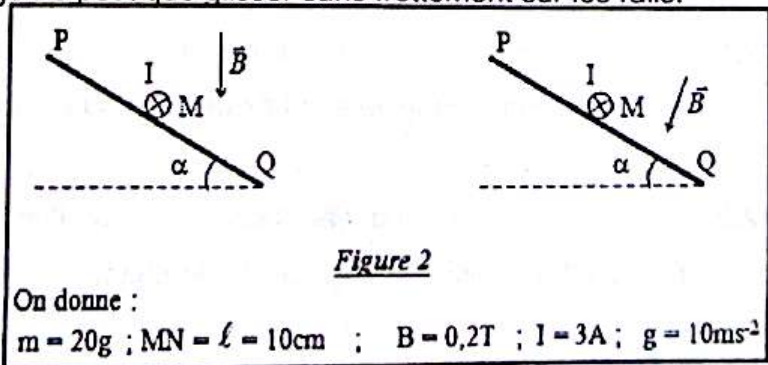


Figure 2

On donne :

$m = 20 \text{ g} ; MN = \ell = 10 \text{ cm} ; B = 0,2 \text{ T} ; I = 3 \text{ A} ; g = 10 \text{ ms}^{-2}$

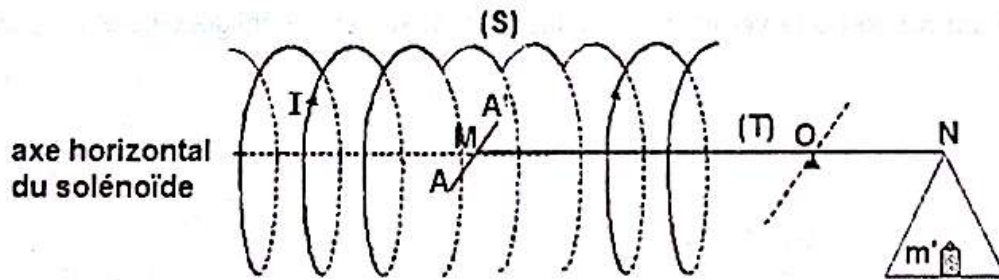
- 1) Faire le bilan des forces appliquées à la tige et les représenter sur un schéma.
- 2) Déterminer l'accélération de la tige et en déduire la nature du mouvement.
- 3) Etablir les équations horaires $v(t)$ et $x(t)$ du mouvement.

- 4) Déterminer la vitesse de la tige 0,5 s après la fermeture du circuit.
 5) De quel angle α doit-on incliner les rails (PQ) et (RS) pour que la tige soit en équilibre dans les deux cas suivants (figure 2) : \vec{B} reste perpendiculaire aux rails ; \vec{B} est vertical.

Exercice 3 (extrait Bac C 2001 Madagascar)

On donne $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$. On néglige le champ magnétique terrestre.

- 1) Avec un fil de diamètre $d = 0,6 \text{ mm}$, on construit un solénoïde (S) comportant $N = 180$ spires. Le rayon de chacune des spires est $R = 4 \text{ cm}$. L'espace laissé libre entre 2 spires consécutives est 1 mm .

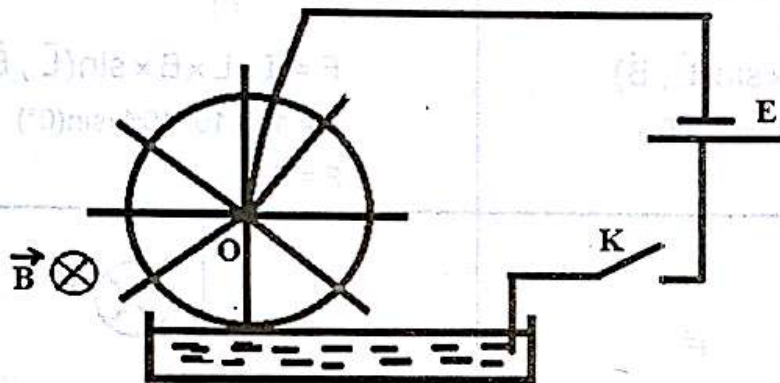


- 1.1. Calculer la longueur L de ce solénoïde.
 1.2. On fait passer un courant d'intensité $I = 9 \text{ A}$ dans le fil.
 Calculer la valeur B_1 du champ magnétique au centre du solénoïde, si l'on admet valable la formule relative au solénoïde infiniment long.
- 2) On mesure le champ magnétique au centre de ce solénoïde à l'aide du dispositif schématisé sur la figure ci-dessus. Une tige (T), perpendiculaire en O à un axe horizontal (Δ), est mobile autour de cet axe ; (T) porte un plateau à son extrémité N ; l'autre extrémité M est reliée à un conducteur AA' en son milieu. La tige (T) coïncide avec l'axe du solénoïde et (T) et AA' sont perpendiculaires.
- Par un dispositif approprié (non mentionné sur la figure), on peut faire passer un courant d'intensité constante I' à travers la tige AA'. Si I' est égal à zéro, la tige (T) est en équilibre et horizontale. On fait passer un courant d'intensité $I' = 6,5 \text{ A}$ dans le conducteur AA'.
- 2.1. Préciser le sens du courant I' pour que la force électromagnétique qui s'exerce sur AA' soit verticale et dirigée vers le bas (le sens du courant d'intensité I dans le solénoïde est indiqué sur la figure).
- 2.2. La tige (T) est à nouveau horizontale si l'on ajoute sur le plateau une masse $m' = 0,222 \text{ g}$. Calculer la valeur B_2 du champ magnétique au centre du solénoïde pour $I = 9 \text{ A}$; $I' = 6,5 \text{ A}$; $AA' = \ell = 2 \text{ cm}$; $OM = d = 25 \text{ cm}$; $ON = d' = 10 \text{ cm}$.
- 2.3. Connaissant B_1 et B_2 , que peut-on en conclure quant à la validité de la formule utilisée à la 1^{ère} question ?

Exercice 4 (extrait Bac S2 2^{ème} Groupe Session Normale 2014 Sénégal)

Une roue de Barlow de diamètre $D = 10 \text{ cm}$ est traversée par un courant d'intensité $I = 25 \text{ A}$ débité par un générateur de courant continu (voir figure ci-dessous). Elle est plongée dans un champ magnétique uniforme. Le vecteur champ magnétique est perpendiculaire au plan de la roue et son intensité est $B = 0,04 \text{ T}$.

- 1) La roue est mise en mouvement dès que l'interrupteur K est fermé.
 - 1.1. Quelle est la force responsable de ce mouvement ?
 - 1.2. Faire un schéma et représenter cette force.
 - 1.3. En déduire le sens de rotation de la roue.
- 2) Calculer la puissance de cette force sachant que la roue fait 150 tours/min.



Exercice 5

Un haut-parleur électromagnétique est constitué d'un aimant permanent de forme particulière, et d'une bobine parcourue par un courant et pouvant coulisser sur l'un des pôles de l'aimant. La bobine est solidaire d'une membrane M (voir schéma ci-dessous).

- 1) On suppose que le courant dans la bobine est continu.

1.1. Représenter par un vecteur le champ magnétique existant au niveau des conducteurs.

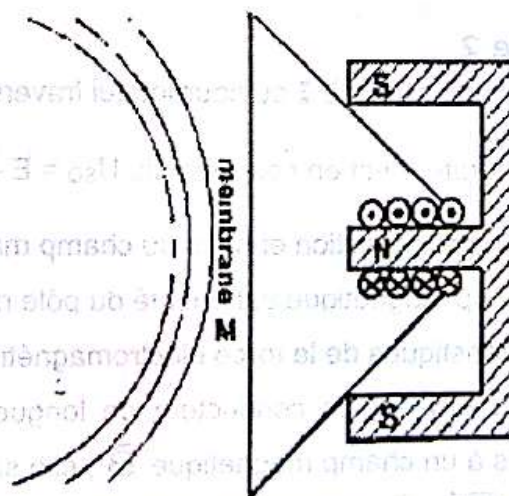
1.2. En déduire la direction et le sens des forces électromagnétiques exercées sur chaque spire de la bobine.

1.3. Quel est l'effet de ces forces sur la membrane M ?

- 2) En réalité, le courant appliqué à la bobine est variable.

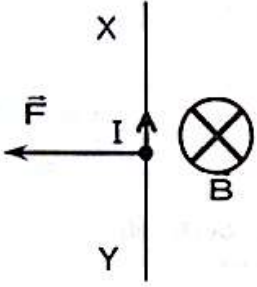
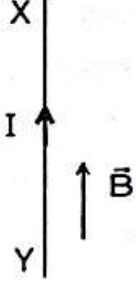
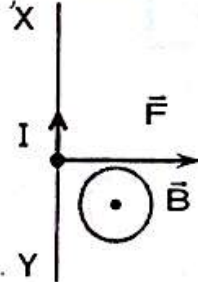
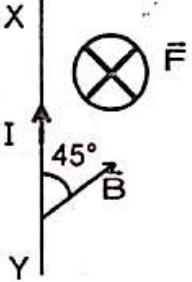
2.1. Quel est l'effet de ce courant sur la membrane ?

2.2. Pourquoi obtient-on un son ?



CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

Représentons la force électromagnétique qui s'exerce sur le conducteur et calculons son intensité dans chacun des cas.

 <p> $F = I \times L \times B \times \sin(\vec{L}, \vec{B})$ $F = 1 \times 0,10 \times 10^{-4} \times \sin(90^\circ)$ $F = 10^{-5} \text{ N}$ </p>	 <p> $F = I \times L \times B \times \sin(\vec{L}, \vec{B})$ $F = 1 \times 0,10 \times 10^{-4} \times \sin(0^\circ)$ $F = 0 \text{ N}$ </p>
 <p> $F = I \times L \times B \times \sin(\vec{L}, \vec{B})$ $F = 1 \times 0,10 \times 10^{-4} \times \sin(90^\circ)$ $F = 10^{-5} \text{ N}$ </p>	 <p> $F = I \times L \times B \times \sin(\vec{L}, \vec{B})$ $F = 1 \times 0,10 \times 10^{-4} \times \sin(45^\circ)$ $F = 7,0 \cdot 10^{-6} \text{ N}$ </p>

Exercice 2

1- Valeur de l'intensité I du courant qui traverse le circuit

Le générateur est en court-circuit. $U_{SQ} = E - rI = 0$ donc $I = \frac{E}{r} = \frac{6}{2} = \underline{3 \text{ A}}$

2- Particularité, direction et sens du champ magnétique entre les deux branches de l'aimant

Le champ magnétique est orienté du pôle nord vers le pôle sud, il est uniforme.

3- Caractéristiques de la force électromagnétique agissant sur la barre MN

La tige MN est un conducteur de longueur MN traversé par un courant d'intensité I et soumis à un champ magnétique \vec{B} , elle subit de ce fait une force de Laplace d'expression :

$\vec{F} = I \times \overline{MN} \wedge \vec{B}$. Cette force a les caractéristiques suivantes :

- > direction : perpendiculaire au plan formé par \overline{MN} et \vec{B}
- > sens : tel que le trièdre $(\overline{MN}, \vec{B}, \vec{F})$ soit direct

- point d'application : milieu du segment MN.
- intensité : $F = I \times MN \times B \times \sin(\overline{MN}, \vec{B}) = I \times MN \times B \times \sin 90^\circ = I \times MN \times B$

Application numérique : $F = 3 \times 0,1 \times 0,05 = \underline{0,015 \text{ N}}$

4- Si on intervertit les pôles de l'aimant, la barre se déplace dans l'autre sens.

Exercice 3 (extrait Bac Blanc Régional série D 2016 DREN Abidjan 3 C.I.)

1) Nom du dispositif expérimental.

C'est la balance de Cotton.

2) On place des masses marquées dans le plateau de droite et on détermine l'intensité **I**.

2.1. Représentation de la force de Laplace qui s'exerce sur le conducteur CD.

Le courant est orienté vers la droite de c vers d et le champ magnétique est orthogonal et orienté vers l'avant ; donc pour que le trièdre $(\overline{cd}; \vec{B}; \vec{F})$ soit direct, il faut que la force de Laplace soit verticale et orientée vers le bas (voir schéma ci-dessous).

2.2. Influence des forces de Laplace des conducteurs bc et da sur l'équilibre du dispositif.

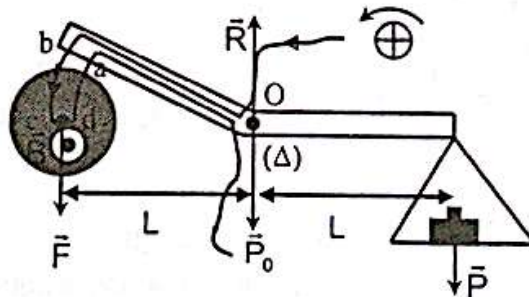
Les droites d'action des forces de Laplace sur les conducteurs bc et da coupent l'axe de rotation (Δ) . Donc leurs moments par rapport à l'axe (Δ) sont nuls ; par conséquent ils n'ont aucun effet de rotation d'où ils n'ont aucune influence sur l'équilibre du dispositif.

3) Expression de l'intensité **I** du courant en fonction de B, g, ℓ et m

Système : la balance de masse m
référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces :

- la force de Laplace \vec{F} ;
- le poids \vec{P}_0 de la balance ;
- le poids \vec{P} de la masse marquée ;
- la réaction \vec{R} de l'axe de rotation (Δ) .



La balance tourne autour de l'axe (Δ) ; donc à l'équilibre on a : $\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_{\text{ext}}) = 0$

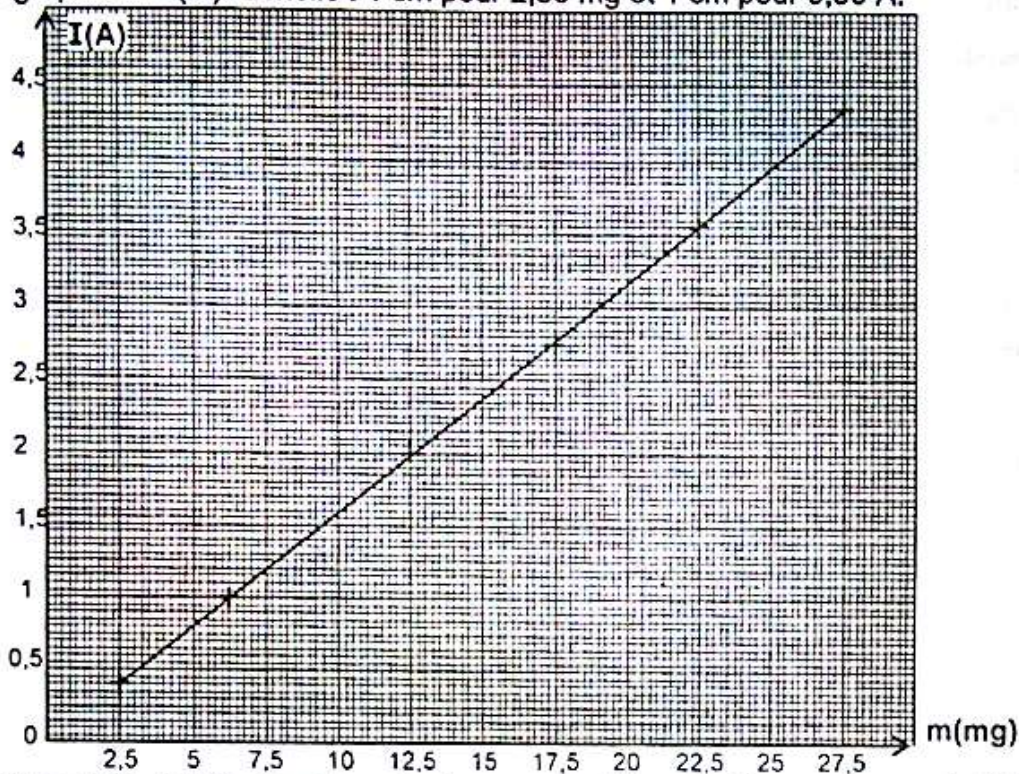
$$\Rightarrow \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = 0.$$

- $\mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) = 0$ car \vec{R} coupe l'axe de rotation (Δ) .
- $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) = 0$ car \vec{P}_0 coupe l'axe de rotation (Δ) .
- $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = -P \times L$ car \vec{P} fait tourner la balance dans le sens contraire au sens positif.
- $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = F \times L$ car \vec{F} fait tourner la balance dans le sens positif choisi.

$$\Rightarrow \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = 0$$

$$\Rightarrow F \times L - P \times L = 0 \Rightarrow P \times L = F \times L \text{ donc } F = P \ell B = mg \Rightarrow I = \frac{g}{\ell B} m$$

4) Tracé de graphe $I = f(m)$. Echelle : 1 cm pour 2,50 mg et 1 cm pour 0,50 A.



5) Dédution de cette courbe, la valeur du champ magnétique B. On prendra $g = 9,80 \text{ N/kg}$.

Le graphe de $I = f(m)$ est une droite. Si nous la prolongeons, on constate qu'elle passe par l'origine des axes donc elle a pour équation $I = km$ où k est son coefficient directeur.

$$\Rightarrow k = \frac{\Delta I}{\Delta m} = \frac{4,35 - 0,40}{(27,50 - 2,5) \cdot 10^{-6}} = 1,58 \cdot 10^5 \text{ A/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} I = \frac{g}{\ell B} m \\ I = km \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{g}{\ell B} = k \Rightarrow B = \frac{g}{k\ell} = \frac{9,80}{1,58 \cdot 10^5 \times 2,9 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \underline{B = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ T}}$$

Exercice 4

1- Le sens du courant circulant dans la tige

Le courant va de la borne positive à la borne négative à l'extérieur du générateur.

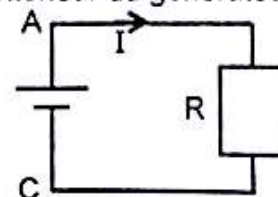
2- La valeur de la f.é.m. du générateur.

Considérons le circuit équivalent ci-contre :

Loi de fonctionnement du générateur : $U_{AC} = E - r \times I$

Loi d'ohm aux bornes du circuit : $U_{AC} = R \times I$

d'où $E - r \times I = R \times I$, et finalement : $E = (R + r) \times I \Rightarrow E = (11 + 1) \times 0,5 = \underline{6 \text{ V}}$



3- Caractéristiques et représentation de la force exercée sur la tige.

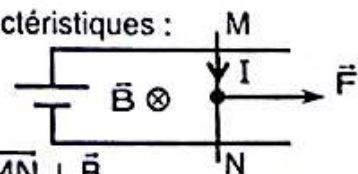
La tige MN subit une force de Laplace : $\vec{F} = I \times \overline{MN} \wedge \vec{B}$ de caractéristiques :

✓ direction : perpendiculaire au plan formé par \overline{MN} et \vec{B} ,

✓ sens : donné par l'énoncé (vers la droite) ;

✓ intensité : $F = I \times MN \times B \times \sin(\overline{MN}, \vec{B}) = I \times MN \times B$ car $\overline{MN} \perp \vec{B}$

Application numérique : $F = 0,5 \times 0,1 \times 0,5 = \underline{2,5 \cdot 10^{-2} \text{ N}}$.



4- Sens et représentation du champ magnétique.

Le sens de la force est tel que le trièdre $(\overline{MN}, \vec{B}, \vec{F})$ est direct ; ceci permet de trouver le sens de \vec{B} (voir schéma).

Exercice 5

1- Sens de \vec{B} afin que le côté PQ du cadre soit soumis à une force dirigée vers le bas

Un fil conducteur de longueur L traversé par un courant d'intensité I et soumis à un champ magnétique \vec{B} subit une force de Laplace telle que : $\vec{F} = I \times \vec{\ell} \wedge \vec{B}$. Le côté YZ subit donc la force $\vec{F}_1 = N \times I \times \overline{YZ} \wedge \vec{B}$. Connaissant les sens de \vec{F} et de \overline{YZ} , grâce à la règle des 3 doigts de la main droite, on en déduit le sens de \vec{B} (voir figure 1).

2- Expression, calcul et représentation à l'échelle de la force électromagnétique qui s'exerce

✓ Pour le côté YZ, on a déjà : $\vec{F}_1 = N \times I \times \overline{YZ} \wedge \vec{B}$, d'où $F_1 = N \times I \times a \times B \times \sin(\overline{YZ}, \vec{B})$

Application numérique : $F_1 = 1000 \times 2 \times 0,1 \times 0,4 \times 1 = \underline{80 \text{ N}}$;

le point d'application est le milieu de YZ.

✓ Pour le côté ZW : $\vec{F}_2 = N \times I \times \overline{ZW} \wedge \vec{B}$, d'où $F_2 = N \times I \times \frac{a}{2} \times B \times \sin(\overline{ZW}, \vec{B})$

Application numérique : $F_2 = 1000 \times 2 \times \frac{0,1}{2} \times 0,4 \times 1 = \underline{40 \text{ N}}$;

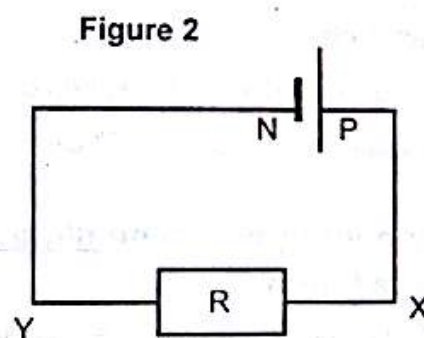
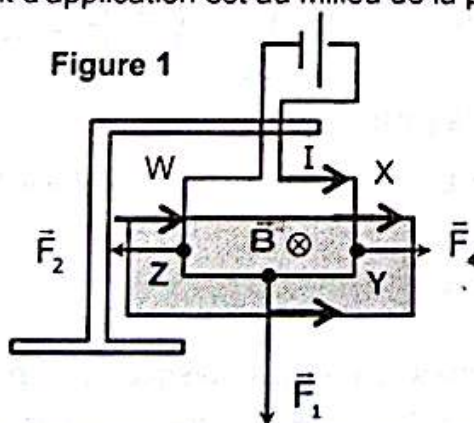
le point d'application est au milieu de la portion de ZW soumise à \vec{B} .

✓ Pour le côté WX : $\vec{F}_3 = N \times I \times \overline{WX} \wedge \vec{B}$ et comme $B = 0$, alors $F_3 = 0 \text{ N}$

✓ Pour le côté XY : $\vec{F}_4 = N \times I \times \overline{XY} \wedge \vec{B}$, d'où $F_4 = N \times I \times \frac{a}{2} \times B \times \sin(\overline{XY}, \vec{B})$

Application numérique : $F_4 = 1000 \times 2 \times \frac{0,1}{2} \times 0,4 \times 1 = \underline{40 \text{ N}}$;

le point d'application est au milieu de la portion de XY soumise \vec{B} .



3- Schéma du circuit électrique équivalent, puis calcul de R (schéma, voir figure 2)

✓ Loi de fonctionnement du générateur : $U_{PN} = E - r \times I$

✓ Loi d'ohm aux bornes du cadre : $U_{XW} = R \times I$.

Comme $U_{PN} = U_{XW}$: $E - r \times I = R \times I$, alors $R = \frac{E}{I} - r \Rightarrow R = \frac{12}{2} - 2 = \underline{4 \Omega}$



Michael Faraday
(22 septembre 1791-25 août 1867)
Physicien et Chimiste Britannique

Il est connu pour ses travaux dans le domaine de l'électromagnétisme et l'électrochimie.

En 1833, il introduit les termes d'anode, de cathode, d'anion, de cation et d'ions.

Il a donné son nom au farad, une unité de capacité électrique, ainsi qu'à une charge électrique, la constante de Faraday. Par ailleurs, il est l'auteur des lois d'induction électromagnétique : loi de Faraday.

INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE (Tle C & E uniquement)

Objectifs spécifiques

- Appliquer la loi de Lenz à un circuit soumis à la variation de flux magnétique.
- Expliquer le principe de fonctionnement des appareils à partir de la loi de Faraday.

RAPPEL DE COURS

1. Le flux magnétique

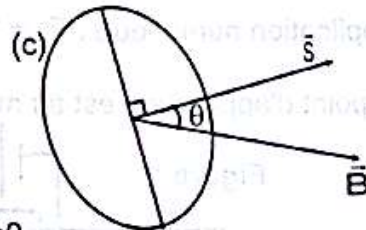
Le flux magnétique Φ à travers un circuit est donné par l'expression : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cos \theta$

\vec{B} : vecteur champ magnétique ; B en Teslas (T).

\vec{S} : vecteur surface, il est perpendiculaire au plan délimité par le contour ; sa valeur s'exprime en m².

Φ s'exprime en Weber (Wb).

- Pour une bobine comportant N spires on a : $\Phi = NBS \cos \theta$.
- Le flux est maximal lorsque $\theta = 0^\circ$ c'est à dire $\vec{B} // \vec{S}$ et de même sens : $\Phi_{\max} = NBS$



2. Apparition du phénomène d'induction

2.1) Loi de Faraday

Une f.é.m. (force électromotrice) e apparaît dans un circuit lorsque le flux magnétique à travers lui varie. Ce circuit est appelé circuit induit. Pour cela il y a trois (3) possibilités :

- le champ inducteur (créé par un aimant ou une bobine parcouru par un courant) varie ;
- l'angle entre le champ inducteur \vec{B} et le vecteur surface \vec{S} varie (circuit en mouvement) ;
- la surface délimitée par le circuit induit varie (circuit déformable).

La f.é.m. induite e se calcule par la relation : $e = - \frac{d\Phi}{dt}$.

2.2) Loi de Lenz

Pendant toute la durée de la variation du flux, il apparaît un courant induit lorsque le circuit induit est fermé. Son sens est tel que, par ses effets, il s'oppose à la variation du flux.

3. Applications

3.1. Les transformateurs

On applique une tension variable dans la bobine du primaire. Il ya donc création d'un champ magnétique variable. Par la suite, un flux magnétique variable grâce au circuit magnétique passe dans la bobine secondaire. La variation de ce flux crée une tension induite variable

aux bornes du secondaire. On démontre que : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{u_2}{u_1}$

u_1 : tension instantanée aux bornes du primaire ;

u_2 : tension instantanée aux bornes du secondaire ;

U_1 : tension efficace du primaire ;

U_2 : tension efficace du secondaire ;

n_1 : Nombre de spires au primaire ;

n_2 : Nombre de spires au secondaire ;

- Si $\frac{n_2}{n_1} < 1$ on a : $U_2 < U_1$ alors le transformateur est dit abaisseur de tension.
- Si $\frac{n_2}{n_1} = 1$ on a : $U_2 = U_1$ alors le transformateur est dit d'isolement.
- Si $\frac{n_2}{n_1} > 1$ on a : $U_2 > U_1$ alors le transformateur est dit élévateur de tension.

3.2. Autres applications

- Les courants de Foucault : freinage des camions poids lourd et de trains par exemple.
- Les alternateurs : ils servent à produire des tensions.

4. Méthode pratique

Pour résoudre les exercices liés aux calculs des f.é.m. induites il faut procéder comme suit :

- a) Identifier le (ou les) processus qui produisent la variation du flux du champ magnétique.
- b) Déterminer l'expression du flux total : $\Phi_{\text{total}}(t) = N\varphi_1(t)$ où $\varphi_1(t)$ désigne le flux dans une spire et N , le nombre total de spires dans lesquelles est produite la variation du flux.
- c) Déterminer l'expression de la force électromotrice (f.é.m.) : $e = -\frac{d(N\varphi_1(t))}{dt}$.
- d) Utiliser la loi de Lenz pour déterminer le sens du courant induit i .

Si le circuit comporte une résistance R , l'intensité du courant dans celle-ci est donné par la relation : $i = -\frac{|e|}{R}$; et la puissance dissipée est donnée par la relation : $P = Ri^2$.

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

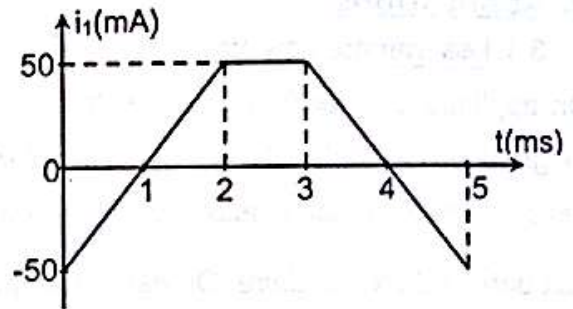
Un solénoïde possède deux enroulements entrelacés de rayon $r = 2,5 \text{ cm}$ et de longueur $\ell = 41,2 \text{ cm}$. On utilise respectivement

$N_1 = 200$ spires pour l'enroulement (1)

et $N_2 = 100$ spires pour l'enroulement (2).

On donne : $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \text{ S.I.}$

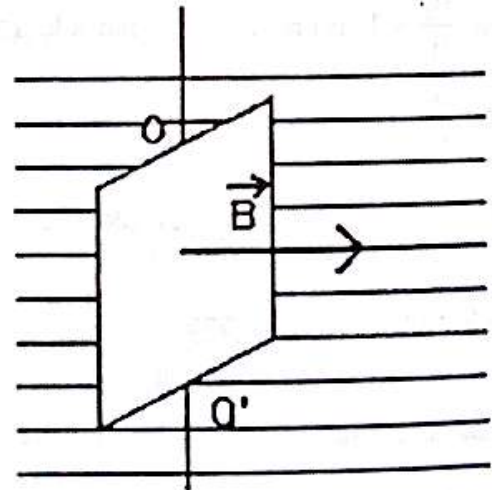
L'enroulement (1) est parcouru par un courant d'intensité i_1 variable (voir figure ci-contre).



1. Donner l'expression de la valeur B du champ magnétique créé par l'enroulement (1) en fonction de μ_0 , N_1 , ℓ et i_1 .
2. Exprimer le flux magnétique à travers l'enroulement (2) en fonction de μ_0 , N_1 , N_2 , r , ℓ , et i_1 .
3. Déterminer la force électromotrice induite e_2 pour $t \in [0 ; 5 \text{ ms}]$.
4. Représenter graphiquement $e_2(t)$. Echelle : 1 cm pour 2 mV et 1 cm pour 1 ms.

Exercice 2

Une surface plane carrée de 10 cm de côté est constituée d'un fil conducteur isolé comportant 20 spires. Elle est placée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} . Cette surface peut tourner autour de l'axe vertical OO' . On donne $B = 0,12 \text{ T}$.



1. Le vecteur champ magnétique est perpendiculaire au plan du cadre. Définir et calculer le flux du champ magnétique à travers la surface en précisant l'orientation choisie.
2. On impose une rotation d'un quart de tour à la surface.
Quelle est la valeur du flux à travers la surface ?
3. Donner l'expression et calculer la force électromotrice induite moyenne lorsque cette rotation s'effectue en 10 millisecondes.

Exercice 3

Soit une bobine de 20 spires et de rayon 3 cm placée dans un champ magnétique uniforme. L'angle du vecteur champ magnétique et de l'axe de la bobine est de 30° . L'intensité du champ magnétique est de 10^{-1} T.

- 1- Définir et calculer le flux du champ magnétique qui traverse la bobine.
- 2- L'intensité du champ magnétique passe de 10^{-1} T à 0 T en 0,1 seconde.
Calculer la force électromotrice moyenne induite créée aux bornes A et B de la bobine.
- 3- On relie les bornes A et B par un fil conducteur.
Donner en le justifiant le sens du courant induit circulant dans la bobine.
- 4- Calculer l'intensité de ce courant induit sachant que la résistance totale de la bobine et du fil de liaison est $R = 2 \Omega$.

Exercice 4

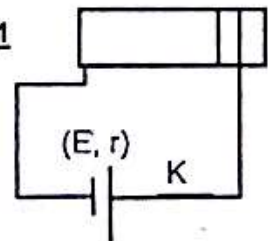
Un transformateur comporte deux bobines : l'une de 1000 spires et l'autre de 200 spires.

- 1) On désire élever une tension.
 - 1.1. Quelle bobine constitue le primaire ?
 - 1.2. Calculer la tension au secondaire si on impose au primaire une tension de 220 V ?
- 2) Laquelle des bobines possède le fil de plus grosse section ? Justifier.

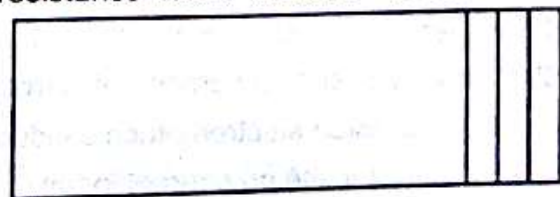
Exercice 5

Un solénoïde de longueur $L = 50$ cm, constitué de $N_S = 500$ tours de fil est considéré comme infiniment long. Branché aux bornes d'une pile de f.é.m $E = 1,5$ V et de résistance interne $r = 3 \Omega$, il est traversé par un courant d'intensité $I = 0,3$ A (voir figure 1).

On donne $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI.

Figure 1

- 1- Sur le schéma de la figure 1, indiquer le sens du courant. Justifier.
- 2- Déterminer les caractéristiques du champ magnétique créé au centre du solénoïde. Le représenter sur le schéma de la figure 2.
- 3- Sur ce même schéma, représenter les lignes de champ du solénoïde.
- 4- Dans ce solénoïde, on place une bobine de diamètre $D = 2$ cm et formée de $N_B = 10$ spires. Cette bobine est fermée sur elle-même ; sa résistance totale vaut $R = 10 \Omega$. Les axes du solénoïde et de la bobine sont confondus.
Calculer le flux du champ magnétique créé par le solénoïde au travers de la bobine.

**Figure 2**

- 5- On ouvre l'interrupteur du circuit du solénoïde.
Expliquer pourquoi il apparaît un courant induit dans la bobine. En considérant que l'ouverture se fait en une durée $\Delta t = 0,01$ s, déterminer le sens et la valeur du courant induit.

Exercice 6 (extrait Bac séries C & E session normale 2007 Côte d'Ivoire)

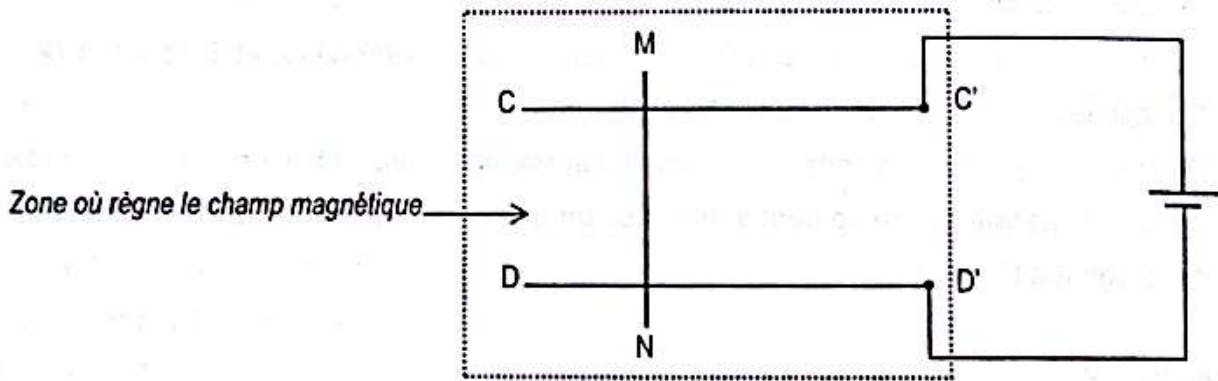
Deux rails horizontaux en cuivre CC' et DD' sont reliés à un générateur.

Sur ces rails est posée perpendiculairement une tige MN en cuivre.

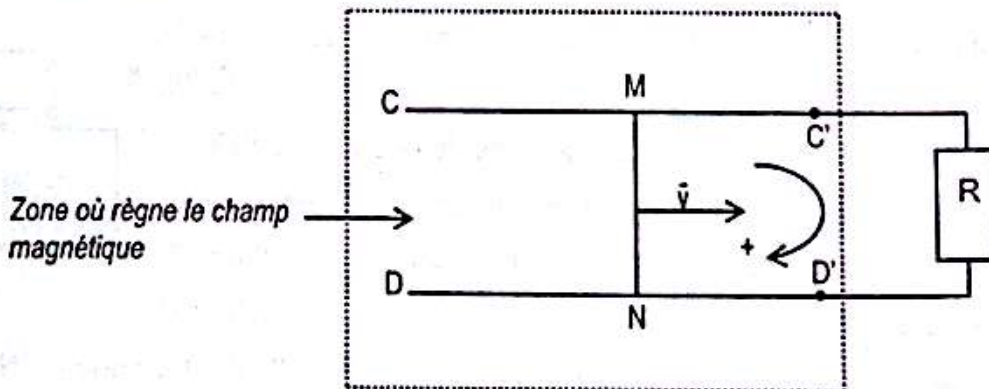
On suppose que les contacts en M et N n'introduisent aucune résistance dans le circuit.

Une partie du circuit est placée dans un champ magnétique vertical uniforme \vec{B} .

L'écartement des rails est $\ell = 10 \text{ cm}$ (voir figure ci-dessous).



1. La tige MN se déplace de C vers C' parallèlement à elle-même.
 - 1.1. Préciser sur un schéma :
 - 1.1.1. le sens du courant ;
 - 1.1.2. le sens de \vec{B} .
 - 1.2. Déterminer les caractéristiques de la force électromagnétique \vec{F} appliquée à la tige MN. On donne : $I = 2 \text{ A}$ et $B = 2,10^{-2} \text{ T}$.
2. Le générateur est supprimé. Le vecteur champ magnétique \vec{B} conserve les mêmes caractéristiques que dans la question 1. On relie les deux rails CC' et DD' par un conducteur ohmique de résistance $R = 4 \Omega$. Voir figure ci-dessous.



La barre se déplace avec une vitesse constante de valeur $v = 3 \text{ m.s}^{-1}$.

- 2.1. Déterminer le sens du courant induit.
- 2.2. Le sens positif de parcours du circuit est indiqué sur la figure ci-dessus. Déterminer :
 - 2.2.1. la force électromotrice d'inductance e ;
 - 2.2.2. l'intensité du courant induit.
- 2.3.
 - 2.3.1. Montrer qu'une force électromagnétique \vec{F}' est créée au cours de ce déplacement.
 - 2.3.2. Déterminer les caractéristiques de \vec{F}' .

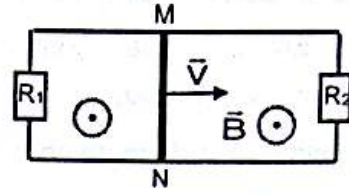
EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1**

On réalise le dispositif correspondant au schéma ci-contre:

1. Quels sont les courants induits dans chaque résistance ?

2. Quelle est l'intensité du courant qui traverse la tige MN ?

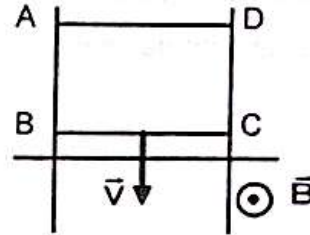
3. Quelle force faut-il exercer pour la maintenir en mouvement uniforme ?



On donne : $B = 0,1 \text{ T}$, $v = 3 \text{ m.s}^{-1}$, $R_1 = 5 \Omega$ et $R_2 = 10 \Omega$.

Exercice 2

Un cadre carré de côté $a = 20 \text{ cm}$ peut se déplacer entre deux guides verticaux. Il pénètre dans une région de champ magnétique uniforme normal au cadre à la vitesse $v = 1 \text{ m/s}$. On a $B = 1 \text{ T}$



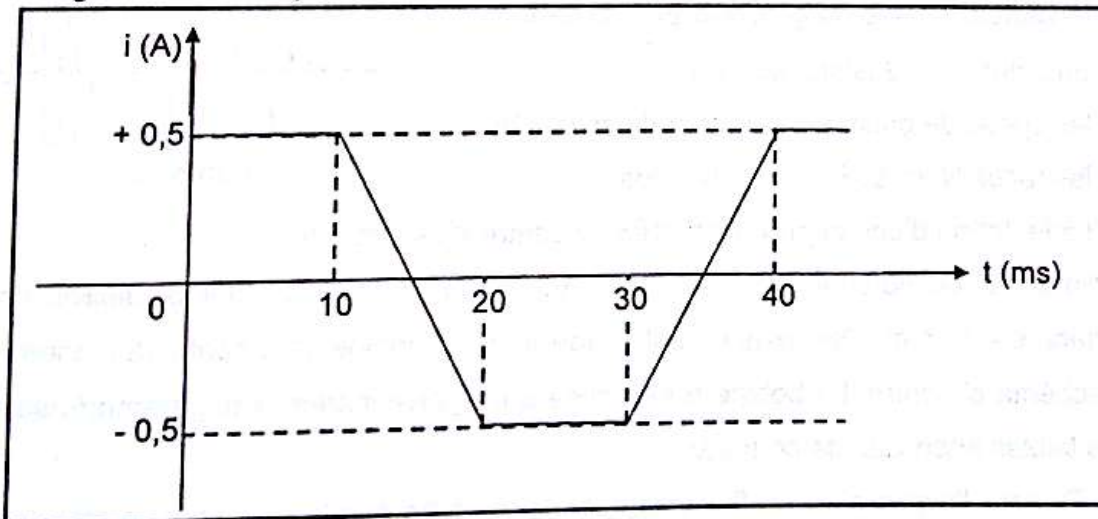
1. Quelle est la f.é.m. induite dans le cadre ?

2. La résistance du cadre est $R = 0,1 \Omega$. Quelle est l'intensité du courant induit ?

3. En déduire la valeur de la force de Laplace induite.

Exercice 3

Un solénoïde possède deux enroulements entrelacés de rayon commun $R = 5 \text{ cm}$ et de longueur $\ell = 41,2 \text{ cm}$. L'enroulement (1) dispose de $N_1 = 600$ spires et le (2) dispose de $N_2 = 300$ spires. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$. L'enroulement (1) est parcouru par un courant d'intensité variable (voir figure ci-dessous).



1) Quelle est l'expression de la valeur du vecteur champ magnétique créé par l'enroulement (1) en fonction de μ_0 , N_1 , R , ℓ et i_1 ?

2) Quelle est l'expression du flux magnétique à travers l'enroulement (2) en fonction de μ_0 , N_1 , N_2 , R , ℓ et i_1 ?

3) Déterminer les valeurs de la f.é.m. induite e_2 pour les différents intervalles de temps.

4) Représenter $e_2(t)$ sur le graphique de $i_1(t)$.

Exercice 4

On dispose d'une bobine de 10 cm de diamètre, elle est constituée d'un enroulement de 50 spires. Elle est initialement placée dans un champ magnétique, produit par un aimant, parallèle à l'axe de la bobine. $B = 15 \text{ mT}$.

1. Déterminer la surface de cette bobine en m^2 .
2. Calculer le flux ϕ_1 qui traverse la bobine dans ces conditions.
3. On fait faire à la bobine un demi-tour, calculer le flux ϕ_2 qui traverse maintenant la bobine.
4. La durée du demi-tour a été $\Delta t = 5 \text{ ms}$, en déduire la valeur absolue de la force électromotrice d'induction, e , qui est apparue dans la bobine.
5. Quelle est le nom de l'application principale de l'induction électromagnétique, et à quoi sert-elle ?
6. Dans le cas de l'expérience décrite dans cet exercice, qui est le rotor et qui est le stator ?

Exercice 5

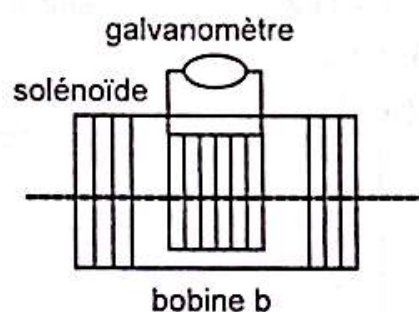
Dans cet exercice on négligera le champ magnétique terrestre.

Dans un solénoïde S de longueur L égale à 50 cm comportant un nombre N de spires égal à 600, on fait passer un courant d'intensité égale à 5 A.

1- Quelle est la valeur du champ magnétique au centre du solénoïde ?

2- Sur un schéma clair, faire apparaître :

- le sens du courant que vous choisissez,
- le vecteur champ magnétique \vec{B}_S au centre du solénoïde. Justifier son sens,
- les lignes de champ à l'intérieur du solénoïde,
- les faces Nord et Sud du solénoïde,
- l'orientation d'une aiguille aimantée au centre du solénoïde.



3- A l'intérieur du solénoïde S est placée une bobine b comportant 30 spires chacune de surface $s = 10 \text{ cm}^2$; les axes du solénoïde et de la bobine sont confondus comme l'indique le schéma ci-contre. La bobine b est reliée à un galvanomètre (ampèremètre sensible à de très faibles intensités de courant).

3.1. Donner l'expression du flux magnétique ϕ_0 à travers la bobine b et calculer sa valeur absolue dans les conditions de la question 1.

3.2. La valeur de l'intensité du courant électrique dans le solénoïde S varie pendant un temps très court (on prendra $\Delta t = 10 \text{ ms}$) et passe de 5 A à 0 A. Le galvanomètre détecte le passage d'un courant électrique de faible intensité dans la bobine.

3.2.1. Quel est le phénomène physique observé ?

3.2.2. Calculer le flux magnétique ϕ_1 à travers la bobine b lorsque le courant dans le solénoïde S a une intensité nulle. En déduire l'intensité du courant circulant dans la bobine b en sachant que sa résistance électrique vaut $R = 12 \Omega$.

3.2.3. En le justifiant, préciser le sens du courant électrique dans la bobine b.

Exercice 6 : (extrait Bac S2 session 2007 Sénégal)

Une bobine circulaire PQ de résistance $R_2 = 8 \text{ ohms}$ comportant $N_2 = 50$ spires de diamètre $d_2 = 5 \text{ cm}$ est placée comme indiqué sur la figure à l'intérieur d'un solénoïde de longueur $\ell_1 = 50 \text{ cm}$, comportant $N_1 = 1000$ spires. L'axe de la bobine est parallèle à celui du solénoïde.

1. Un générateur de courant continu débite un courant d'intensité $I = 4 \text{ A}$ à travers le solénoïde. Déterminer alors les caractéristiques du champ magnétique B créé à l'intérieur du solénoïde et représenter ce vecteur sur un schéma. On donne : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$.

2. Sans modifier le circuit, on réunit les extrémités P et Q de la bobine, puis on ouvre l'interrupteur K.

2.1. Justifier le passage d'un courant induit dans la bobine PQ pendant l'ouverture du circuit et préciser son sens sur un schéma (le sens positif d'orientation de PQ est indiqué sur le schéma du montage).

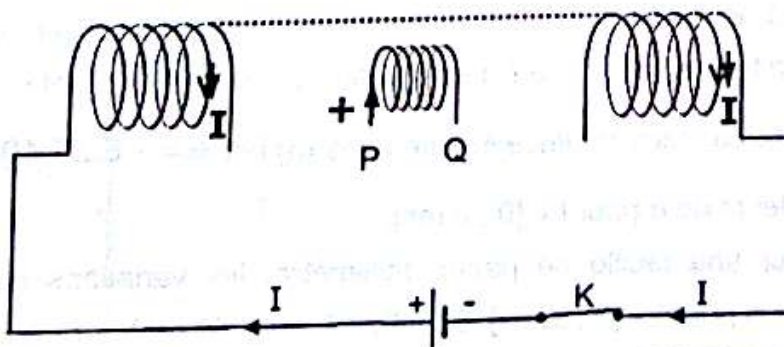
2.2. Calculer la quantité d'électricité induite qui traverse la bobine PQ.

3. Le générateur linéaire est remplacé par un générateur basse fréquence qui délivre une intensité variable $i = 5\sin(100\pi)t$, expression où i est exprimée en ampère et t en seconde.

3.1. Montrer que l'expression de la f.é.m d'induction qui apparaît dans la bobine est e , relation où est la dérivée par rapport au temps de l'intensité i du courant.

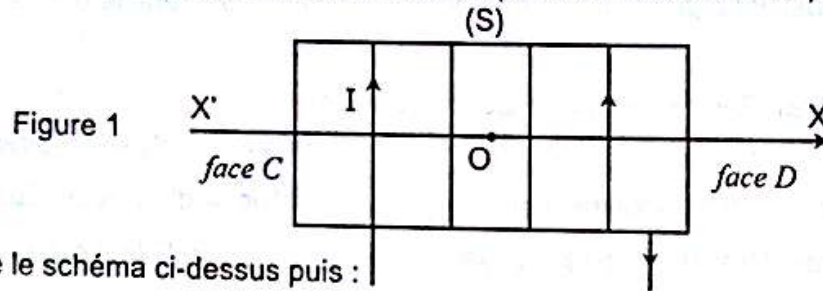
3.2. On sépare les bornes P et Q de la bobine puis on relie la borne Q à la masse d'un oscilloscope, la borne P à la voie de déviation verticale YY' afin de visualiser la tension U_{PQ} . Représenter la courbe observée sur l'écran en tenant compte des données ci-après :

- largeur de l'écran : 10 cm balayage horizontal : 5 ms/cm
- hauteur de l'écran : 08 cm sensibilité verticale : 0,2 V/cm.

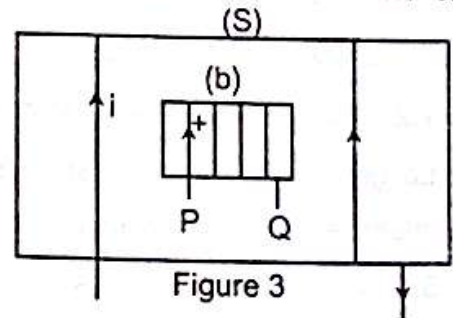
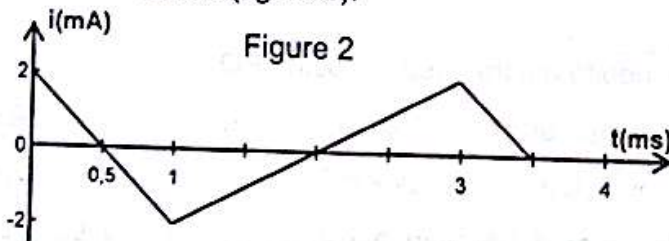


Exercice 7 (extrait Bac séries C & E session normale 2010 Côte d'Ivoire)

Un solénoïde (S) de longueur $\ell = 40$ cm comportant $N = 500$ spires est parcouru par un courant électrique d'intensité $I = 2$ A. L'axe (X'X) passe par le point O, centre du solénoïde. Sur la figure 1 est indiqué le sens du courant électrique. Données : $\pi^2 = 10$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI.



- 1- Reproduire le schéma ci-dessus puis :
 - 1.1. Représenter le champ magnétique \vec{B} au point O, centre du solénoïde ;
 - 1.2. Donner les noms des faces C et D du solénoïde.
- 2- Donner l'expression de l'intensité B du champ magnétique en fonction de μ_0 , N, ℓ et I et calculer sa valeur.
- 3- Le solénoïde est maintenant parcouru par un courant électrique d'intensité variable i comme l'indique la représentation de la figure 2. Une bobine (b) comportant $N' = 200$ spires et diamètre $d = 5$ cm est placée à l'intérieur du solénoïde. Le solénoïde et la bobine ont le même axe médian (figure 3).



- 3.1. Expliquer pourquoi il apparaît une force électromotrice induite e dans la bobine (b) dans l'intervalle $[0 ; 0,5$ ms].
- 3.2. En utilisant la loi de Lenz dans l'intervalle $[0 ; 0,5$ ms], donner le sens du champ magnétique \vec{B}' créé dans la bobine (b) si celle-ci est court-circuitée. En déduire celui du courant induit i' qui y circule. (On fera un schéma).
- 3.3. Déterminer les valeurs de la dérivée de l'intensité i par rapport au temps $\left(\frac{di}{dt}\right)$ sur l'intervalle $[0 ; 3$ ms].
- 3.4. A partir du sens positif indiqué sur le schéma de la figure 3, établir l'expression du flux magnétique Φ à travers la bobine (b) en fonction de μ_0 , N, N' , d , ℓ et i .
- 3.5. Montrer que la force électromotrice induite dans (b) est $e = -6,25 \cdot 10^{-4} \frac{di}{dt}$.
- 3.6. Calculer les valeurs de e pour $t \in [0 ; 3$ ms].
- 3.7. Représenter sur une feuille de papier millimétré, les variations de la tension e en fonction du temps pour $t \in [0 ; 3$ ms]. Echelle : 1 cm \leftrightarrow 1 mV ; 1 cm \leftrightarrow 0,5 ms.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

- 1) Expression de la valeur B du champ magnétique en fonction de μ_0 , N_1 , ℓ et i_1 .

$$B_1 = \mu_0 \frac{N_1}{\ell} i_1$$

- 2) Expression du flux à travers l'enroulement (2) en fonction de μ_0 , N_1 , N_2 , r , ℓ , et i_1 .

Ce flux est dû au champ créé par la bobine 1 donc dû à B_1

$$\Phi_2 = N_2 B_1 S = N_2 \times \mu_0 \frac{N_1}{\ell} i_1 \times \pi r^2 = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{\ell} \pi r^2 i_1$$

Remarque : $S = \pi r^2$

- 3) Détermination de la f.é.m. induite e_2 pour $t \in [0 ; 5 \text{ ms}]$

$$e_2 = - \frac{d\Phi_2}{dt} = - \frac{d(\mu_0 \frac{N_1 N_2}{\ell} \pi r^2 i_1)}{dt} = - \mu_0 \frac{N_1 N_2}{\ell} \pi r^2 \times \frac{d(i_1)}{dt}$$

Application numérique :

$$e_2 = - 4 \times \pi^2 \times 10^{-7} \times \frac{200 \times 100}{41,2 \cdot 10^{-2}} \times (2,5 \cdot 10^{-2})^2 \times \frac{d(i_1)}{dt} = - 1,2 \cdot 10^{-4} \frac{d(i_1)}{dt}$$

Pour chaque intervalle calculons $\frac{d(i_1)}{dt}$

- > Pour $0 < t < 2 \text{ ms}$,

$$\frac{d(i_1)}{dt} = \frac{(50 - (-50)) \cdot 10^{-3}}{(2 - 0) \cdot 10^{-3}} = 50 \text{ A/s} \Rightarrow e_2 = - 1,2 \cdot 10^{-4} \times 50 = - 6 \cdot 10^{-3} \text{ V} = - 6 \text{ mV}$$

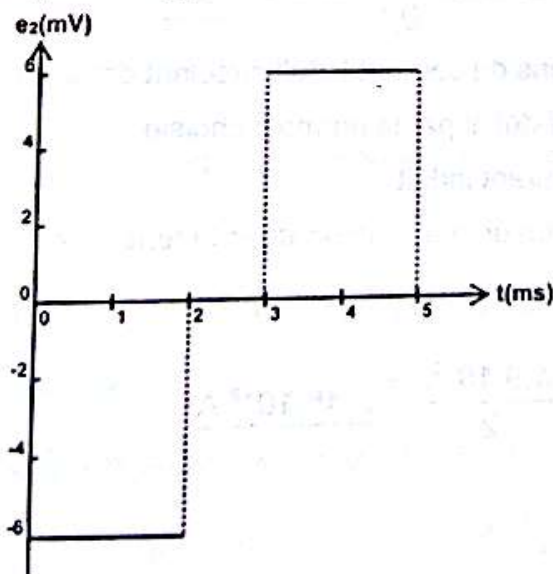
- > Pour $2 \text{ ms} < t < 3 \text{ ms}$,

$$\frac{d(i_1)}{dt} = 0 \text{ car } i_1 = 50 \text{ mA} = \text{cste} \Rightarrow e_2 = 0$$

- > Pour $3 \text{ ms} < t < 5 \text{ ms}$.

$$\frac{d(i_1)}{dt} = \frac{(-50 - 50) \cdot 10^{-3}}{(5 - 3) \cdot 10^{-3}} = - 50 \text{ A/s} \Rightarrow e_2 = - 1,2 \cdot 10^{-4} \times (- 50) = 6 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 6 \text{ mV}$$

- 4) Représentation graphique de $e_2(t)$.



Exercice 2

1. Définition et calcul du flux du champ magnétique

$$S = 0,1 \times 0,1 = 0,01 \text{ m}^2.$$

On choisit d'orienter les vecteurs \vec{B} et \vec{S}

dans le même sens, donc $\alpha = 0$.

$$\Phi_1 = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha = 20 \times 0,12 \times 0,01 = 0,024 \text{ Wb}.$$

2. Valeur du flux à travers la surface

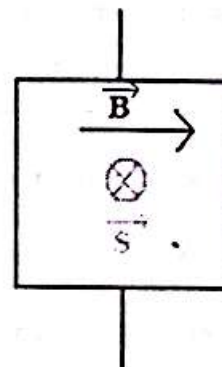
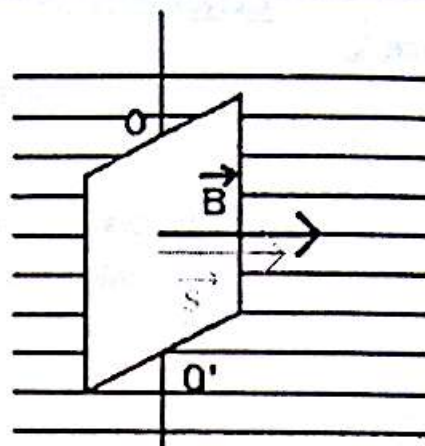
La bobine a fait une rotation d'un quart de tour

et \vec{B} n'a pas varié donc $\alpha' = 90^\circ$.

$$\Phi_2 = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha' = 0 \text{ Wb}$$

3. Expression et calcul de la force électromotrice Induite moyenne

$$e = - \frac{(\Phi_2 - \Phi_1)}{\Delta t} = - \frac{(0 - 0,024)}{10 \cdot 10^{-3}} = \underline{2,4 \text{ V}}$$

**Exercice 3**

- 1- Définition et calcul du flux du champ magnétique qui traverse la bobine

$$\phi_{ni} = N \cdot \vec{B}_{ni} \cdot \vec{S} = N \times B \times S \times \cos(\vec{B}, \vec{S}) = N \times B \times \pi \times R^2 \times \cos(\vec{B}, \vec{S})$$

Application numérique : $\phi_{ni} = 20 \times 10^{-1} \times \pi \times (3 \cdot 10^{-2})^2 \times \cos 30^\circ = \underline{4,9 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}}$

- 2- Calcul de la force électromotrice moyenne induite créée aux bornes A et B de la bobine

$$\phi_{fn} = N \cdot \vec{B}_{fn} \cdot \vec{S} = 0 \text{ (car } B = 0)$$

$$e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{(\Phi_{fn} - \Phi_{ni})}{10 \cdot 10^{-3}}$$

Application numérique : $e = - \frac{(0 - 4,9 \cdot 10^{-3})}{0,1} = \underline{4,9 \cdot 10^{-2} \text{ V}}$

- 3- Donnons en le justifiant le sens du courant induit circulant dans la bobine.

$e > 0$, donc I a le sens positif défini par la normale choisie.

- 4- Calcul de l'intensité de ce courant induit

La bobine se comporte comme un générateur, donc la tension entre ses bornes est :

$$u = e - r \cdot i. \text{ Comme la bobine est en court-circuit, } u = 0, \text{ donc : } e - r \cdot i = 0 \Rightarrow u = \frac{e}{r}$$

Application numérique : $u = \frac{4,9 \cdot 10^{-2}}{2} = \underline{2,45 \cdot 10^{-2} \text{ A}}$

Exercice 4

1) On désire élever une tension.

1.1. Déterminons la bobine constituant le primaire

U_1 : tension aux bornes du primaire ; U_2 : tension aux bornes du secondaire

n_1 : Nombre de tours du primaire ; n_2 : Nombre de tours du secondaire

I_1 : Intensité du courant dans le primaire ; I_2 : Intensité du courant dans le secondaire

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow U_2 = U_1 \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Pour que le transformateur soit un éleveur de tension, la tension U_2 doit être supérieure à U_1 .

D'après (1), $U_2 > U_1 \Rightarrow n_2 > n_1$ donc le primaire doit être la bobine qui a 1000 spires.

1.2. Valeur de la tension secondaire si on impose au primaire une tension de 220 V

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow U_2 = U_1 \frac{n_2}{n_1} = 200 \times \frac{1000}{200} = 1100 \text{ V}$$

2) Déterminons, en justifiant, la bobine qui possède le fil de plus grosse section.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = 5 \Rightarrow I_1 = 5I_2.$$

L'intensité I_1 étant très grande, le fil de la bobine du primaire ($N = 200$ spires) doit avoir une grande section.

Exercice 5

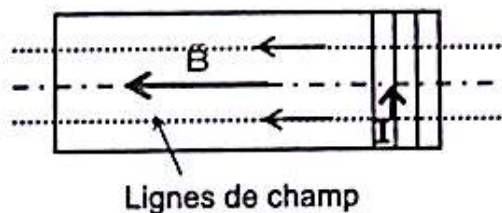
1- Indication et justification du sens du courant.

Le courant va de la borne positive à la borne négative à l'extérieur du générateur.

2- Caractéristiques et représentation du champ magnétique :

- direction : parallèle à l'axe du solénoïde.
- sens : donné par la règle du bonhomme d'Ampère.
- intensité : comme c'est un solénoïde long :

$$B = \mu_0 \times n \times I = \frac{\mu_0 \times N_s \times I}{L} \Rightarrow B = 3,77 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$



3- Représentation des lignes de champ du Solénoïde sur le même schéma.

Au centre du solénoïde le champ est uniforme : les lignes de champ sont parallèles, équidistantes et orientées dans le sens du champ.

4- Calcul du flux du champ magnétique créé par le solénoïde au travers de la bobine.

Le flux du champ magnétique B créé par le solénoïde au travers de la bobine a pour

$$\text{expression : } \phi = N_b \cdot \vec{B} \cdot \vec{S} = N_b \times B \times S \times \cos(\vec{B}, \vec{S}) = N \times B \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times \cos(0^\circ)$$

$$\text{Application numérique : } \phi = 10 \times 3,77 \cdot 10^{-4} \times \pi \times \frac{(2 \cdot 10^{-2})^2}{4} \times \cos(0^\circ) = 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$$

5- Explication de l'apparition d'un courant induit dans la bobine

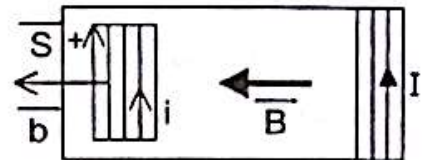
L'ouverture du circuit provoque la diminution de I , donc celle de B et par suite celle de F . La variation de F crée un courant induit i dont le sens est, d'après la loi de Lenz, tel que par ses effets il s'oppose à la cause qui lui donne naissance. Comme B diminue, le sens de i s'oppose à cette diminution en créant un champ magnétique induit b de même sens que B .

Détermination du sens et de la valeur du courant induit

Le sens de i s'en déduit en appliquant la règle du bonhomme d'Ampère.

D'après la loi de Lenz, la f.é.m. induite a pour expression :

$$e = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = - \frac{(\Phi_{fin} - \Phi_{ini})}{\Delta t} = \frac{\Phi_{ini} - \Phi_{fin}}{\Delta t}$$



Φ_{ini} correspond au flux avant l'ouverture, soit $\Phi_{ini} = 1,18 \cdot 10^{-6}$ Wb

Φ_{fin} correspond au flux en $t = 0,01$ s ; l'intensité dans le solénoïde est alors nulle, le champ créé l'est également et par suite le flux aussi, soit $\Phi_{fin} = 0$.

Détermination du sens et de la valeur du courant induit

La tension aux bornes de la bobine est $u = R \times i - e$; mais comme la bobine est fermée sur elle-même, cette tension est nulle, soit : $u = R \times i - e = 0$ alors $\Rightarrow i = \frac{e}{R} = \frac{\Phi_{ini} - \Phi_{fin}}{R \times \Delta t}$

Application numérique : $i = \frac{1,18 \cdot 10^{-6} - 0}{10 \times 0,01} = 1,18 \cdot 10^{-5}$ A

Remarque : la valeur positive de i confirme son sens (sens positif choisi).

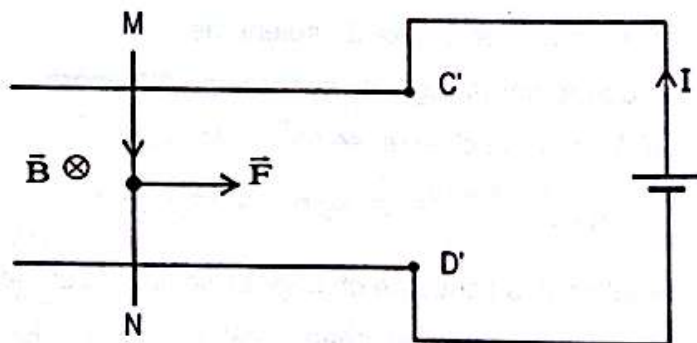
Exercice 6 (extrait Bac séries C & E session normale 2007 Côte d'Ivoire)

1. La tige MN se déplace de C vers C' parallèlement à elle-même.

1.1. Précisons sur un schéma :

1.1.1. le sens du courant

voir schéma ci-contre.



1.1.2. le sens du champ \vec{B}

Voir schéma ci-dessus.

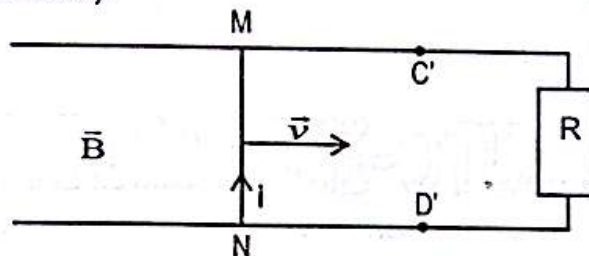
1.2. Caractéristiques de la force électromagnétique \vec{F} appliquée à la tige MN.

- Point d'application : milieu de la tige MN.
- Direction : perpendiculaire à la tige MN et à \vec{B} (horizontale).
- Sens : celui du mouvement (de C vers C').
- Valeur : $F = I l B = 2 \times 0,1 \times 2 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^{-3}$ N.

2. La barre se déplace avec une vitesse constante de valeur $v = 3 \text{ m/s}$.

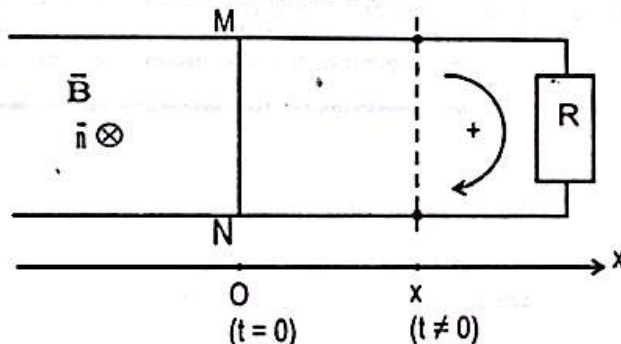
2.1. Sens du courant induit

Lors du déplacement de la tige MN, chaque électron de MN est entraîné à la vitesse \vec{v} . Il est donc soumis à la force de Lorentz $\vec{F} = -e\vec{v} \wedge \vec{B}$ dirigée de M vers N. Le courant induit circule dans le sens contraire de celui des électrons c'est-à-dire de N vers M (voir schéma ci-dessous).



2.2. Déterminons :

2.2.1. la force électromotrice d'induction e ;



À $t = 0 \text{ s}$, la surface du circuit est S_0

À $t \neq 0 \text{ s}$, la surface du circuit est $S = S_0 - \ell x = S_0 - \ell vt$

Le flux Φ au travers du circuit est : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = S\vec{B} \cdot \vec{n} = B.S$

$$\Rightarrow e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(B.S)}{dt} = -\frac{Bd(S_0 - \ell vt)}{dt} = -B(-\ell v) \Rightarrow e = B\ell v$$

Application numérique : $e = 2.10^{-2} \times 0,1 \times 3 = 6.10^{-3} \text{ V} = 6 \text{ mV}$.

2.2.2. l'intensité du courant induit

$$i = \frac{e}{R} = \frac{6.10^{-3}}{4} = 1,5.10^{-3} \text{ A} = 1,5 \text{ mA}$$

2.3.

2.3.1. Montrons qu'une force électromagnétique \vec{F}' est créée au cours du déplacement

Au cours du déplacement, la tige MN plongée dans le champ \vec{B} est parcourue par un courant induit. La tige MN est donc soumise à une force électromagnétique \vec{F}' qui s'oppose au déplacement.

2.3.2. Caractéristiques de la force électromagnétique \vec{F}' .

- o Point d'application : milieu de la tige MN.
- o Direction : perpendiculaire à la tige MN et à \vec{B} .
- o Sens : de C' vers C (opposé à \vec{v}).
- o Valeur : $F' = i\ell B = 1,5.10^{-3} \times 0,1 \times 2.10^{-2} = 3.10^{-6} \text{ N}$.



AUTO-INDUCTION

Joseph Henry
(né le 17 décembre 1797 à Albany (New York), mort le 13 mai 1878 à Washington)
Physicien Américain

Il découvrit l'auto-induction et le principe de l'induction électromagnétique des courants induits. En 1832, il créa l'unité de mesure d'induction électrique qui fut nommée le henry (H) en son honneur. Henry expérimenta et améliora l'électroaimant, inventé en 1823 par l'Anglais William Sturgeon. Dès 1829, il avait développé des électroaimants d'une grande puissance de levée. En 1831, il fabriqua le premier télégraphe électromagnétique opérationnel. Henry conçut et construisit également l'un des premiers moteurs électriques... Il a effectué de nombreux travaux sur l'électromagnétisme. Il a découvert le courant de rupture. Il a perfectionné l'électroaimant.

Objectifs spécifiques

- Appliquer les lois de l'électromagnétisme pour expliquer le phénomène d'auto-induction.

RAPPEL DE COURS

1. Définition

L'auto-induction est l'apparition d'une force électromotrice (f.é.m.) aux bornes d'un circuit traversé par un courant d'intensité variable.

2. Flux propre (T^{le} C & E uniquement)

On appelle flux propre d'un circuit électrique l'expression notée Φ et définie par : $\Phi = Li$.

- L est appelé inductance en henry (H) ;
- I intensité du courant en ampère (A) ;
- Φ en Weber (Wb).

3: Inductance d'un solénoïde

On appelle inductance d'un solénoïde la constante L définie par : $L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} S$

- L : l'inductance du solénoïde exprimée en henry (H) ;
- N : le nombre de spires ;
- ℓ : la longueur du solénoïde (en m) ;
- S : la surface d'une spire (en m²) : $S = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4}$ où r est le rayon (en m) et d le diamètre (en m) d'une spire ;
- μ_0 : la perméabilité du milieu ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ S.I.).

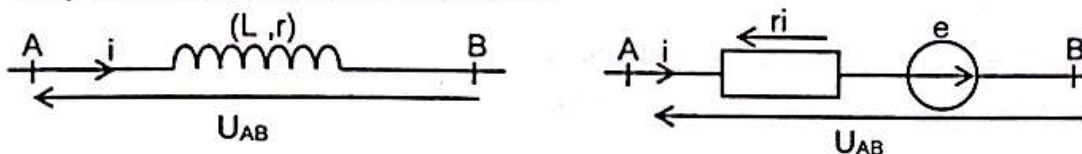
4. Force électromotrice auto-induite

4.1. Définition de la f.é.m. d'auto-induction

Par définition la f.é.m. d'auto-induction dans une bobine d'inductance L est : $e = -L \frac{di}{dt}$

- e : la f.é.m. d'auto-induction en volts (V) ;
- I : l'intensité du courant dans la bobine en ampère (A) ;
- L : l'inductance de la bobine en henry (H).

3.1) Tension aux bornes d'une bobine



- si $r \neq 0$ (cas d'une bobine réelle) alors $U_{AB} = ri - e = ri + L \frac{di}{dt}$
- si $r = 0$ (cas d'une bobine idéale) alors $U_{AB} = -e = L \frac{di}{dt}$

4.2. Constante de temps d'un dipôle (R,L)

La constante de temps d'un dipôle (R,L) est le quotient $\tau = \frac{L}{R}$. Il est homogène à une durée.

La constante de temps fourni un ordre de grandeur de la durée de l'établissement ou de l'annulation du courant dans le dipôle.

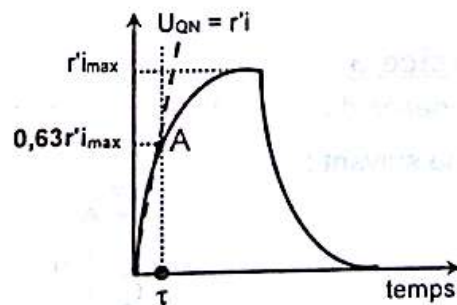
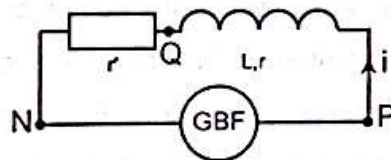
➤ Comment déterminer la constante de temps τ sur un oscillogramme

Soit le circuit représenté ci-contre.

La résistance totale du dipôle PN est $R = r + r'$;

sa constante de temps a pour expression : $\tau = \frac{L}{R}$

L'image des variations de l'intensité i du courant est obtenue en réalisant l'oscillogramme de la tension $U_{QN} = r'i$ aux bornes du conducteur ohmique de résistance r' . on sait qu'à la date τ l'établissement du courant est réalisé à 63% ; il suffit donc de repérer sur l'oscillogramme obtenu l'abscisse du point A d'ordonnée $0,63r'i_{max}$.



4.3. Energie emmagasinée dans une bobine idéale

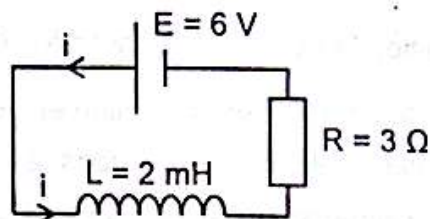
$$E = \frac{1}{2} Li^2 \text{ avec}$$

- E : l'énergie emmagasinée en joule (J) ;
- i : l'intensité du courant en ampère (A) ;
- L : l'inductance de la bobine en henry (H).

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

On considère le circuit série ci-contre dans lequel le générateur délivre un courant i constant.

- 1.) Déterminer l'intensité i du courant dans le circuit.
- 2.) Calculer l'énergie emmagasinée par la bobine.

**Exercice 2**

Au cours d'une séance de travaux pratiques, on a enregistré l'intensité au cours de l'établissement du courant dans un circuit (L, R) en fonction du temps t .

- 1) Faire un schéma d'un montage expérimental qui permettrait de réaliser cette expérience.

- 2) Tracer la tangente à la courbe à l'instant $t = 0$.

En déduire la constante de temps τ du circuit.

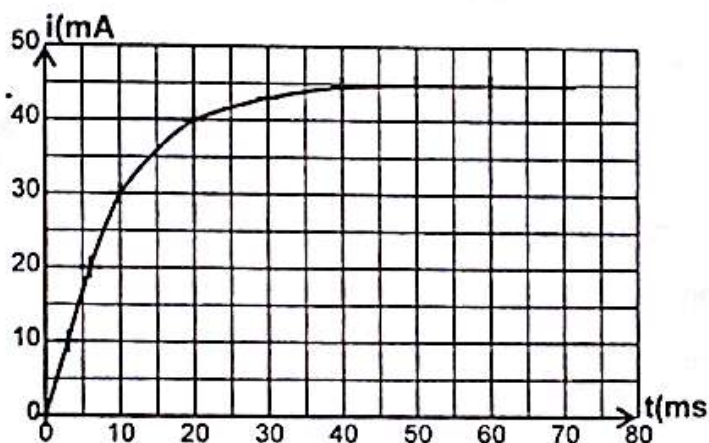
- 3) Indiquer la durée Δt au bout de laquelle l'intensité a atteint 63%

de sa valeur maximale. La comparer à la valeur de τ .

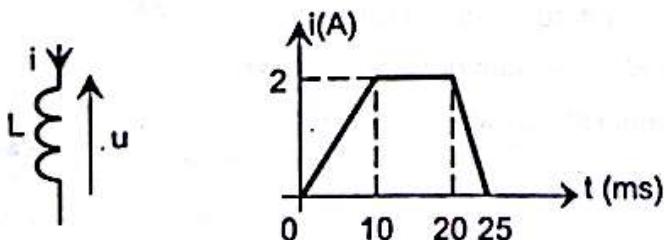
- 4) Le générateur délivrait une tension constante $E = 5,10$ V lors de cet essai.

Déterminer la résistance R du circuit.

- 5) En déduire la valeur de l'inductance L .

**Exercice 3**

La variation du courant i traversant une bobine idéale d'inductance $L = 10$ mH est donnée par le graphe suivant :



- 1.) Déterminer l'expression de l'intensité du courant $i(t)$ pour chaque intervalle de temps.
- 2.) Calculer la valeur de la force électromotrice d'auto-induction \mathcal{e} et en déduire celle de la tension u aux bornes de la bobine sur les mêmes intervalles de temps.
- 3.) Représenter les variations de $\mathcal{e}(t)$ et $u(t)$ dans le même repère.

Echelle : 1 cm pour 5 ms et 1 cm pour 2 V.

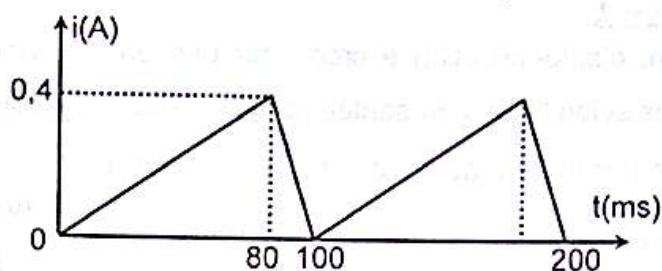
Exercice 4

1. Soit une bobine de longueur $\ell = 40$ cm, comportant $N = 1600$ spires de rayon 15 cm. Calculer son inductance L .

2. La bobine est parcourue par un courant d'intensité $I = 0,6$ A.

2.1 Donner les caractéristiques du champ magnétique \vec{B} .

2.2 Faire un schéma.



3. La bobine est maintenant parcourue par un courant dont l'intensité varie avec le temps selon la figure ci-dessus. On suppose que l'inductance de la bobine vaut $L = 0,6$ H.

3.1 Montrer que la bobine est le siège d'un phénomène d'auto-induction.

3.2 Calculer la f.é.m. auto-induite e qui apparaît aux bornes de la bobine dans l'intervalle $[0 ; 100$ ms].

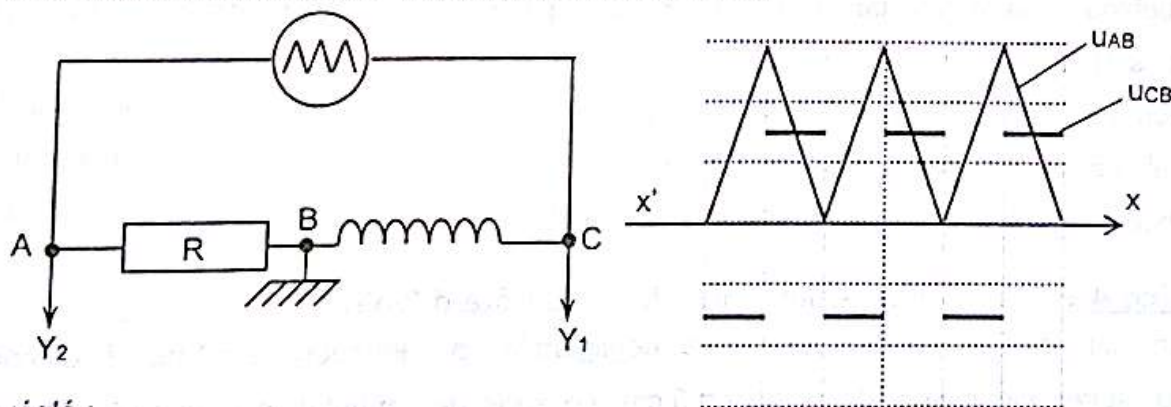
3.3 En déduire la tension u_{AC} aux bornes de la bobine dans l'intervalle $[0 ; 100$ ms].

3.4 Représenter $u_{AC}(t)$ pour $t \in [0 ; 100$ ms]. Echelle : 1 cm \rightarrow 3 V et 1 cm \rightarrow 20 ms.

Exercice 5

Le montage de la figure ci-dessous représente un circuit qui comporte un conducteur ohmique de résistance $R = 1000 \Omega$ et une bobine de résistance négligeable et d'inductance L montés en série. Ce circuit est alimenté par un générateur de tension délivrant des signaux triangulaires. On applique d'une part, sur la voie 1, la tension u_{CB} aux bornes de la bobine et d'autre part, sur la voie 2, la tension u_{AB} aux bornes de la résistance.

La figure ci-dessous représente l'image obtenue sur l'écran.



On a réglé :

- la base de temps sur la sensibilité 10^{-3} seconde par division ;
- la sensibilité verticale :
 - sur 20 millivolts par division pour la voie 1 ;
 - sur 2 volts par division pour la voie 2.

1) On observe que la tension u_{AB} forme une trace pratiquement triangulaire.

Justifier la trace en créneaux observée pour la tension u_{CB} sur l'oscillogramme.

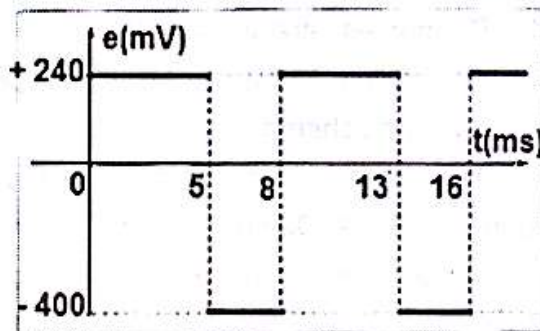
2) Calculer l'inductance L de la bobine.

3) Calculer l'énergie maximale emmagasinée dans la bobine.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1**

La f.é.m. d'auto-induction e créée par une bobine d'inductance $L = 40 \text{ mH}$, varie au cours du temps selon la loi représentée par la courbe ci-dessous.

- 1) Exprimer le taux de variation $\frac{di}{dt}$ en fonction de e et L .
- 2) Calculer $\frac{di}{dt}$ dans chacun des intervalles de temps.
- 3) Représenter graphiquement i en fonction de t sachant qu'à l'instant $t = 5 \text{ ms}$, $i = 0$.

**Exercice 2**

- 1) Un solénoïde de 50 cm de longueur, de 6 cm de diamètre, comporte 1 000 spires. Calculer son inductance L .
- 2) Quelle est la f.é.m. d'auto-induction qui apparaît dans la bobine lorsque l'intensité du courant qui la traverse a un taux de variation de 200 A.s^{-1} ?
- 3) On introduit dans la bobine un noyau de fer doux. Le taux de variation de i est le même. La valeur de la f.é.m. d'induction augmente-t-elle ou diminue-t-elle ?

Exercice 3 (T^{le} C & E uniquement)

Une bobine d'auto-inductance $L = 0,1 \text{ H}$ est parcourue par un courant d'intensité $i(t) = 5\cos(100t)$.

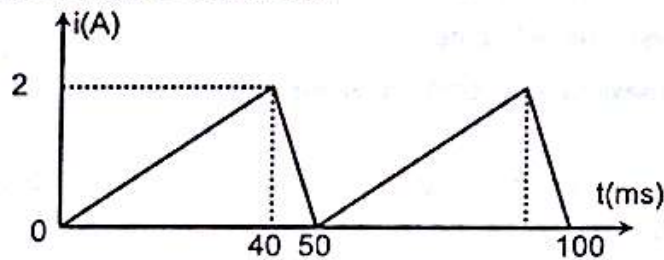
- 1) Déterminer le flux propre de la bobine.
- 2) Quelle est la f.é.m. d'induction à ses bornes ?
- 3) La bobine a une résistance de 100Ω . Quelle est la tension à ses bornes ?

Exercice 4 (extrait Bac D session normale 2005 Côte d'Ivoire)

Soit un solénoïde (A, C) de résistance négligeable, de longueur $\ell = 1 \text{ m}$. Il comporte $N = 1000$ spires circulaires, de rayon $r = 5 \text{ cm}$. Le sens de l'orientation pour l'intensité i est choisi de A vers C dans le solénoïde.

- 1) Il est parcouru par un courant d'intensité $i = 5 \text{ A}$.
 - a) Schématiser l'enroulement du solénoïde.
 - b) Donner les caractéristiques du champ magnétique créé dans la région centrale du solénoïde par le passage du courant.
 - c) Proposer des expériences permettant de déterminer ces caractéristiques.
 - d) Calculer la valeur de L .

2) Ce solénoïde est maintenant parcouru par un courant dont l'intensité $i(t)$ varie avec le temps comme l'indique la figure ci-dessous :



Un phénomène d'auto-induction prend naissance dans le solénoïde dont les bornes A et C sont reliées à un oscilloscope afin de visualiser la tension u_{AC} .

- Donner l'expression de la f.é.m. e d'auto-induction et celle de la tension u_{AC} au cours des deux phases pour t variant de 0 à 50 ms.
- Tracer, dans le même repère, la courbe $e(t)$ et celle de $u_{AC}(t)$ visualisées à l'oscilloscope sachant que la base de temps est réglée sur $10 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$ et la sensibilité verticale est de $0,5 \text{ V} \cdot \text{div}^{-1}$.

Exercice 5

Le montage de la figure 1 représente un circuit qui comporte, montés en série :

- entre les points A et B, un conducteur ohmique de résistance $R = 1\,000 \, \Omega$;
- entre les points B et C, une bobine de résistance négligeable et d'inductance L .

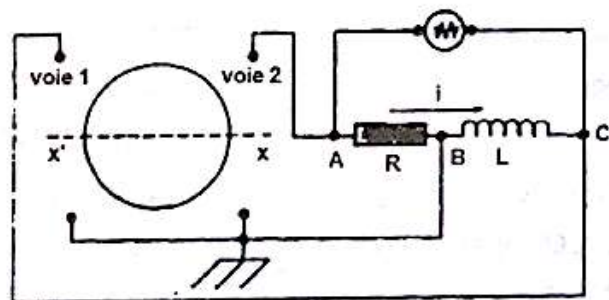


Figure 1

Ce circuit est alimenté par un générateur de tension délivrant des signaux triangulaires. On applique :

- d'une part, sur la voie 1, la tension u_{CB} aux bornes de la bobine ;
- d'autre part, sur la voie 2, la tension u_{AB} aux bornes de la résistance, La figure 2 représente l'image obtenue sur l'écran.

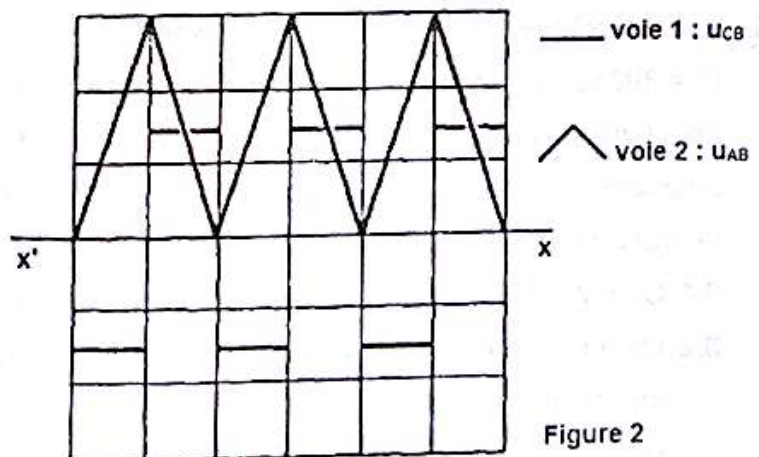


Figure 2

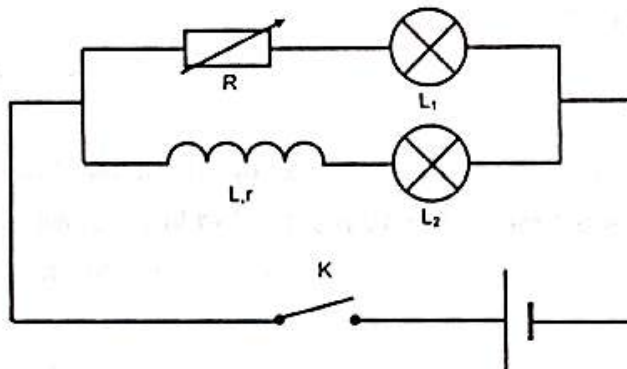
On a réglé :

- la base de temps sur la sensibilité 10^{-3} seconde par division ;
- la sensibilité verticale :
 - sur 20 millivolts par division pour la voie 1 ;
 - sur 2 volts par division pour la voie 2.

- 1) On observe que la tension forme une trace pratiquement triangulaire.
Justifier la trace en créneaux observée pour la tension u_{CB} sur la figure 2.
- 2) Calculer l'inductance L de la bobine.
- 3) Calculer l'énergie maximale E_M emmagasinée dans la bobine.

Exercice 6 (extrait Bac séries C & E session normale 2008 Côte d'Ivoire)

1. Pour étudier un phénomène physique, le professeur d'une classe de Terminale scientifique, réalise le montage dont le schéma est le suivant :



Les lampes L_1 et L_2 sont identiques. R est une résistance variable dont la valeur doit être égale à r . Le professeur dispose de tout le matériel nécessaire au laboratoire du lycée. Expliquer brièvement comment il peut déterminer la résistance interne r d'un solénoïde.

2. Lorsque les réglages sont terminés, $R = r = 10 \Omega$.
 - 2.1. Qu'observe-t-on à la fermeture de l'interrupteur K ?
 - 2.2. Quel dipôle en est responsable ? Quel nom donne-t-on au phénomène ainsi mis en évidence ?
3. Le solénoïde (L, r) est monté en série avec un conducteur ohmique de résistance $R' = 390 \Omega$. L'ensemble est alimenté par un générateur basse fréquence délivrant une tension en créneaux d'amplitude $3,6 \text{ V}$ et de fréquence $N = 333 \text{ Hz}$. Un dispositif approprié permet de suivre l'évolution de l'intensité i du courant en fonction du temps. Le tracé obtenu pendant la demi-période où $U_G = 3,6 \text{ V}$ est reproduit sur la feuille annexe.
 - 3.1. On note i_0 la valeur maximale de i . Déterminer I_0 à partir du graphe, puis par calcul.
 - 3.2. On appelle constante de temps, la durée τ au bout de laquelle l'intensité i atteint 63% de sa valeur maximale.
Déterminer la constante de temps τ du circuit à partir du graphe.
 - 3.3. Déterminer l'inductance L_{exp} sachant que $\tau = \frac{L}{R' + r}$.

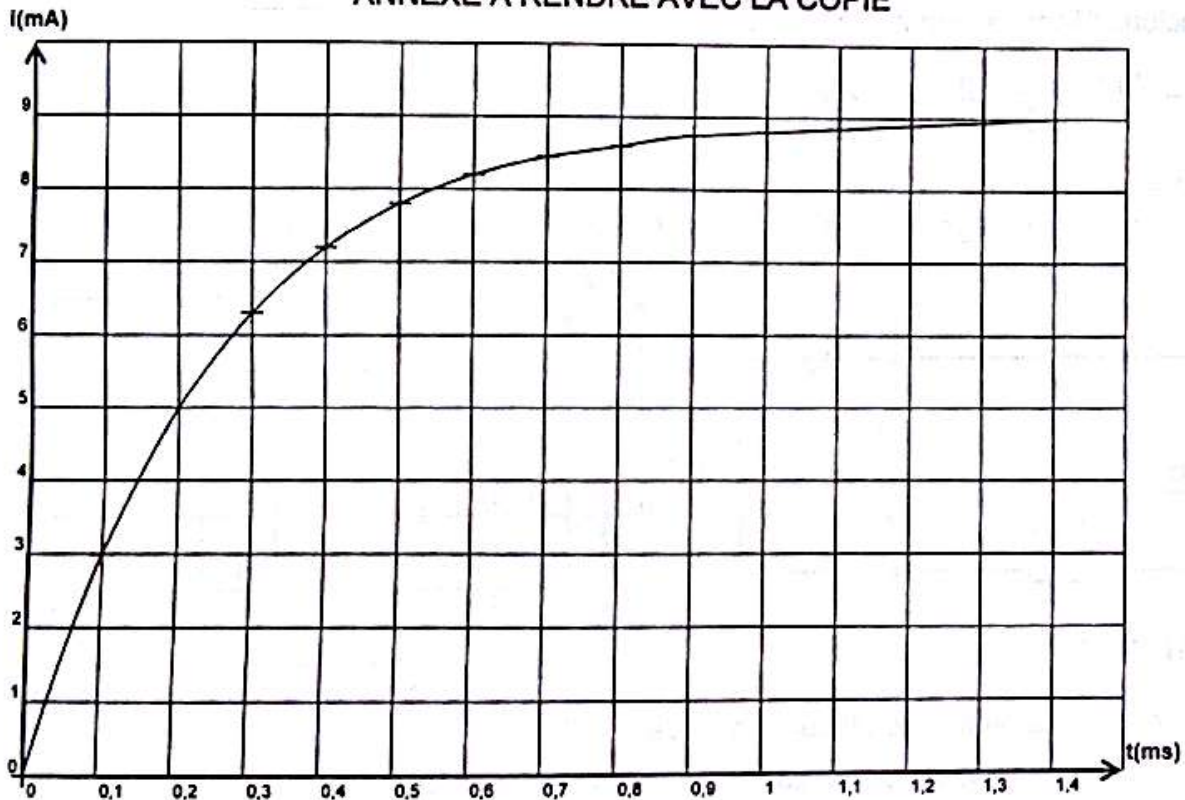
3.4. Les caractéristiques du solénoïde sont les suivantes :

- longueur : $\ell = 20 \text{ cm}$
- rayon : $r = 3,5 \text{ cm}$;
- nombre de spires : $N = 2000$.

Calculer la valeur de l'inductance L_{th} . Comparer L_{th} et L_{exp} , puis conclure.

On donne $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ unité SI ; $\pi^2 = 10$.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE



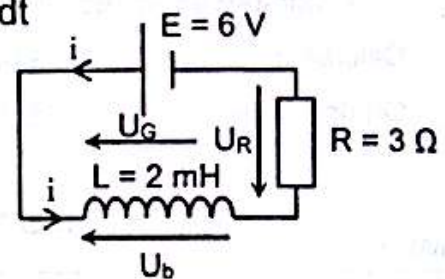
CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1.) Déterminons l'intensité i du courant dans le circuit.

D'après la loi des tensions : $U_G = U_R + U_b \Rightarrow E = Ri + L \frac{di}{dt}$

or le courant est continu donc i est constant $\Rightarrow \frac{di}{dt} = 0$

Par conséquent, $E = Ri \Rightarrow i = \frac{E}{R} = \frac{6}{3} = 2 \text{ A}$

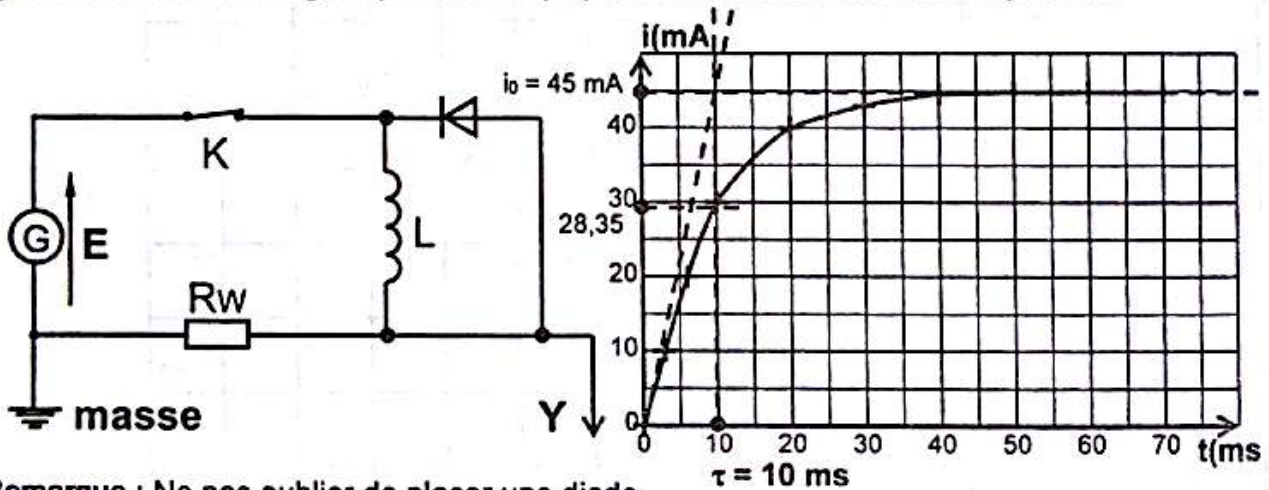


2.) Calculons l'énergie emmagasinée par la bobine.

$$\epsilon_m = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} \times 2 \cdot 10^{-3} \times 2^2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Exercice 2

1) Schéma d'un montage expérimental qui permettrait de réaliser cette expérience



Remarque : Ne pas oublier de placer une diode

pour éviter tout problème de surtension lorsque l'on ouvre l'interrupteur.

2) Tracé de la tangente à la courbe à l'instant $t = 0$ et déduction de la constante de temps.

La tangente à la courbe à l'instant $t = 0$, coupe l'asymptote $i_0 = 45 \text{ mA}$ à l'instant τ .

Graphiquement on trouve : $\tau = 10 \text{ ms}$ (voir figure ci-dessus).

3) Durée Δt au bout de laquelle l'intensité a atteint 63% de sa valeur maximale.

$$i_{\tau} = \frac{63}{100} \times i_{\max} = \frac{63}{100} \times 45 = 28,35 \text{ mA} . \text{ Pour } i = 28,35 \text{ mA}, \text{ on trouve } t \approx 10 \text{ ms} .$$

Comparaisons à la valeur de τ : Pratiquement, on trouve $\Delta t = \tau$.

4) Détermination de la résistance R du circuit.

Lorsque le courant est établi dans le circuit, l'intensité limite du courant qui circule dans

$$\text{la bobine est égale à : } i_0 = \frac{E}{R} \Rightarrow R = \frac{E}{i_0} = \frac{5,1}{45 \cdot 10^{-3}} = \underline{113,33 \Omega}$$

5) En déduire la valeur de l'inductance L : la constante de temps du circuit est : $\tau = \frac{L}{R}$

d'où $L = R \cdot \tau$. Application numérique : $L = 113,33 \times 10 \cdot 10^{-3} = 1,13 \text{ H} \Rightarrow L = 1,13 \text{ H}$.

Exercice 3

1.) Déterminons l'expression de l'intensité du courant $i(t)$ pour chaque intervalle de temps

• Pour $t \in [0; 10 \text{ ms}]$, $i(t) = kt$ avec $k = \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{2-0}{10 \cdot 10^{-3} - 0} = 200 \text{ A.s}^{-1} \Rightarrow \underline{i(t) = 200t}$

• Pour $t \in [10 \text{ ms}; 20 \text{ ms}]$, $\underline{i(t) = 2 \text{ A}}$

• Pour $t \in [20; 25 \text{ ms}]$, $i(t) = kt + b$ avec $k = \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{2-0}{(20-25) \times 10^{-3}} = -400 \text{ A.s}^{-1}$

à $t = 25 \text{ ms}$, $i(t) = 0$ donc $-400 \times 25 \cdot 10^{-3} + b = 0 \Rightarrow b = 10 \text{ A} \Rightarrow \underline{i(t) = -400t + 10}$

2.) Calculons la valeur de la f.é.m. e et celle de la tension u d'auto-induction

$e = -L \frac{di}{dt}$ et pour une bobine idéale, $r = 0 \Rightarrow u_{AB} = -e = L \frac{di}{dt}$

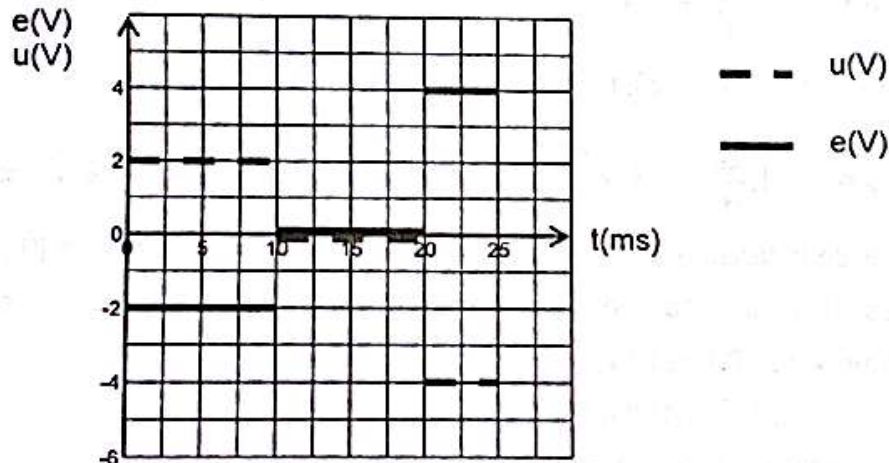
• Pour $t \in [0; 10 \text{ ms}]$, $e = -L \frac{d(200t)}{dt} = -10 \cdot 10^{-3} \times 200 \Rightarrow \underline{e = -2 \text{ V}}$ et $\underline{u = 2 \text{ V}}$

• Pour $t \in [10 \text{ ms}; 20 \text{ ms}]$, $e = -L \frac{d(2)}{dt} \Rightarrow \underline{e = 0 \text{ V}}$ et $\underline{u = 0 \text{ V}}$

• Pour $t \in [20 \text{ ms}; 25 \text{ ms}]$, $e = -L \frac{d(-400t + 10)}{dt} = -10 \cdot 10^{-3} \times (-400) \Rightarrow \underline{e = 4 \text{ V}}$ et $\underline{u = -4 \text{ V}}$

3.) Représentons les variations de $e(t)$ et $u(t)$ dans le même repère.

Echelle : 1 cm pour 5 ms et 1 cm pour 2 V.



Exercice 4

1. Inductance de la bobine de longueur $\ell = 40 \text{ cm}$, de $N = 1600$ spires et de surface 15 cm^2 .

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} S = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} \pi r^2$$

Application numérique : $L = 4 \times \pi \cdot 10^{-7} \times \frac{1600^2}{40 \cdot 10^{-2}} \times \pi \times (15 \cdot 10^{-2})^2 \approx \underline{0,57 \text{ H}}$

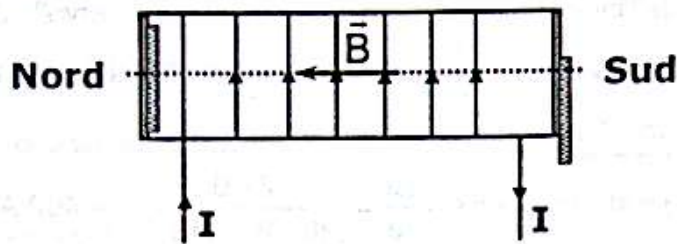
2. La bobine est parcourue par un courant $I = 0,6 \text{ A}$.

2.1 Donnons les caractéristiques du champ magnétique \vec{B} .

- direction : celle de l'axe de la bobine ;
- sens : dans le sens SUD-NORD de la bobine ;

• valeur : $B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = 4 \times \pi \cdot 10^{-7} \times \frac{1600}{40 \cdot 10^{-2}} \times 0,6 = \underline{3 \cdot 10^{-3} \text{ T}}$

2.2 Schéma.



NB : si on change le sens du courant, il faudra également changer le sens du champ magnétique et par conséquent inverser les faces de la bobine.

3. La bobine est maintenant parcourue par un courant dont l'intensité varie avec le temps.

3.1 Montrons que la bobine est le siège d'un phénomène d'auto-induction

La bobine est le siège d'un phénomène d'auto-induction car l'intensité qui la parcourt varie en fonction du temps (elle n'est pas constante).

3.2 Calculons la f.é.m. auto-induite e aux bornes de la bobine pour $t \in [0 ; 100 \text{ ms}]$

- pour $t \in [0 ; 80 \text{ ms}]$, $i = kt$ avec $k = \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{0,4 - 0}{(80 - 0) \cdot 10^{-3}} = 5 \text{ A/s}$

$$\Rightarrow e = -L \frac{di}{dt} = -L \frac{d(5t)}{dt} = -0,6 \times 5 = -3 \text{ V} \Rightarrow \underline{e = -3 \text{ V}}$$

- pour $t \in [80 ; 100 \text{ ms}]$, $i = kt + b$ avec $k = \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{0,4 - 0}{(80 - 100) \cdot 10^{-3}} = -20 \text{ A/s}$

$$\Rightarrow e = -L \frac{di}{dt} = -L \times \frac{d(-20t + b)}{dt} = -0,6 \times (-20) = 12 \text{ V} \Rightarrow \underline{e = 12 \text{ V}}$$

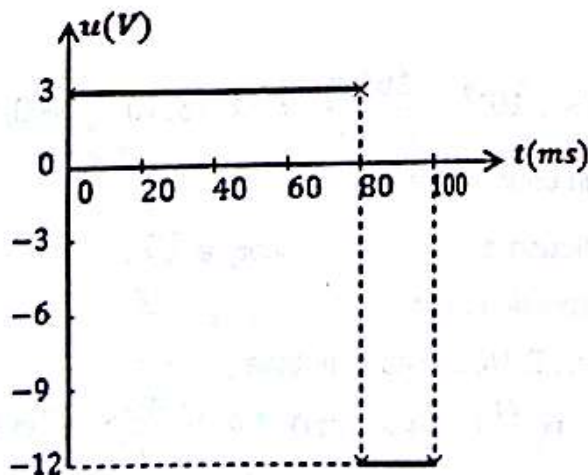
3.3 Valeur de la tension u_{AC} aux bornes de la bobine dans l'intervalle $[0 ; 100 \text{ ms}]$.

La résistance interne r de la bobine étant négligeable on a : $u_{AC} = -e$

- Pour $t \in [0 ; 80 \text{ ms}]$, $u_{AC} = 3 \text{ V}$;
- Pour $t \in [80 \text{ ms} ; 100 \text{ ms}]$, $u_{AC} = -12 \text{ V}$.

3.4 Représentation de $u_{AC}(t)$ pour $t \in [0 ; 100 \text{ ms}]$.

Échelle : 1 cm pour 20 ms et 1 cm pour 3 V



Exercice 5

1) Justifions la trace en créneaux observée pour la tension u_{CB} sur l'oscillogramme.

- Déterminons d'abord la relation entre u_{CB} et u_{AB}

On choisit un sens positif du courant en fonction duquel on exprime les tensions u_{CB} et u_{AB} .

$$u_{CB} = -(-e) = e = -L \frac{di}{dt}$$

$$u_{AB} = Ri \Rightarrow i = \frac{u_{AB}}{R}$$

$$\Rightarrow u_{CB} = -L \frac{d\left(\frac{u_{AB}}{R}\right)}{dt} = -\frac{L}{R} \frac{du_{AB}}{dt}$$

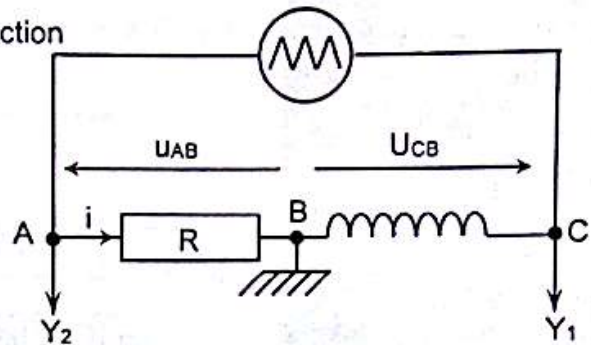
- Justification de la forme de u_{CB} par rapport u_{AB}

u_{AB} est un signal triangulaire.

On a donc des fonctions affines par intervalles de la forme $u_{AB} = kt + b$

$$\Rightarrow \frac{du_{AB}}{dt} = \frac{d(kt + b)}{dt} = k \Rightarrow u_{CB} = -\frac{L}{R} k = \text{cste}$$

D'où la forme en créneaux ou carrée de u_{CB} observée.



2) Calculons l'inductance L de la bobine.

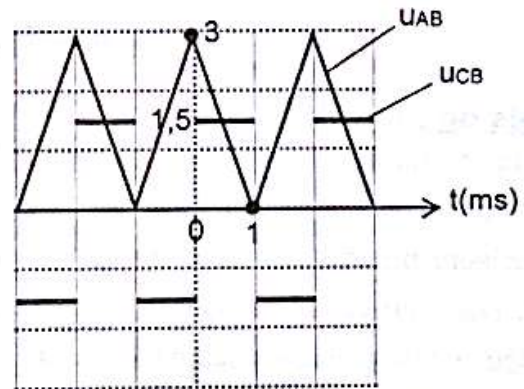
$$u_{CB} = -\frac{L}{R} k \Rightarrow L = -\frac{R u_{CB}}{k}$$

Pour $t \in [0 ; 10^{-3} \text{ s}]$, calculons k et u_{CB} :

$$\triangleright k = \frac{\Delta u_{AB}}{\Delta t} = \frac{3 \times 2 - 0}{0 - 10^{-3}} = -6 \cdot 10^3 \text{ V/s} ;$$

$$\triangleright u_{CB} = 1,5 \times 20 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

$$\Rightarrow L = -\frac{1000 \times 3 \cdot 10^{-2}}{-6 \cdot 10^3} = 0,005 \text{ H} = 5 \text{ mH}$$



Remarque : entre 0 et 1 ms (10^{-3} s),

- u_{AB} varie de 3 divisions à 0 division donc d'après l'échelle correspondante (échelle de la voie Y_2 : 2 volts par division) u_{AB} varie de $3 \times 2 = 6 \text{ V}$ à 0 V .
- u_{CB} est constante et est équivalente à 1,5 division donc d'après l'échelle correspondante (échelle de Y_1 : 20 millivolts par division) $u_{CB} = 1,5 \times 20 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ V}$.

3) Calculons l'énergie maximale emmagasinée dans la bobine.

$$\left. \begin{aligned} E_{\max} &= \frac{1}{2} L i_{\max}^2 \\ i_{\max} &= \frac{u_{AB\max}}{R} \end{aligned} \right\} \Rightarrow E_{\max} = \frac{1}{2} L \left(\frac{u_{AB\max}}{R} \right)^2$$

$$\text{Or } u_{AB\max} = 2 \times 3 = 6 \text{ V} \text{ donc } E_{\max} = \frac{1}{2} \times 5 \cdot 10^{-3} \times \left(\frac{6}{1000} \right)^2 = 9 \cdot 10^{-8} \text{ J}$$



Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)

Physicien Allemand

Il est l'un des plus grands physiciens du XIX^e siècle, avec des contributions essentielles à l'électrodynamique, la physique du rayonnement et la théorie mathématique de l'élasticité. Il doit sa célébrité aux lois relatives au courant électrique dans les circuits (loi des mailles et loi des nœuds dites Lois de Kirchhoff), qu'il a établies alors qu'il était encore étudiant.

Objectif spécifique

- Interpréter les résultats des montages dérivateur et intégrateur.

RAPPEL DE COURS

1. Lois de Kirchhoff

Dans un circuit électrique, une **branche** représente un ensemble d'éléments reliés en série et donc traversés par un même courant, un **nœud** correspond au point d'intersection de plusieurs branches, et une **maille** est un ensemble de branches constituant un parcours fermé. Dans un circuit comportant plusieurs branches, on peut alors appliquer les deux lois énoncées par le physicien allemand Gustav Kirchhoff.

- D'après la loi des nœuds, la somme des courants partant d'un nœud est égale à la somme des courants qui y aboutissent.
- D'après la loi des mailles, la somme des tensions le long d'une maille est nulle.

Ces deux lois sont utilisées pour déterminer les intensités ou tensions d'un circuit électrique.

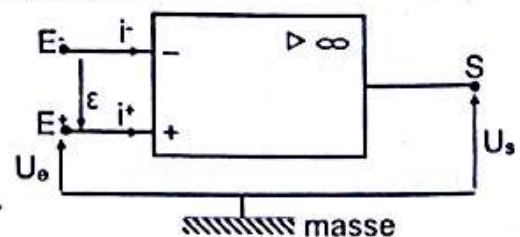
2. Amplificateur opérationnel

2.1. Définition et description

Un amplificateur opérationnel (A.O.) est un circuit intégré qui permet d'amplifier des tensions électriques et de réaliser des opérations mathématiques. Il possède :

- deux entrées (inverseuse E^- , non-inverseuse E^+) avec une ddp ε et des courants d'entrées i^- et i^+ ,
- une sortie S .

Il est alimenté par les tensions d'entrée U_e et de sortie U_s .



2.2. Quelques propriétés

Pour un A.O idéal (parfait), on retiendra que : $i^+ = i^- = 0$ et $\epsilon = 0$

En régime linéaire, le gain en tension d'un montage avec un A.O. est le quotient $G = \frac{U_s}{U_e}$

La tension de saturation V_{sat} de l'A.O est telle que $|U_s| < V_{sat}$.

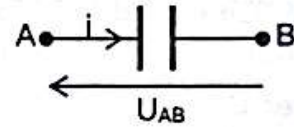
En régime saturé, $U_s = \pm V_{sat}$.

3. Condensateur

3.1. Définition et symbole

Un condensateur est un composant électronique capable d'emmagasiner une charge électrique. Il se compose de deux plaques conductrices ou armatures, séparées par une couche isolante appelée diélectrique.

Le diélectrique peut être de l'air(du vide), du verre, du mica etc.



3.2. Capacité

C'est le coefficient de proportionnalité entre la charge Q_A portée par l'une des armatures et la tension U_{AB} aux bornes d'un condensateur.

Il est notée C et est donnée par la relation suivante : $Q_A = CU_{AB}$

- Q_A charge portée par l'armature A en coulomb (C) ;
- C : capacité du condensateur en farad (F) ;
- U_{AB} : tension aux bornes du condensateur en volt (V)

3.3. Charge et décharge

L'intensité du courant électrique traversant un condensateur est proportionnelle à la dérivée de la tension aux bornes de ce condensateur.

Elle est donnée par la relation suivante : $i = \frac{dq_A}{dt} = C \frac{dU_{AB}}{dt}$

- Lors de la charge, q_A augmente, $\frac{dq_A}{dt} > 0$ et $i > 0$
- Lors de la décharge, q_A diminue, $\frac{dq_A}{dt} < 0$ et $i < 0$

3.4. Énergie emmagasinée

L'énergie stockée ou emmagasinée par un condensateur est donnée par la relation suivante :

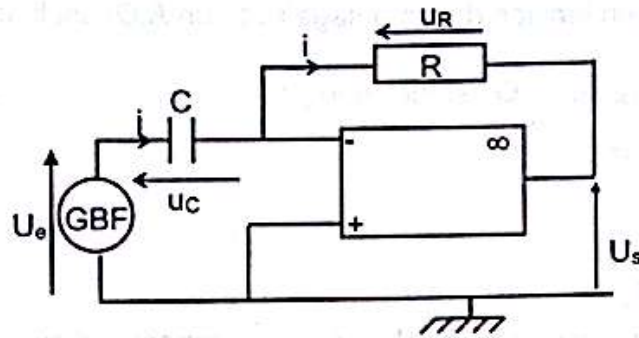
$$E_{mc} = \frac{1}{2} Q U_{AB} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C U_{AB}^2.$$

Elle est exprimée en joule (J).

4. Montage dérivateur

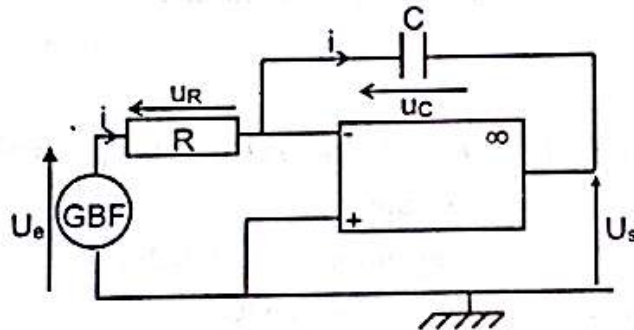
La tension de sortie U_s est proportionnelle à la dérivée par rapport au temps de la tension d'entrée U_e .

$$U_s = -RC \frac{dU_e}{dt}$$

**5. Montage intégrateur**

La tension de sortie U_s est proportionnelle à une intégrale ou une primitive de la tension d'entrée U_e .

$$U_s = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_e dt$$



EXERCICES RESOLUS

Exercice 1 (extrait Bac séries C & E session normale 2000 Côte d'Ivoire)

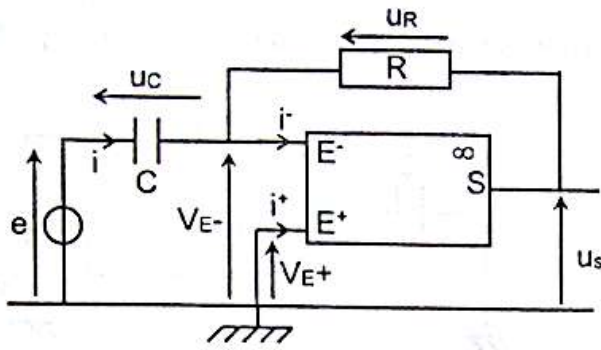


Figure 1

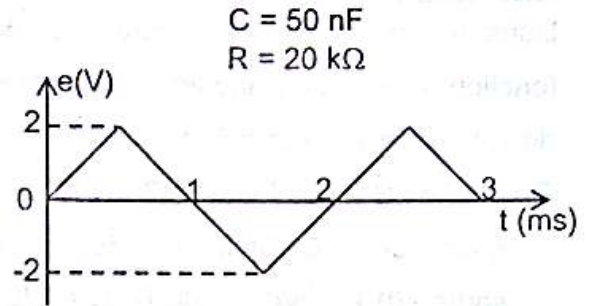


Figure 2

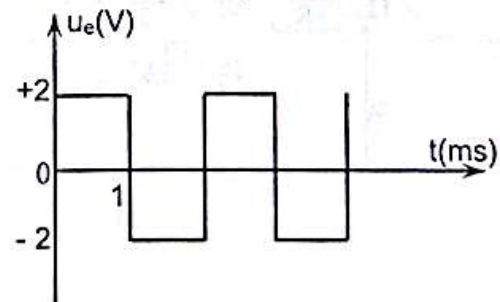
Dans le montage ci-dessus (voir figure 1), l'amplificateur opérationnel est idéal et fonctionne en régime linéaire, c'est-à-dire : $V_{E^+} = V_{E^-}$ et $i^+ = i^- = 0$.

1. En respectant les conventions utilisées sur le schéma, exprimer les tensions u_C en fonction de e et u_R en fonction de u_S .
2.
 - 2.1. Exprimer la tension de sortie u_S en fonction de R , C et de la dérivée $\frac{de}{dt}$.
 - 2.2. De quel type de montage s'agit-il ? Justifier votre réponse.
3. La tension d'entrée $e(t)$ est une tension « en dents de scie » dont les caractéristiques sont portées sur le graphe ci-dessus (voir figure 2).
 - 3.1. Déterminer la période T et la fréquence de ce signal.
 - 3.2. Exprimer le signal de sortie $u_S(t)$.
 - 3.3. Représenter sur le même graphe $e(t)$ et $u_S(t)$. Échelle : $1 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ ms}$; $1 \text{ cm} \rightarrow 1 \text{ V}$

Exercice 2

On applique à un montage intégrateur une tension d'entrée u_e , carrée, représentée ci-contre.

1. Faire le schéma du montage.
2. Quelles sont l'amplitude $U_{e\max}$, la période T et la fréquence N de u_e ?
3. On obtient à la sortie une tension triangulaire u_S .
 - 3.1. Etablir la relation entre u_e , R , C et $\frac{du_S}{dt}$.
 - 3.2. En déduire l'expression de u_S pour $t \in \left[0; \frac{T}{2}\right]$, sachant qu'à $t = 0$, $u_S = 0$.
4. On donne $R = 4 \text{ k}\Omega$.
 - 4.1. Pour quelle valeur de t , u_S prend-elle pour la première fois, sa valeur minimale ?
 - 4.2. Calculer la valeur de la capacité C du condensateur pour que cette valeur minimale soit égale à -10 V .



EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (extrait Bac Blanc série D avril 2012 EMPT Bingerville Côte d'Ivoire)

Dans le montage de la figure ci-contre, l'amplificateur opérationnel (AO) est parfait et il fonctionne en régime linéaire. Ses tensions de saturation $\pm V_{sat}$ sont égales à $\pm 13V$.

On donne : $C = 50 \text{ nF}$ et $R = 20 \text{ K}\Omega$.

1. Établir de façon littérale, la tension de sortie $s(t)$ en fonction de R , C et de la dérivée par rapport au temps de $e(t)$.

De quel type de montage s'agit-il ?

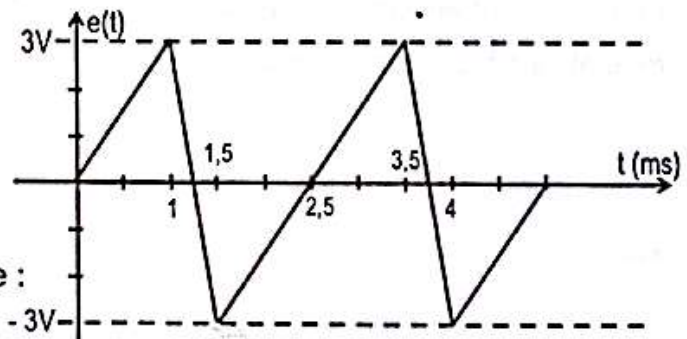
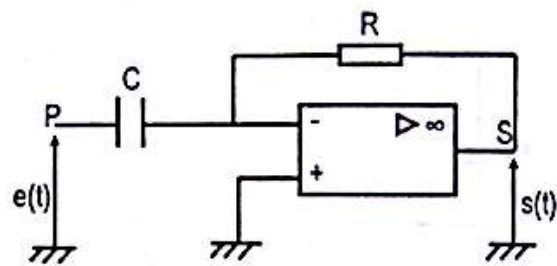
2. La tension d'entrée $e(t)$ est la tension en dent de scie représentée ci-dessous.

En déduire :

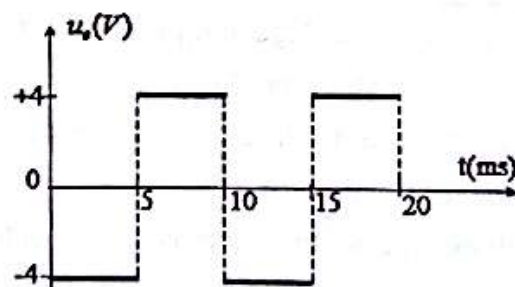
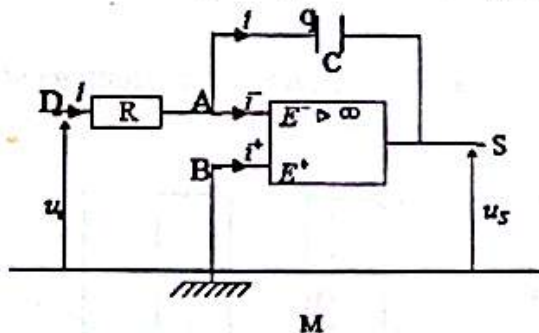
- la période T et la fréquence N de ce signal,
- la forme du signal de sortie $s(t)$.

3. Représenter ces signaux sur une feuille de papier millimétré en adoptant l'échelle :

- en abscisse : 1 cm pour 0,5 ms
- en ordonnée : 1 cm pour 1 Volt

**Exercice 2**

On considère le montage intégrateur de la figure 1. On donne : $C = 0,1 \mu\text{F}$; $R = 40 \text{ k}\Omega$.



- 1) Exprimer la tension de sortie u_s en fonction de la tension d'entrée u_e .
- 2) On applique à l'entrée, la tension u_e , d'amplitude U et de profil représenté à la figure 2.
 - 2.1. Déterminer la période et la fréquence de la tension d'entrée u_e .
 - 2.2. Déterminer les variations de $u_s(t)$ si le condensateur est initialement déchargé.
 - 2.3. Représenter $u_s(t)$. Échelle : 1 cm \leftrightarrow 5 ms ; 1 cm \leftrightarrow 2,5 V.

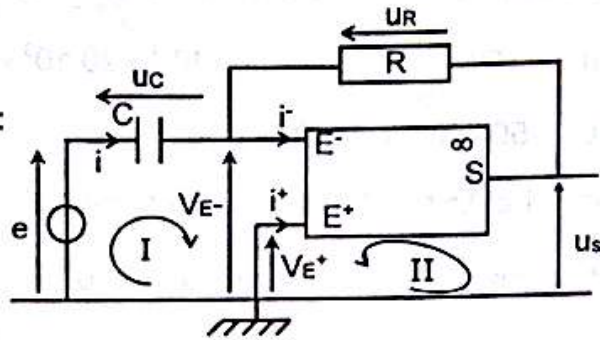
CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac séries C & E session normale 2000 Côte d'Ivoire)1. Expression des tensions u_C en fonction de e et u_R en fonction de u_S .

D'après la loi des mailles dans I on a :

$$e - u_C = 0 \Rightarrow e = u_C$$

D'après la loi des mailles dans II on a :

$$u_S + u_R = 0 \Rightarrow u_S = -u_R$$



2.

2.1. Expression de u_S en fonction de R , C et de la dérivée $\frac{de}{dt}$

$$\triangleright e = u_C = \frac{q}{C} \Rightarrow q = Ce \text{ Or } i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Ce)}{dt} = C \frac{de}{dt} \quad (1)$$

$$\triangleright u_S = -u_R = -Ri \Rightarrow i = -\frac{u_S}{R} \quad (2)$$

$$\text{Les relations (1) et (2) donnent : } -\frac{u_S}{R} = C \frac{de}{dt} \Rightarrow u_S = -RC \frac{de}{dt}$$

2.2. Nom du montage

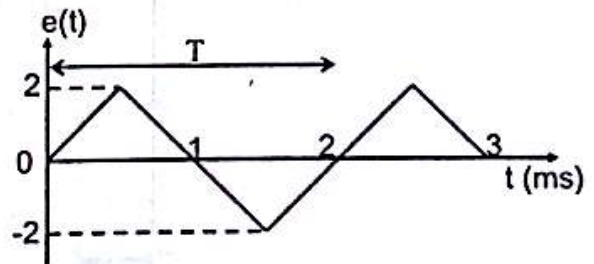
D'après la relation entre les tensions u_S et e on peut dire que c'est un montage dérivateur.

3. La tension d'entrée $e(t)$ est une tension « en dents de scie »3.1. Période T et fréquence de ce signal

- \triangleright la période : c'est le temps mis pour faire un tour complet d'une oscillation ; donc d'après la courbe,

$$T = 2 \text{ ms} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$\triangleright \text{ la fréquence : } N = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Hz}$$

3.2. Expression du signal de sortie $u_S(t)$.

$$\bullet \text{ Pour } t \in [0; 0,5 \text{ ms}], e = at \text{ avec } a = \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{2-0}{0,5 \cdot 10^{-3} - 0} = 4 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Rightarrow e = 4 \cdot 10^3 t \text{ or } u_S = -RC \frac{de}{dt} \Rightarrow u_S = -20 \cdot 10^3 \times 50 \times 10^{-9} \times \frac{d(4 \cdot 10^3 t)}{dt}$$

$$\Rightarrow u_S = -50 \times 10^{-9} \times 20 \cdot 10^3 \times 4 \cdot 10^3 = -4 \text{ V}$$

• Pour $t \in [0,5 \text{ ms}; 1,5 \text{ ms}]$, $e = ct + d$ avec $c = \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{2 - (-2)}{(0,5 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = -4 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$

à $t = 2 \text{ ms}$, $e = 0 \text{ V} \Rightarrow d = 4 \cdot 10^3 \times 2 \cdot 10^{-3} = 8 \text{ V} \Rightarrow e = -4 \cdot 10^3 t + 8$

or $u_s = -RC \frac{de}{dt} \Rightarrow u_s = -50 \times 10^{-9} \times 20 \cdot 10^3 \times \frac{d(-4 \cdot 10^3 t + 8)}{dt}$

$\Rightarrow u_s = 50 \times 10^{-9} \times 20 \cdot 10^3 \times 4 \cdot 10^3 = 4 \text{ V}$

• Pour $t \in [1,5 \text{ ms}; 2 \text{ ms}]$, $e = c't + d'$ avec $c' = \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{0 - (-2)}{(2 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 4 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$

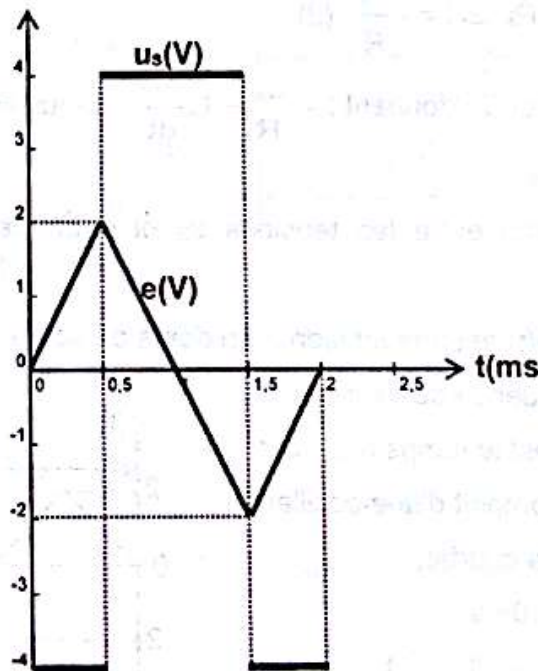
à $t = 2 \text{ ms}$, $e = 0 \text{ V} \Rightarrow d' = -4 \cdot 10^3 \times 2 \cdot 10^{-3} = -8 \text{ V} \Rightarrow e = 4 \cdot 10^3 t - 8$

or $u_s = -RC \frac{de}{dt} \Rightarrow u_s = -50 \times 10^{-9} \times 20 \cdot 10^3 \times \frac{d(4 \cdot 10^3 t - 8)}{dt}$

$\Rightarrow u_s = -50 \times 10^{-9} \times 20 \cdot 10^3 \times 4 \cdot 10^3 = -4 \text{ V}$

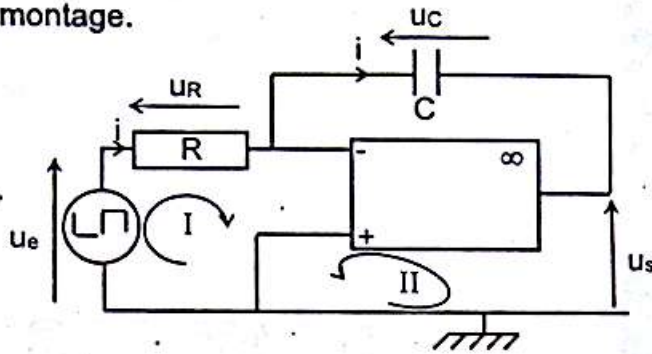
3.3. Représentation sur le même graphe de $e(t)$ et $u_s(t)$.

Échelle : 1 cm \rightarrow 0,5 ms ; 1 cm \rightarrow 1 V.

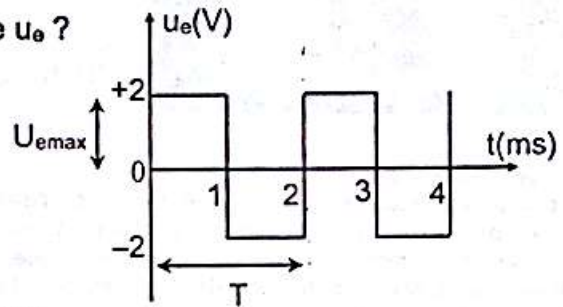


Exercice 2

1. Schéma du montage.

2. Amplitude $U_{e\max}$, période T et fréquence N de u_e ?

- amplitude : $U_{e\max} = 2 \text{ V}$
- période : $T = 2 \text{ ms} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
- fréquence : $N = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Hz}$

3. On obtient à la sortie une tension triangulaire u_s .3.1. Relation entre u_e , R , C et $\frac{du_s}{dt}$.

D'après la loi des mailles dans I on a : $u_e - u_R = 0 \Rightarrow u_e = u_R = Ri \Rightarrow i = \frac{u_e}{R}$ (1)

D'après la loi des mailles dans II on a : $u_s + u_C = 0 \Rightarrow u_s = -u_C = -\frac{q}{C} \Rightarrow q = -Cu_s$

$$\text{Or } i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(-Cu_s)}{dt} = -C \frac{du_s}{dt} \quad (2)$$

Les relations (1) et (2) donnent : $-C \frac{du_s}{dt} = \frac{u_e}{R} \Rightarrow \frac{du_s}{dt} = -\frac{u_e}{RC}$

3.2. Expression de u_s pour $t \in \left[0; \frac{T}{2}\right]$, sachant qu'à $t = 0$, $u_s = 0$.

Pour $t \in \left[0; \frac{T}{2}\right]$, $u_e = +2 \text{ V} = \text{constante}$.

$$\Rightarrow \frac{du_s}{dt} = -\frac{u_e}{RC} \Rightarrow u_s = -\frac{1}{RC} \int u_e dt = -\frac{2}{RC} \int dt = -\frac{2}{RC} t + b$$

En plus, à $t = 0$, $u_s = 0 \Rightarrow u_s = 0 + b = 0 \Rightarrow b = 0$ d'où $u_s = -\frac{2}{RC} t$

4. On donne $R = 4 \text{ k}\Omega$.4.1. Valeur de t , pour que u_s prenne pour la première fois, sa valeur minimale.

La première valeur minimale de u_s est $u_s = -\frac{2}{RC}$; en ce moment $t = 1 \text{ ms}$.

4.2. Capacité C du condensateur pour que cette valeur minimale soit égale à -10 V .

$$u_s = -\frac{2}{RC} \Rightarrow C = -\frac{2}{Ru_s} = -\frac{2}{4 \cdot 10^3 \times (-10)} \Rightarrow C = 5 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$



André-Marie Ampère
(1775-1836),
Physicien et Chimiste français

Il fit d'importantes découvertes dans le domaine de l'électromagnétisme. Il en édifia les fondements théoriques et découvrit les bases de l'électronique de la matière. Il est également l'inventeur de nombreux dispositifs et appareils tels que le solénoïde, le télégraphe électrique et l'électroaimant. Ampère est considéré comme le précurseur de la mathématisation de la physique, et comme l'un des derniers savants universels. Créateur du vocabulaire de l'électricité (il inventa les termes de courant et de tension), son nom a été donné à l'unité internationale de l'intensité du courant électrique : l'ampère (A). En 1820, il étudie la relation entre magnétisme et électricité. Il découvre que la direction dans laquelle se déplace l'aiguille d'une boussole dépend de la direction du courant électrique qui circule à proximité et en déduit la règle dite du « bonhomme d'Ampère ».

OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES

Objectif spécifique

- Etablir l'équation différentielle, sa solution et les caractéristiques d'un circuit LC donné

RAPPEL DE COURS

1. Caractéristiques d'un condensateur

1.1. Charge et décharge

- Lors de la charge de l'énergie électrique est "transférée" du générateur au condensateur sous forme de déplacement d'électrons d'une armature à une autre. La tension U aux bornes du condensateur croît jusqu'à devenir égale à celle aux bornes du générateur. L'intensité i du courant décroît jusqu'à s'annuler.
- Lors de la décharge le condensateur restitue l'énergie précédemment stockée sous forme de déplacement d'électrons. La tension U aux bornes du condensateur et la valeur de l'intensité i décroissent jusqu'à s'annuler.

1.2. Quantité d'électricité ou charge électrique

La quantité d'électricité emmagasinée par un condensateur chargé par un courant électrique continu (constant) d'intensité I est donnée par la relation : $Q = I \times \Delta t$

- Q : quantité d'électricité ou charge en coulomb (C) ;
- Δt : durée de la charge en seconde (s) ;
- I : intensité du courant électrique en ampère (A).

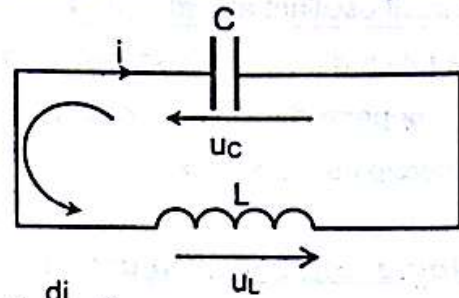
2. Equation différentielle

➤ La tension aux bornes du

Condensateur est : $u_C = \frac{q}{C}$

➤ La tension aux bornes de

la bobine est : $u_L = L \frac{di}{dt}$



D'après la loi des mailles : $u_C(t) + u_L(t) = 0 \Rightarrow \frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = 0$

or $i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2}$ donc $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$ ou $\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$

3. Solution de l'équation différentielle

La solution de l'équation différentielle de variable q d'un circuit LC est de la forme :

$$q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

- Q_m : amplitude des oscillations ou charge maximale exprimée en coulomb (C) ;
- φ : phase à l'origine des temps. Elle s'exprime en radian (rad) ;
- ω_0 : pulsation propre en rad.s^{-1} ;

4. Grandeurs caractéristiques

- Pulsation propre : $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ exprimée en rad.s^{-1} ;

L : l'inductance de la bobine exprimée en henry (H) ;

C : la capacité du condensateur exprimée en farad (F).

- Période propre : $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$; T_0 exprimée en seconde (S).
- Fréquence propre : $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$; N_0 exprimée en hertz (Hz).

5. Etude énergétique

5.1. Energie électrique emmagasinée dans un condensateur

$$E_C = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} C u^2 = \frac{1}{2} q u.$$

Sa valeur maximale est : $E_{C_{\max}} = \frac{1}{2} \frac{Q_m^2}{C} = \frac{1}{2} C U_m^2 = \frac{1}{2} Q_m U_m$

5.2. Energie magnétique emmagasinée dans une bobine

$$E_L = \frac{1}{2} L i^2. \text{ Sa valeur maximale est : } E_{L_{\max}} = \frac{1}{2} L I_m^2$$

5.3. Energie totale emmagasinée dans un circuit oscillant non amorti

$$E_T = E_C + E_L = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} \frac{Q_m^2}{C} = \frac{1}{2} L I_m^2 = \text{Constante}$$

5.4. Circuit oscillant amorti

L'énergie totale d'un circuit oscillant amorti n'est pas constante, elle diminue progressivement. Toute fois la perte de l'énergie peut-être compensée par un dispositif d'entretien qui fournit au circuit l'énergie qu'il a perdue.

6. Analogie entre grandeurs mécaniques et grandeurs électriques

SYSTEME		OSILLATEUR MECANIQUE	CIRCUIT OSCILLANT LC
Non amorti	Equation différentielle	$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$	$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$
	Pulsation propre	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
	Equation de l'oscillation	$x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$	$q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$
	Energie mécanique à l'instant t	$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$ $E_m = \text{cste}$	$E_T = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$ $E_T = \text{cste}$
	Autres expression de l'énergie d'oscillation	Energie cinétique maximale : $E_{C_{\max}} = \frac{1}{2}mV_m^2$ Energie potentielle élastique maximale : $E_{P_{\max}} = \frac{1}{2}kX_m^2$	Energie magnétique maximale de la bobine : $E_{L_{\max}} = \frac{1}{2}LI_m^2$ Energie électrique maximale condensateur : $E_{C_{\max}} = \frac{1}{2}\frac{Q_m^2}{C}$
Analogies entre grandeurs mécanique et électriques		m (masse)	L (inductance)
		k(constante de raideur)	$\frac{1}{C}$, C(capacité)
		x(élongation)	q(charge électrique)
		$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = v$ (vitesse)	$\dot{q} = \frac{dq}{dt} = i$ (intensité)
		F = kx (force)	u = $\frac{q}{C}$ (tension)
		$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} = a$ (accélération)	$\ddot{q} = \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2}$ (dérivée de i)

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

Un condensateur de capacité $C = 200 \text{ nF}$, préalablement chargé sous la tension continue $U_0 = 20 \text{ V}$, se décharge à travers une bobine d'inductance L et de résistance négligeable. On observe des oscillations électriques de période : $T_0 = 1,26 \text{ ms}$.

- 1) Calculer la valeur de l'inductance L .
- 2) La période propre T_0 du circuit dépend-elle de la valeur U_0 de la tension de charge ?

Exercice 2 (extrait Examen Juin 2000 France)

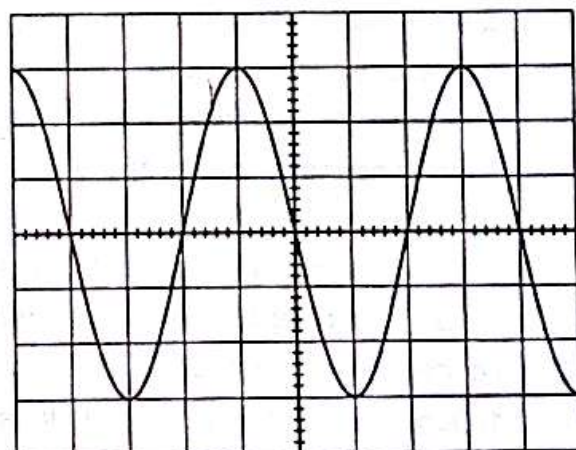
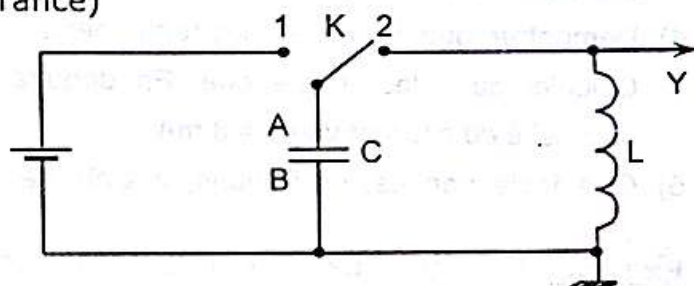
Un circuit est constitué par un condensateur de capacité $C = 1,0 \text{ }\mu\text{F}$ et une bobine d'inductance L et de résistance négligeable.

Le condensateur est chargé sous une tension $U_{AB} = U_1 = 3 \text{ V}$, l'interrupteur K

étant en position 1. Il est ensuite relié à la bobine lorsque K est placé en position 2.

On étudie l'évolution, au cours du temps, de la tension instantanée $u_{AB} = u$ que l'on observe sur la voie Y de l'oscilloscope.

- 1) Établir l'équation différentielle du circuit oscillant LC vérifiée par la charge $q(t)$.
- 2) Proposer une solution de l'équation différentielle et la vérifier: En déduire l'expression de ω_0 .
- 3) Déduire de l'oscillogramme représenté ci-contre,
 - a) la période propre des oscillations ;
 - b) la pulsation propre des oscillations ;
 - c) la fréquence propre des oscillations ;
 - d) la valeur de l'inductance L de la bobine ;
 - e) la valeur maximale de l'intensité du courant dans le circuit.



Sensibilité verticale : 1 V/div
Sensibilité horizontale : $0,5 \text{ ms/div}$

Exercice 3

Un circuit (L, C) est caractérisé par : $L = 0,2 \text{ H}$; $\omega_0 = 500 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

- 1) Calculer la valeur de la capacité C du condensateur.
- 2) À l'instant $t = 0$, la charge q portée par l'armature A vaut $q_0 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ et l'intensité $i = 0$.
 - a) Déterminer l'expression numérique pour la charge $q(t)$.
 - b) Déduire l'expression numérique de l'intensité $i(t)$ du courant.
 - c) Déterminer l'expression numérique des tensions $u_C(t)$ aux bornes du condensateur et $u_L(t)$ aux bornes de la bobine.

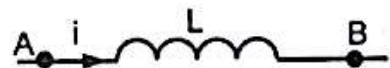
Exercice 4 (extrait Examen Septembre 2004 France)

On considère le circuit électrique fermé comprenant un condensateur AB de capacité C et une bobine d'inductance $L = 40 \text{ mH}$ et de résistance négligeable. La tension aux bornes du condensateur a pour expression $u_{AB} = 2\cos(5000t)$ [u_{AB} en V, t en s]

- 1) Donner l'amplitude de la tension aux bornes du condensateur et la pulsation propre.
- 2) Calculer la capacité C du condensateur.
- 3) Etablir successivement les expressions de la charge $q(t)$ portée par l'armature A du condensateur et de l'intensité $i(t)$ du courant circulant dans le circuit.
Indiquer le sens positif de i sur un schéma électrique.
- 4) Démontrer que l'énergie électromagnétique emmagasinée dans le circuit est constante. Calculer sa valeur numérique. En déduire la valeur de la tension u_{AB} au moment où l'intensité du courant vaut $i = 8 \text{ mA}$.
- 5) Que deviennent ces oscillations, si la résistance de la bobine n'est pas négligeable ?

Exercice 5 (extrait Bac D Troisième Session 2004 Côte d'Ivoire)

On place une bobine d'inductance L et de résistance négligeable entre les points A et B d'un circuit électrique parcouru par un courant d'intensité i .



- 1) Cette bobine emmagasine une énergie $E = 3.10^{-3} \text{ J}$, lorsqu'elle est parcourue par un courant d'intensité $I = 0,1 \text{ A}$.
 - 1.1. Calculer l'inductance de la bobine.
 - 1.2. Un condensateur de capacité C soumis à une tension $U = 10 \text{ V}$ peut stocker la même énergie.
 - 1.2.1) Calculer la capacité C de ce condensateur.
 - 1.2.2) Calculer sa charge maximale Q_m .
- 2) Le condensateur chargé est relié à la bobine selon le schéma ci-dessous :
 - 2.1. Donner les expressions de la tension :
 - u_C aux bornes du condensateur ;
 - u_L aux bornes de la bobine.
 - 2.2. Déterminer l'équation différentielle du circuit oscillant.
 - 2.3. En déduire la pulsation propre ω_0 .
 - 2.4. Déterminer l'expression de la charge en fonction du temps, sachant qu'à la date $t = 0$, la charge du condensateur est maximale.
 - 2.5. Calculer la charge du condensateur aux dates suivantes :
 $t = 0$; $t = \frac{T}{4}$; $t = \frac{T}{2}$; $t = \frac{3T}{4}$ et $t = T$
 avec $q = Q_m \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$ (T est la période des oscillations électriques)
 - 2.6. Donner l'allure de la fonction $q(t)$.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1 :** (extrait Bac série E session Juin 2009 Cameroun)

Le montage ci-contre comprend un condensateur chargé, de capacité $C = 1,0 \mu\text{F}$; une bobine (B) d'inductance $L = 0,25 \text{ H}$, et un interrupteur de résistance négligeable. L'interrupteur est fermé à la date $t = 0$. On note respectivement i et q , l'intensité du courant dans le circuit et la charge du condensateur à une date ultérieure t quelconque.

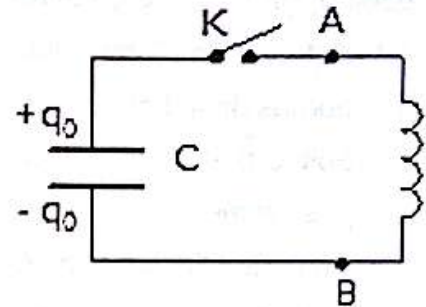
1. La bobine a une résistance r négligeable ($r = 0$).

1.1. Établir l'équation différentielle reliant la charge instantanée q du condensateur à sa dérivée seconde par rapport au temps.

1.2. Donner l'expression de la période propre T_0 des oscillations puis calculer sa valeur.

1.3. Représenter pour $0 \leq t \leq 2T_0$, l'allure de la courbe donnant les variations de q en fonction du temps.

2. La bobine a une résistance r faible. Représenter sur le même graphique que précédemment, l'allure de la courbe donnant les variations de q en fonction du temps.

**Exercice 2** (extrait Bac D session normale 2008 Côte d'Ivoire)

Le montage ci-dessous comprend : un condensateur de capacité $C = 0,1 \mu\text{F}$; une bobine d'inductance $L = 1,0 \text{ H}$ et de résistance négligeable. A la date $t = 0$, le condensateur, initialement chargé sous une tension $U_0 = 12 \text{ V}$, est connecté à la bobine. On note $i(t)$ l'intensité algébrique du courant à l'instant t et $q(t)$ la charge portée par l'armature du condensateur reliée au point A.

1. Calculer l'énergie emmagasinée dans le condensateur en fin de charge.

2.

2.1. Établir l'équation différentielle $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$ du circuit, où q est la charge portée par A

2.2. Vérifier que la solution de l'équation différentielle est de la forme :

$$q(t) = Q_m \cos\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + \varphi\right).$$

2.3. Déterminer Q_m et φ .

2.4. Calculer la pulsation propre ω_0 et la période propre T_0 du circuit.

3. On se propose maintenant d'étudier l'évolution des énergies emmagasinées dans le condensateur et dans la bobine au cours du temps.

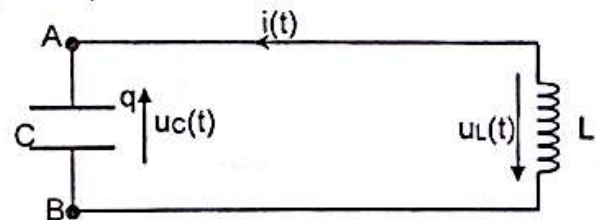
3.1. Déterminer les expressions en fonction du temps de :

3.1.1. l'intensité $i(t)$ du courant électrique ;

3.1.2. l'énergie $E_C(t)$ emmagasinée dans le condensateur ;

3.1.3. l'énergie $E_L(t)$ emmagasinée dans la bobine.

3.2. Montrer qu'à chaque instant l'énergie totale E est conservée.



Exercice 3

1. Un condensateur de capacité C_1 est chargé sous une tension constante U_1 (fig. 1).

Calculer la charge Q_1 portée par l'armature A ainsi que l'énergie emmagasinée E_1 .

Application numérique : $C_1 = 10^{-6}$ F ; $U_1 = 40$ V.

2. Le condensateur C_1 , chargé dans les conditions précédentes, est isolé, puis relié à une bobine d'inductance L . La résistance du circuit est négligeable (fig. 2).

A la date $t = 0$ on ferme l'interrupteur K . Un oscillographe permet de visualiser la tension $u(t)$ aux bornes de la bobine. On obtient la courbe représentée (fig. 3).

2.1. Soit $q(t)$ la charge portée par l'armature A à la date t . L'intensité $i(t)$ est comptée positivement quand le courant circule dans le sens indiqué sur le schéma.

2.1.1. Etablir l'équation différentielle vérifiée par la charge $q(t)$.

2.1.2. En déduire l'expression littérale de la tension $u(t)$.

2.1.3. Déterminer les valeurs de la tension maximale et de la pulsation.

2.2. Calculer la valeur de l'inductance L de la bobine.

2.3. Quelles sont les expressions littérales en fonction du temps de l'énergie emmagasinée dans le condensateur, dans la bobine et de l'énergie totale emmagasinée dans le circuit.

Comparer à la valeur E_1 . Conclure.

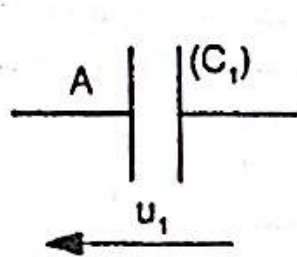


FIG.1

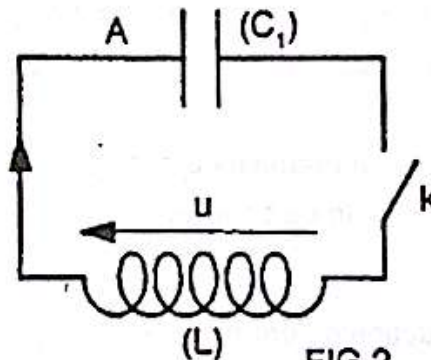


FIG.2

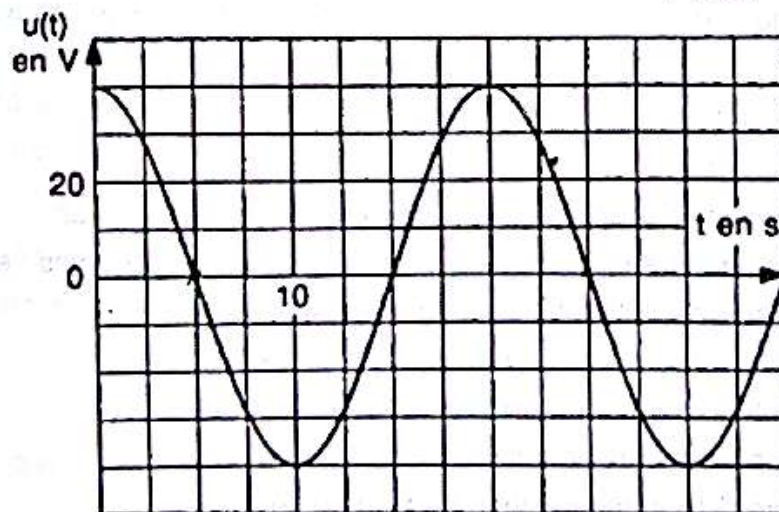
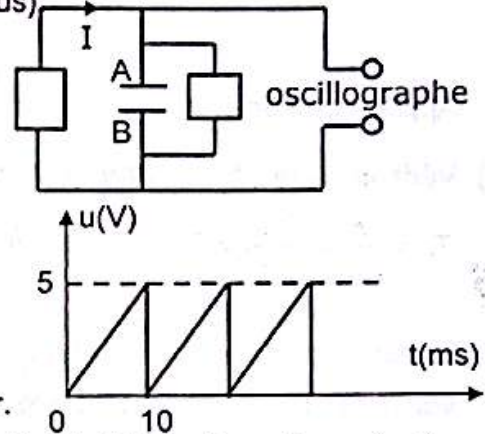


FIG.3

Exercice 4

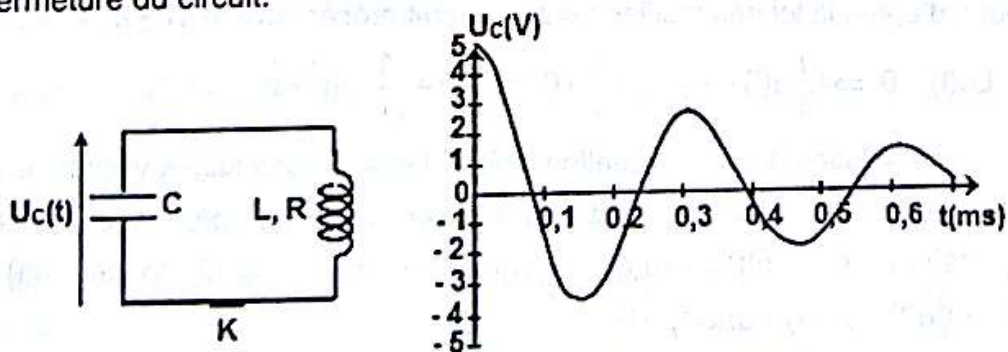
On se propose de déterminer la capacité C d'un condensateur à l'aide du montage schématisé ci-dessous. G est un générateur qui débite un courant d'intensité constante $I = 1 \text{ mA}$. Dès que la tension u entre A et B atteint la valeur $U_M = 5 \text{ V}$, un dispositif (noté DA sur le schéma) permet de décharger automatiquement et instantanément le condensateur. L'oscillographe permet d'observer les charges et décharges successives (ci-dessous)



- 1) En utilisant les unités du système international,
 - 1.1. déduire de l'oscillogramme, l'équation de la tension $u(t)$ aux bornes du condensateur pour : $0 < t < 10 \text{ ms}$.
 - 1.2. Dans le même intervalle de temps, exprimer $u(t)$ en fonction de l'intensité I du courant débité par le générateur.
 - 1.3. En déduire la valeur de la capacité du condensateur.
- 2) A l'instant $t = 6 \text{ ms}$, on isole le condensateur du circuit précédent et on l'associe à une bobine d'inductance $L = 0,5 \text{ H}$ et de résistance négligeable. Soit q la charge instantanée de l'armature A et i l'intensité instantanée.
 - 2.1. Etablir l'équation différentielle à laquelle obéit la fonction $q(t)$ après la fermeture de l'interrupteur K . En précisant les valeurs numériques des constantes.
 - 2.2. Donner l'expression de $i(t)$. On prendra l'instant de fermeture de l'interrupteur K comme instant initial.
 - 2.3. Calculer la période des oscillations électriques qui prennent naissance dans le circuit.

Exercice 5 (extrait Bac séries S2 ; S2A ; S4 ; S5 2^{ème} Grpe 2009 Sénégal)

Une bobine d'inductance L et de résistance R est associée à un condensateur de capacité $C = 2,5 \mu\text{F}$ (préalablement chargé) comme indiqué sur le montage schématisé ci-après. La courbe indiquée traduit la variation de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps à la fermeture du circuit.



1. Les oscillations observées sont-elles libres ? Sont-elles amorties ?
2. Déterminer la pseudo-période T des oscillations.
3. En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine si on assimile la pseudo-période des oscillations à la période propre du circuit.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1) Calculons la valeur de l'inductance L.

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow L = \frac{1}{C\omega_0^2} = \frac{1}{C\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2} = \frac{T_0^2}{4\pi^2 C}$$

Application numérique : $L = \frac{(1,26 \cdot 10^{-3})^2}{4\pi^2 \times 200 \cdot 10^{-9}} = 0,2 \text{ H}$

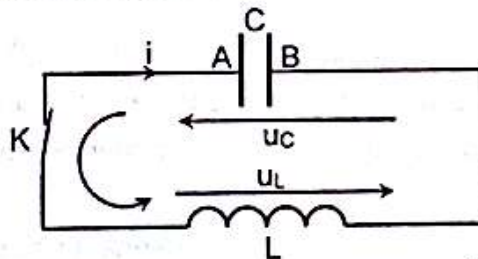
2) Vérifions si la période propre T_0 du circuit dépend de la valeur U_0 de la tension.

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC}}} = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{L\frac{Q_0}{U_0}} = 2\pi\sqrt{\frac{LQ_0}{U_0}}$$

T_0 est fonction de U_0 donc on peut affirmer que la période propre T_0 du circuit dépend de la valeur U_0 de la tension de charge.

Exercice 2 (extrait Examen Juin 2000 France)

1) Etablissons l'équation différentielle du circuit oscillant LC vérifiée par la charge $q(t)$.



La tension aux bornes du condensateur est : $u_C(t) = \frac{q(t)}{C}$

La tension aux bornes de la bobine est : $u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$

Or $i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \Rightarrow \frac{di(t)}{dt} = \frac{d^2q(t)}{dt^2} = \ddot{q}(t)$ donc $u_L(t) = L\ddot{q}(t)$

Par ailleurs, d'après la loi des mailles dans le circuit précédent : $u_C(t) + u_L(t) = 0$

$$\Rightarrow \frac{q(t)}{C} + L\ddot{q}(t) = 0 \Rightarrow L\left(\ddot{q}(t) + \frac{1}{LC}q(t)\right) = 0 \Rightarrow \ddot{q}(t) + \frac{1}{LC}q(t) = 0$$

2) Proposons une solution de cette équation différentielle et vérifions sa validité.

La solution générale de l'équation différentielle est de la forme : $q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$

$$q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow \dot{q}(t) = -\omega_0 Q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow \ddot{q}(t) = -\omega_0^2 Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$\Rightarrow \ddot{q}(t) = -\omega_0^2 q(t) \Rightarrow \ddot{q}(t) + \omega_0^2 q(t) = 0$$

On retrouve l'équation différentielle précédente avec : $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$

Donc la fonction $q(t)$ est bien solution de cette équation différentielle.

Expression de la pulsation propre : $\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

3) Dédisons de l'oscillogramme représenté :

a) la période propre des oscillations : $T = 4 \times 0,5 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$.

b) la pulsation propre des oscillations : $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2\pi}{2 \cdot 10^{-3}} = 1000\pi \text{ rad/s} = 3141,6 \text{ rad/s}$

c) la fréquence propre des oscillations

$$N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Hz}$$

d) la valeur de l'inductance L de la bobine

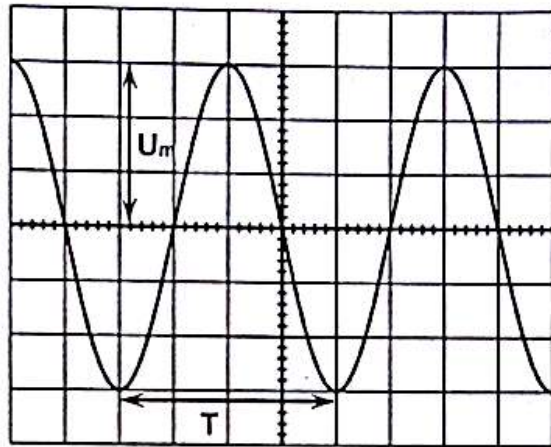
$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow L = \frac{1}{C\omega_0^2}$$

$$\text{A.N. : } L = \frac{1}{10^{-6} \times (1000\pi)^2} = 0,1 \text{ H}$$

e) la valeur maximale de l'intensité

$$I_m = \omega_0 Q_m = \omega_0 C U_{AB} = 1000 \times \pi \times 10^{-6} \times 3$$

$$\Rightarrow I_m = 9,42 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 9,42 \text{ mA}$$



Sensibilité verticale : 1 V/div
Sensibilité horizontale : 0,5 ms/div

Exercice 3

1) Calculons la valeur de la capacité C du condensateur.

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2} \Rightarrow C = \frac{1}{0,2 \times 500^2} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$

2) À l'instant $t = 0$, la charge q portée par l'armature A vaut $q_0 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ et l'intensité $i = 0$.

a) Déterminons l'expression numérique pour la charge q(t).

$$q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \text{ et } i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\omega_0 Q_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$$\text{A } t = 0 \text{ s, } q_0 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ C et } i = 0$$

$$q(0) = Q_m \cos(\omega_0 \times 0 + \varphi) \Rightarrow Q_m \cos(\varphi) = q_0 \Rightarrow \cos(\varphi) = \frac{q_0}{Q_m} > 0$$

$$i(0) = -\omega_0 Q_m \sin(\omega_0 \times 0 + \varphi) \Rightarrow -\omega_0 Q_m \sin(\varphi) = 0 \Rightarrow \sin(\varphi) = 0 \Rightarrow \varphi = 0 \text{ ou } \varphi = \pi$$

la bonne solution est $\varphi = 0$ car pour $\varphi = \pi$, $\cos(\varphi) = -1 < 0$

$$\Rightarrow \cos(\varphi) = \cos(0^\circ) = 1 \Rightarrow \frac{q_0}{Q_m} = 1 \Rightarrow Q_m = q_0 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

$$\text{On obtient donc : } q(t) = 4 \cdot 10^{-3} \cos(500t)$$

b) Dédution de l'expression numérique de l'intensité i(t) du courant.

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{d[4 \cdot 10^{-3} \cos(500t)]}{dt} = -500 \times 4 \cdot 10^{-3} \sin(500t) \Rightarrow i(t) = -2 \sin(500t)$$

c) Expression numérique des tensions $u_C(t)$ et $u_L(t)$.

$$\bullet u_C(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cos(500t)}{2 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow u_C(t) = 200 \cos(500t)$$

$$\bullet u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt} = L \frac{d[-2 \sin(500t)]}{dt} = -0,2 \times 500 \times 2 \cos(500t) \Rightarrow u_L(t) = -200 \cos(500t)$$

Exercice 4 (extrait Examen Septembre 2004 France)

1) Amplitude de la tension aux bornes du condensateur et pulsation propre

On a : $u_{AB} = 2\cos(5000t) = U_m \cos(\omega_0 t)$, donc par identification :

➤ l'amplitude de la tension aux bornes du condensateur est : $U_m = 2 \text{ V}$

➤ la pulsation propre est : $\omega_0 = 5000 \text{ rad/s}$

2) Calculons la capacité C du condensateur

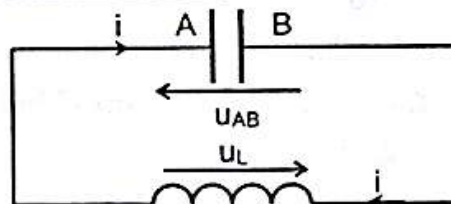
$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2} \Rightarrow C = \frac{1}{40 \cdot 10^{-3} \times (5000)^2} = 10^{-6} \text{ F} = 1 \mu\text{F}$$

3) Expressions de la charge $q(t)$ et de l'intensité $i(t)$

$$\bullet q(t) = C u_{AB}(t) \Rightarrow \underline{q(t) = 2 \cdot 10^{-6} \cos(5000t)}$$

$$\bullet i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -2 \cdot 10^{-6} \times 5000 \sin(5000t) \Rightarrow \underline{i(t) = -10^{-2} \sin(5000t)}$$

• Schéma du circuit avec le sens positif de i



4) Démontrons que l'énergie électromagnétique emmagasinée dans le circuit est constante.

$$E_T = E_C + E_L = \frac{1}{2} C u_{AB}^2 + \frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} \times 10^{-6} \times (2 \cos 5000t)^2 + \frac{1}{2} \times 40 \cdot 10^{-3} \times (-10^{-2} \sin 5000t)^2$$

$$\Rightarrow E_T = 2 \cdot 10^{-6} \cos^2(5000t) + 2 \cdot 10^{-6} \sin^2(5000t) = 2 \cdot 10^{-6} (\cos^2(5000t) + \sin^2(5000t))$$

$$\Rightarrow E_T = 2 \cdot 10^{-6} \text{ J} = \text{constante}$$

Valeur de la tension u_{AB} au moment où l'intensité du courant vaut $i = 8 \text{ mA}$

$$E_T = \frac{1}{2} (C u_{AB}^2 + L i^2) \Rightarrow C u_{AB}^2 + L i^2 = 2 E_T \Rightarrow u_{AB}^2 = \frac{2 E_T - L i^2}{C} \Rightarrow u_{AB} = \sqrt{\frac{2 E_T - L i^2}{C}}$$

$$\text{Application numérique : } u_{AB} = \sqrt{\frac{2 \times 2 \cdot 10^{-6} - 40 \cdot 10^{-3} \times (8 \cdot 10^{-3})^2}{10^{-6}}} = 1,2 \text{ V}$$

5) Ce que deviennent ces oscillations, si la résistance de la bobine n'est pas négligeable

Les oscillations seront amorties car il y a perte d'énergie par effet joule due à la résistance.

Exercice 5 (extrait Bac D Troisième session 2004 Côte d'Ivoire)1) La bobine emmagasine $E = 3 \cdot 10^{-3} \text{ J}$, lorsqu'elle est parcourue par un courant $I = 0,1 \text{ A}$.

1.1. Calculons l'inductance de la bobine.

$$E = \frac{1}{2} L I^2 \Rightarrow L = \frac{2E}{I^2} = \frac{2 \times 3 \cdot 10^{-3}}{0,1^2} \Rightarrow L = 0,6 \text{ H}$$

1.2. Un condensateur de capacité C soumis à $U = 10 \text{ V}$ peut stocker la même énergie.

1.2.1) Calculons la capacité C de ce condensateur.

$$E = \frac{1}{2} C U^2 \Rightarrow C = \frac{2E}{U^2} \Rightarrow C = \frac{2 \times 3 \cdot 10^{-3}}{10^2} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$

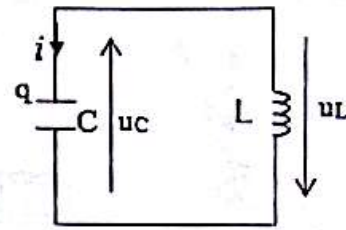
1.2.2) Calculons sa charge maximale Q_m .

$$Q_m = C U = 6 \cdot 10^{-5} \times 10 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ C} \Rightarrow Q_m = 6 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

2) Le condensateur chargé est relié à la bobine selon le schéma ci-dessous :

2.1. Donnons les expressions de la tension :

- u_C aux bornes du condensateur : $u_C(t) = \frac{q(t)}{C}$
- u_L aux bornes de la bobine : $u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$



2.2. Equation différentielle du circuit oscillant.

D'après la loi des mailles : $u_C(t) + u_L(t) = 0$

Or $i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \Rightarrow \frac{di(t)}{dt} = \frac{d^2q(t)}{dt^2} = \ddot{q}(t)$ donc $u_L(t) = L\ddot{q}(t)$

$\Rightarrow \frac{q(t)}{C} + L\ddot{q}(t) = 0 \Rightarrow L\left(\ddot{q}(t) + \frac{1}{LC}q(t)\right) = 0 \Rightarrow \ddot{q}(t) + \frac{1}{LC}q(t) = 0$

2.3. Déduisons la pulsation propre ω_0 .

La solution générale de l'équation différentielle est de la forme : $q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$

$q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow \dot{q}(t) = -\omega_0 Q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow \ddot{q}(t) = -\omega_0^2 Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$

$\Rightarrow \ddot{q}(t) = -\omega_0^2 q(t) \Rightarrow \ddot{q}(t) + \omega_0^2 q(t) = 0$

On retrouve l'équation différentielle précédente avec : $\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

Application numérique : $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{6 \cdot 10^{-5} \times 0,6}} = 166,67 \text{ rad/s}$

2.4. Déterminons l'expression de la charge en fonction du temps.

- A $t = 0$, $q_A(0) = Q_0$ et la charge est maximale donc $Q_m = Q_0 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ C}$.
- La solution de l'équation différentielle est $q_A(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ avec $LC\omega_0^2 = 1$.

A $t = 0$, $q_A(0) = Q_m \cos(0 \times t + \varphi) = Q_m \cos \varphi = Q_m$ car $q_A(0) = Q_m$

$\cos \varphi = \frac{Q_m}{Q_m} = 1 \Rightarrow \varphi = 0^\circ$ ou $0 \text{ rad} \Rightarrow q_A(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi) = 6 \cdot 10^{-4} \cos 166,67t$

2.5. Calculons la charge du condensateur aux dates suivantes :

$q(t) = Q_m \cos \omega_0 t = Q_m \cos \frac{2\pi}{T} t$

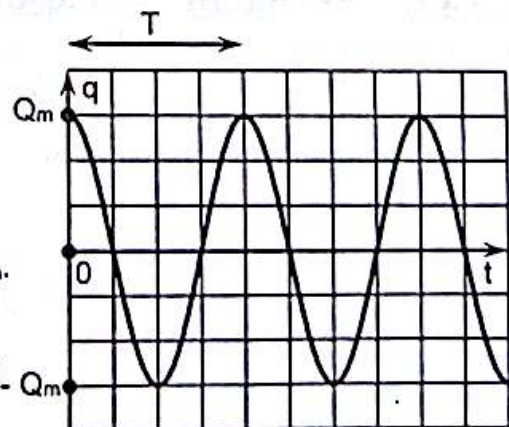
➤ à $t = 0$, $\cos\left(\frac{2\pi}{T} \times 0\right) = \cos 0 = 1$ donc $q = Q_m$.

➤ à $t = \frac{T}{4}$, $\cos\left(\frac{2\pi}{T} \times \frac{T}{4}\right) = \cos \frac{\pi}{2} = 0$ donc $q = 0$.

➤ à $t = \frac{T}{2}$, $\cos\left(\frac{2\pi}{T} \times \frac{T}{2}\right) = \cos \pi = -1$ donc $q = -Q_m$.

➤ à $t = \frac{3T}{4}$, $\cos\left(\frac{2\pi}{T} \times \frac{3T}{4}\right) = \cos \frac{3\pi}{2} = 0$ donc $q = 0$.

➤ à $t = T$, $\cos\left(\frac{2\pi}{T} \times T\right) = \cos 2\pi = 1$ donc $q = Q_m$.



2.6. Donnons l'allure de la fonction $q(t)$.

D'après les résultats de la question précédente, on obtient la courbe ci-dessus.



Augustin Jean Fresnel
(1788-1827)

Physicien Français

Fondateur de l'optique moderne, il proposa une explication de tous les phénomènes optiques dans le cadre de la théorie ondulatoire de la lumière. Il proposa la représentation dite de Fresnel qui est un outil graphique permettant d'ajouter, de soustraire, de dériver et d'intégrer des fonctions sinusoïdales de même fréquence.

En physique, les grandeurs comme le courant, la tension ou la puissance électrique peuvent être des fonctions sinusoïdales du temps (ou de l'espace). Le physicien pourra alors utiliser la représentation de Fresnel qui est un outil moins puissant mais plus visuel que les nombre complexes.

CIRCUIT RLC SERIE EN REGIME SINUSOIDAL FORCE

Objectifs spécifiques

- Appliquer les lois de l'électrocinétique à un circuit RLC série soumis à un régime sinusoïdal forcé.
- Comprendre le phénomène de résonance dans un circuit RLC série en régime sinusoïdal forcé.
- Connaître les expressions de la puissance et de l'énergie échangées dans un circuit RLC série en régime sinusoïdal forcé.

RAPPEL DE COURS

1. Le courant alternatif sinusoïdal

Un courant alternatif sinusoïdal est un courant électrique dont l'intensité est une fonction du temps : $i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$

- I_m : intensité maximale (en A) ;
- φ : phase à l'origine (en rad) ;
- ω : pulsation (en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$) ;
- $\omega t + \varphi$: phase à la date t (en rad).

2. Grandeurs efficaces

2.1. Intensité efficace

C'est la valeur de l'intensité mesurée par un ampèremètre : $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

Remarque : $I_m = I\sqrt{2}$.

2.1. Tension efficace

C'est la valeur de la tension mesurée par un voltmètre : $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

Remarque : $U_m = U\sqrt{2}$

3. Notion de phase.

La phase de la tension u par rapport à l'intensité i est notée φ .

Elle est donnée par l'expression suivante : $|\varphi| = \frac{2\pi}{T} \tau$

- φ : phase de la tension u par rapport à l'intensité i en radians (rad) ;
- T : période en seconde (s) ;
- τ : décalage horaire entre u et i en seconde (s).

Deux cas se présentent :

Cas 1	Cas 2
$i(t) = I_m \cos \omega t$ (i est pris comme référence) $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ φ est la phase de la tension par rapport à l'intensité	$u(t) = U_m \cos \omega t$ (u est pris comme référence) $i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi')$ φ' est la phase de l'intensité par rapport à la tension
<ul style="list-style-type: none"> ➤ si $\varphi > 0$, alors u est en avance sur i (ou i est en retard sur u) ➤ si $\varphi < 0$, alors u est en retard sur i (ou i est en avance sur u) ➤ si $\varphi = 0$ alors u et i sont en phase 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ si $\varphi' > 0$, alors i est en avance sur u (ou u est en retard sur i) ➤ si $\varphi' < 0$, alors i est en retard sur u (ou u est en avance sur i) ➤ si $\varphi' = 0$ alors u et i sont en phase

Remarque :

- Les phases φ et φ' sont opposées ($\varphi = -\varphi'$).
- Supposons que l'expression de la tension $u = U_m \cos \omega t$ est imposée. Ainsi on a :
 - si la tension u est en avance par rapport à l'intensité i alors l'expression de i est :
 $i = I_m \cos(\omega t - \varphi)$;
 - si la tension u est en retard par rapport à l'intensité i alors l'expression de i est :
 $i = I_m \cos(\omega t + \varphi)$;

4. Notion d'impédance

4.1. Définition .

- L'impédance d'une portion de circuit soumise à un régime sinusoïdal est définie comme suit :

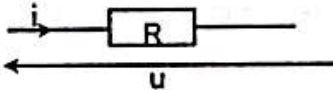
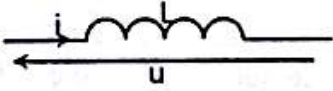
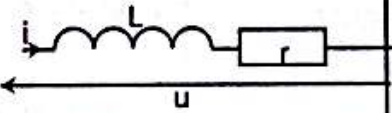
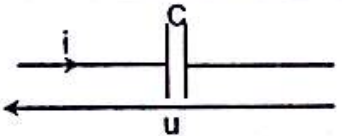
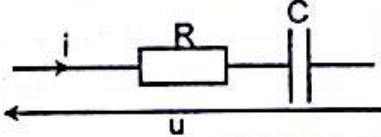
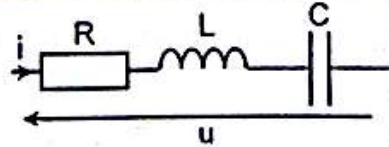
$$Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I}$$

Z s'exprime en ohms(Ω)

- L'impédance Z peut aussi s'exprimer en fonction des caractéristiques du circuit RLC.

$$Z = \sqrt{(R+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

4.2. Cas particuliers

DIPOLES CONSIDERES	SCHEMA	IMPEDANCE
Conducteur ohmique		$Z = R$
Bobine purement inductive (ou bobine idéale : $r = 0$)		$Z = L\omega$
Bobine résistive (ou bobine réelle : $r \neq 0$)		$Z = \sqrt{r^2 + (L\omega)^2}$
Condensateur		$Z = \frac{1}{C\omega}$
Condensateur et conducteur ohmique		$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(C\omega)^2}}$
Circuit RLC série		$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

5. Construction de Fresnel

DIPOLES CONSIDERES	CONSTRUCTION DE FRESNEL	PHASE φ
Conducteur ohmique		$\varphi = 0$
Bobine non résistive		$\varphi = +\frac{\pi}{2}$
Bobine résistive		$\tan \varphi = \frac{L\omega}{r}$
Condensateur		$\varphi = -\frac{\pi}{2}$
Condensateur et conducteur ohmique		$\tan \varphi = \frac{-1}{RC\omega}$
Circuit RLC série		$\tan \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} > 0$
		$\varphi = 0$
		$\tan \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} < 0$

Remarque

Un circuit RLC est globalement :

- inductif si $\omega > \omega_0$ ou $\varphi > 0$ (1^{er} cas notion de phase) ou $L\omega > \frac{1}{C\omega}$
ou encore $U_L > U_C$
- capacitif si $\omega < \omega_0$ ou $\varphi < 0$ (1^{er} cas notion de phase) ou $L\omega < \frac{1}{C\omega}$
ou encore $U_L < U_C$
- à la résonance d'intensité si $\omega = \omega_0$ ou $\varphi = 0$ ou $L\omega = \frac{1}{C\omega}$ ou encore $U_L = U_C$

6. Résonance d'intensité

6.1) Définition

A la résonance d'intensité :

- u et i sont en phase $\Rightarrow \varphi = 0$
- l'intensité efficace passe par une valeur maximale I_0 .
- Z est minimale, $Z = \Sigma R$ (somme des résistances)
- $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (ω_0 est la pulsation propre du circuit)
- la tension aux bornes du condensateur est égale à la tension aux bornes de l'inductance ($U_C = U_L$) et est supérieure à la tension aux bornes du générateur.

6.2) Bande passante à 3 db

La bande passante est $\Delta N = N_2 - N_1 = \frac{\Sigma R}{2\pi L}$ (en Hz) ou $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = 2\pi\Delta N = \frac{\Sigma R}{L}$ (rad/s)

6.3) Facteur de qualité

Il est défini par $Q = \frac{N_0}{\Delta N} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{2\pi L N_0}{\Sigma R}$ et $L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \Rightarrow \frac{L\omega_0}{\Sigma R} = \frac{1}{\Sigma R C\omega_0}$; Q est sans unité.

A la résonance : $U_L = L\omega_0 I_0 = L\omega_0 \frac{U}{\Sigma R} = \frac{L\omega_0}{\Sigma R} U = \frac{1}{\Sigma R C\omega_0} U = QU = U_C$

7. Puissance et énergie électrique échangée

7.1) Puissance instantanée

Soit $u(t) = U\sqrt{2} \cos(\omega t + \varphi)$ et $i(t) = I\sqrt{2} \cos\omega t$.

La puissance instantanée est définie par : $p = u(t) \times i(t) = U\sqrt{2} \cos(\omega t + \varphi) \times I\sqrt{2} \cos\omega t$.

7.2) Puissance moyenne

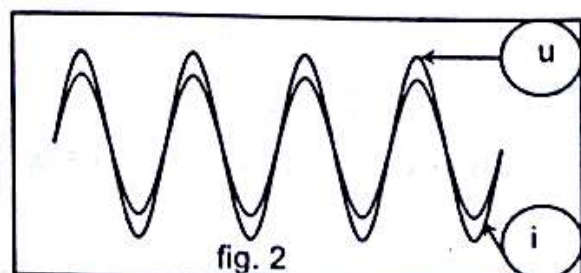
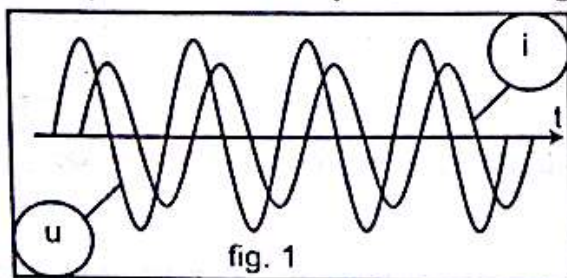
La puissance moyenne consommée par un dipôle est donnée par : $P = UI \cos\varphi$

avec $U.I$: Puissance apparente en volt ampère (V.A) ; $\cos\varphi$: facteur de puissance ;

P : puissance moyenne en watt (W).

8. Méthode pratique : comment déceler la notion d'avance, de retard ou de phase ?

- On dit que u est en avance par rapport i si u atteint, dans le temps, son maximum avant i .
On dit aussi que i est en retard par rapport à u (voir fig. 1).
- On dit que u et i sont en phase s'ils atteignent leur maximum en même temps (voir fig. 2).



EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac Série D 2002 Madagascar)

Entre deux points A et B, on relie en série, un conducteur ohmique de résistance $R = 15 \Omega$, une bobine de résistance négligeable et d'inductance $L = 0,08 \text{ H}$ et un condensateur de capacité $C = 3,8 \mu\text{F}$. On néglige la résistance des fils de jonction. On applique entre les bornes A et B une tension sinusoïdale de valeur efficace $U = 220 \text{ V}$ et de fréquence $N = 50 \text{ Hz}$ (voir figure).



Figure

- 1) Vérifier que l'impédance du circuit entre A et B est environ $Z = 813 \Omega$.
- 2) En déduire la valeur de l'intensité efficace I du courant dans le circuit.
- 3) Calculer la phase φ de la tension par rapport à l'intensité du courant.
En déduire la nature du circuit (capacitif ou inductif).
- 4) Calculer la tension efficace U_{AF} entre les points A et F.
- 5) Calculer le facteur de puissance du dipôle RLC.

Exercice 2 (extrait Bac Série D 2000 Madagascar)

Un dipôle AB comprend en série une bobine de résistance $R = 400 \Omega$, d'inductance $L = 1 \text{ H}$ et d'un condensateur de capacité $C = 1 \mu\text{F}$. On applique aux bornes de ce dipôle une tension sinusoïdale de valeur efficace $U = 100 \text{ V}$, de fréquence N variable.

1. Faire le schéma de ce circuit (R , L , C) en précisant les sens du courant instantané $i(t)$ et la tension instantanée $u(t)$ aux bornes du dipôle AB.

Faire apparaître sur ce schéma, les branchements d'un oscilloscope qui permettent de visualiser sur la voie 1, la tension aux bornes du circuit et, sur la voie 2, une tension proportionnelle à l'intensité du courant qui traverse le circuit.

2. Pour une valeur N_0 correspondant à la résonance d'intensité déterminer :
 - l'impédance Z_0 de ce circuit ;
 - l'intensité efficace I_0 ;
 - la pulsation propre ω_0 ;
 - la fréquence de résonance N_0 ;
 - les valeurs des tensions efficaces U_{R0} , U_{L0} et U_{C0} aux bornes de chaque composante.

Exercice 3 (extrait Bac Série D 2001 Madagascar)

Entre deux points M et N, on relie, en série, un conducteur ohmique de résistance $R = 155 \Omega$, une bobine de résistance négligeable et d'inductance $L = 1 \text{ H}$ et un condensateur de capacité $C = 20 \mu\text{F}$. On néglige la résistance des fils de jonction. On applique entre les bornes M et N une tension sinusoïdale $u(t) = U\sqrt{2} \cos(100\pi t)$ volt, où $U = 120 \text{ V}$.

- 1) Calculer l'impédance Z de ce dipôle RLC.
- 2) Déterminer l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant qui traverse le dipôle.
- 3) Construire le diagramme de FRESNEL relatif à ce circuit. Echelle : 1 cm pour 25 V.

Exercice 4 (extrait Bac Série D 2009 Madagascar)

Alimentée sous une tension continue $U = 12 \text{ V}$, une bobine de résistance R et d'inductance L est parcourue par un courant d'intensité $I = 0,30 \text{ A}$.

Alimentée sous une tension alternative sinusoïdale de valeur efficace $U = 12 \text{ V}$ et de fréquence 50 Hz , cette bobine est parcourue par un courant d'intensité efficace $I = 0,073 \text{ A}$.

- 1) Calculer la valeur de la résistance R et celle de l'inductance L de la bobine.
- 2) Cette bobine est montée en série avec un condensateur de capacité C , l'ensemble est alimenté sous la tension alternative $U = 12 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$.

Calculer la valeur de la capacité C pour que l'intensité efficace soit maximale.

- 3) Avec cette condition, calculer la puissance moyenne consommée par le dipôle RLC et la tension efficace aux bornes de la bobine.

Exercice 5

On dispose en série une bobine de résistance interne R , d'inductance L et un condensateur de capacité C . On maintient aux bornes de l'ensemble une tension efficace $U = 40 \text{ V}$ de fréquence N variable.

- 1) On a relevé l'intensité efficace pour quelques valeurs de la fréquence N .

N(Hz)	260	280	300	310	320	330	340	360	380
I(A)	0,47	0,72	1,28	1,76	1,99	1,62	1,21	0,75	0,54

Représenter la fonction $I = f(N)$. Echelle : 1 cm pour 10 Hz ; 1 cm pour 0,2 A.

NB : On commencera à graduer l'axe des abscisses à partir de 260 Hz.

- 2) Déterminer graphiquement la fréquence N_0 de résonance d'intensité et l'intensité efficace I_0 correspondante. En déduire la valeur de la résistance R de la bobine.
- 3) Déterminer graphiquement la largeur de la bande passante du circuit.
- 4) En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine.
- 5) Déduire des résultats précédents la valeur de la capacité du condensateur.

- 6) Comparer la tension efficace U aux bornes de l'ensemble et la tension efficace U_c aux bornes du condensateur puis conclure.
- 7) Calculer numériquement le facteur de qualité.

Exercice 6 (Extrait Bac séries S2, S2A, S4 & S5 session 2015 Sénégal)

Un dipôle est constitué de l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance $R = 100 \Omega$, d'une bobine d'inductance $L = 1,0 \text{ H}$ et de résistance $r = 8,5 \Omega$ et d'un condensateur de capacité C . Aux bornes de ce dipôle un générateur basse fréquence, GBF, impose une tension sinusoïdale de fréquence N et de valeur efficace constante (figure 1). Un branchement convenable à l'oscilloscope permet de visualiser la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique et la tension u_G aux bornes du générateur. On observe sur l'écran de l'oscilloscope, dans un ordre quelconque, les courbes (1) et (2) reproduites sur la figure 2. La sensibilité verticale, la même sur les deux voies, est de $2,0 \text{ V/div}$. Le balayage horizontal est de 2 ms/div .

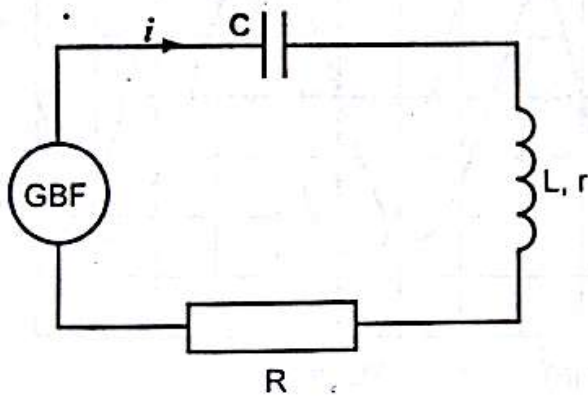


Figure 1

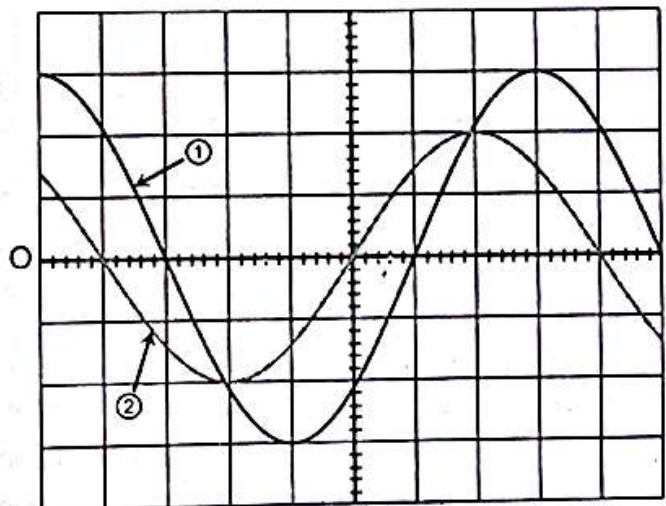


Figure 2

- Déterminer l'amplitude de la tension correspondant à chaque courbe.
Des courbes (1) et (2), quelle est celle qui correspond à la tension u_G aux bornes du GBF ?
Justifier la réponse.
- Reproduire la figure 1 sur la feuille de copie et faire figurer les branchements à l'oscilloscope permettant d'obtenir ces courbes.
- Déterminer la fréquence de la tension délivrée par le GBF.
- Calculer, en valeur absolue, la différence de phase entre la tension $u_G(t)$ et l'intensité $i(t)$ du courant électrique. Préciser la grandeur électrique en avance de phase.
- Etablir, en fonction du temps, les expressions de l'intensité du courant $i(t)$ et de la tension $u_G(t)$ délivrée par le GBF; la date $t = 0$ correspond au point O de la figure 2.
- Calculer la valeur de la capacité C du condensateur.

7. On règle la fréquence de la tension aux bornes du GBF de sorte que le circuit fonctionne en résonance d'intensité.

7.1. Calculer la nouvelle valeur de la fréquence de la tension délivrée par le GBF.

7.2. Représenter, qualitativement, l'allure des courbes observées sur l'écran de l'oscilloscope.

Exercice 7 (Extrait Bac Série S2 2006 Sénégal)

On considère un dipôle (D) de nature inconnue monté en série avec un conducteur ohmique de résistance $R = 100 \Omega$ et un générateur basse fréquence de tension sinusoïdale dont la fréquence et la tension efficace sont réglables. On utilise un oscillographe dont les réglages sont les suivants : balayage horizontal ($100 \mu\text{s}/\text{div}$), déviation verticale (pour la voie 1 : $1 \text{ V}/\text{div}$; pour la voie 2 : $2 \text{ V}/\text{div}$). On reproduit une photographie de l'écran lorsque l'oscillographe est branché selon le schéma ci-après

(voir figures 1 et 2).

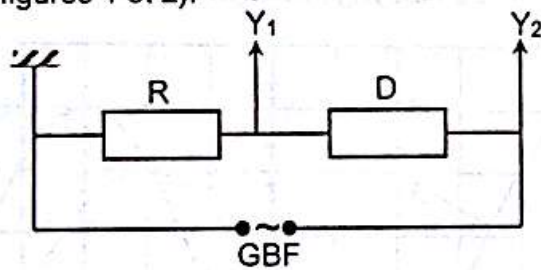


Figure 1

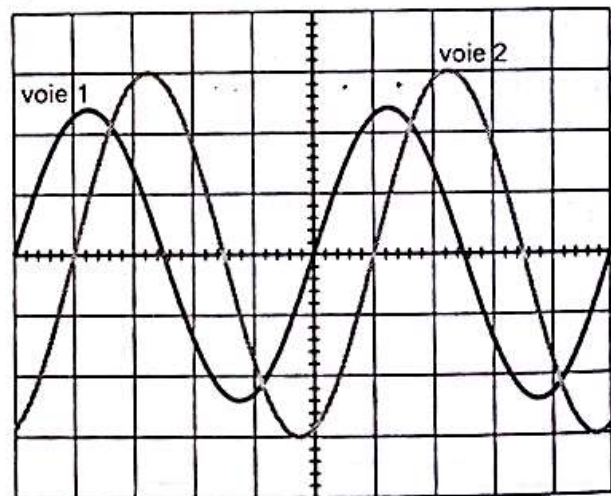


Figure 2

1. En déduire :

1.1. la fréquence de la tension sinusoïdale ;

1.2. les valeurs efficaces de l'intensité instantanée $i(t)$

qui traverse le circuit et de la tension instantanée $u(t)$ aux bornes du générateur ;

1.3. le déphasage φ de la tension $u(t)$ par rapport à l'intensité $i(t)$.

Préciser s'il y a avance ou retard de $u(t)$ par rapport à $i(t)$.

1.4. On envisage pour (D) certaines hypothèses :

- (D) est un conducteur ohmique,
- (D) est une bobine de résistance r et d'inductance L ,
- (D) est un condensateur,
- (D) est une bobine de résistance r et d'inductance L en série avec un condensateur de capacité C .

Sans calcul et en justifiant les réponses, éliminer les hypothèses non vraisemblables.

2. La tension aux bornes du générateur étant maintenue constante à la valeur $U_0 = 12 \text{ V}$, on fait varier la fréquence et on relève à chaque fois la valeur de l'intensité efficace.

Pour une fréquence $N_0 = 2150 \text{ Hz}$, on constate que l'intensité efficace passe par un maximum de valeur $I_0 = 107 \text{ mA}$.

2.1. Quelle est la nature du dipôle (D) ? Justifier la réponse.

2.2. En déduire toutes les valeurs numériques qui le caractérisent.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (Extrait Bac séries SE - MTI - MTGC session Juin 2009 Mali)

Un circuit comprend, monté en série, un résistor de résistance $R = 2000 \Omega$, une bobine d'inductance L et de résistance négligeable, un condensateur de capacité C . Une tension alternative sinusoïdale de valeur efficace $U = 300 \text{ V}$, de fréquence N réglable, est appliquée aux bornes du circuit.

1. Pour une valeur N_1 de N , les tensions efficaces aux bornes des appareils sont telles que : $U_L = U_C = 3U_R$. Déterminer en utilisant la construction de Fresnel :
 - a) Les valeurs de U_R , U_L , et U_C .
 - b) L'intensité efficace I dans le circuit.
2. Déterminer :
 - a) le déphasage ϕ entre la tension aux bornes du circuit et l'intensité. Conclure.
 - b) le facteur de qualité Q du circuit et dire si la résonance est floue ou aiguë.

Exercice 2

On considère trois dipôles : un conducteur ohmique de résistance R , un condensateur de capacité C , une bobine de résistance r et d'inductance L , enfermés dans trois boîtes différentes.

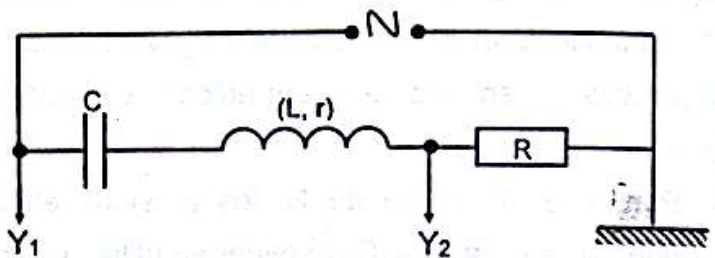
1. On branche successivement ces trois dipôles sur une alimentation continue délivrant une tension de 12 V . On mesure l'intensité du courant (en régime permanent). On obtient :
 - Pour la boîte 1, $I_1 = 0$;
 - Pour les boîtes 2 et 3, $I_2 = I_3 = 240 \text{ mA}$.
 Quelles sont les conclusions que l'on peut tirer de ces résultats ?
2. On branche successivement ces trois dipôles sur une alimentation alternative délivrant une tension efficace de 24 V de fréquence 50 Hz .
On mesure l'intensité efficace du courant traversant chaque dipôle. On obtient :
 - Pour la boîte 1, $I_1 = 75 \text{ mA}$;
 - Pour la boîte 2, $I_2 = 480 \text{ mA}$;
 - Pour la boîte 3, $I_3 = 406 \text{ mA}$.
 - a- Calculer les impédances des trois dipôles.
 - b- Préciser le contenu de chacune des boîtes. Calculer R , r , L et C .
3. On monte ces trois dipôles en série. On alimente ce circuit (R , L , C) en courant alternatif de tension efficace de 24 V et de fréquence variable.
 - a- Faire la représentation de Fresnel de ce circuit.
 - a.1 Calculer la phase de la tension par rapport à l'intensité,
 - a.2 Calculer la phase de la tension aux bornes de la bobine par rapport à l'intensité.
 - b- Pour quelle fréquence l'intensité et la tension seront-elles en phase ?
 - c- Quelle est alors l'intensité efficace du courant ?

Exercice 3 (extrait Bac séries C & E Session Normale 2009 Côte d'Ivoire)

On réalise le montage ci-dessous :

On applique aux bornes de ce circuit une tension alternative sinusoïdale $u(t)$.

On visualise à l'oscilloscope les variations de la tension $u(t)$ et celle de la tension $u_R(t)$ aux bornes du conducteur ohmique.



1. Indiquer :

1.1. la voie qui permet de visualiser

les variations de la tension aux bornes du générateur ;

1.2. la voie qui permet de visualiser les variations de la tension aux bornes du conducteur ohmique.

2. On obtient l'oscillogramme ci-dessous. La sensibilité des deux voies est la même.

2.1. Donner les expressions littérales des tensions maximales :

2.1.1. U_m aux bornes du circuit en fonction de l'impédance Z du circuit et I_m .

2.1.2. U_m aux bornes du conducteur ohmique en fonction de R et I_m .

2.2.

2.2.1. Déduire de la question 2.1, la courbe qui représente les variations de la tension $u(t)$ et celle qui représente la variation de la tension $u_R(t)$.

2.2.2. Déterminer le rapport U'_m/U_m à partir de l'oscillogramme.

3. Calculer la phase de la tension aux bornes du circuit par rapport à celle de l'intensité du courant qui le traverse.

4.

4.1. Exprimer :

4.1.1. L'intensité efficace I dans le circuit en fonction de la valeur maximale U'_m de la tension $u_R(t)$ et de la résistance R .

4.1.2. L'intensité efficace I_0 à la résonance en fonction de la valeur maximale U_m de la tension $u(t)$ et de la résistance totale du circuit.

4.1.3. Déduire des questions 4.1.1) et 4.1.2) le rapport I/I_0 .

Faire l'application numérique. Que représente I ?

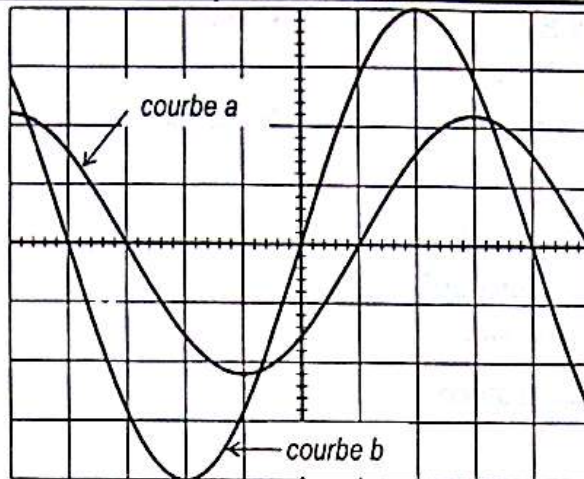
4.2. Pour deux valeurs $N_1 = 182$ Hz et $N_2 = 242$ Hz de la fréquence de la tension $u(t)$, l'intensité efficace dans le circuit est égale à I .

4.2.1. Exprimer l'inductance L de la bobine en fonction de la bande passante ΔN et de la résistance totale du circuit. Faire l'application numérique.

4.2.2. La fréquence à la résonance est $N = 212$ Hz.

Calculer la capacité C du condensateur en prenant $L = 0,1$ H.

On donne : $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$; $r = 10 \Omega$; $R = 35 \Omega$.



Exercice 4 (extrait Bac série C session 2007 Cameroun)

Un condensateur de capacité $C = 2 \mu\text{F}$ est monté en série avec une résistance $R = 3\,000 \Omega$. L'ensemble est branché aux bornes d'une source de tension sinusoïdale. A l'aide d'un oscillographe, on visualise la tension U_1 aux bornes du condensateur.

La figure 1 indique le câblage du montage.

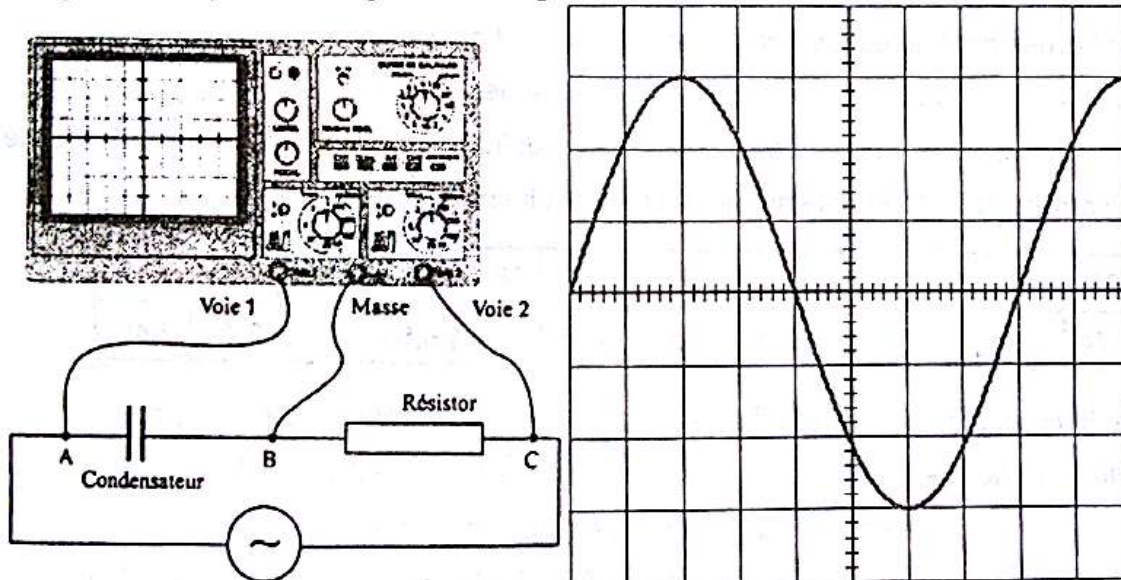


Figure 1 : Circuit RC

Figure 2 : Oscillogramme de u_1

1. La figure 2 donne l'oscillogramme obtenu. La vitesse de balayage est réglée à $2 \cdot 10^{-3} \text{ s/div}$. A partir de la courbe de la tension u_1 , déterminer la fréquence f imposée par le générateur excitateur.
2. La sensibilité verticale sur la voie 1 vaut 2 V/div .
 - a) Calculer la valeur efficace U_1 de la tension aux bornes du condensateur.
 - b) En déduire la valeur efficace du courant qui s'établit dans le circuit.
 - c) Calculer alors la valeur efficace de la tension aux bornes du résistor.
 - d) En faisant la construction de Fresnel, déterminer :
 - la valeur efficace U de la tension aux bornes du dipôle AC ;
 - la différence de phase entre le courant et la tension aux bornes du dipôle AC.

Exercice 5 (extrait Bac séries S2 ; S2A ; S4 ; S5 session 2014 Sénégal)

Lors d'une séance de travaux pratiques, des élèves d'un lycée se proposent de déterminer la capacité d'un condensateur, l'inductance et la résistance d'une bobine trouvés dans le laboratoire, sans aucune étiquette.

Pour cela, ces élèves disposent du matériel suivant :

- un générateur de basses fréquences (GBF),
- un conducteur ohmique de résistance $R = 80 \Omega$,
- la bobine d'inductance L et de résistance r ,
- le condensateur de capacité C ,
- un ampèremètre de résistance négligeable,
- un voltmètre et des fils de connexion en quantité suffisante.

Les élèves réalisent un montage en série avec la bobine, le conducteur ohmique, le condensateur, l'ampèremètre et le générateur basse fréquence (GBF) qui délivre une tension sinusoïdale. Le voltmètre, branché aux bornes M et N du GBF, permet de vérifier que la tension efficace à ses bornes est maintenue constante et égale à $U = 1,00 \text{ V}$.

1. Représenter le schéma du circuit électrique réalisé par les élèves.
2. Les élèves font varier la fréquence f de la tension délivrée par le GBF, relèvent l'intensité efficace I correspondante et obtiennent le tableau suivant :

$f(\text{Hz})$	300	500	600	650	677	700	755	780	796	850	900	1000
$I(\text{mA})$	0,74	1,90	3,47	5,20	6,61	8,05	9,35	7,48	6,61	4,50	3,44	2,40

2.1. Tracer la courbe de l'intensité efficace I en fonction de la fréquence f : $I = g(f)$.

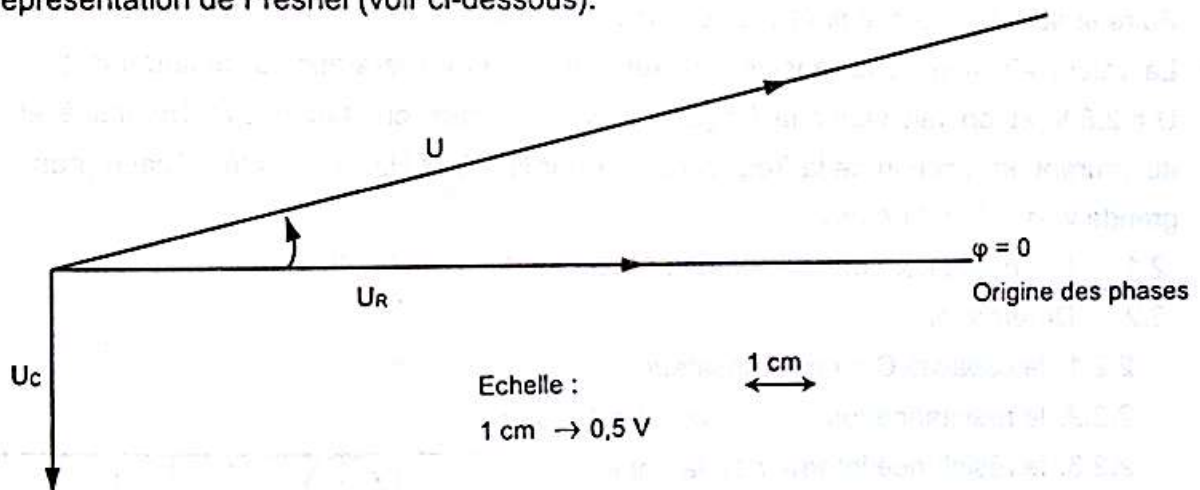
Echelles : en abscisses : $15 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ Hz}$; en ordonnées : $20 \text{ mm} \rightarrow 1 \text{ mA}$

- 2.2. Déterminer graphiquement la fréquence f_0 de résonance du circuit.
 - 2.3. Calculer l'impédance Z du circuit pour $f = f_0$. En déduire la résistance r de la bobine.
 - 2.4. Déterminer la largeur de la bande passante β du circuit.
 - 2.5. Calculer l'impédance du circuit aux extrémités de la bande passante.
3. Ces élèves admettent que la largeur β de la bande passante est telle que : $\beta = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{R_T}{L}$
- relation où R_T désigne la résistance totale du circuit oscillant.
- Déterminera la valeur de l'inductance L de la bobine et celle de la capacité C du condensateur.

Exercice 6 (extrait Bac série D session normale 2007 Côte d'Ivoire)

Au cours d'une séance de T.P., les élèves de Terminale scientifique doivent faire l'étude d'un dipôle RLC série. Le laboratoire du Lycée dispose d'un conducteur ohmique de résistance R , d'une bobine d'inductance L et de résistance r et d'un condensateur de capacité C . Pour déterminer les caractéristiques des dipôles, ils réalisent des expériences.

- Une tension constante $U = 5 \text{ V}$ est appliquée aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité du courant mesurée vaut $I_1 = 125 \text{ mA}$. La même tension est ensuite appliquée aux bornes de l'ensemble {conducteur ohmique + bobine}. L'intensité du courant vaut alors $I_2 = 100 \text{ mA}$. Déterminer les valeurs de R et r .
- Un générateur de tension sinusoïdale et de fréquence N variable est maintenant branché aux bornes de l'ensemble {conducteur ohmique + bobine + condensateur} en série. La tension efficace est maintenue constante et égale à $U = 5 \text{ V}$. Pour la suite, on prendra $R = 40 \Omega$ et $r = 10 \Omega$ (valeurs fournies par le Professeur). La valeur de la fréquence étant fixée à $N = 50 \text{ Hz}$, les mesures des tensions U , U_R et U_C ont permis de faire la représentation de Fresnel (voir ci-dessous).



- Déduire de la figure les valeurs des tensions U_R et U_C .
 - Reproduire la figure et la compléter par la construction de Fresnel de la tension U_B aux bornes de la bobine.
 - En déduire la valeur de U_B .
 - Déterminer la phase $\varphi_{u_B/i}$ de la tension U_B par rapport à l'intensité i .
 - Déterminer la valeur efficace I de l'intensité du courant puis les valeurs de L et C .
- Déterminer la valeur de la fréquence pour que l'impédance soit égale à la résistance totale du circuit. Comment appelle-t-on cet état ?

Exercice 7 (extrait Bac séries C & E Session Normale 2012 Côte d'Ivoire)

On étudie les oscillations électriques forcées d'un circuit électrique.

Ce circuit comporte, disposés en série :

- un générateur de basses fréquences GBF délivrant une tension sinusoïdale de fréquence N et de tension efficace réglable U ;
- un résistor de résistance $R = 100 \Omega$;
- une bobine de résistance interne r et d'inductance $L = 0,2 \text{ H}$;
- un condensateur de capacité C .

L'expression de l'intensité instantanée du courant dans le circuit est $i(t) = I\sqrt{2}\cos(2\pi Nt)$,

celle de la tension instantanée imposée par le générateur est $u(t) = I\sqrt{2}\cos(2\pi Nt + \varphi)$.

U et I sont des grandeurs efficaces directement lues sur un voltmètre et sur un ampèremètre.

1. On souhaite observer sur l'écran d'un oscilloscope bicourbe :

- l'évolution de la tension instantanée $u(t)$ aux bornes du générateur GBF sur la voie A ;
- l'évolution de l'intensité instantanée dans le circuit sur la voie B.

Faire le schéma du circuit et y faire figurer les branchements de l'oscilloscope.

2. La valeur efficace de la tension $u(t)$ aux bornes du générateur est maintenue constante à $U = 2,8 \text{ V}$ et on fait varier la fréquence N de la tension. On relève l'intensité efficace I du courant en fonction de la fréquence N . Pour $N = 503 \text{ Hz}$, l'intensité efficace prend sa plus grande valeur $I_0 = 21,4 \text{ mA}$.

2.1 Donner le nom du phénomène qui a lieu dans le circuit.

2.2 Déterminer :

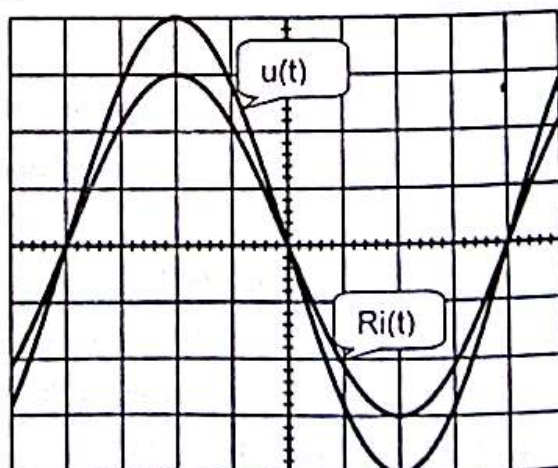
- 2.2.1. la capacité C du condensateur ;
- 2.2.2. la résistance totale du circuit électrique ;
- 2.2.3. la résistance interne r de la bobine.

2.3 La tension aux bornes du générateur et l'intensité du courant sont en phase. La figure ci-contre représente l'écran de l'oscilloscope affichant les tensions aux bornes du générateur et du résistor.

2.3.1. Déterminer les réglages (sensibilité verticale et base de temps) de l'oscilloscope pour chaque courbe.

2.3.2. Calculer :

- a) la valeur efficace U_C de la tension aux bornes du condensateur ;
- b) la valeur efficace U_L de la tension aux bornes de la bobine ;
- c) le facteur de qualité Q du circuit.



CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac Série D 2002 Madagascar)

1) Vérifions que l'impédance du circuit entre A et B est environ $Z = 813 \Omega$.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = \sqrt{R^2 + \left(2\pi NL - \frac{1}{2\pi NC}\right)^2}$$

$$\text{A.N. : } Z = \sqrt{15^2 + \left(2 \times \pi \times 50 \times 0,08 - \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 3,8 \cdot 10^{-6}}\right)^2} = 812,66 \Omega \approx \underline{813 \Omega}$$

2) Dédution de la valeur de l'intensité efficace I du courant dans le circuit.

$$Z = \frac{U}{I} \Rightarrow I = \frac{U}{Z} \quad \text{Application numérique : } I = \frac{220}{813} = \underline{0,27 \text{ A}}$$

3) Calculons la phase φ de la tension par rapport à l'intensité du courant.

$$\tan \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} = \frac{2\pi NL - \frac{1}{2\pi NC}}{R}$$

$$\text{Application numérique : } \tan \varphi = \frac{2 \times \pi \times 50 \times 0,08 - \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 3,8 \cdot 10^{-6}}}{15} = -54,17$$

$$\Rightarrow \varphi = \tan^{-1}(-54,17) = -88,94^\circ \text{ ou } -1,55 \text{ rad}$$

Dédution de la nature du circuit (capacitif ou inductif) : le circuit est capacitif car $\varphi < 0$.

4) Calculons la tension efficace U_{AF} entre les points A et F.

D'après la loi d'additivité des tensions on a : $U_{AF} = U_{AE} + U_{EF}$

- $U_{AE} = RI$: tension aux bornes du conducteur ohmique de résistance R ;

- $U_{EF} = L\omega I$: tension aux bornes de la bobine idéale d'inductance L .

$$\Rightarrow U_{AF} = RI + L\omega I = (R + L\omega)I \Rightarrow U_{AF} = (R + 2\pi NL)I$$

$$\text{Application numérique : } U_{AF} = (15 + 2 \times \pi \times 50 \times 0,08) \times 0,27 = 6,21 \text{ V}$$

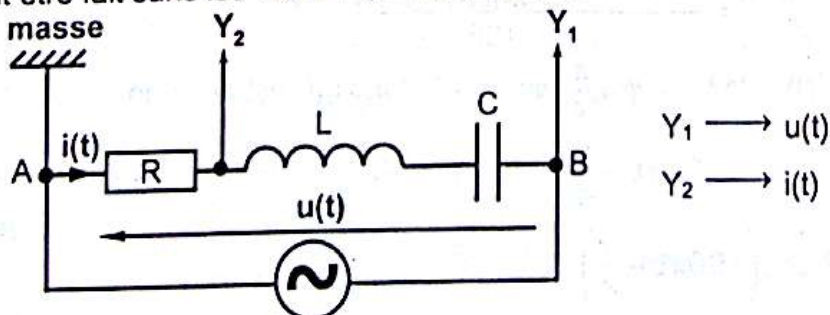
5) Calculons le facteur de puissance du dipôle RLC

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{15}{813} = 0,01845$$

Exercice 2 (extrait Bac Série D 2000 Madagascar)

1) Schéma du circuit RLC en précisant les sens du courant $i(t)$ et de la tension $u(t)$.

Le schéma doit être fait sans les voies Y_1 , Y_2 et la masse.



Faisons apparaître les branchements d'un oscilloscope sur le schéma

- la voie 1 (Y_1) permet de visualiser la tension aux bornes du circuit ou celle aux bornes du générateur c'est-à-dire $u(t)$;
- la voie 2 (Y_2) permet de visualiser la tension aux bornes du conducteur ohmique ou une tension proportionnelle à l'intensité du courant qui traverse le circuit c'est-à-dire $i(t)$.

2) Pour une valeur N_0 correspondant à la résonance d'intensité déterminons :

- l'impédance Z_0 de ce circuit : à la résonance d'intensité, $Z_0 = R = 400 \Omega$
- l'intensité efficace : $Z_0 = \frac{U}{I_0} \Rightarrow I_0 = \frac{U}{Z_0} = \frac{U}{R} \Rightarrow I_0 = \frac{100}{400} = 0,25 \text{ A}$
- pulsation propre : $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{1 \times 10^{-6}}} = 1000 \text{ rad/s}$
- fréquence de résonance : $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1000}{2\pi} = 159,15 \text{ Hz}$
- les valeurs des tensions efficaces U_{R0} , U_{L0} et U_{C0} aux bornes de chaque dipôle.
 - $U_{R0} = RI_0 = 400 \times 0,25 = 100 \text{ V}$
 - $U_{L0} = L\omega_0 I_0 = 1 \times 1000 \times 0,25 = 250 \text{ V}$
 - $L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \Rightarrow L\omega_0 I_0 = \frac{I_0}{C\omega_0} \Rightarrow U_{L0} = U_{C0} = 250 \text{ V}$

Exercice 3 (extrait Bac Série D 2001 Madagascar)

1) Calculons l'impédance Z de ce dipôle RLC.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

Or $u(t) = U\sqrt{2} \cos(100\pi t) = U_m \cos(\omega t)$ donc $\omega = 100\pi \text{ rad}$

Application numérique : $Z = \sqrt{155^2 + \left(1 \times 100 \times \pi - \frac{1}{20 \cdot 10^{-6} \times 100 \times \pi}\right)^2} = 219,2 \Omega$

2) Déterminons l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant qui traverse le dipôle.

On a : $u(t) = U\sqrt{2} \cos(100\pi t)$ donc $i(t) = I\sqrt{2} \cos(100\pi t + \varphi)$ avec :

- $Z = \frac{U}{I} \Rightarrow I = \frac{U}{Z} = \frac{120}{219,2} = 0,547 \text{ A}$

- φ est la phase de la tension par rapport à l'intensité

$$\tan \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} = \frac{1 \times 100 \times \pi - \frac{1}{20 \cdot 10^{-6} \times 100 \times \pi}}{155} = 1$$

$\Rightarrow \varphi = \tan^{-1}(1) = 45^\circ$ ou $\varphi = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$; $\varphi > 0$ donc $u(t)$ est en avance par rapport à $i(t)$.

D'où $i(t) = I\sqrt{2} \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right) = 0,547 \times \sqrt{2} \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$

$\Rightarrow i(t) = 0,77 \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$

3) Construction du diagramme de FRESNEL relatif à ce circuit.

$$U_R = RI = 155 \times 0,547 \approx 85 \text{ V}$$

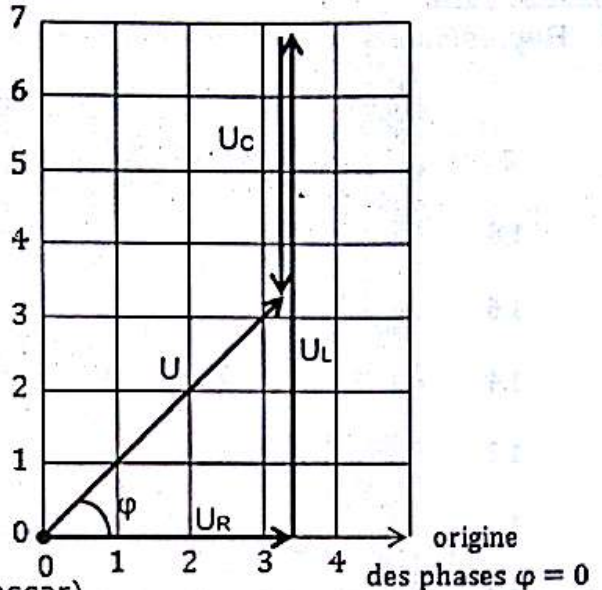
$$U_L = L\omega I = 1 \times 100 \times \pi \times 0,547 \approx 172 \text{ V}$$

$$U_C = \frac{I}{C\omega} = \frac{0,547}{20 \cdot 10^{-6} \times 100 \times \pi} = 87 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \longrightarrow 25 \text{ V} \\ x \text{ (cm)} \longrightarrow 85 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow x = \frac{85}{25} = 3,4 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \longrightarrow 25 \text{ V} \\ y \text{ (cm)} \longrightarrow 172 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow y = \frac{172}{25} \approx 6,9 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \longrightarrow 25 \text{ V} \\ z \text{ (cm)} \longrightarrow 87 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow z = \frac{87}{25} \approx 3,5 \text{ cm}$$



Exercice 4 (extrait Bac Série D 2009 Madagascar)

1) Calculons la valeur de la résistance R et celle de l'inductance L de la bobine.

La tension aux bornes d'une bobine est donnée par : $U = Ri + L \frac{di}{dt}$

- sous une tension continue, l'intensité du courant parcourue par la bobine est constante et vaut $I = 0,30 \text{ A}$. Donc $\frac{di}{dt} = \frac{dI}{dt} = 0$

$$\text{d'où : } U = RI + L \times 0 = RI \Rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{12}{0,30} = 40 \Omega$$

- dans le cas d'un courant alternatif, la valeur efficace de la tension alternative aux bornes de la bobine est donnée par : $U = ZI$ avec $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} = \sqrt{R^2 + (2\pi NL)^2}$

$$U = \sqrt{R^2 + (2\pi NL)^2} I \Rightarrow \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (2\pi NL)^2} \Rightarrow \frac{U^2}{I^2} = R^2 + (2\pi NL)^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2} = 2\pi NL \Rightarrow L = \frac{1}{2\pi N} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}$$

$$\text{Application numérique : } L = \frac{1}{2 \times \pi \times 50} \times \sqrt{\frac{12^2}{(0,073)^2} - 40^2} = 0,50 \text{ H}$$

2) Calculons la valeur de la capacité C pour que l'intensité efficace soit maximale.

Si l'intensité efficace est maximale c'est que le circuit est à la résonance d'intensité.

$$\text{Ainsi on a : } LC\omega_0^2 = 1 \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2} = \frac{1}{L \times (2\pi f_0)^2} = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L} \Rightarrow C = \frac{1}{4 \times \pi^2 \times 50^2 \times 0,50} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$

3) Puissance consommée par le dipôle RLC et tension efficace aux bornes de la bobine.

> $P = UI \cos \varphi$ avec $\varphi = 0$ car le circuit est à la résonance d'intensité.

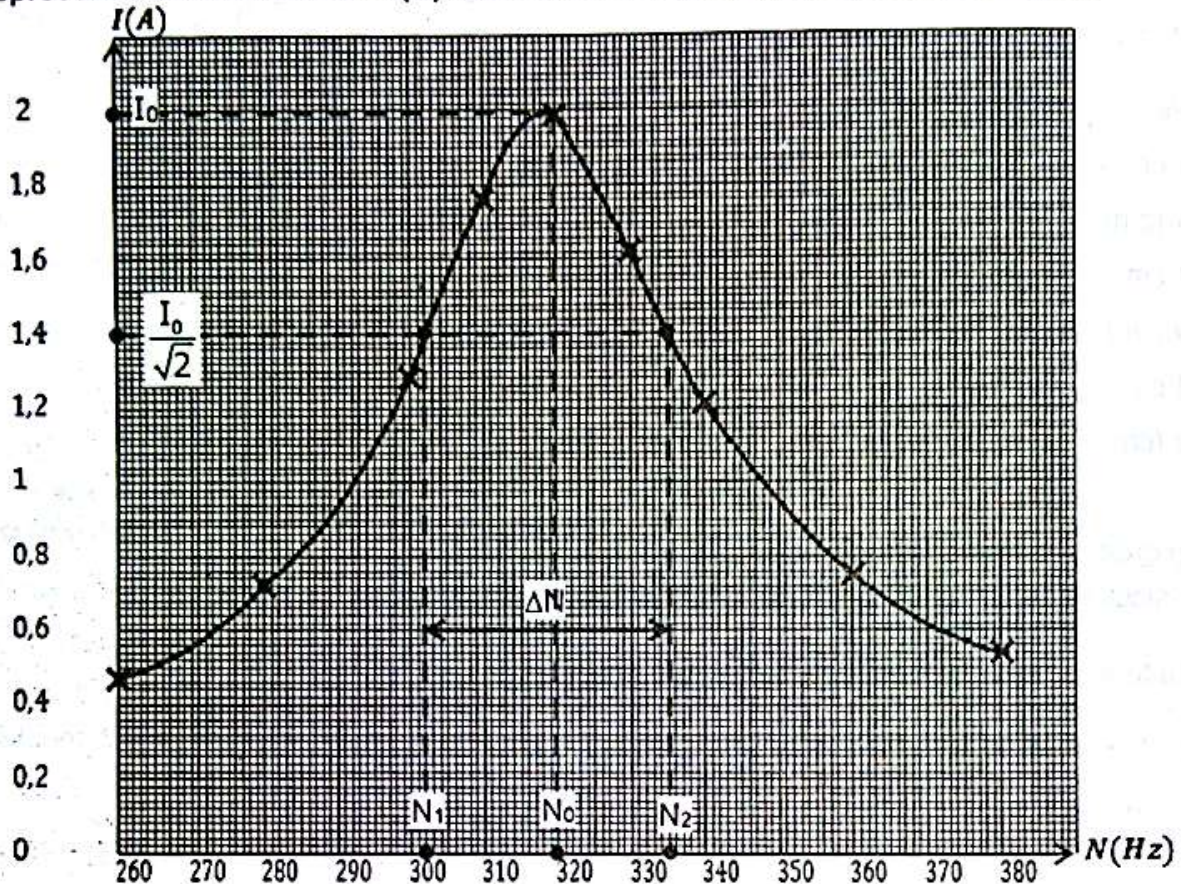
$$> U_b = Z_0 I = \sqrt{R^2 + (L\omega_0)^2} I = \sqrt{R^2 + (2\pi f_0 L)^2} I$$

$$\text{Application numérique : } P = 12 \times 0,073 \times \cos 0^\circ = 0,876 \text{ W}$$

$$U_b = \sqrt{40^2 + (2 \times \pi \times 50 \times 0,5)^2} \times 0,073 = 11,83 \text{ V}$$

Exercice 5

1. Représentons la fonction $I = f(N)$. Echelle : 1 cm pour 10 Hz ; 1 cm pour 0,2 A



2. Détermination graphique de la fréquence N_0 et l'intensité I_0 de résonance d'intensité

À la résonance, l'intensité efficace est maximale donc $I_0 = I_m = 1,99$ A.

La fréquence correspondante est $N_0 = 320$ Hz.

Déduction de la valeur de la résistance R de la bobine.

À la résonance d'intensité, $Z = R$ avec $Z = \frac{U}{I_0} = \frac{40}{1,99} = 20,1 \Omega \Rightarrow R = 20,1 \Omega$

3. Déterminons graphiquement la largeur de la bande passante du circuit.

La bande passante est le domaine de fréquence pour lequel la réponse en intensité I du

circuit est supérieure à $\frac{I_0}{\sqrt{2}}$. Ainsi pour $I_1 = I_2 = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{1,99}{\sqrt{2}} = 1,4$ A, on a :

$N_1 = 302$ Hz et $N_2 = 335$ Hz $\Rightarrow \Delta N = N_2 - N_1 = 335 - 302$ Hz = 33 Hz.

4. Déduction de la valeur de l'inductance L de la bobine.

$$\Delta N = \frac{R}{2\pi L} \Rightarrow L = \frac{R}{2\pi \Delta N} = \frac{20,1}{2 \times \pi \times 33} = 0,097 \text{ H}$$

5. Déduction de la capacité du condensateur à partir des résultats précédents.

$$\text{A la résonance d'intensité, } LC\omega_0^2 = 1 \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2} = \frac{1}{L \times (2\pi N_0)^2} \Rightarrow C = \frac{1}{4\pi^2 N_0^2 L}$$

$$\text{Application numérique : } C = \frac{1}{4 \times \pi^2 \times 320^2 \times 0,097} = 2,55 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

6. Comparaison des tensions efficaces U et U_c puis conclusion

$$U_c = \frac{I_0}{C\omega_0} = \frac{I_0}{2\pi N_0 C} = \frac{1,99}{2 \times \pi \times 320 \times 2,55 \cdot 10^{-6}} \approx 388 \text{ V}$$

$$\frac{U_c}{U} = \frac{388}{40} = 9,7 \Rightarrow U_c = 9,7U \Rightarrow U_c \text{ est très supérieure à } U.$$

Conclusion : il y a surtension à la résonance aux bornes du condensateur.

7. Valeur numérique du facteur de qualité

$$Q = \frac{N_0}{\Delta N} = \frac{320}{33} = 9,7$$

Exercice 6 (Extrait Bac séries S2, S2A, S4 & S5 session 2015 Sénégal)

1. Déterminons l'amplitude de la tension correspondant à chaque courbe.

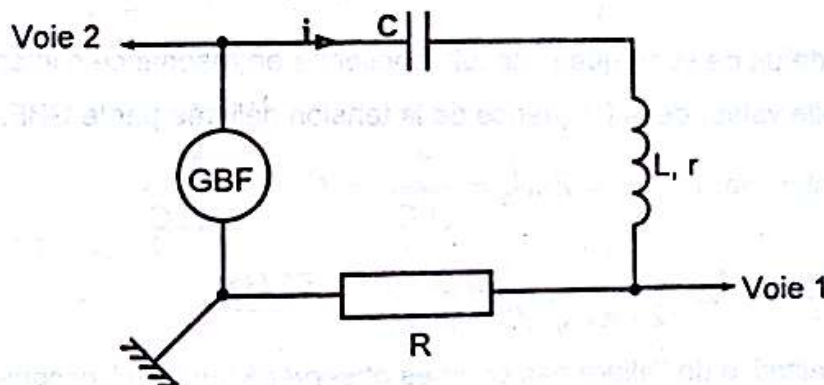
➤ L'amplitude de la courbe ① correspond à 3 divisions donc : $U_{m1} = 3 \times 2,0 = 6,0 \text{ V}$;

➤ L'amplitude de la courbe ② correspond à 2 divisions donc : $U_{m2} = 2 \times 2,0 = 4,0 \text{ V}$.

Identification de la courbe correspondant à la tension u_G aux bornes du GBF.

La courbe ① correspond à la tension u_G car la tension aux bornes du GBF a la plus grande amplitude étant donné que la sensibilité verticale est la même sur les deux voies.

2. Branchements à l'oscilloscope permettant d'obtenir les courbes sur la figure 1.



3. Déterminons la fréquence de la tension délivrée par le GBF.

$$N = \frac{1}{T} \text{ or } T = 8 \times 2 = 16 \text{ ms} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ s} \text{ donc } N = \frac{1}{16 \cdot 10^{-3}} = \underline{62,5 \text{ Hz}}$$

Remarque : la période T correspond à 8 divisions sur l'oscillogramme.

4. Calcul, en valeur absolue, de la différence de phase entre $u_G(t)$ et $i(t)$.

$$|\varphi| = \frac{2\pi\tau}{T} = \frac{2\pi \times 1}{8} = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$$

Remarque : le décalage horaire τ correspond à 1 division sur l'oscillogramme.

Précisons la grandeur électrique en avance de phase.

D'après la figure 2, la courbe ① correspondant à l'intensité $i(t)$ atteint son maximum avant la courbe ② représentant la tension $u_G(t)$ donc l'intensité est en avance sur la tension.

5. Expressions de l'intensité du courant $i(t)$ et de la tension $u_G(t)$ en fonction du temps

$$u_G(t) = U_{1m} \cos(\omega t + \varphi_u) = U_{1m} \cos(2\pi N t + \varphi_u)$$

La date $t = 0$ correspond au point O de la figure 2 donc à $t = 0$, $u_G = U_{1m} = 6 \text{ V}$ d'où $\varphi_u = 0$.

$$\Rightarrow u_G(t) = 6 \cos(2\pi \times 62,5t) = \underline{6 \cos(125\pi t)}$$

Comme $i(t)$ est en avance sur $u_G(t)$ donc on a : $i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi) = I_m \cos(2\pi N t + \varphi)$

$$\text{Or } U_{2m} = R I_m \Rightarrow I_m = \frac{U_{2m}}{R} = \frac{4,0}{100} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ A}$$

$$\Rightarrow i(t) = 4 \cdot 10^{-2} \cos\left(2\pi \times 62,5t + \frac{\pi}{4}\right) = 4 \cdot 10^{-2} \cos\left(125\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$$

6. Calcul de la valeur de la capacité C du condensateur.

$$\tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R+r} \Rightarrow (R+r)\tan\varphi = L\omega - \frac{1}{C\omega} \Rightarrow \frac{1}{C\omega} = L\omega - (R+r)\tan\varphi$$

$$\Rightarrow C\omega = \frac{1}{L\omega - (R+r)\tan\varphi} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega(L\omega - (R+r)\tan\varphi)}$$

$$\text{Application numérique : } C = \frac{1}{125 \times \pi \times \left(1,0 \times 125 \times \pi - (100 + 8,5) \times \tan\frac{\pi}{4}\right)} \approx \underline{9,0 \cdot 10^{-6} \text{ F}}$$

7. On règle la fréquence de u_G de sorte que le circuit fonctionne en résonance d'intensité.

7.1. Calcul de la nouvelle valeur de la fréquence de la tension délivrée par le GBF.

$$\text{A la résonance d'intensité, } \omega = \omega_0 = 2\pi N_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\text{Application numérique : } N_0 = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{1,0 \times 9,0 \cdot 10^{-6}}} = \underline{53 \text{ Hz}}$$

7.2. Représentation qualitative de l'allure des courbes observées sur l'oscilloscope.

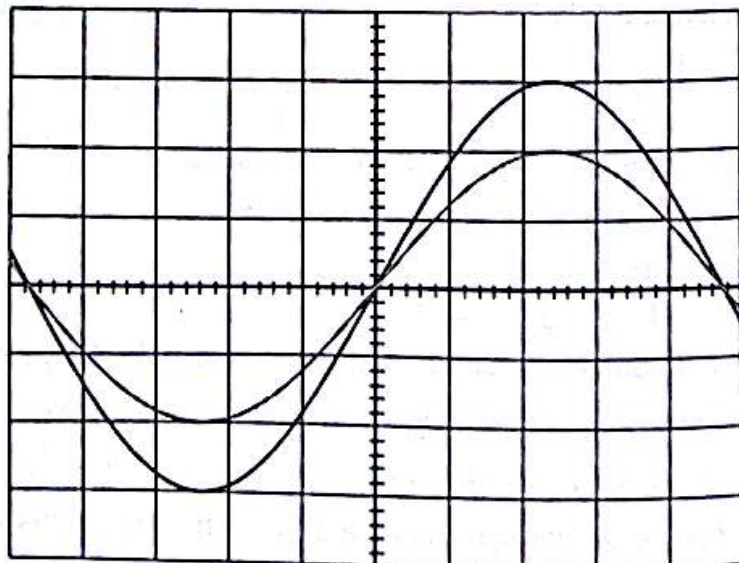
$$T_0 = \frac{1}{N_0} = \frac{1}{53} \approx 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$1 \text{ div} \rightarrow 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$x \text{ div} \rightarrow 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$\Rightarrow x = \frac{1,9 \cdot 10^{-2} \times 1}{2 \cdot 10^{-3}} = 9,5 \text{ div}$$

Le circuit fonctionne en résonance d'intensité donc $u_G(t)$ et $i(t)$ sont en phase c'est-à-dire que les deux courbes atteignent leur maximum au même moment.



Exercice 7 (Extrait Bac Série S2 2006 Sénégal)

1. Dédution de l'oscillogramme :

1.1. la fréquence de la tension sinusoïdale

- La période est $T = s_H \times n$; où n est le nombre de divisions correspondant à une période et s_H la sensibilité horizontale. or $n = 5$; donc $T = 100 \cdot 10^{-6} \times 5 = 5 \cdot 10^{-4}$ s.
- La fréquence est l'inverse de la période : $N = \frac{1}{T} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-4}} = 2000$ Hz

1.2. valeurs efficaces de l'intensité et de la tension

- La tension maximale aux bornes de la résistance est : $U_{Rm} = S_1 \times n_1$
 S_1 est la sensibilité verticale sur la voie 1 et $S_1 = 1$ V/div
 n_1 est le nombre de divisions correspondant aux maximum de la tension sur la voie 1 ; $n_1 = 2,4$ div. Donc $U_{Rm} = 1 \times 2,4 = 2,4$ V
- L'intensité maximale correspondante est :

$$U_{Rm} = R I_m \Rightarrow I_m = \frac{U_R}{R} = \frac{2,4}{100} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ A} = 240 \text{ mA}$$

$$\text{L'intensité efficace est : } I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{2,4 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{2}} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ A} = 170 \text{ mA}$$

- La tension maximale aux bornes du générateur : $U_m = S_2 \times n_2$
 S_2 est la sensibilité verticale sur la voie 2 et $S_2 = 2$ V/div
 n_2 est le nombre de divisions correspondant aux maximum de la tension sur la voie 2 ; $n_2 = 3$ div. Donc $U_m = 2 \times 3 = 6$ V

$$\text{La tension efficace : } U_{\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{6}{\sqrt{2}} = 4,2 \text{ V}$$

1.3. Déphasage de la tension par rapport à l'intensité

Le nombre de divisions suivant l'horizontale, correspondant à l'écart temporel $\tau = 2$ div.

$$\text{donc on a : } |\varphi| = \frac{2\pi\tau}{T} = \frac{2\pi}{5 \cdot 10^{-4}} \times 1 \cdot 10^{-4} = \frac{2\pi}{5} \text{ rad}$$

L'oscillogramme montre que la tension aux bornes de la résistance atteint son maximum avant que la tension aux bornes du générateur n'atteigne le sien. Donc l'intensité est en avance sur la tension ou bien la tension est en retard sur l'intensité.

$$\text{D'où } \varphi < 0 \Rightarrow \varphi = -\frac{2\pi}{5} \text{ rad}$$

1.4. Hypothèses non vraisemblables

- (D) est un conducteur ohmique car le cas échéant la tension et l'intensité seraient en phase.
- (D) est une bobine de résistance r et d'inductance L car le cas échéant la tension serait en avance sur l'intensité.
- (D) est un condensateur car le cas échéant la tension serait en retard sur l'intensité

$$\text{avec } \varphi = -\frac{\pi}{2} \text{ rad.}$$

2. Pour $N_0 = 2150$ Hz, l'intensité efficace passe par un maximum de valeur $I_0 = 107$ mA

2.1. Nature du dipôle (D) inconnu

Le dipôle (D) est une bobine de résistance r et d'inductance L en série avec un condensateur de capacité C car pour $N = N_0 = 2150$ Hz, il se produit un phénomène de résonance d'intensité.

2.2. Caractéristiques du dipôle (D)

$$\text{A la résonance : } U_0 = (R + r)I_0 \Rightarrow \frac{U_0}{I_0} = R + r \Rightarrow r = \frac{U_0}{I_0} - R$$

$$\text{Application numérique : } r = \frac{12}{107 \cdot 10^{-3}} - 100 = 12 \Omega$$

$$\text{Pour } N = 2000 \text{ Hz, } \varphi = -\frac{2\pi}{5} \text{ rad et } \tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R+r} \Rightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} = (R+r)\tan\varphi$$

$$\text{Pour } N_0 = 2150 \text{ Hz, } \varphi = 0 \Rightarrow L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L\omega - \frac{1}{C\omega} = (R+r)\tan\varphi \quad (1) \\ L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \quad (2) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L\omega - \frac{1}{C\omega} = (R+r)\tan\varphi \quad (1) \\ L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \quad (2) \end{array} \right.$$

De ce système on tire :

$$(2) \quad L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \Rightarrow \frac{1}{C} = L\omega_0^2$$

$$(1) \quad L\omega - \frac{1}{C\omega} = (R+r)\tan\varphi \Rightarrow L\omega - \frac{1}{\omega} \times L\omega_0^2 = (R+r)\tan\varphi$$

$$\Rightarrow L\omega^2 - L\omega_0^2 = \omega(R+r)\tan\varphi \Rightarrow L(\omega^2 - \omega_0^2) = \omega(R+r)\tan\varphi$$

$$\Rightarrow L = \frac{\omega(R+r)\tan\varphi}{\omega^2 - \omega_0^2} = \frac{2\pi N(R+r)\tan\varphi}{(2\pi N)^2 - (2\pi N_0)^2}$$

$$\text{Application numérique : } L = \frac{2 \times \pi \times 2000 \times (100 + 12) \times \tan\left(-\frac{2\pi}{5}\right)}{(2 \times \pi \times 2000)^2 - (2 \times \pi \times 2150)^2} = 0,18 \text{ H}$$

$$\frac{1}{C} = L\omega_0^2 \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2} = \frac{1}{(2\pi N_0)^2 L} \Rightarrow C = \frac{1}{(2 \times \pi \times 2150)^2 \times 0,18} = 3,1 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$



PN 1 : NIVEAUX D'ENERGIES (Tle C & E uniquement)

Niels Henrik David Bohr

(7 octobre 1885 à Copenhague, Danemark - 18 novembre 1962 à Copenhague) est un physicien danois.

Il est surtout connu pour son apport à l'édification de la mécanique quantique, pour lequel il a reçu de nombreux honneurs. Il est notamment lauréat du prix Nobel de physique de 1922.

En 1913, Niels Bohr propose le modèle atomique qui porte son nom.

En 1922, Bohr a utilisé les spectres d'émissions (l'ensemble des couleurs dégagées par les éléments chauffés) pour dire qu'il y avait des niveaux d'énergie (orbites) (Max Planck) dans lesquels on pouvait retrouver les électrons. Ces niveaux correspondaient au nombre quantique principal. Pour expliquer l'existence des spectres de raies d'émission bien définies, Bohr introduit l'hypothèse de la quantification de l'énergie : l'énergie d'un atome ne peut prendre qu'un certain nombre de valeurs discontinues croissantes : $E_1, E_2, \dots, E_p, E_n, \dots$ appelés niveaux d'énergie. On ne peut jamais observer d'atome possédant une énergie intermédiaire entre deux niveaux d'énergie. Selon Bohr, il y a jusqu'à sept niveaux. Ces niveaux sont représentés par n .

Objectifs spécifiques

- Comprendre le comportement de la matière au niveau atomique.
- Expliquer l'existence des raies par les niveaux d'énergie.

RAPPEL DE COURS

1) LES POSTULATS DE BOHR

1.1. Le photon

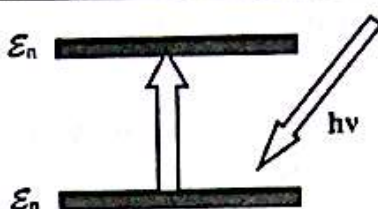
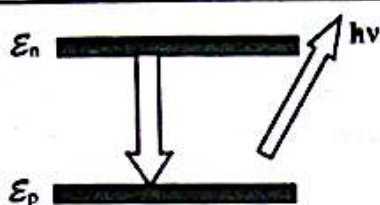
A toute onde électromagnétique est associée une particule de masse nulle appelée photon dont la vitesse limite est $c = 3.10^8$ m/s.

L'énergie d'un photon est liée à la fréquence ν de l'onde par la relation : $E = h\nu$.

Si λ est sa longueur d'onde, on a : $E = h \frac{c}{\lambda}$

1.2. Émission ou absorption d'énergie

- Lorsqu'un atome passe d'un niveau E_n élevé à un niveau faible E_p , il émet un photon d'énergie $h\nu$ (figure 1.a).
- Lorsque l'atome du niveau faible E_p à un niveau élevé E_n , il absorbe un photon d'énergie $h\nu$ (figure 1.b).



1.3. Les postulats de Bohr

Pour expliquer le spectre de l'hydrogène, Niels Bohr émet les trois postulats suivants :

- Les variations d'énergie de l'atome sont quantifiées.
- L'atome ne peut exister que dans certains états d'énergie bien définis caractérisés par un niveau d'énergie.
- Un photon de fréquence $\nu_{n,p}$ est émis lorsque l'atome passe d'un niveau E_n à un niveau E_p .

2) APPLICATION A L'ATOME D'HYDROGENE

2.1. Energie de l'atome d'hydrogène

L'étude des spectres d'émission de l'atome d'hydrogène a permis de trouver les valeurs

possibles de l'énergie E soit : $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$

Conséquence : les valeurs de l'énergie de l'atome d'hydrogène sont quantifiées (discrètes) elles dépendent du nombre quantique n .

Remarque :

- Pour $n = 1$, $E = -13,6$ eV : c'est l'énergie de l'atome dans son niveau fondamental.
- Pour $n = \infty$, $E = 0$ eV : c'est l'énergie d'ionisation.

2.2. Energie de transition

L'atome passant d'un niveau E_n à un niveau E_p émet un photon $h\nu$ défini par :

$$h\nu = E_n - E_p = -13,6 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

2.3. Séries de raies Balmer

L'ensemble des raies constituant le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène peut être classé en série. Une série correspond aux transitions qui aboutissent au même niveau d'énergie. La série de Balmer correspond à la transition aboutissant au niveau 2.

$$\text{Soit : } h\nu = E_n - E_2 = -13,6 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

La série de Balmer comporte les raies visibles suivantes :

- H_α ($\lambda = 656,3$ nm) passage du niveau $n = 3$ au niveau $n = 2$
- H_β ($\lambda = 486,1$ nm) passage du niveau $n = 4$ au niveau $n = 2$
- H_γ ($\lambda = 434$ nm) passage du niveau $n = 5$ au niveau $n = 2$
- H_δ ($\lambda = 410,2$ nm) passage du niveau $n = 6$ au niveau $n = 2$

EXERCICES RESOLUS

Pour les exercices de ce chapitre on prendra les valeurs des constantes suivantes :

Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; masse d'électron $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; célérité de la lumière : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

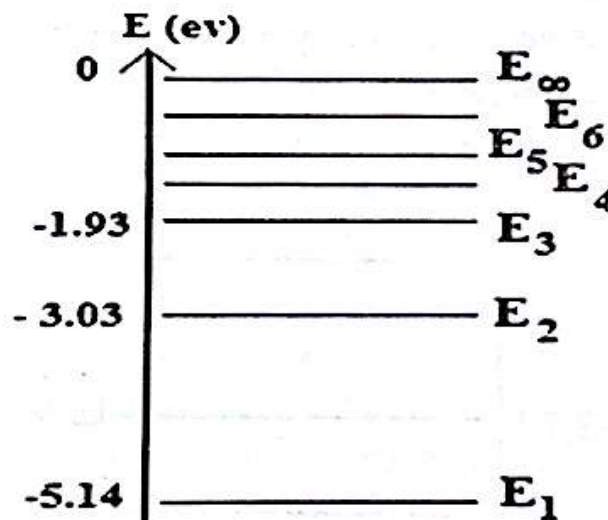
Exercice 1

L'énergie de première ionisation de l'atome hélium est égale à 24,6 eV.

- 1) Quelle est l'énergie du niveau fondamental si on prend comme référence le niveau d'énergie de première ionisation ?
- 2) Un atome d'Hélium se trouve dans état excité d'énergie - 21,4 eV.
Quelle est la longueur d'onde de la radiation émise lors de la désexcitation de l'atome vers son niveau fondamental ?

Exercice 2

On donne le diagramme des niveaux d'énergie du sodium.



- 1) Que signifie le terme « quantifié », lorsqu'on dit que les niveaux d'énergie de l'atome de sodium sont quantifiés ?
- 2) Déterminer la longueur d'onde du photon émis lorsque l'atome de sodium se désexcite de son état E_3 vers son état fondamental. A quel domaine des ondes électromagnétiques ce rayonnement appartient-il ?
- 3) Lorsqu'il est en état E_3 , le sodium peut-il émettre un photon de fréquence $2,66 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$?
- 4) Quelle est l'énergie d'ionisation de l'atome de sodium ?
- 5) Quel type de spectre obtient-on avec une lampe à vapeurs de sodium (non ionisé) ?
A quoi ressemble-t-il ?

Exercice 3 (extrait Bac série S2 ; S2A ; S4 ; S5 session 2014 Sénégal)

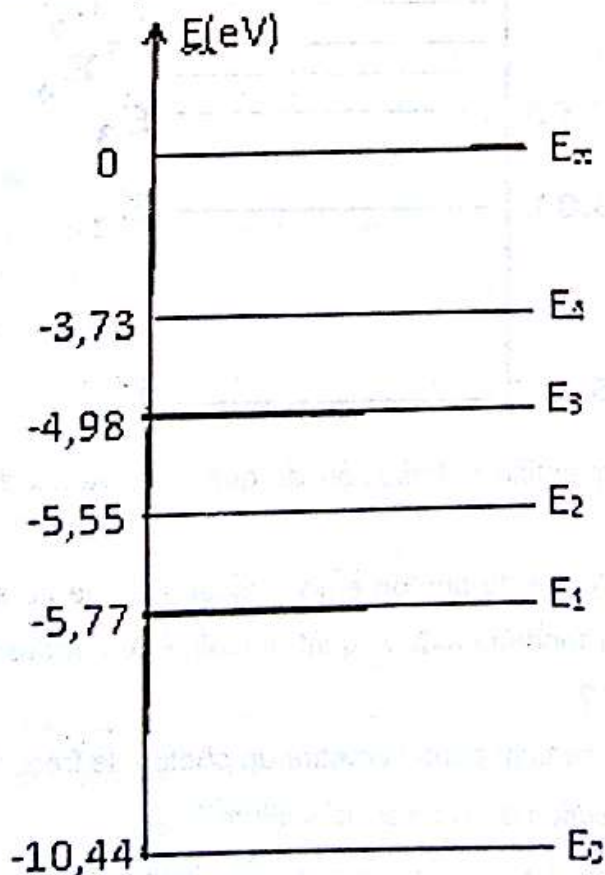
Les billets de banque authentiques peuvent être imprégnés de « nano pigments » pour être sécurisés. Cela permet aux caissiers munis d'une lampe à vapeur de mercure en miniature de détecter les faux billets.

Lorsqu'un billet de banque sécurisé est éclairé par une lampe à vapeur de mercure, les « nano pigments », par fluorescence, se colorent en rouge ou en vert.

La radiation ultraviolette de longueur d'onde $\lambda_1 = 253,6$ nm permet d'observer une des couleurs obtenues par fluorescence.

Le diagramme ci-dessous représente, sans souci d'échelle, certains niveaux d'énergie de l'atome de mercure.

1. Le spectre d'émission ou d'absorption de l'atome de mercure est-il continu ou discontinu ?
2. Déterminer la transition énergétique responsable de la fluorescence des « nano pigments ».
3. Reproduire le diagramme sur votre copie puis représenter là-dessus la transition associée par une flèche.
4. Déterminer la longueur d'onde maximale λ_2 de la radiation que peut émettre l'atome de mercure en passant de l'état excité à l'état fondamental.
5. Déterminer la longueur d'onde λ_3 de la radiation émise au cours de la transition $E_2 \rightarrow E_1$ et établir la relation entre les longueurs d'onde λ_1 , λ_2 et λ_3 .



EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (extrait Bac séries S2 ; S2A ; S4 ; S5 2^{ème} Grpe 2009 Sénégal)

1. On dispose d'une cellule photoémissive dont la cathode est en césium et dont le travail d'extraction est $W_0 = 2,0 \text{ eV}$.

Calculer la longueur d'onde seuil de cette cellule.

2. On éclaire cette cellule avec deux radiations monochromatiques de longueur d'onde $\lambda_1 = 448 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 750 \text{ nm}$. Préciser, laquelle de ces deux radiations, permet d'observer l'effet photoélectrique avec cette cellule.

Exercice 2

La série des raies visibles de l'atome d'hydrogène (série de Balmer) est donnée par la relation :

$$E = hv = h \frac{c}{\lambda} = -13,6 \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

- 1) Calculer, en nanomètre (nm), les longueurs d'onde des radiations visibles pour $p = 3$ puis 4.
- 2) Calculer, en électronvolt (eV), les énergies des niveaux correspondant aux transitions précédentes.

Exercice 3 (extrait Bac séries C - D - TI session de Juin 2014 Cameroun)

L'étude de l'interaction photon-électron montre que la valeur de l'énergie E_n d'un niveau n est donnée par la relation : $E_n = -E_0/n^2$; avec $E_0 = 13,6 \text{ eV}$.

1. Donner la signification de chaque terme de cette expression.
2. Pour un atome donné, que signifie l'expression état excité ?
Qu'est ce qui se passe lorsqu'un atome se désexcite ?
3. L'atome d'hydrogène se trouve à l'état fondamental et subit la réaction : $\text{H} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{e}^-$.
 - 3.1. Quelle transformation l'atome d'hydrogène a-t-il subie ?
 - 3.2. Quelle est la valeur de l'énergie reçue par l'atome d'hydrogène dans ce cas ?
4. Pour une transition $p \rightarrow n$ ($p > n$), exprimer la longueur d'onde λ de la raie émise.
5. Déterminer la plus courte longueur d'onde λ_{\min} des différentes raies spectrales que peut émettre l'atome d'hydrogène lorsqu'il est excité.

Exercice 4 (Bac section maths + sces exp session de contrôle 2009 Tunisie)

On rappelle que dans un état donné, l'atome d'hydrogène possède l'énergie : $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$

avec $n \in \mathbb{N}^*$ et E_n exprimée en eV.

1.
 - 1.1. Définir l'état fondamental d'un atome.
 - 1.2. Calculer l'énergie de l'atome d'hydrogène dans son état fondamental.
2. Montrer que lorsqu'il passe d'un niveau d'énergie E_q à un niveau d'énergie E_p tel que p est inférieur à q , l'atome d'hydrogène libère de l'énergie sous une forme que l'on précisera.

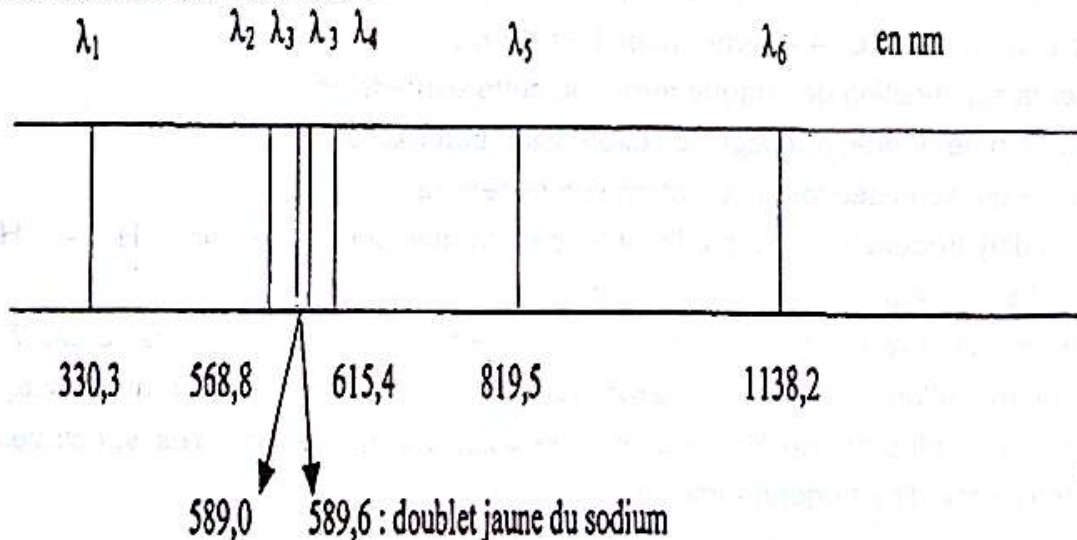
3. Dans le cas où le niveau inférieur E_p de la transition est caractérisé par $p = 2$:
- Montrer que la lumière émise par l'atome d'hydrogène a une longueur d'onde :

$$\lambda = \frac{0,365}{1 - \frac{4}{q^2}} \text{ en } \mu\text{m}, \text{ avec } q \text{ entier } \geq 3.$$
 - Sachant que toute radiation visible a une longueur d'onde λ telle que $\lambda_{vi} \leq \lambda \leq \lambda_R$ où : $\lambda_{vi} = 0,400 \mu\text{m}$ pour la lumière violette et $\lambda_R = 0,750 \mu\text{m}$ pour la lumière rouge, montrer que le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène renferme des raies visibles pour quatre valeurs de q que l'on déterminera.
4. Effectivement, les raies visibles du spectre d'émission de l'atome d'hydrogène sont au nombre de quatre et correspondent aux radiations de longueurs d'onde : $\lambda_a = 0,657 \mu\text{m}$, $\lambda_b = 0,486 \mu\text{m}$, $\lambda_c = 0,434 \mu\text{m}$, et $\lambda_d = 0,410 \mu\text{m}$.
- Préciser, en justifiant la réponse, si l'atome d'hydrogène pris dans son état excité E_2 est capable d'absorber une radiation monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,434 \mu\text{m}$.
 - Dans l'affirmative, identifier le nouvel état excité E_q par la détermination de q .

Exercice 5

Le numéro atomique du sodium est $Z = 11$.

L'analyse du spectre d'émission d'une lampe à vapeurs de sodium révèle la présence de raies de longueurs d'ondes bien définies :



- Donner la structure électronique de l'atome de sodium.
- A quels domaines de longueurs d'onde appartiennent ces radiations ?
- Calculer la fréquence de la radiation jaune de longueur d'onde $\lambda = 589,0 \text{ nm}$.
- Calculer en joule et en électronvolts, l'énergie des photons associés à cette radiation.
- En utilisant le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium (celui de l'exercice précédent), vérifier que cette radiation correspond à la transition de l'état excité 1 vers l'état fondamental.
- Un atome de sodium à l'état fondamental peut-il absorber un photon d'énergie 3 eV ? Justifier votre réponse.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1****1) Energie du niveau fondamental**

E_f = Energie dans son état ionisé

E_r = Energie dans son niveau fondamental

E_i = Energie d'ionisation

$E_f - E_r = E_i$ soit $0 - E_r = E_i \Rightarrow E_r = -E_i$ donc $E_r = -24,6 \text{ eV}$

2) Longueur d'onde de la radiation

Soit E l'énergie du niveau excité. L'atome va émettre en se désexcitant une radiation de fréquence ν telle que : $h\nu = E - E_r = 24,6 - 21,4 = 3,2 \text{ eV} \Rightarrow h\nu = 3,2 \text{ eV}$

$\Rightarrow h \frac{c}{\lambda} = 3,2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \Rightarrow \lambda = 387,9 \text{ nm}$: c'est une radiation de l'ultra-violet.

Exercice 2**1) Signification du terme « quantifié »,**

Les niveaux d'énergie d'un atome sont quantifiés signifie qu'un atome ne peut pas prendre n'importe quelle énergie : il ne peut avoir que certaines énergies précises, les niveaux d'énergie.

2) Déterminons la longueur d'onde du photon émis

On a : $E_{ph} = E_3 - E_1 = -1,93 - (-5,14) = 3,21 \text{ eV} = 3,21 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 5,14 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Or $E_{ph} = E_{ph} = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_{ph}} = 3,86 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 386 \text{ nm}$

Déterminons le domaine des ondes électromagnétiques auquel il appartient

Ce photon appartient au domaine Ultra Violet car sa longueur d'onde $\lambda < 400 \text{ nm}$.

3) Montrons si le sodium peut émettre un photon de fréquence $2,66 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

On a : $E_{ph} = h\nu = 1,76 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ soit $\frac{1,76 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,1 \text{ eV}$.

Pour que le photon puisse être émis il faut que cette énergie corresponde à une transition possible donc qu'il existe un état E_n tel que :

$E_{ph} = E_3 - E_n$ soit $E_n = E_3 - E_{ph} = -1,93 - 1,1 = -3,03 \text{ eV}$.

Cet état existe, il s'agit de E_2 donc le photon peut être émis lorsque l'atome est en E_3 .

4) Déterminons l'énergie d'ionisation de l'atome de sodium

On a : $E_{\text{ionisation}} = E_{\infty} - E_1 = 5,14 \text{ eV}$.

5) Type de spectre obtenu avec une lampe à vapeurs de sodium

On obtient un spectre de raies d'émission. Il s'agit d'un spectre composé de raies colorées sur fond noir. Le spectre est discontinu puisque les niveaux d'énergie de l'atome sont quantifiés et qu'il ne peut émettre que certains photons de longueurs d'ondes précises.

Exercice 3 (extrait Bac série S2 ; S2A ; S4 ; S5 session 2014 Sénégal)**1. Nature du spectre d'émission ou d'absorption de l'atome de mercure.**

Le spectre d'émission ou d'absorption du mercure est discontinu.

2. Détermination de la transition énergétique responsable de la fluorescence.

La lumière émise par la lampe à vapeur de sodium résulte d'une désexcitation des atomes de mercure. Cette lumière excite les nanos pigments qui émettent à leur tour par fluorescence donc on a :

$$E_{\text{photon}}(\text{émis}) = \Delta E = \frac{hC}{\lambda_1}$$

$$\text{Application numérique : } E_{\text{photon}}(\text{émis}) = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{253,6 \cdot 10^{-9}} = 7,83 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,89 \text{ eV}$$

On vérifie que cette énergie correspond à : $\Delta E = E_2 - E_0$.

Elle correspond donc à la transition du niveau E_2 vers le niveau E_0 pour le mercure.

3. Reproduction du diagramme puis représentation de la transition associée par une flèche.

Voir schéma ci-contre.

4. Détermination de la longueur d'onde maximale λ_2 .

Lors d'une désexcitation d'un niveau p vers un niveau n la longueur d'onde de la radiation émise

$$\text{est donnée par : } \lambda = \frac{hC}{E_p - E_n}$$

Comme cette désexcitation mène au niveau

$$\text{fondamentale donc } E_n = E_0 \Rightarrow \lambda = \frac{hC}{E_p - E_0}$$

Pour que λ soit maximale il faut que

$E_p - E_0$ soit minimale donc $E_p = E_1$.

$$\Rightarrow \lambda_{\text{max}} = \lambda_2 = \frac{hC}{E_1 - E_0}$$

$$\text{Application numérique : } \lambda_2 = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{(-5,77 + 10,44) \times 1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,66 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 266 \text{ nm}$$

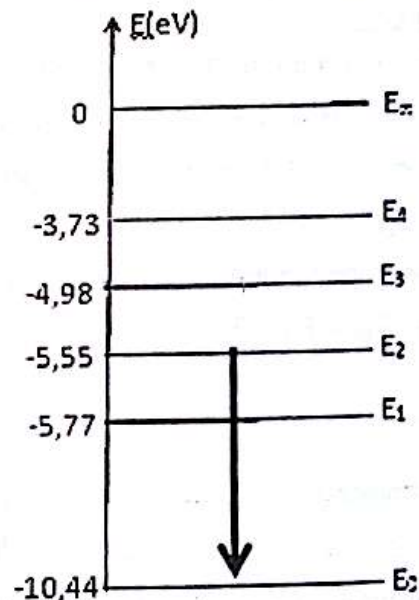
5. Détermination de la longueur d'onde λ_3 émise au cours de la transition $E_2 \rightarrow E_1$

$$E_2 - E_1 = \frac{hC}{\lambda_3} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{hC}{E_2 - E_1}$$

$$\text{Application numérique : } \lambda_3 = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{(-5,55 + 5,77) \times 1,6 \cdot 10^{-19}} = 5,64 \cdot 10^{-8} \text{ m} = 2640 \text{ nm}$$

Relation entre les longueurs d'onde λ_1 , λ_2 et λ_3 .

$$E_2 - E_0 = (E_2 - E_1) + (E_1 - E_0) \Rightarrow \frac{hC}{\lambda_1} = \frac{hC}{\lambda_3} + \frac{hC}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda_3} + \frac{1}{\lambda_2}$$





Albert Einstein
(1879 - 1955)

Physicien théoricien d'origine Juive qui fut successivement **Allemand**, puis **Apatride** (1896), **Suisse** (1901), et enfin **Helvético-Américain** (1940).

Il publie sa théorie de la relativité restreinte en 1905, et une théorie de la gravitation dite relativité générale en 1915. Il contribue largement au développement de la mécanique quantique et de la cosmologie, et reçoit le prix Nobel de physique de 1921 pour son explication de l'effet photoélectrique. Son travail est notamment connu pour l'équation $E = mc^2$, qui établit une équivalence entre la matière et l'énergie d'un système.

PN 2 : REACTIONS NUCLEAIRES SPONTANEE ET PROVOQUEE

Objectifs spécifiques

- Connaître la nature des particules α , β^+ , β^- et du rayonnement γ
- Comprendre la décroissance radioactive
- Expliquer le principe de la fission et de la fusion nucléaire

RAPPEL DE COURS

1) ATOME

1.1. Définition

Un atome est la partie infiniment petite de la matière constituée d'un noyau et des électrons qui y gravitent autour.

1.2. Constitution

a) Noyau

- Le noyau d'un atome est constitué de N neutrons (de charge nulle) et de Z protons (de charge positive $q_p = +e = +1,6 \cdot 10^{-19}$ C) tous appelés nucléons et noté A.
- $A = Z + N$ est le nombre de nucléons ou nombre de masse ;
Z est le nombre de protons ou numéro atomique ou nombre de charge ;
N est le nombre de neutrons ($N = A - Z$).
- Pour simplifier les calculs on suppose que le neutron et le proton ont la même masse $m_n = m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg.
- La masse totale du noyau d'un atome est : $A \cdot m_p$.
- La charge totale du noyau d'un atome est positive et vaut : $Z \cdot e$.

b) Electrons

- L'électron est chargé négativement de charge $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- La masse d'un électron est $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.
- Le nombre d'électrons d'un atome est égal au numéro atomique Z .
- La masse totale des électrons d'un atome est : $Z \times m_e$.
- La charge totale des électrons d'un atome est négative et vaut : $Z \times (-e) = -Z \times e$.

Remarque :

- e n'est pas l'abréviation d'électron mais indique la charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- L'atome est électriquement neutre car la charge totale des électrons ($-Z \times e$) est l'opposée de celle du noyau ($Z \times e$).

1.3. Eléments chimiques

C'est l'ensemble des atomes caractérisés par une même valeur de Z .

Exemples :

- élément Oxygène(O) : $Z = 8$;
- Elément Chlore(Cl) : $Z = 17$

1.4. Nucléide

C'est l'ensemble des atomes caractérisés par des valeurs déterminées du nombre de charge Z et du nombre de masse A . On le note ${}^A_Z X$.

Exemple : ${}^{12}_6\text{C}$

1.5. Isotopie

Plusieurs nucléides peuvent avoir le même numéro atomique Z ; ils diffèrent alors par leur nombre de neutrons N et donc par leur nombre de masse A : ce sont des isotopes.

Exemple : ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{13}_6\text{C}$, ${}^{14}_6\text{C}$

1.6. Unité de masse atomique (u.m.a ou u)

C'est le douzième de la masse de l'atome de carbone 12.

Elle est adaptée à la mesure de la masse des particules élémentaires.

$$1 \text{ u} = \frac{1}{12} m({}^{12}_6\text{C}) = \frac{1}{12} M({}^{12}_6\text{C}) \times n({}^{12}_6\text{C}) = \frac{1}{12} M({}^{12}_6\text{C}) \times \frac{1}{N_A} = \frac{1}{12} \times 12 \times 6,03 \cdot 10^{23} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

Ainsi on a : $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

2) RADIOACTIVITÉ NATURELLE OU SPONTANÉE

2.1) Définition

- C'est la désintégration (ou décomposition) spontanée des noyaux instables.
- L'équation générale de la désintégration ${}^A_ZX \longrightarrow {}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2$ suit les lois de :
 - Conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie cinétique : $\Delta E_c = 0$;
 - Conservation du nombre de masse : $A = A_1 + A_2$;
 - Conservation du nombre de charge : $Z = Z_1 + Z_2$.
- Les différents types de radioactivité spontanée sont :
 - La radioactivité α : ${}^A_ZX \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$
 - La radioactivité β^- : ${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$
 - La radioactivité β^+ : ${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e$
 - La radioactivité γ : ${}^{A_1}_{Z_1}Y^* \longrightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^0_0\gamma$
 noyau fils instable noyau fils stable

2.2) Décroissance radioactive

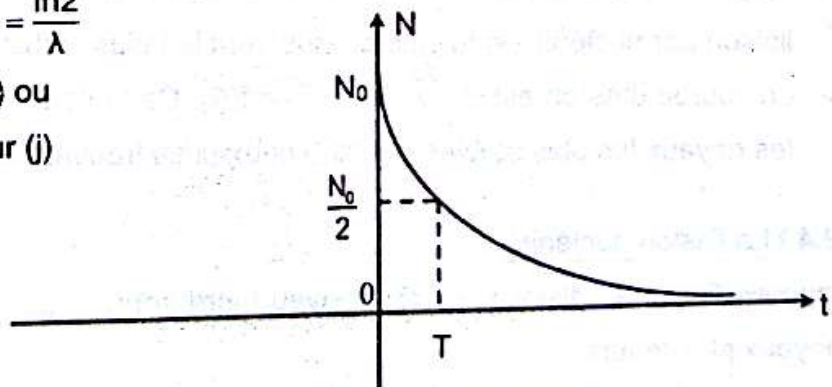
La loi de décroissance radioactive est donnée par la relation : $dN = -\lambda N dt \Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$

- N est le nombre de noyaux à l'instant t ;
- N_0 le nombre initial de noyaux (à t_0) ;
- dN le nombre de noyau désintégré pendant la durée dt ;
- λ constante radioactive en s^{-1} .

2.3) Période radioactive ou demi-vie d'un nucléide radioactif

Elle est notée T et est égale au temps nécessaire pour que la moitié des noyaux initiaux N_0 de ce nucléide soit désintégrée : $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$

avec T exprimée en seconde (s) ou minute (min) ou heure (h) ou jour (j) ou mois (m) ou année (an).



2.4) Activité d'une source radioactive

C'est le nombre de désintégrations par seconde.

On la note A ou a et elle s'exprime en Becquerel (Bq).

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} \quad \text{avec} \quad A_0 = \lambda N_0$$

3) RADIOACTIVITÉ PROVOQUÉE**3.1) Défaut de masse**

Pour un noyau A_ZX , on définit le défaut de masse Δm telle que :

$$\Delta m = (Z \cdot m_{\text{proton}} + N \cdot m_{\text{neutron}}) - m_{\text{noyau}} = (Z \cdot m_{\text{proton}} + (A - Z) \cdot m_{\text{neutron}}) - m_{\text{noyau}} \quad \text{avec } \Delta m > 0$$

Il peut s'exprimer en kg, en u ou en $\text{MeV} \cdot c^{-2}$ avec $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$.

3.2) Énergie de liaison

C'est l'énergie qu'il faut fournir au noyau pour le dissocier en ses nucléons, qui s'attirent du fait de l'interaction. Ainsi sa masse augmente de Δm et son énergie de $\Delta m \cdot c^2$.

On en déduit que l'énergie de liaison d'un noyau a pour expression : $E_L = \Delta m \cdot c^2$

- o E_L : énergie de liaison du noyau en joules (J) ;
- o Δm : masse du système en kilogrammes (kg) ;
- o c : vitesse de la lumière dans le vide ($c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Remarque :

- E_L s'exprime usuellement en MeV avec $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.
- Lorsque le noyau se forme à partir de ses nucléons libres, le milieu extérieur reçoit l'énergie $E_L = |\Delta m| \cdot c^2$ (la masse du système diminue et $\Delta m < 0$).

3.3) Énergie de liaison par nucléon

C'est le quotient de son énergie de liaison par le nombre de ses nucléons. On la note E_A .

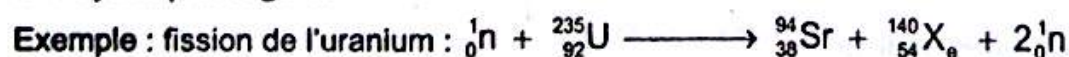
$$E_A = \frac{E_L}{A} \quad \text{où } E_A \text{ s'exprime MeV/nucléon.}$$

Remarque :

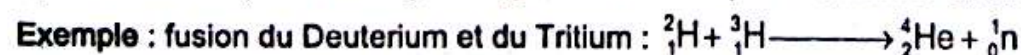
- E_A permet de comparer la stabilité des noyaux entre eux. Les noyaux dont l'énergie de liaison par nucléon est la plus grande sont les plus stables.
- La courbe d'Aston est la courbe $-E_A = f(A)$. Cette courbe permet de visualiser facilement les noyaux les plus stables puisque ceux-ci se trouvent au bas du graphe.

3.4) La fission nucléaire

On appelle fission la dislocation d'un noyau lourd sous l'action de bombardement neutronique en noyaux plus légers.

**3.5) La fusion nucléaire**

Il y a fusion lorsque deux noyaux légers s'unissent pour constituer un noyau plus lourd.



EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac série D 2002 Madagascar)

Le noyau d'Astate ${}_{85}^{211}\text{At}$ est radioactif de type α . La demi-vie du noyau est $T = 7$ heures.

- 1) a) Donner la composition du noyau ${}_{85}^{211}\text{At}$.
b) Ecrire l'équation traduisant la désintégration radioactive de l'Astate ${}_{85}^{211}\text{At}$.
- 2) On considère un échantillon contenant $N_0 = 4 \cdot 10^{21}$ noyaux radioactifs de l'Astate ${}_{85}^{211}\text{At}$ à l'instant $t = 0$ s.
 - a) Calculer l'activité radioactive de l'échantillon à l'instant $t_1 = 21$ heures.
 - b) Calculer la masse de l'échantillon restant à l'instant $t_2 = 14$ heures.

On donne : Extrait du tableau de la classification périodique : ${}^{83}\text{Bi}$ ${}^{84}\text{Po}$ ${}^{85}\text{At}$ ${}^{86}\text{Rn}$ ${}^{87}\text{Fr}$
 $M(\text{At}) = 211 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $\ln 2 = 0,69$; Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Exercice 2 (extrait Bac série D 2006 Madagascar)

- 1) On considère les 2 variétés ${}_{92}^{235}\text{U}$ et ${}_{92}^{238}\text{U}$ du radioélément d'Uranium.
 - a) Que peut-on dire de ces 2 variétés ?
 - b) Calculer l'énergie de liaison par nucléon de l'Uranium 235 en MeV / nucléon.
- 2) On considère la réaction suivante : ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{39}^{95}\text{Y} + {}_Z^A\text{I} + 2({}_0^1\text{n})$
Donner le nom de ce type de réaction puis déterminer A et Z.
- 3) La période radioactive de ${}_{39}^{95}\text{Y}$ est de 10 minutes. Un échantillon contient 10^6 noyau ${}_{39}^{95}\text{Y}$ à l'instant $t = 0$. Combien en restera-t-il au bout d'une heure ?

On donne : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$; Masse d'un proton : $m_p = 1,00727 \text{ u}$

Masse d'un neutron : $m_n = 1,00865 \text{ u}$; Masse d'un noyau d'uranium : $m({}_{92}^{235}\text{U}) = 234,9934 \text{ u}$

Exercice 3 (extrait Bac série D 2008 Madagascar)

Le noyau de sodium ${}_{11}^{24}\text{Na}$ est radioactif de type β^- . Sa constante radioactive est de $\lambda = 1,283 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. On précise que le noyau fils est obtenu dans un état excité.

- 1) Ecrire l'équation de désintégration du noyau de sodium ${}_{11}^{24}\text{Na}$.
- 2) Un échantillon contient une masse $m_0 = 4 \text{ mg}$ de noyau de sodium ${}_{11}^{24}\text{Na}$ à la date $t = 0$.
 - a) Exprimer sa période ou demi-vie T et en déduire sa valeur en heure.
 - b) Calculer, en becquerels, l'activité radioactive de l'échantillon à la date $t = 45$ heures.

On donne : - Extrait du tableau de classification périodique

Numéro atomique	9	10	11	12	13
Symbole	F	Ne	Na	Mg	Al

- Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

- Masse molaire atomique du sodium 24 : $M(\text{Na}) = 24 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Exercice 4

Le polonium est un élément métallique radioactif rare de symbole Po. Son numéro atomique est 84. Le Polonium 210 se désintègre en émettant des particules α (${}^4_2\text{He}$).

On donne un extrait de la classification périodique des éléments :

Symbole	Th	Pb	Bi	P	At
Numéro atomique	81	82	83	84	85

1. Écrire l'équation traduisant la désintégration de ce noyau.
2. Soit $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs d'un échantillon de polonium, non désintégrés à la date t . A $t = 0$, on note N_0 le nombre de noyaux radioactifs initial.

Un détecteur de radioactivité α associé à un compteur à affichage numérique permet d'effectuer les mesures regroupées dans le tableau ci-dessous :

t (jours)	0	40	80	120	160	200	240
$\frac{N(t)}{N_0}$	1	0,79	0,62	0,49	0,38	0,30	0,24
$-\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)$							

Compléter la ligne 3 du tableau ci-dessus.

3. a) Sur une feuille de papier millimétré, tracer la courbe $-\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = f(t)$ en respectant l'échelle :
 - ✓ en abscisse : 1 cm représente 20 jours ;
 - ✓ en ordonnées : 1 cm représente 0,1.
- b) Rappeler la loi de décroissance du nombre de noyaux non désintégrés d'un échantillon contenant initialement N_0 noyaux.
- c) Est-elle en accord avec la représentation graphique précédente ?
Justifier la réponse.
4. Calculer la pente du graphe et déterminer λ constante de radioactivité caractéristique de l'isotope 210 du Polonium. Quelle est l'unité de λ ?
5. Donner l'expression de la durée de demi-vie de l'échantillon notée $t_{1/2}$ et la calculer.
6. Retrouver graphiquement la valeur de la durée de demi-vie de l'échantillon.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1 (extrait Bac série C session 2007 Cameroun)

On étudie la radioactivité du nucléide ${}_{91}^{241}\text{Am}$ de l'américium qui est un émetteur α . Le noyau fils est le neptunium ${}^x_y\text{Np}$.

1. Écrire l'équation de la réaction en précisant les valeurs de x et de y.
2. On donne ci-après en u (unité de masse atomique), les masses des atomes et des particules participant à la réaction :

Nucléide	Masse en u
${}_{91}^{241}\text{Am}$	$M_1 = 241,057$
${}^x_y\text{Np}$	$M_2 = 237,048$
${}^4_2\text{He}$	$M_3 = 4,001$

Prendre : c (célérité de la lumière) = $3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. On donne : $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Calculer en u, la variation de masse Δm accompagnant cette réaction.

3. On définit, pour comparer le contenu énergétique de différents "combustibles", la tonne équivalent pétrole (tep) qui vaut $4,2 \cdot 10^{10} \text{ J}$ et correspond à l'énergie libérée par la combustion d'une tonne de pétrole.
 - a) Calculer l'énergie libérée lors de la désintégration de 15 mg d'américium.
 - b) Quelle quantité de pétrole faudra-t-il brûler pour obtenir autant d'énergie que dans la désintégration des 15 mg d'américium ?

Exercice 2 (extrait Bac série C session 2009 Cameroun)

Le carbone 14 isotope du carbone 12 est un émetteur β^- .

1. Écrire l'équation de la réaction.

Extrais du tableau périodique :

${}^1_5\text{B}$	${}^{12}_6\text{C}$	${}^{14}_7\text{Na}$	${}^{16}_8\text{O}$	${}^{19}_9\text{F}$
------------------	---------------------	----------------------	---------------------	---------------------

2. Citer les lois utilisées.
3. Vous voulez déterminer l'âge de la maison de votre arrière grand-père. A l'aide d'un appareil approprié vous mesurez l'activité A du carbone 14 contenu dans le bois de la charpente. Une revue scientifique vous produit la valeur A_0 de l'activité de ce bois au moment de la construction de la maison. En calculant le rapport $\frac{A}{A_0}$ vous trouvez 0,98. La demi-vie du carbone 14 vaut 5570 ans. Déterminer l'âge de la maison en question.

Exercice 3 : (extrait Bac série E session Juin 2009 Cameroun)

Le nucléide du cadmium $^{107}_{48}\text{Cd}$ est radioactif β^+ . Sa période est $T = 6 \text{ h } 42 \text{ min}$.

1. Qu'est-ce que la période d'un élément radioactif ?
2. Ecrire l'équation-bilan de la désintégration de ce nucléide.
3. Cette réaction s'accompagne de l'émission d'un rayonnement γ , d'énergie $E = 0,0933 \text{ MeV}$. Expliquer brièvement la cause de ce rayonnement et calculer sa longueur d'onde. (T° C & E uniquement).
4. Un échantillon de $^{107}_{48}\text{Cd}$ a une masse m_0 à la date $t = 0$.

Quelle fraction de m_0 sera-t-il désintégré au bout de 20 h 6 min ?

5. Citer une application de la radioactivité.

Données : Constante de Planck : $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Célérité de la lumière dans le vide : $3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

Extrait du tableau périodique des éléments : ^{45}Rh ; ^{46}Pd ; ^{47}Ag ; ^{48}Cd ; ^{49}In ; ^{50}Sn ; ^{51}Sb

Exercice 4 (Extrait Bac D Session Normale 1995 Côte d'Ivoire)

Le nucléide $^{210}_{84}\text{Po}$ est radioactif : c'est un émetteur α .

1. Ecrire l'équation de la désintégration d'un noyau de polonium $^{210}_{84}\text{Po}$, en précisant les lois utilisées. On donne : $^{82}_{82}\text{Pb}$; $^{83}_{83}\text{Bi}$; $^{84}_{84}\text{Po}$; $^{85}_{85}\text{At}$; $^{86}_{86}\text{Rn}$
2. Calculer l'énergie libérée (en MeV) par la désintégration d'un noyau de polonium.
On donne : $1 \cdot u = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}\cdot\text{c}^{-2}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $M_\alpha = 4,00150 \text{ u}$;
 $m(^{210}_{84}\text{Po}) = 209,9368 \text{ u}$; $m(\text{noyau fils}) = 205,9295 \text{ u}$.
3. A une date $t = 0$, un échantillon de polonium contient N_0 noyaux radioactifs. A une date t on détermine le nombre N de noyaux non désintégrés. On obtient les résultats suivants :

t(jours)	0	40	80	100	120	150
$\frac{N}{N_0}$	1	0,82	0,67	0,61	0,55	0,47

- a. Définir la période radioactive T d'un radionucléide. Le tableau précédent permet de donner un encadrement de celle du polonium ; lequel ?

- b. Tracer la courbe $-\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = f(t)$.

Echelle : $1 \text{ cm} \leftrightarrow 0,05$ unité de $-\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = f(t)$ et $1 \text{ cm} \leftrightarrow 10 \text{ j}$.

- c. En déduire la valeur de la période T .
- d. Etablir l'expression de la constante radioactive λ en fonction de T . Calculer λ .

Exercice 5 (extrait Bac séries S1 & S3 session 2013 Sénégal)

Le cobalt ${}^{60}_{27}\text{Co}$ radioélément très utilisé en médecine pour le traitement du cancer (« bombe au cobalt ») est obtenu par bombardement neutronique du cobalt « naturel » ${}^{59}_{27}\text{Co}$.

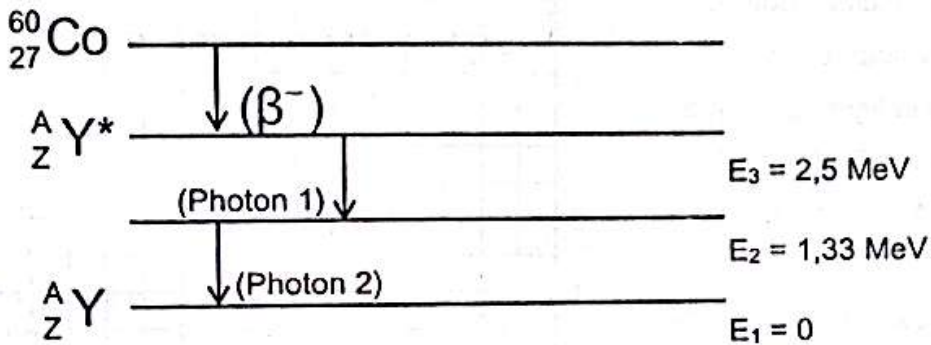
- 1) Ecrire l'équation de production du cobalt ${}^{60}_{27}\text{Co}$.
- 2) Le cobalt ${}^{60}_{27}\text{Co}$ est radioactif β^- et a une constante radioactive $\lambda = 4.10^{-9} \text{ s}^{-1}$.

Ecrire l'équation de la réaction de désintégration de ${}^{60}_{27}\text{Co}$

Extrait de la classification périodique : ${}_{25}\text{Mn}$ ${}_{26}\text{Fe}$ ${}_{27}\text{Co}$ ${}_{28}\text{Ni}$ ${}_{29}\text{Cu}$

- 3) Le noyau fils Y est obtenu à l'état excité d'énergie $E_3 = 2,50 \text{ MeV}$.

Sa désexcitation s'effectue en deux étapes comme indiqué ci-dessous :



Calculer les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 des deux photons émis au cours de la désexcitation du noyau fils Y. (T[°] C & E uniquement).

- 4) Un centre hospitalier dispose d'un échantillon de « cobalt 60 » de masse $m_0 = 1 \mu\text{g}$
 - 4.1. Déterminer le nombre de noyau N_0 contenus dans l'échantillon à la date $t = 0$.
 - 4.2. Soit $N(t)$ le nombre de noyaux présents dans l'échantillon à la date t .
Etablir la relation $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$.
 - 4.3. Le technicien du laboratoire est chargé de contrôler cette source, tous les ans, en déterminant son activité.
 - 4.3.1. Définir l'activité $A(t)$ d'une substance radioactive puis l'exprimer en fonction de A_0 (activité à $t = 0$), λ et t .
 - 4.3.2. Le technicien obtient les résultats suivants :

t (ans)	0	1	2	3	4	5	7
A (10^7 Bq)	3,980	3,515	3,102	2,670	2,368	2,038	1,540
lnA							

- a) Recopier puis compléter le tableau et tracer le graphe $\ln A = f(t)$.
- b) En déduire la constante radioactive λ du « cobalt 60 ».

On donne : Constante d'Avogadro $N_A = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $M({}^{60}_{27}\text{Co}) = 60 \text{ g.mol}^{-1}$

Célérité de la lumière $C = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$; Constante de Planck : $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$

Exercice 6 (Bac section maths + sces exp session de contrôle 2009 Tunisie)

1. L'argent $^{108}_{47}\text{Ag}$ se désintègre spontanément en un noyau de cadmium $^{108}_{48}\text{Cd}$.

La transformation nucléaire s'accompagne de l'émission d'une particule X.

a) Écrire l'équation de la réaction nucléaire et préciser les lois utilisées ainsi que la nature de la particule X

b) La réaction nucléaire considérée est-elle provoquée ou spontanée ?

c) Expliquer l'origine de la particule X.

2. Dans le but de déterminer la période radioactive T de l'argent 108, on étudie expérimentalement l'évolution de l'activité A d'un échantillon d'argent 108 au cours du temps. Les résultats obtenus

ont permis de tracer le graphe

$\text{Log } A = f(t)$ de la figure ci-contre.

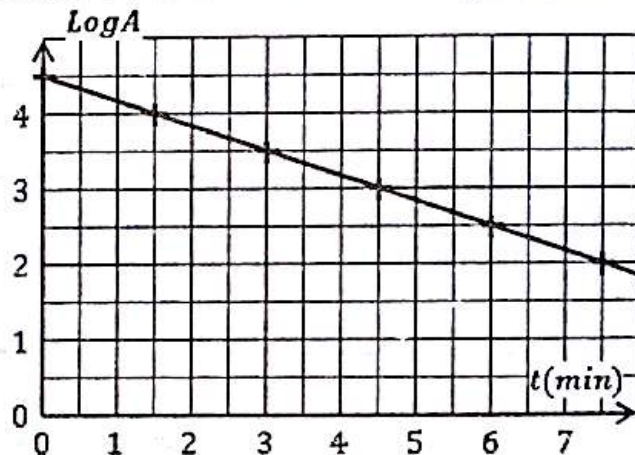
Sachant que l'activité A s'écrit

sous la forme $A = A_0 e^{-\lambda t}$, où A_0

est l'activité de l'échantillon à

l'instant $t = 0$ et λ est la constante

radioactive de l'argent 108 :



a) en déterminant l'expression théorique de $\text{Log } A$ en fonction du temps, expliquer l'allure de la courbe de la figure ci-contre ;

b) définir la période d'une substance radioactive et déterminer son expression en fonction de la constante λ ;

c) déterminer à partir du graphe $\text{Log } A = f(t)$, la constante radioactive λ et en déduire la valeur de la période radioactive T de l'argent 108.

3. Déterminer l'activité initiale A_0 de l'argent 108 et en déduire le nombre N_0 de noyaux initialement présents dans l'échantillon d'argent 108.

On donne :

➤ proton : ^1_1P

➤ neutron : ^1_0P

➤ électron : $^0_{-1}\text{e}$

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac série D 2002 Madagascar)1) a) Donnons la composition du noyau ${}_{85}^{211}\text{At}$.Ce noyau est composé de $A = 211$ nucléons dont :

- > $Z = 85$ protons ;
- > $N = A - Z = 211 - 85 = 126$ neutrons.

b. Equation traduisant la désintégration radioactive de l'Astate ${}_{85}^{211}\text{At}$.De manière générale on a : ${}_{85}^{211}\text{At} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + {}_Z^A\text{Y}$

Appliquons les lois de conservation de la charge et du nombre de masse :

- Nombre de masse : $211 = 4 + A$ donc $A = 211 - 4 = 207$
- Charge électrique : $85 = 2 + Z$ donc $Z = 85 - 2 = 83$ d'où d'après l'extrait du tableau de la classification périodique le noyau fils est le bismuth Bi.

L'équation de désintégration devient donc : ${}_{85}^{211}\text{At} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{83}^{207}\text{Bi}$ 2) Un échantillon contient $N_0 = 4 \cdot 10^{21}$ noyaux radioactifs de l'Astate ${}_{85}^{211}\text{At}$ à l'instant $t = 0$ s.a) Calculons l'activité radioactive de l'échantillon à l'instant $t_1 = 21$ heures.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \Rightarrow \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \Rightarrow [\ln N]_{N_0}^N = -\lambda [t]_0^t \Rightarrow \ln N - \ln N_0 = -\lambda(t-0)$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t}$$

À $t_1 = 21$ h, on a : $21 \text{ h} = 3 \times 7 \text{ h}$ donc $t_1 = 3T$

$$\Rightarrow A_1 = A_0 e^{-\lambda t_1} = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} \times 3T} = \lambda N_0 e^{-3 \ln 2} = \frac{\ln 2}{T} N_0 e^{\ln(2^{-3})} = 2^{-3} \times \frac{\ln 2}{T} N_0 = \frac{1}{2^3} \times \frac{\ln 2}{T} N_0$$

$$\Rightarrow A_1 = \frac{\ln 2}{T} \times \frac{N_0}{2^3} = \frac{0,69}{7 \times 3600} \times \frac{4 \cdot 10^{21}}{8} \approx \underline{1,37 \cdot 10^{16} \text{ Bq}}$$

b) Calculons la masse de l'échantillon restant à l'instant $t_2 = 14$ heures.

$$\left. \begin{aligned} m &= n \times M(\text{At}) = \frac{N}{N_a} \times M(\text{At}) \\ m_0 &= n_0 \times M(\text{At}) = \frac{N_0}{N_a} \times M(\text{At}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{m}{m_0} = \frac{\frac{N}{N_a} \times M(\text{At})}{\frac{N_0}{N_a} \times M(\text{At})} = \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow m = m_0 e^{-\lambda t}$$

À $t_2 = 14$ h, on a : $14 \text{ h} = 2 \times 7 \text{ h}$ donc $t_2 = 2T$

$$\Rightarrow m_2 = m_0 e^{-\lambda t_2} = m_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} \times 2T} = m_0 e^{-2 \ln 2} = m_0 e^{\ln(2^{-2})} = 2^{-2} \times m_0 = \frac{1}{2^2} \times \frac{N_0}{N_a} \times M(\text{At})$$

$$\Rightarrow m_2 = \frac{N_0}{N_a} \times \frac{M(\text{At})}{2^2} = \frac{4 \cdot 10^{21}}{6,02 \cdot 10^{23}} \times \frac{211}{4} = \underline{0,367 \text{ g}}$$

Exercice 2 (extrait Bac série D 2006 Madagascar)

1) On considère les 2 variétés $^{235}_{92}\text{U}$ et $^{238}_{92}\text{U}$ du radioélément d'Uranium.

a) Nom de ces 2 variétés de l'uranium

Ces deux variétés sont des isotopes de l'uranium.

b) Calculons l'énergie de liaison par nucléon de l'Uranium 235 en MeV / nucléon.

$$E_A = \frac{E_l}{A} = \frac{\Delta mc^2}{A} \text{ avec } \Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{noyau}} = Zm_p + (A - Z)m_n - m(^{235}_{92}\text{U})$$

$$E_A = \frac{1}{235} \times (92 \times 1,00727 + (235 - 92) \times 1,00865 - 234,993) \times 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

$$E_A = 7,582 \text{ MeV/nucléon}$$

2) On considère la réaction suivante : $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{95}_{39}\text{Y} + {}^{139}_{53}\text{I} + 2({}^1_0\text{n})$

Donnons le nom de ce type de réaction puis déterminons A et Z.

Il s'agit d'une réaction de fission nucléaire.

➤ Conservation du nombre de masse :

$$235 + 1 = 95 + A + 2 \times 1 \Rightarrow A = 235 + 1 - 95 - 2 \Rightarrow A = 139$$

➤ Conservation de charge : $92 + 0 = 39 + Z + 2 \times 0 \Rightarrow Z = 92 - 39 \Rightarrow Z = 53$

3) La période radioactive de $^{95}_{39}\text{Y}$ est de 10 minutes. Nombre du noyau restant à $t = 1$ heure.

À $t = 1 \text{ h} = 60 \text{ min}$, on a : $60 \text{ min} = 6 \times 10 \text{ min}$ donc $t = 6T$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot 6T} = N_0 e^{-6 \ln 2} = N_0 e^{\ln(2^{-6})} = 2^{-6} \times N_0 = \frac{N_0}{2^6}$$

$$\text{Application numérique : } N = \frac{10^6}{2^6} = \frac{10^6}{64} = \underline{15625 \text{ noyaux}}$$

Exercice 3 (extrait Bac série D 2008 Madagascar)

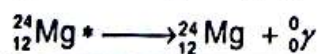
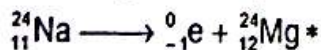
1) Equation de désintégration du noyau de sodium $^{24}_{11}\text{Na}$.

De manière générale on a : $^{24}_{11}\text{Na} \longrightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^A_Z\text{Y}$

Appliquons les lois de conservation de la charge et du nombre de masse :

• Nombre de masse : $24 = A + 0$ donc $A = 24$

• Charge électrique : $11 = Z - 1$ donc $Z = 12$ d'où le noyau fils est le magnésium Mg.



2) Un échantillon contient une masse $m_0 = 4 \text{ mg}$ de noyau de sodium $^{24}_{11}\text{Na}$ à la date $t = 0$.

a) Exprimons sa période ou demi-vie T et déduisons sa valeur en heure.

$$\left. \begin{array}{l} N = N_0 e^{-\lambda t} \\ \text{à } t = T, N = \frac{N_0}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \Rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda T \Rightarrow -\ln 2 = -\lambda T \Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\text{Application numérique : } T = \frac{\ln 2}{1,283 \cdot 10^{-5}} = 54025,50 \text{ s} \Rightarrow T = \frac{54025,50}{3600} = \underline{15 \text{ h}}$$

b) Calculons, en becquerels, l'activité radioactive de l'échantillon à la date $t = 45$ heures.

À $t = 45$ h, on a : $45 \text{ h} = 3 \times 15 \text{ h}$ donc $t = 3T$

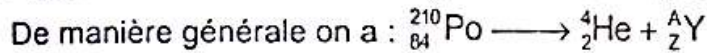
$$A = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} \times 3T} = \lambda N_0 e^{-3 \ln 2} = \lambda N_0 e^{\ln(2^{-3})} = 2^{-3} \times \lambda N_0 = \frac{\lambda N_0}{2^3}$$

$$\text{Or } m_0 = \frac{N_0}{N_a} \times M(\text{Na}) \Rightarrow N_0 = \frac{m_0 N_a}{M(\text{Na})}$$

$$\Rightarrow A = \frac{\lambda}{2^3} N_0 = \frac{\lambda}{2^3} \times \frac{m_0 N_a}{M(\text{Na})} = \frac{1,283 \cdot 10^{-5}}{8} \times \frac{4 \cdot 10^{-3} \times 6,02 \cdot 10^{23}}{24} = \underline{1,6 \cdot 10^{14} \text{ Bq}}$$

Exercice 4

1. Équation traduisant la désintégration de ce noyau.



Appliquons les lois de conservation de la charge et du nombre de masse :

- Nombre de masse : $210 = 4 + A$ donc $A = 210 - 4 = 206$
- Charge électrique : $84 = 2 + Z$ donc $Z = 84 - 2 = 82$ d'où d'après l'extrait du tableau de la classification périodique le noyau fils est le plomb Pb.

L'équation de désintégration devient donc : ${}_{84}^{210}\text{Po} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{82}^{206}\text{Pb}$

2. Complétons la ligne 3 du tableau.

t (jours)	0	40	80	120	160	200	240
$\frac{N(t)}{N_0}$	1	0,79	0,62	0,49	0,38	0,30	0,24
$-\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)$	0	0,24	0,48	0,71	0,97	1,20	1,43

3. a) Tracé de la courbe $-\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = f(t)$: voir courbe ci-après à la page suivante.

b) Rappelons la loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

c) Montrons si elle est en accord avec la représentation graphique précédente

Oui la loi de décroissance est en accord avec la représentation graphique .

Justification de la réponse.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\lambda t \Rightarrow -\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = \lambda t$$

L'équation est de la forme $y = kx$ qui est celle d'une droite qui passe par l'origine.

4. Calculons la pente k et déterminons la constante radioactive λ ainsi que son unité.

D'après l'équation de la droite, la pente k correspond ici à la constante radioactive λ .

$$\text{Donc on a : } k = \lambda = \frac{\Delta\left[-\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)\right]}{\Delta t} = \frac{1,2 - 0}{200 - 0} = \frac{1,2}{200} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ j}^{-1}$$

La constante radioactive λ est exprimée en j^{-1} car le temps t est en jours.

5. Donnons l'expression de la durée de demi-vie de l'échantillon notée $t_{1/2}$ et calculons-la.

$$\text{à } t = t_{1/2}, N(t) = \frac{N_0}{2} \Rightarrow -\ln\left(\frac{N_0/2}{N_0}\right) = \lambda t_{1/2} \Rightarrow -\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \lambda t_{1/2} \Rightarrow \ln 2 = \lambda t_{1/2} \Rightarrow t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

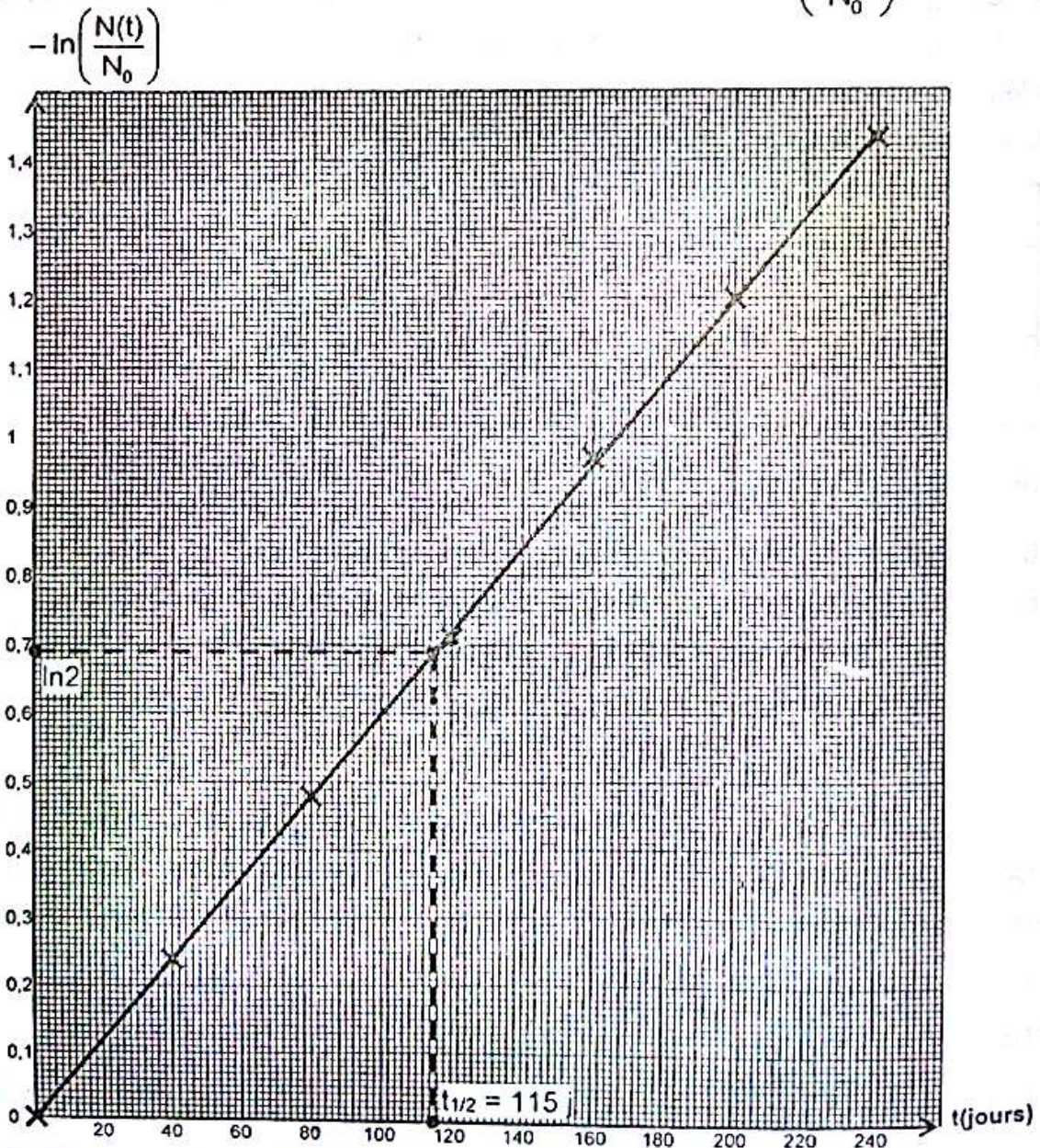
Application numérique : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{6 \cdot 10^{-3}} = \underline{115,5 \text{ j}}$

6. Retrouvons graphiquement la valeur de la durée de demi-vie de l'échantillon

à $t = t_{1/2}$, $N(t) = \frac{N_0}{2} \Rightarrow -\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = \ln 2$; On trouve graphiquement $t_{1/2} = 115 \text{ j}$.

courbe $-\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = f(t)$

Echelle : 1 cm pour 20 jours et 1 cm pour 0,1 unité de $-\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)$.





Søren Peder Lauritz Sørensen
(9 janvier 1868 à Havrebjerg au Danemark - 12 février 1939)
Chimiste Danois

Il est connu pour l'introduction du concept de pH, l'échelle permettant de mesurer l'acidité ou la basicité. De 1901 à 1938, il dirige le laboratoire de Carlsberg à Copenhague. Il commence bientôt à étudier les acides aminés, les protéines, les enzymes et notamment l'effet de la concentration des ions dans l'analyse de ces protéines. La concentration des ions hydrogène jouant un rôle central dans les réactions enzymatiques, il trouve un moyen simple d'exprimer celle-ci : il s'aperçoit qu'une échelle convenable peut être établie en prenant l'opposé du logarithme décimal de la concentration de ces ions. C'est ainsi qu'en 1909, il introduit le concept du potentiel hydrogène. Dans l'article où il introduit cette échelle, il utilise la notation pH et décrit deux nouvelles méthodes pour mesurer l'acidité. La première utilise des électrodes tandis que la seconde consiste à comparer la couleur d'échantillons à un ensemble d'indicateurs de référence.

Objectifs spécifiques

- Énoncer quelques propriétés de l'eau.
- Déterminer expérimentalement le pH d'une solution aqueuse.

RAPPEL DE COURS

1) Quelques ions monoatomiques

Formule	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Br^-	Zn^{2+}
Nom	ion cuivre II	ion fer II ou ion ferreux	ion fer III ou ion ferrique	ion bromure	ion zinc

Formule	Al^{3+}	Ca^{2+}	K^+	Cl^-	Na^+
Nom	ion aluminium	ion calcium	ion potassium	ion chlorure	ion sodium

2) Quelques ions polyatomiques

Formule	OH^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}
Nom	ion hydroxyde	ion nitrate	ion sulfate	ion carbonate

Formule	NH_4^+	H_3O^+	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	MnO_4^-
Nom	ion ammonium	ion hydronium	ion bichromate	ion permanganate

3) Les composés ioniques

3.1. Nom

On donne d'abord le nom de l'anion suivi de celui du cation.

Exemple : chlorure de sodium (NaCl)

L'anion est l'ion chlorure (Cl^-) et le cation est l'ion sodium (Na^+).

3.2. Quelques exemples

Nom	Chlorure de sodium	Sulfate de cuivre	Carbonate de sodium	Chlorure d'ammonium
Formule ionique	$(\text{Na}^+, \text{Cl}^-)$	$(\text{Cu}^{2+}, \text{SO}_4^{2-})$	$(2\text{Na}^+, \text{CO}_3^{2-})$	$(\text{NH}_4^+, \text{Cl}^-)$
Formule statistique	NaCl	CuSO_4	Na_2CO_3	NH_4Cl

Nom	Chlorure de baryum	Hydroxyde de Fer III	Nitrate d'argent	Sulfate de sodium
Formule ionique	$(\text{Ba}^{2+}, 2\text{Cl}^-)$	$(\text{Fe}^{3+}, 3\text{OH}^-)$	$(\text{Ag}^+, \text{NO}_3^-)$	$(2\text{Na}^+, \text{SO}_4^{2-})$
Formule statistique	BaCl_2	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	AgNO_3	Na_2SO_4

Nom	Hydroxyde de cuivre II	Chlorure de fer III	Bichromate de potassium	Sulfate d'aluminium
Formule ionique	$(\text{Cu}^{2+}, 2\text{OH}^-)$	$(\text{Fe}^{3+}, 3\text{Cl}^-)$	$(2\text{K}^+, \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$	$(2\text{Al}^{3+}, 3\text{SO}_4^{2-})$
Formule statistique	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	FeCl_3	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

4) Tableau récapitulatif des tests d'identification de quelques ions

	Ion testé	Réactif utilisé (solution employée)	Observations Équation bilan de la réaction
Cations	Ion argent Ag^+	Ion chlorure Cl^- (chlorure de sodium)	Précipité blanc de chlorure d'argent qui noircit à la lumière. $Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl$
	Ion baryum Ba^{2+}	Ion sulfate SO_4^{2-} (Sulfate de zinc)	Précipité blanc de sulfate de baryum $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \longrightarrow BaSO_4$
	Ion sodium Na^+	La flamme	Flamme jaune
	Ion cuivre Cu^{2+}	<ul style="list-style-type: none"> La flamme Ion hydroxyde OH^- (hydroxyde de sodium) 	<ul style="list-style-type: none"> Flamme bleu-verte Précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II qui se dissout dans un excès d'ammoniaque. $Cu^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Cu(OH)_2$
	Ion fer II Fe^{2+}	Ion hydroxyde OH^- (hydroxyde de sodium)	Précipité vert d'hydroxyde de fer II $Fe^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2$
	Ion fer III Fe^{3+}	Ion hydroxyde OH^- (hydroxyde de sodium)	Précipité rouille d'hydroxyde de fer III $Fe^{3+} + 3OH^- \longrightarrow Fe(OH)_3$
	Ion zinc Zn^{2+}	Ion hydroxyde OH^- (hydroxyde de sodium)	Précipité blanc d'hydroxyde de zinc qui se dissout dans un excès d'hydroxyde de sodium. $Zn^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2$
Anions	Ion chlorure Cl^-	Ion argent Ag^+ (nitrate d'argent)	Précipité blanc de chlorure d'argent qui noircit à la lumière. $Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl$
	Ion hydroxyde OH^-	Ion métallique M^{n+} (solution ion métallique) Ex : ion cuivre II Cu^{2+} (Sulfate de cuivre II)	Précipité d'hydroxyde de métal M $M^{n+} + nOH^- \longrightarrow M(OH)_n$ Ex : précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II $Cu^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Cu(OH)_2$
	Ion sulfate SO_4^{2-}	Ion baryum Ba^{2+} (chlorure de baryum)	Précipité blanc de sulfate de baryum $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \longrightarrow BaSO_4$
	Ion carbonate CO_3^{2-}	Acide sulfurique ($SO_4^{2-}, 2H^+$)	Dégagement de dioxyde de carbone qui trouble l'eau de chaux. $CO_3^{2-} + 2H^+ \longrightarrow CO_2 + H_2O$
	Ion nitrate NO_3^-	métal cuivre Cu + acide nitrique (H^+, NO_3^-)	Coloration bleue de la solution et dégagement de vapeurs rouges de dioxyde d'azote NO_2 .
	Ion phosphate PO_4^{3-}	Ion argent Ag^+ (nitrate d'argent)	Précipité jaunâtre de phosphate d'argent. $3Ag^+ + PO_4^{3-} \longrightarrow Ag_3PO_4$

Edition 2017

5) Masse molaire et quantité de matière

La masse molaire M d'une espèce donnée est la masse d'une mole de cette espèce.

La quantité de matière n d'une espèce donnée est le nombre de mole de cette espèce.

Elles sont liées par la relation suivante : $n = \frac{m}{M}$ ou $M = \frac{m}{n}$

- m : la masse de l'espèce chimique en g ;
- n : la quantité de matière de l'espèce chimique en mol ;
- M : la masse molaire de l'espèce chimique en g/mol.

6) Les solutions aqueuses**6.1) Définition**

Une solution aqueuse est un mélange homogène dans lequel l'eau est le solvant.

Le corps dissous est appelé soluté et l'opération est appelée dissolution.

6.2) Effet thermique

La dissolution d'un composé ionique peut être :

- athermique : se fait à une température constante ;
- exothermique : se fait avec une élévation de température ;
- endothermique : se fait avec une diminution de température.

6.3) Réaction chimique**a) Equation bilan**

L'équation-bilan d'une réaction chimique traduit une relation de proportionnalité entre les quantités de matières des réactifs ayant effectivement réagi et des produits formés.

Soit le composé ionique solide AB_s .

L'équation-bilan de sa dissolution dans l'eau est donnée par : $AB_s \xrightarrow{H_2O} A_{aq}^+ + B_{aq}^-$

Exemple : on dissout le chlorure de calcium dans l'eau ; on obtient une solution aqueuse.

L'équation-bilan s'écrit : $CaCl_2 \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+} + 2Cl^-$

b) Bilan molaire

Soit la réaction d'équation-bilan : $aA + bB \rightarrow cC + dD$

Soient n_A , n_B , n_C et n_D les quantités de matière respectives de A, B, C et D

Le bilan molaire de la réaction s'écrit : $\frac{n_A}{a} = \frac{n_B}{b} = \frac{n_C}{c} = \frac{n_D}{d}$

Exemple : $CaCl_2 \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+} + 2Cl^-$

Le bilan molaire de la réaction s'écrit : $\frac{n(CaCl_2)}{1} = \frac{n(Ca^{2+})}{1} = \frac{n(Cl^-)}{2}$

c) Proportions stœchiométriques

Les proportions définies par l'équation-bilan de la réaction sont appelées proportions stœchiométriques.

- Une réaction est dans les proportions stœchiométriques si les réactifs sont pris dans les proportions de l'équation-bilan. Dans ce cas une réaction totale consomme entièrement tous les réactifs et les produits sont obtenus en quantités proportionnelles aux coefficients stœchiométriques.
- Si les réactifs ne sont pas dans les proportions stœchiométriques, l'un d'eux est en excès et l'autre en défaut, appelé réactif limitant. Dans ce cas une réaction totale ne consomme entièrement que le (ou les) réactif(s) en défaut ; le mélange final comporte alors les produits de la réaction mais aussi le(s) réactif(s) initialement en excès.

Exemple : considérons l'équation-bilan : $4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$

- Le mélange de 8 mol d'aluminium Al et de 6 mol de dioxygène O_2 est stœchiométrique car :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{n_{\text{Al}}}{4} = \frac{8}{4} = 2 \\ \frac{n_{\text{O}_2}}{3} = \frac{6}{3} = 2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{n_{\text{Al}}}{4} = \frac{n_{\text{O}_2}}{3}$$

La quantité d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) obtenue est :

D'après le bilan molaire de la réaction : $\frac{n_{\text{Al}}}{4} = \frac{n_{\text{O}_2}}{3} = \frac{n_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{2} \Rightarrow n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \times \frac{n_{\text{Al}}}{4} = 2 \times 2 = 4 \text{ mol}$

- Le mélange de 10 mol d'aluminium (Al) et de 9 mol de dioxygène (O_2) n'est pas stœchiométrique car :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{n_{\text{Al}}}{4} = \frac{10}{4} = 2,5 \\ \frac{n_{\text{O}_2}}{3} = \frac{9}{3} = 3 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{n_{\text{Al}}}{4} \neq \frac{n_{\text{O}_2}}{3}$$

Ainsi :

- le réactif en défaut est l'aluminium (Al) car $\frac{n_{\text{Al}}}{4} < \frac{n_{\text{O}_2}}{3}$;
- le réactif en excès est le dioxygène (O_2) car $\frac{n_{\text{O}_2}}{3} > \frac{n_{\text{Al}}}{4}$.

La quantité d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) obtenue est :

D'après le bilan molaire de la réaction : $\frac{n_{\text{Al}}}{4} = \frac{n_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{2} \Rightarrow n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \times \frac{n_{\text{Al}}}{4} = 2 \times 2,5 = 5 \text{ mol}$

Remarque : ici on travaille avec le réactif en défaut et non avec le réactif en excès.

6.4) Concentration molaire

La concentration molaire d'une espèce chimique A présente dans une solution de volume V est la quantité de matière de soluté par unité de volume : $C_A = [A] = \frac{n_A}{V}$

- C_A ou $[A]$: concentration molaire de l'espèce chimique A en mol/L ;
- n_A : quantité de matière du soluté A en mole(mol) ;
- V : volume de la solution en litres(L).

6.5) Concentration massique

La concentration massique d'une espèce chimique A présente dans une solution de volume V est la masse de soluté dissous par litre de solution : $\mathcal{C}_A = \frac{m_A}{V}$

- \mathcal{C}_A : concentration massique de espèce chimique A en g/L ;
- m_A : masse du soluté A en grammes (g) ;
- V : volume de la solution en litres (L).

Remarque : on montre que la masse molaire M_A , la concentration molaire C_A et la concentration massique \mathcal{C}_A d'une espèce A sont liées par la relation : $\mathcal{C}_A = M_A \times C_A$.

Démonstration : $\mathcal{C}_A = \frac{m_A}{V} = \frac{M_A \times n_A}{V} = M_A \times \frac{n_A}{V} = M_A \times C_A$

6.6) Solution commerciale

La concentration C d'une solution commerciale est donnée par : $C = \frac{\% \times \rho}{M}$

- C : concentration de la solution commerciale (en mol/L) ;
- % : pourcentage massique de soluté ;
- M : masse molaire du soluté (en g/mol) ;
- $\rho = \frac{m}{V}$ ou $\rho = d \times \rho_{\text{eau}}$: masse volumique du soluté (en g/L)

avec masse m (en g), volume V (en L), densité d (sans unité) et $\rho_{\text{eau}} = 10^3$ g/L.

6.7) Dilution

Diluer une solution, c'est diminuer la concentration des espèces chimiques qu'elle contient en lui ajoutant soit de l'eau pure soit une autre solution. Ainsi lors d'une dilution, la quantité de matière n de soluté ne varie pas. Ce qui donne : $n_f = n_i \Leftrightarrow C_f V_f = C_i V_i \Leftrightarrow C_f = \frac{C_i V_i}{V_f}$

où f représente la solution finale (solution diluée) et i la solution initiale (solution non diluée).

Remarque :

appelle rapport ou coefficient ou taux de dilution le nombre r tel que : $r = \frac{V_f}{V_i} = \frac{C_i}{C_f}$.

7) L'autoprotolyse de l'eau

7.1) Définition

Deux molécules d'eau peuvent réagir entre elles selon l'équation-bilan suivante :



7.2) Le produit ionique de l'eau

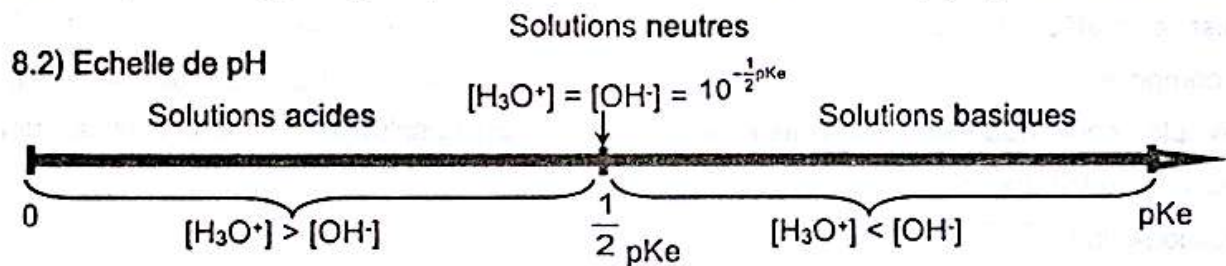
L'équation de l'autoprotolyse de l'eau est caractérisée par une constante K_e appelée produit ionique de l'eau telle que : $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]$. Cette constante est sans unité.

Remarque : K_e dépend de la température ; par exemple à 25°C , $K_e = 10^{-14}$.

8) pH des solutions aqueuses

8.1) Définition

Le pH d'une solution aqueuse et sa concentration en ion hydronium $[\text{H}_3\text{O}^+]$ sont liés par la relation : $\text{pH} = -\text{Log}[\text{H}_3\text{O}^+]$ ou $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$ avec $10^{-13} \text{ mol.L}^{-1} < [\text{H}_3\text{O}^+] < 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$



Remarque : $K_e = 10^{-pK_e}$; $pK_e = -\text{Log}K_e$

Le pH dépend de la température. Par exemple, à 25°C ($K_e = 10^{-14}$; $pK_e = 14$) :

- > si $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ alors la solution est acide et $\text{pH} < 7$;
- > si $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/L}$ alors la solution est neutre et $\text{pH} = 7$;
- > si $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ alors la solution est basique et $\text{pH} > 7$.

9) Electroneutralité d'une solution

9.1) Définition

Dans une solution aqueuse, la quantité de charge positive est égale à la quantité de charge négative : on dit que la solution est électriquement neutre.

9.2) Vérification

Dans une solution aqueuse :

- la concentration en charges apportées par un cation X^{n+} est $n \times [X^{n+}]$;
- la concentration en charges apportées par un anion X^{m-} est $m \times [X^{m-}]$.

Exemple : dans la solution aqueuse de sulfate de sodium Na_2SO_4 :

- un ion Na^+ a une seule charge positive donc $[\text{Charge}] = [\text{Na}^+]$;
- un ion SO_4^{2-} a deux charges négatives donc $[\text{Charge}] = 2 \times [\text{SO}_4^{2-}]$;
- l'équation de l'électroneutralité est : $[\text{Na}^+] = 2 \times [\text{SO}_4^{2-}]$.

10) Quelques indicateurs colorés courants

Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Phénolphtaléine	Incolore	8,2 – 10	Rose

11) Méthodes pratiques

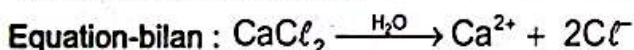
➤ Comment calculer la concentration molaire d'une espèce chimique dans une solution donnée ?

✓ Solution S de concentration C contenant l'espèce chimique X

La concentration molaire de l'espèce X est donnée par : $[X] = kC$

k est le coefficient stœchiométrique devant l'espèce X dans l'équation-bilan de dissolution du composé.

Exemple : concentration molaire des ions Ca^{2+} et Cl^- dans la solution de chlorure de calcium CaCl_2 de concentration C.



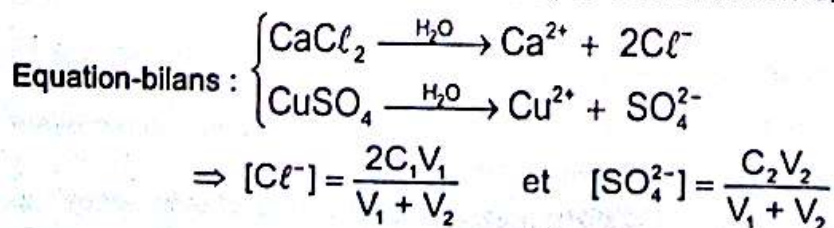
$$\Rightarrow [\text{Ca}^{2+}] = 1 \times C = C ; [\text{Cl}^-] = 2 \times C = 2C$$

✓ Mélange d'une solution S_1 de concentration C_1 et de volume V_1 contenant l'espèce X avec une solution S_2 de concentration C_2 et de volume V_2 ne contenant pas l'espèce X.

La concentration molaire de l'espèce X est donnée par : $[X] = \frac{kC_1V_1}{V_1 + V_2}$

k est le coefficient stœchiométrique devant l'espèce X dans l'équation-bilan de dissolution du composé contenant X.

Exemple : concentration molaire des ions Cu^{2+} et Cl^- dans la solution obtenue en mélangeant une solution S_1 de chlorure de calcium CaCl_2 de concentration C_1 et de volume V_1 avec une solution S_2 de sulfate de cuivre II CuSO_4 de concentration C_2 et de volume V_2 .

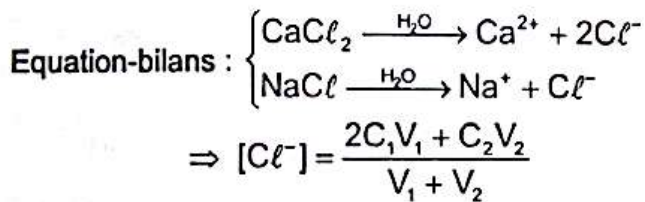


✓ Mélange d'une solution S_1 de concentration C_1 et de volume V_1 avec une solution S_2 de concentration C_2 et de volume V_2 toutes deux contenant l'espèce X.

La concentration molaire de l'espèce X est donnée par : $[X] = \frac{k_1 C_1 V_1 + k_2 C_2 V_2}{V_1 + V_2}$

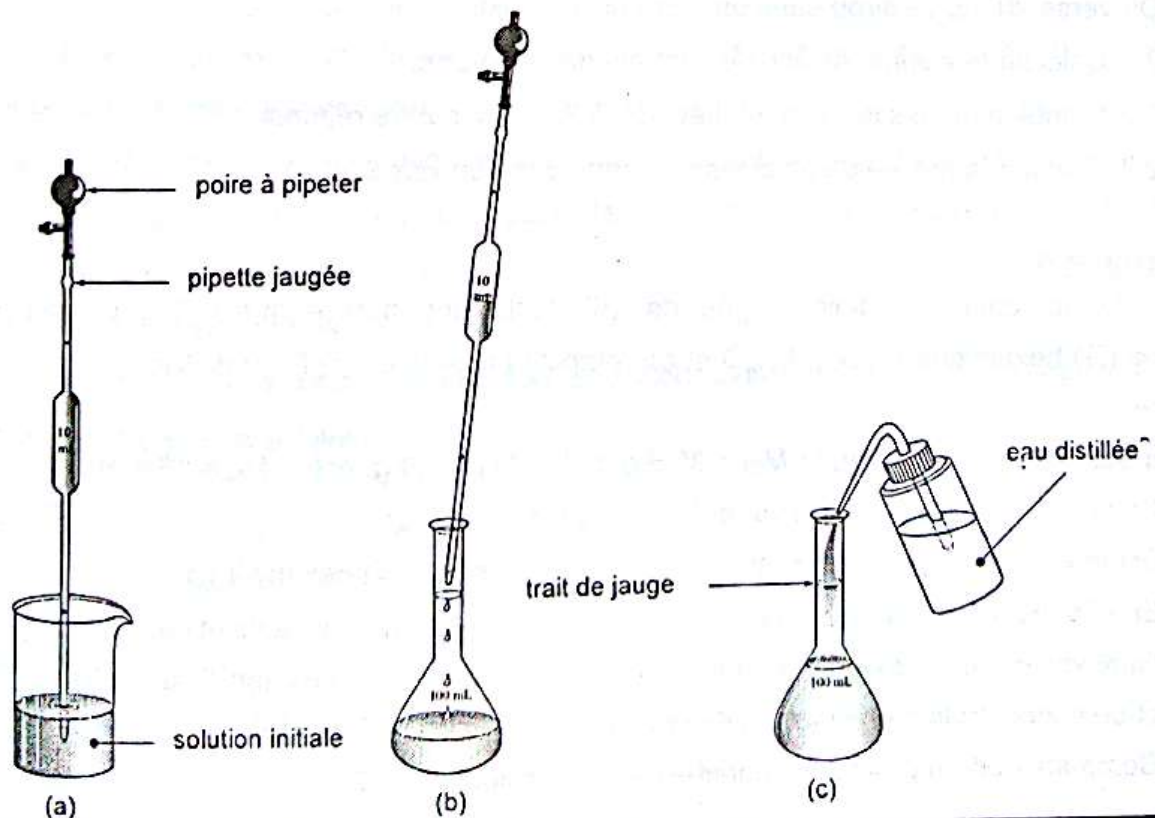
k_1 et k_2 sont les coefficients stœchiométriques respectifs devant l'espèce X dans l'équation bilan de dissolution des deux composés.

Exemple : concentration molaire des ions Cl^- dans la solution obtenue en mélangeant une solution S_1 de chlorure de calcium $CaCl_2$ de concentration C_1 et de volume V_1 avec une solution S_2 de chlorure de sodium $NaCl$ de concentration C_2 et de volume V_2 .



➤ **Comment diluer une solution (mode opératoire) ?**

- Verser une certaine quantité de la solution initiale (à diluer) dans un bécher ;
- Prélever dans ce bécher, la quantité de la solution à diluer à l'aide d'une pipette (a) ;
- Verser la quantité de solution prélevée dans une fiole jaugée (b) ;
- Compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge à l'aide d'une pissette préalablement remplie d'eau distillée (c) ;
- Rendre homogène la solution obtenue.



EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

A 20°C, quel volume de chlorure d'hydrogène gazeux faut-il dissoudre dans un litre d'eau pour obtenir une solution de concentration $10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. On suppose que la dissolution s'effectue sans variation de volume. On donne volume molaire $V_m = 24 \text{ L.mol}^{-1}$.

Exercice 2

On donne : $K_e = 2,5 \cdot 10^{-13}$ à 80°C.

- 1) Une solution aqueuse a, à cette température, un pH égal à 6,5. Quelle est sa nature ?
- 2) Un volume de 200 mL d'une solution aqueuse contient $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ d'ions hydroxyde. Quel est son pH à 80°C ?
- 3) Le pH d'une solution aqueuse est 4,7 à 80°C. En déduire sa concentration en ions OH^- .
- 4) K_e augmente lorsque la température augmente. Dans le corps humain, à 37°C, le sang a un pH d'environ 7,4 et $\text{p}K_e = 13,6$. Le sang est-il un liquide neutre, acide ou basique ? En déduire l'échelle de pH à cette température.

Exercice 3

1. Un sirop de menthe contient 200 g de glucides pour 2 L.

1.1. Quelle est la concentration massique de glucides contenu dans le sirop.

1.2. En déduire sa concentration molaire. On donne : $M = 180 \text{ g.mol}^{-1}$.

2. On verse 20 mL de sirop dans un verre puis on ajoute 180 mL d'eau.

2.1. Calculer le volume de liquide contenu dans le verre.

2.2. Combien de fois le sirop a-t-il été dilué ? Justifier votre réponse.

2.3. Calculer la masse de glucides contenue dans un verre.

Exercice 4

On introduit dans une fiole jaugée de 250,0 mL, une masse $m = 1,19 \text{ g}$ de chlorure de cobalt (II) hexahydraté $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ et on remplit la fiole avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Données : $M_{\text{Co}} = 58,9 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{\text{H}} = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{\text{O}} = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

- 1) Calculer la concentration molaire de la solution S obtenue.
- 2) Ecrire l'équation de la dissolution du chlorure de cobalt (II) hexahydraté.
- 3) En déduire les concentrations molaires des ions présents dans la solution.
- 4) Quel volume de solution S faut-il prélever pour obtenir une solution S' de volume 100,0 mL et de concentration en chlorure de cobalt (II) $C' = 4,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.
- 5) Comment doit-on procéder (matériel utilisé, manipulation) ?

Exercice 5

Soit une solution commerciale A_0 d'acide sulfurique H_2SO_4 de densité par rapport à l'eau égale à 1,815 et contenant 90% en masse d'acide pur de H_2SO_4 .

1. Calculer la concentration molaire de la solution commerciale d'acide sulfurique .
2. On prépare un litre d'une solution A_1 de H_2SO_4 en prélevant 10,0 mL de la solution A_0 .
 - 2.1. Comment appelle-t-on cette opération ?
 - 2.2. Quelle est la concentration de la solution A_1 obtenue ?

Données : masse molaire (en $g \cdot mol^{-1}$), S : 32 ; O : 16 ; H : 1.

Exercice 6

En solution aqueuse, l'acide nitrique (HNO_3) est totalement dissocié en ions hydronium H_3O^+ et en ions nitrate NO_3^- . Il en est de même de l'acide chlorhydrique (HCl) qui est dissocié en ions H_3O^+ et en ions Cl^- . On donne : en g/mol : H = 1 ; O = 16 ; Cl = 35,5 ; N = 14 ; Ca = 40.

Dans une fiole jaugée de 250 mL, on introduit successivement les composés suivants :

- une solution d'acide chlorhydrique de volume $V_1 = 40$ mL et de concentration $C_1 = 0,3$ mol/L ;
- une solution d'acide nitrique de volume $V_2 = 25$ mL et de concentration $C_2 = 0,4$ mol/L ;
- une masse $m_3 = 1$ g de chlorure de calcium solide ($CaCl_2$) ;
- une masse $m_4 = 2$ g de nitrate de calcium solide $Ca(NO_3)_2$.

On complète le tout à 250 mL avec de l'eau distillée.

- 1)
 - a) Ecrire les équations de dissolution des quatre (4) composés ci-dessus cités et celle de l'autoprotolyse de l'eau.
 - b) Faire le bilan des différentes espèces chimiques présentes dans la solution.
- 2) Déterminer la quantité de matière de chacun des ions présents dans cette solution sachant qu'aucune réaction chimique n'a lieu.
- 3) En déduire leur concentration.
- 4) Vérifier que les concentrations trouvées sont en accord avec l'équation d'électroneutralité.
- 5) Déterminer le pH de la solution.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1**

Le sulfate de sodium du commerce est un solide ionique hydraté de formule $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

- 1) Quelle masse de ce composé faut-il placer dans une fiole jaugée de 250 mL pour que la solution aqueuse obtenue après la dilution ait une concentration $C = 0,20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$?
- 2) Quelles sont alors les concentrations des ions Na^+ et SO_4^{2-} qu'elle contient, sachant que la dissolution du sulfate de sodium s'accompagne d'une dispersion totale de ces ions ?
- 3) La solution de sulfate de sodium est-elle électriquement neutre ?
- 4) Quelle masse de chlorure de sodium pur faudrait-il peser pour obtenir 100 mL d'une solution aqueuse de même concentration en ion Na^+ ?

Exercice 2

Sur l'étiquette d'une bouteille commerciale d'ammoniac, on peut lire :

$$\text{NH}_3 \begin{cases} \text{masse molaire : } 17 \text{ g/mol} \\ \text{pourcentage massique } P : 33\% \\ \text{masse volumique : } 450 \text{ kg/m}^3 \end{cases}$$

- 1) Quel volume V faut-il prélever pour préparer 500 mL d'une solution S de concentration $C = 0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$?
- 2) Décrire le mode opératoire pour préparer les 500 mL de S . (quelques schémas clairs et annotés sont suffisants).
- 3) La solution a un $\text{pH} = 11,1$ à 25°C . Calculer les concentrations et les quantités de matière des ions H_3O^+ et OH^- présents dans S .

Exercice 3

1. Une masse m_1 de chlorure d'aluminium (AlCl_3) est dissoute dans 100 mL d'eau pure. On obtient ainsi une solution aqueuse S_1 de concentration molaire $C_1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$.
 - 1.1. Définir une solution aqueuse.
 - 1.2. Calculer m_1 .
2. On prépare une solution aqueuse S_2 d'acide chlorhydrique en dissolvant un volume $V_0 = 28 \text{ mL}$ de chlorure d'hydrogène dans $V = 250 \text{ mL}$ d'eau pure. Calculer la concentration C_2 de la solution S_2 .
3. On mélange les deux solutions S_1 et S_2 pour obtenir une solution S .
 - 3.1. Faire le bilan des espèces chimiques présentes dans S .
 - 3.2. Calculer leur concentration molaire.
 - 3.3. Vérifier l'électroneutralité de la solution S .
 - 3.4. Calculer le pH_S de la solution S .

On donne : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g/mol}$; $M(\text{Al}) = 27 \text{ g/mol}$; $V_m = 22,4 \text{ L/mol}$

Exercice 4

On dispose d'une bouteille d'acide méthanoïque titrant 98 % en masse. La masse volumique de l'acide est $1,22 \text{ g.cm}^{-3}$. Avec une pipette, on prélève $11,5 \text{ cm}^3$ de l'acide que l'on verse dans une fiole jaugée de 1 L. On verse ensuite de l'eau pure pour obtenir 1 L de solution que l'on note S_3 .

- 1) Déterminer la masse m d'acide méthanoïque prélevée.
- 2) Déterminer la concentration C_1 de la solution S_1 .
- 3) Quel volume d'eau pure faut-il verser sur les 20 mL de la solution S_1 pour avoir une solution S_2 de concentration $C_2 = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$?
- 4) On dilue 10 fois la solution S_2 . Calculer le volume d'eau pure nécessaire à cette dilution et la concentration C_3 de la solution S_3 obtenue.

Exercice 5

On dispose :

- d'une solution de nitrate de potassium KNO_3 à $0,5 \text{ mol/L}$,
- d'une solution de nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ à $0,8 \text{ mol/L}$,
- d'une solution chlorure de potassium à 1 mol/L ,
- de chlorure magnésium cristallisé de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

On souhaite préparer 1 L de solution contenant les ions Mg^{2+} ; Ca^{2+} ; K^+ ; NO_3^- ; Cl^- tels que : $[\text{Mg}^{2+}] = 0,2 \text{ mol/L}$; $[\text{NO}_3^-] = 0,25 \text{ mol/L}$; $[\text{Ca}^{2+}] = 0,1 \text{ mol/L}$; $[\text{K}^+] = 0,25 \text{ mol/L}$.

- 1) Déterminer les volumes des solutions et la masse de solide à mélanger pour préparer cette solution, que l'on complète à 1 L avec de l'eau distillée.
- 2) Calculer directement la concentration $[\text{Cl}^-]$.
- 3) Vérifier l'électroneutralité de la solution.

Exercice 6

Lors d'une séance de travaux pratiques au lycée, les élèves de la terminale D préparent une solution S_0 d'acide chlorhydrique (HCl) par dissolution d'un volume $V_0 = 280 \text{ mL}$ de chlorure d'hydrogène gazeux dans 250 mL d'eau distillée. On donne : volume molaire $V_m = 22,4 \text{ L/mol}$.

1. Calculer la concentration C_0 de la solution S_0 .
2. Les élèves diluent la solution S_0 de façon à obtenir une solution S_1 de concentration molaire volumique $C_1 = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$.
 - 2.1. Calculer le volume d'eau V_e qu'il a fallu ajouter à S_1 pour obtenir S_1 .
 - 2.2. Déterminer le facteur de dilution k .
3. Dans un volume $V_0' = 50 \text{ mL}$ de S_0 , ces élèves ajoutent une masse $m = 4,2 \text{ g}$ de chlorure de calcium (CaCl_2) solide puis ils complètent avec de l'eau distillée pour obtenir un mélange final M de volume $V_M = 450 \text{ mL}$. On donne : $M(\text{Ca}) = 40 \text{ g/mol}$; $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g/mol}$.
 - 3.1. Écrire les équations de dissociation des deux composés cités puis faire le bilan des espèces chimiques présentes dans le mélange M .
 - 3.2. Déterminer la quantité de matière de chacun des ions présents dans le mélange.
 - 3.3. En déduire leur concentration.
 - 3.4. Calculer le pH_M du mélange final.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

Volume de HCl à dissoudre dans 1 litre d'eau pour obtenir une solution de 10^{-1} mol.L $^{-1}$.

$$V_{\text{gaz}} = n \times V_m \text{ or } n = C \times V \text{ donc } V_{\text{gaz}} = C \times V \times V_m = 10^{-1} \times 1 \times 24 \Rightarrow V_{\text{gaz}} = 0,24 \text{ L} = 240 \text{ mL}$$

Exercice 2

1) Une solution aqueuse a, à 80°C, un pH égal à 6,5. Déterminons sa nature.

Calculons d'abord la concentration en ions H₃O⁺ et OH⁻

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-6,5} = 3,16 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{2,5 \cdot 10^{-13}}{3,16 \cdot 10^{-7}} = 7,9 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

Nature de la solution aqueuse : [OH⁻] > [H₃O⁺] donc la solution est basique.

2) pH, à 80°C, de 200 mL d'une solution aqueuse contenant $1,0 \cdot 10^{-4}$ mol d'ions OH⁻.

$$[\text{OH}^-] = \frac{n(\text{OH}^-)}{V} = \frac{1,0 \cdot 10^{-4}}{0,2} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_e}{[\text{OH}^-]} = \frac{2,5 \cdot 10^{-13}}{5 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$\Rightarrow \text{pH} = -\text{Log}[\text{H}_3\text{O}^+] = -\text{Log}(5 \cdot 10^{-10}) = 9,3$$

3) Le pH d'une solution aqueuse est 4,7 à 80°C. Déduisons sa concentration en ions OH⁻.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-4,7} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{2,5 \cdot 10^{-13}}{2 \cdot 10^{-5}} = 1,25 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$$

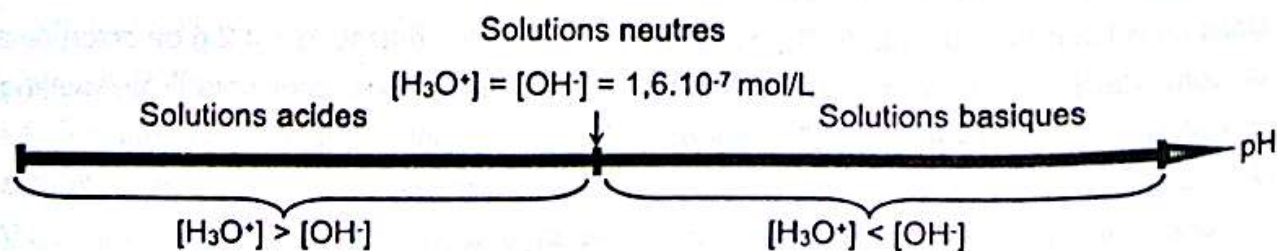
4) Dans le corps humain, à 37°C, le sang a un pH d'environ 7,4 et pK_e = 13,6.

> Déterminons sa nature

$$\text{On a : } \frac{1}{2} \text{pK}_e = \frac{13,6}{2} = 6,8$$

Or $7,4 > 6,8$ donc $\text{pH} > \frac{1}{2} \text{pK}_e$ d'où le sang est un liquide basique à 37°C.

> Déduisons l'échelle de pH à cette température



Exercice 3

1. Un sirop de menthe contient 200 g de glucides pour 2 L.

1.1. Calculons la concentration massique de glucides contenu dans le sirop.

$$\mathcal{C} = \frac{m}{V} = \frac{200}{2} = 100 \text{ g/L}$$

1.2. Déduisons sa concentration molaire

$$\mathcal{C} = \frac{m}{V} = \frac{M \times n}{V} = M \times \frac{n}{V} = M \times C \Rightarrow C = \frac{\mathcal{C}}{M} = \frac{100}{180} \Rightarrow C = 0,55 \text{ mol/L}$$

2. On verse 20 mL de sirop dans un verre puis on ajoute 180 mL d'eau

2.1. Calculons le volume de liquide contenu dans le verre.

$$V_f = V_i + V_{\text{eau}} = 20 + 180 = 200 \text{ mL}$$

2.2. Calculons le rapport ou coefficient ou taux de dilution r.

$$r = \frac{V_f}{V_i} = \frac{200}{20} = 10 \text{ Donc le sirop a été dilué 10 fois.}$$

2.3. Calculons la masse de glucides contenue dans un verre.

$$\mathcal{C} = \frac{m}{V_f} \Rightarrow m = \mathcal{C} \times V_f = 100 \times 0,2 = 20 \text{ g}$$

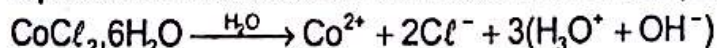
Exercice 4

1) Calculons la concentration molaire de la solution S obtenue.

$$C_s = \frac{n_{\text{CoCl}_2,6\text{H}_2\text{O}}}{V_s} = \frac{\frac{m_{\text{CoCl}_2,6\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CoCl}_2,6\text{H}_2\text{O}}}}{V_s} = \frac{m_{\text{CoCl}_2,6\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CoCl}_2,6\text{H}_2\text{O}} \times V_s}$$

$$\text{Application numérique : } C_s = \frac{1,19}{(58,9 + 35,5 \times 2 + 6 \times (2 + 16)) \times 0,25} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

2) Equation de la dissolution du chlorure de cobalt (II) hexahydraté dans l'eau.



3) Déduction des concentrations molaires des ions présents dans la solution.

Bilan des différents ions de la solution : Co^{2+} ; Cl^- ; H_3O^+ ; OH^-

D'après le bilan molaire de l'équation précédente on a : $\frac{n_{\text{CoCl}_2,6\text{H}_2\text{O}}}{1} = \frac{n_{\text{Co}^{2+}}}{1} = \frac{n_{\text{Cl}^-}}{2}$

$$\Rightarrow \frac{n_{\text{CoCl}_2,6\text{H}_2\text{O}}}{V_s} = \frac{n_{\text{Co}^{2+}}}{V_s} = \frac{n_{\text{Cl}^-}}{2V_s} \Rightarrow C_s = [\text{Co}^{2+}] = \frac{[\text{Cl}^-]}{2} \Rightarrow [\text{Co}^{2+}] = C_s \text{ et } [\text{Cl}^-] = 2C_s$$

$$\text{Application numérique : } [\text{Co}^{2+}] = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L et } [\text{Cl}^-] = 2 \times 2 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

Le chlorure de cobalt (II) hexahydraté est un composé ionique donc sa solution aqueuse est neutre d'où on a : $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/L}$.

4) Volume de S à prélever pour obtenir S' de $V' = 100,0 \text{ mL}$ et de $C' = 4,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Il s'agit ici d'une dilution au cours de laquelle la quantité de matière se conserve.

$$n_s = n_{s'} \Rightarrow C_s V_s = C_{s'} V_{s'} \Rightarrow V_s = \frac{C_{s'} V_{s'}}{C_s}$$

$$\text{Application numérique : } V_s = \frac{4,00 \cdot 10^{-3} \times 0,1}{2 \cdot 10^{-2}} = 0,02 \text{ L} = 20 \text{ mL}$$

5) Mode opératoire (matériel utilisé, manipulation)

- Verser une certaine quantité de la solution S de chlorure de cobalt dans un bécher ;
- Prélever dans ce bécher, 20 mL de la solution S à l'aide d'une pipette ;
- Verser les 20 mL de solution prélevée dans une fiole jaugée de 100 mL ;
- Compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge à l'aide d'une pissette préalablement remplie d'eau distillée ;
- Rendre homogène la solution obtenue.

Exercice 5

1.) Calculons la concentration de la solution commerciale

$$C_0 = \frac{\% \times \rho}{M} \text{ avec } C_0 \text{ en mol/L ; } M \text{ en g/mol et } \rho \text{ en g/L}$$

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}} \Rightarrow \rho = \rho_{\text{eau}} \times d = 1 \times 1,815 = 1,815 \text{ g/cm}^3 = 1,815 \text{ kg/dm}^3 = 1815 \text{ g/L}$$

$$\text{Application numérique : } C_0 = \frac{90 \times 1815}{100 \times (2 + 32 + 16 \times 4)} = 16,67 \text{ mol/L}$$

2.) On prépare un litre d'une solution A₁ de H₂SO₄ en prélevant 10,0 mL de la solution A₀.

2.1. Le nom de cette opération

Il s'agit d'une dilution.

2.2. La concentration de la solution A₁ obtenue

$$n_1 = n_0 \Rightarrow C_1 V_1 = C_0 V_0 \Leftrightarrow C_1 = \frac{C_0 V_0}{V_1}$$

$$\text{Application numérique : } C_1 = \frac{16,67 \times 10}{1000} = 1,667 \cdot 10^{-1} \text{ mol/L}$$

Exercice 6

1)

a) Equations de dissolution des 4 composés et celle de l'autoprotolyse de l'eau.

- acide chlorhydrique : $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$
- acide nitrique : $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$
- chlorure de calcium : $\text{CaCl}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Ca}^{2+} + 2\text{Cl}^-$
- nitrate de calcium : $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Ca}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$
- autoprotolyse de l'eau : $2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$

b) Bilan des différentes espèces chimiques présentes dans la solution.

$\text{Cl}^- ; \text{NO}_3^- ; \text{Ca}^{2+} ; \text{H}_3\text{O}^+ ; \text{OH}^- ; (\text{ou } \text{H}_2\text{O})$

2) Quantité de matière de chacun des ions présents dans cette solution.

➤ Ion chlorure Cl^- : intervient dans les solutions de HCl et CaCl_2

$$\Rightarrow n_{\text{Cl}^-} = n_{\text{HCl}} + 2 \times n_{\text{CaCl}_2} = C_1 V_1 + 2 \times \frac{m_{\text{CaCl}_2}}{M_{\text{CaCl}_2}}$$

$$\text{A.N. : } n_{\text{Cl}^-} = 0,3 \times 40 \cdot 10^{-3} + 2 \times \frac{1}{40 + 35,5 \times 2} = 0,012 + 0,018 = \underline{0,03 \text{ mol}}$$

➤ Ion calcium Ca^{2+} : intervient dans les solutions de CaCl_2 et $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

$$\Rightarrow n_{\text{Ca}^{2+}} = n_{\text{CaCl}_2} + n_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2} = \frac{m_{\text{CaCl}_2}}{M_{\text{CaCl}_2}} + \frac{m_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}{M_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}$$

$$\text{A.N. : } n_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{1}{40 + 35,5 \times 2} + \frac{2}{40 + (14 + 3 \times 16) \times 2} = 0,009 + 0,0122 = \underline{0,0212 \text{ mol}}$$

➤ Ion nitrate NO_3^- : intervient dans les solutions de HNO_3 et $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

$$\Rightarrow n_{\text{NO}_3^-} = n_{\text{HNO}_3} + 2 \times n_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2} = C_2 V_2 + 2 \times \frac{m_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}{M_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}$$

$$\text{A.N. : } n_{\text{NO}_3^-} = 0,4 \times 25 \cdot 10^{-3} + 2 \times \frac{2}{40 + (14 + 3 \times 16) \times 2} = 0,01 + 0,0244 = \underline{0,0344 \text{ mol}}$$

➤ Ion hydronium H_3O^+ : intervient dans les solutions de HCl et HNO_3

$$\Rightarrow n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_{\text{HCl}} + n_{\text{HNO}_3} = C_1 V_1 + C_2 V_2$$

$$\text{A.N. : } n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 0,3 \times 40 \cdot 10^{-3} + 0,4 \times 25 \cdot 10^{-3} = 0,012 + 0,01 = \underline{0,022 \text{ mol}}$$

➤ Ion hydroxyde OH^- : n'intervient dans aucune des solutions donc sa quantité de matière dans le mélange est pratiquement nulle.

3) Déduisons leur concentration.

$$\text{➤ } [\text{Cl}^-] = \frac{n_{\text{Cl}^-}}{V_s} = \frac{0,03}{0,25} = \underline{0,12 \text{ mol/L}}$$

$$\text{➤ } [\text{Ca}^{2+}] = \frac{n_{\text{Ca}^{2+}}}{V_s} = \frac{0,0212}{0,25} = \underline{0,0848 \text{ mol/L}}$$

$$\text{➤ } [\text{NO}_3^-] = \frac{n_{\text{NO}_3^-}}{V_s} = \frac{0,0344}{0,25} = \underline{0,1376 \text{ mol/L}}$$

$$\text{➤ } [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{n_{\text{H}_3\text{O}^+}}{V_s} = \frac{0,022}{0,25} = \underline{0,088 \text{ mol/L}}$$

$$\text{➤ } K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{10^{-14}}{0,088} = \underline{1,14 \cdot 10^{-13} \text{ mol/L}}$$

4) Vérifions que les concentrations sont en accord avec l'équation d'électroneutralité.

$$[\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{OH}^-] = 0,12 + 0,1376 + 1,14 \cdot 10^{-13} = \underline{0,2576 \text{ mol/L}}$$

$$2 \times [\text{Ca}^{2+}] + [\text{H}_3\text{O}^+] = 2 \times 0,0848 + 0,088 \text{ mol/L} = \underline{0,2576 \text{ mol/L}}$$

$$\Rightarrow [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{OH}^-] = 2 \times [\text{Ca}^{2+}] + [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Les concentrations trouvées sont bien en accord avec l'équation d'électroneutralité.

5) Déterminons le pH de la solution : $\text{pH} = -\text{Log}[\text{H}_3\text{O}^+] = -\text{Log}(0,088) \approx 1$



ACIDES FORTS BASES FORTES

Johann Rudolf Glauber
(10 mars 1604 à Karlstadt am Main en Allemagne et mort le 16 mars 1670 à Amsterdam)
Chimiste, Pharmacien et Alchimiste Allemand.

Glauber fait partie des précurseurs de la chimie contemporaine. Ses travaux et ses expériences permirent la découverte de plusieurs méthodes analytiques, et il fut le premier scientifique moderne à fabriquer de l'acide chlorhydrique, un acide fort. Parmi d'autres composés chimiques, Glauber découvrit le permanganate et le sulfate de sodium, qui fut baptisé d'après son nom (sel de Glauber).

Objectifs spécifiques

- Définir les notions d'acide fort et de base forte à partir des solutions aqueuses de chlorure d'hydrogène et d'hydroxyde de sodium.

RAPPEL DE COURS

1.) Les acides forts

1.1) Définition

Un acide HA est dit fort s'il réagit totalement avec l'eau selon la réaction :



Exemples :

- acide chlorhydrique : $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$
- acide bromhydrique : $\text{HBr} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Br}^-$
- acide iodhydrique : $\text{HI} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{I}^-$

1.2) pH d'une solution d'acide fort

a) Définition

Si C_a est la concentration molaire de la solution d'acide fort, exprimée en mol.L^{-1} , on a :

$$\text{pH} = -\log(C_a) \text{ avec } 10^{-6} \text{ mol/L} \leq C_a \leq 10^{-2} \text{ mol/L.}$$

Remarque : pour un diacide fort tel que l'acide sulfurique H_2SO_4 , $\text{pH} = -\log(2C_a)$ car il libère deux (2) ions hydronium H_3O^+ ; l'équation-bilan de la réaction de dissolution est :



b) Influence de la dilution

Une solution acide, aussi diluée soit-elle ne peut jamais être basique.

2.) Les bases fortes

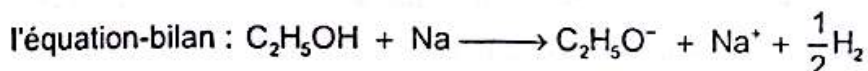
2.1) Définition

Une base BOH est dite forte si ses ions sont totalement dispersés dans l'eau selon la réaction : $\text{BOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{B}^+ + \text{OH}^-$

Exemples :

- hydroxyde de sodium : $\text{NaOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}^+ + \text{OH}^-$
- hydroxyde de potassium : $\text{KOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{K}^+ + \text{OH}^-$
- ion éthanolate : $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^- + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{OH}^-$

Cet ion est obtenu par une réaction totale entre l'éthanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ et le sodium Na selon



2.2) pH d'une solution de base forte

a) Définition

Si C_b est la concentration molaire de la base forte, exprimée en mol.L^{-1} , on a alors à 25°C

$\text{pH} = 14 + \log(C_b)$ avec $10^{-6} \text{ mol/L} \leq C_b \leq 10^{-2} \text{ mol/L}$.

Remarque : pour une dibase forte telle que l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 , $\text{pH} = 14 + \log(2C_b)$ car elle libère deux(2) ions hydroxyde OH^- ; l'équation-bilan de la réaction de dissolution est :



b) Influence de la dilution

Une solution basique aussi diluée soit-elle ne peut jamais être acide.

3.) Méthode pratique

- Comment écrire l'équation-bilan de la réaction entre un acide fort HA et l'eau ?

De manière générale on a : $\text{HA} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}^+ + \text{A}^-$

Or en solution aqueuse on a : $\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+$

Ce qui donne : $\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow (\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}) + \text{A}^-$

Ou bien : $\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^-$

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

On dissout un volume $v = 1,2$ L de chlorure d'hydrogène dans un volume $V = 0,5$ L d'eau. (pas de variation de volume pendant la dissolution). Donnée : volume molaire $V_m = 24$ L/mol.

- 1) Ecrire l'équation-bilan de dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau.
- 2) Calculer la concentration de la solution obtenue.
- 3) En déduire son pH.

Exercice 2

On dissout une masse $m = 0,2$ g d'hydroxyde de sodium dans un volume $V = 200$ cm³ d'eau pure. On donne les masses molaires en g/mol : Na : 23 ; H : 1 ; O : 16.

1. Ecrire l'équation bilan de la dissolution.
2. Calculer la concentration de la solution obtenue.
3. Calculer le pH de la solution.
4. Quel volume d'eau faut-il ajouter à $v_1 = 20$ mL de la solution précédente pour obtenir une solution à pH = 11 ?

Exercice 3

Une solution d'acide nitrique (HNO_3) a une valeur de pH = 2,7 .

- 1) Ecrire son équation d'ionisation dans l'eau.
- 2) Calculer la concentration molaire initiale en acide nitrique.
- 3) Calculer la concentration de toutes les espèces chimiques présentes.

Exercice 4

Une solution d'hydroxyde de potassium ($[\text{KOH}] = 5,0 \cdot 10^{-4}$ mol.L⁻¹) a un pH = 10,7.

1. Montrer qu'il s'agit d'une base forte.
2. Ecrire l'équation-bilan de dissolution de KOH dans l'eau.
3. Calculer la concentration de toutes les espèces chimiques présentes.

Exercice 5

On considère que l'acide sulfurique H_2SO_4 est un diacide fort.

- 1) Ecrire l'équation-bilan de dissolution de H_2SO_4 dans l'eau.
- 2) Quel est le pH d'une solution aqueuse d'acide sulfurique à $3 \cdot 10^{-3}$ mol/L ?

Exercice 6

L'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est soluble dans l'eau à raison de $1,9$ g.L⁻¹ à 25°C.

On obtient une solution saturée. On donne : Ca : 40 ; O : 16 ; H : 1 g.mol⁻¹.

1. Ecrire l'équation-bilan de dissolution de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans l'eau.
2. Calculer la concentration molaire de l'hydroxyde de calcium dissout, de l'ion Ca^{2+} et OH^- .
3. Montrer que le pH d'une telle solution vaut 12,7.

Exercice 7

On dissout $m = 0,253$ g d'acide perchlorique (HClO_4) dans un volume $V = 2$ L d'eau.

Le pH de la solution est égal à 2,9. On donne en g/mol : H : 1 ; O : 16 ; Cl : 35,5.

- 1) Montrer que l'acide perchlorique est un acide fort.
- 2) Ecrire l'équation-bilan de dissolution de HClO_4 dans l'eau.
- 3) Quel volume d'eau distillée faut-il ajouter à 40 mL d'une solution d'acide perchlorique de $\text{pH} = 1,7$ pour obtenir une solution de $\text{pH} = 2,4$?

Exercice 8

Dans un bécher, on mélange les solutions suivantes :

- acide chlorhydrique : $V_1 = 15$ mL et $C_1 = 10^{-3}$ mol.L $^{-1}$;
- acide nitrique : $V_2 = 7,5$ mL et $C_2 = 10^{-4}$ mol.L $^{-1}$;
- acide bromhydrique : $V_3 = 7,5$ mL et $C_3 = 10^{-3}$ mol.L $^{-1}$;
- de l'eau distillée : $V_4 = 970$ mL.

1. Calculer la concentration des espèces chimiques présentes dans la solution finale.
2. Calculer le pH de la solution finale.
3. Vérifier l'électroneutralité de cette solution.

Exercice 9

A 25°C, on dissout 0,1 g de potasse (ou hydroxyde de potassium) dans 250 mL d'eau pure.

Puis, on ajoute 500 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de $\text{pH} = 11$ à la solution obtenue.

Quel est le pH de la solution finale ?

On donne les masses molaires en g/mol : Na : 23 ; H : 1 ; O : 16 ; K : 39.

Exercice 10

La lessive de soude est une solution concentrée d'hydroxyde de sodium que l'on trouve facilement dans les grandes surfaces. On donne $K_e = 10^{-14}$ à 25°C.

- 1) Un flacon commercial de 1 L de lessive de soude, de densité 1,333 contient en masse 35% d'hydroxyde de sodium NaOH pur.

Quelle est la concentration de la lessive de soude ?

- 2) On désire préparer pour une séance de travaux pratiques, 500 mL d'une solution de lessive de soude de concentration $C = 0,5$ mol/L par dilution d'un volume V_0 de solution commerciale de lessive de soude. Déterminer V_0 .
- 3) Dans un autre flacon, on dispose d'une solution d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de $\text{pH} = 12$. Quelles est la concentration des ions présents dans cette solution ?
- 4) On prélève un volume $V_1 = 200$ mL de la solution diluée de NaOH de concentration $C_1 = 0,5$ mol/L. On y ajoute un volume $V_2 = 50$ mL d'une solution de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de concentration $C_2 = 0,01$ mol/L. On obtient une solution S.

Calculer la concentration des ions présents dans la solution S et en déduire le pH de S.

Données : masses molaires(g/mol) : Na : 23 ; H : 1 ; O : 16 ; Ca : 40 et $\rho_{\text{eau}} = 1$ g/cm 3 .

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1**

On dispose d'une solution d'éthanolate de sodium, de volume 25 mL et de concentration $C = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$. Le pH mesuré est de 11,8.

- 1) L'ion éthanolate est-il une base forte ? Justifier votre réponse.
Si oui, écrire l'équation de sa réaction avec l'eau pure.
- 2) On prélève 10 mL de la solution et on complète avec 90 mL d'eau pure.
Quel est le pH de la solution finale ?

Exercice 2

1. Soit une solution S_1 d'acide chlorhydrique HCl de concentration $C_1 = 10^{-2} \text{ mol/L}$ et de volume $V_1 = 200 \text{ mL}$. Le pH de cette solution vaut 2 à 25°C . Donnée : $K_e = 10^{-14}$ à 25°C .
 - 1.1. Justifier que l'acide chlorhydrique HCl est un acide fort.
 - 1.2. Ecrire l'équation de la réaction de HCl avec l'eau.
 - 1.3. Calculer les concentrations des espèces chimiques présentes dans la solution S_1 .
2. On mélange avec une solution S_2 d'acide iodhydrique HI (acide fort) de concentration $C_2 = 10^{-3} \text{ mol/L}$ et de volume $V_2 = 300 \text{ mL}$ la solution S_1 . On obtient une solution S .
 - 2.1. Ecrire l'équation de la dissolution de HI avec l'eau.
 - 2.2. Calculer la concentration molaire volumique des ions H_3O^+ dans le mélange S .
 - 2.3. En déduire le pH du mélange.

Exercice 3 (extrait Bac série D session Juin 2009 Bénin)

Données : $pK_e = 14$.

✓ Masses molaires atomiques en g.mol^{-1} :

$M(\text{C}) = 12$; $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{N}) = 14$; $M(\text{Ba}) = 137,5$; $M(\text{Ca}) = 40$; $M(\text{S}) = 32$; $M(\text{O}) = 16$.

N.B. : Tous les solutés des solutions de l'exercice, se dissocient totalement dans l'eau.

Le sulfate d'ammonium anhydre est un solide ionique de formule $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

On dispose dans le laboratoire d'un Lycée des deux solutions aqueuses S_1 et S_2 suivantes :

- Solution S_1 obtenue en dissolvant du sulfate d'ammonium anhydre dans de l'eau et de concentration molaire C_1 inconnue ;
 - Solution S_2 de dihydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de concentration massique $\mathcal{C}_{m2} = 1,85 \text{ g/L}$.
1. Calculer la concentration molaire C_2 de S_2 et en déduire son pH.
 2. Pour déterminer C_1 , on ajoute à un volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ de S_1 , une solution de chlorure de baryum en excès. Il se forme un précipité blanc qui filtré, lavé et séché a une masse $m = 2\,335 \text{ mg}$.
 - a) Écrire l'équation-bilan de la réaction de dissociation du sulfate d'ammonium dans l'eau et celle de la réaction de précipitation.
 - b) Vérifier que $C_1 = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. En déduire la masse m_1 de sulfate d'ammonium qu'il faut dissoudre dans l'eau pour obtenir 1,5 L de la solution S_1 .
 - c) Faire le bilan qualitatif des espèces chimiques de la solution S_1 .
En déduire une justification de la nature acide de S_1 .

Exercice 4 (extrait Bac Blanc 1998 Lycée Sainte Marie Cocody Côte d'Ivoire)

On prépare une solution aqueuse S_1 d'hydroxyde de potassium KOH en dissolvant 2,8 mg de KOH dans 500 mL d'eau.

- 1) Calculer la concentration molaire de la solution S_1 .
- 2) Le pH de la solution S_1 est égal à 10.
 - a) Montrer que KOH est une base forte.
 - b) Ecrire l'équation-bilan de la dissolution dans l'eau de KOH.
 - c) Quel volume d'eau pure faut-il ajouter à $V_0 = 50 \text{ cm}^3$ de la solution S_1 pour avoir une solution de $\text{pH} = 9,5$?
- 3) On mélange $V_1 = 200 \text{ mL}$ de la solution S_1 à $V_2 = 300 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse S_2 d'hydroxyde de sodium (qui est une base forte) de concentration $C_2 = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.
 - a) Calculer les concentrations molaires des espèces présentes dans le mélange $S_1 + S_2$.
 - b) En déduire le pH du mélange.

Exercice 5 (extrait Bac Blanc Lycée Municipal 1 Attécoubé 2013 Côte d'Ivoire)

- 1) Au laboratoire du Lycée Municipal 1 d'Attécoubé on dispose d'une solution commerciale d'acide nitrique S_0 dont l'étiquette sur la bouteille porte les indications suivantes :
 - Masse volumique : 1420 kg/m^3 ;
 - Pourcentage en masse d'acide nitrique pur : 62% ;
 - Masse molaire moléculaire $M = 63 \text{ g/mol}$.
 - 1.1. Calculer la concentration molaire C_0 de la solution S_0 .
 - 1.2. On prélève un volume V_0 que l'on complète à 500 mL avec de l'eau distillée. On obtient une solution S_1 de concentration $C_1 = 0,14 \text{ mol/L}$.
 - 1.2.1. Comment appelle-t-on l'opération permettant de passer de S_0 à S_1 ?
 - 1.2.2. Déterminer le volume V_0 de la solution à prélever si $C_0 = 14 \text{ mol/L}$.
 - 1.2.3. Citer deux noms de matériels que l'on utilise pour une telle opération.
 - 1.3. Calculer le volume V_e d'eau distillée à ajouter à $V_1 = 20 \text{ mL}$ de S_1 pour obtenir une solution S_2 de concentration $C_2 = 7 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$.
- 2) On dispose maintenant des solutions de bases fortes B_1 et B_2 suivantes :
 - Solution B_1 : solution d'hydroxyde de potassium de volume $V_1 = 50 \text{ mL}$ et $\text{pH}_1 = 12,2$;
 - Solution B_2 : solution d'hydroxyde de sodium de volume $V_2 = 100 \text{ mL}$ et $\text{pH}_2 = 11,7$.
 - 2.1. Ecrire les équations de dissolution de ces composés dans l'eau.
 - 2.2. Calculer les concentrations respectives C_1 et C_2 de B_1 et B_2 .
 - 2.3. Quelles masses m_1 et m_2 respectives d'hydroxyde de potassium et d'hydroxyde de sodium doit-on utiliser pour préparer 1 L de chacune de ces solutions ?
 - 2.4. On mélange B_1 et B_2 . On obtient B.
 - 2.4.1. Calculer la concentration de B en ions hydroxyde.
 - 2.4.2. Déduire le pH de B.

On donne les masses molaires atomiques en g/mol : K : 39 ; Na : 23 ; O : 16 ; H : 1.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1) Equation-bilan de dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau.



2) Calculons la concentration de la solution obtenue.

$$C_a = \frac{n_{\text{HCl}}}{V} = \frac{v}{V_m} = \frac{v}{V_m \times V} \Rightarrow C_a = \frac{1,2}{24 \times 0,5} = \underline{0,1 \text{ mol/L}}$$

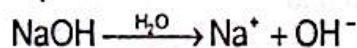
3) Déduisons son pH.

HCl est un acide fort donc il obéit à la relation $\text{pH} = -\text{Log}C_a$

Application numérique : $\text{pH} = -\text{Log}(0,1) = 1$.

Exercice 2

1. Equation bilan de la dissolution.



2. Calculons la concentration de la solution obtenue.

$$C_b = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V} = \frac{m}{M_{\text{NaOH}} \times V} = \frac{m}{M_{\text{NaOH}} \times V}$$

$$\text{Application numérique : } C_b = \frac{0,2}{(23 + 16 + 1) \times 0,2} = \underline{0,025 \text{ mol/L}} = \underline{2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}}$$

3. Calculons le pH de la solution.

NaOH est une base forte donc on a : $\text{pH} = 14 + \text{Log}C_b$

Application numérique : $\text{pH} = 14 + \text{Log}(2,5 \cdot 10^{-2}) = 12,4$.

4. Volume d'eau à ajouter à $V_i = 20 \text{ mL}$ de NaOH pour obtenir une solution à $\text{pH} = 11$.

Il s'agit d'une dilution au cours de laquelle la quantité de matière se conserve.

$$n_f = n_i \Leftrightarrow C_f V_f = C_i V_i \Leftrightarrow V_f = \frac{C_i V_i}{C_f}$$

De plus $V_f = V_i + V_{\text{eau}} \Rightarrow V_{\text{eau}} = V_f - V_i$

$$\Rightarrow V_{\text{eau}} = \frac{C_i V_i}{C_f} - V_i = \frac{C_b V_i}{10^{\text{pH}-14}} - V_i$$

$$\text{Application numérique : } V_{\text{eau}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-2} \times 20}{10^{11-14}} - 20 = \underline{480 \text{ mL}}$$

Remarque : pour une base forte on a :

$$\text{pH} = 14 + \log C_b \Rightarrow \log C_b = \text{pH} - 14 \Rightarrow C_b = 10^{\text{pH} - 14}$$

Exercice 3

1) Equation d'ionisation dans l'eau.



2) Calculons la concentration molaire initiale en acide nitrique.

HNO_3 est un acide fort donc il obéit à la relation $\text{pH} = -\text{Log}C_a \Rightarrow C_a = 10^{-\text{pH}}$.

Application numérique : $C_a = 10^{-2,7} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$.

3) Calculons la concentration de toutes les espèces chimiques présentes.

Bilan des espèces chimiques dans la solution : H_3O^+ ; NO_3^- ; OH^- ; (ou H_2O)

Remarque : Il n'y a pas de HNO_3 dans le bilan des espèces chimiques car la réaction de dissolution d'un acide fort dans l'eau est totale. À la fin de la réaction, il ne reste donc plus de HNO_3 dans la solution.

D'après l'équation-bilan on a : $[\text{NO}_3^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = C_a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$.

$$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{10^{-14}}{2 \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

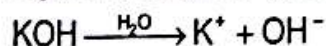
Exercice 4

1. Montrons qu'il s'agit d'une base forte.

$$14 + \log[\text{KOH}] = 14 + \log(5,0 \cdot 10^{-4}) = 14 - 3,3 = 10,7 = \text{pH}$$

On a : $\text{pH} = 14 + \log[\text{KOH}]$ donc il s'agit bien base forte.

2. Equation-bilan de dissolution de KOH dans l'eau.



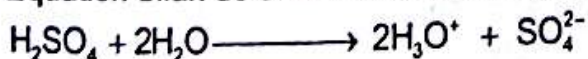
3. Calculons la concentration de toutes les espèces chimiques présentes.

Bilan des espèces chimiques dans la solution : H_3O^+ ; K^+ ; OH^- ; (ou H_2O)

Remarque : Il n'y a pas de KOH dans le bilan des espèces chimiques car la réaction de dissolution d'une base forte dans l'eau est totale. À la fin de la réaction, il ne reste donc plus de KOH dans la solution.

D'après l'équation-bilan on a : $[\text{K}^+] = [\text{OH}^-] = [\text{KOH}] = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$.

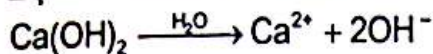
$$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_e}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{5 \cdot 10^{-4}} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$$

Exercice 51) Equation-bilan de dissolution de H_2SO_4 dans l'eau.2) pH d'une solution aqueuse d'acide sulfurique à $3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

Pour un diacide fort, $\text{pH} = -\log(2C_a) \Rightarrow \text{pH} = -\log(2 \times 3 \cdot 10^{-3}) = 2,2$

Exercice 6

1. Equation-bilan de dissolution de
- Ca(OH)_2
- dans l'eau.



2. Concentration molaire de l'hydroxyde de calcium dissout, de l'ion
- Ca^{2+}
- et
- OH^-

$$C_b = \frac{m_b}{V} = \frac{n_b \times M}{V} = \frac{n_b}{V} \times M = C_b \times M \Rightarrow C_b = \frac{C}{M}$$

$$\text{Application numérique : } C_b = \frac{1,9}{40 + (16 + 1) \times 2} \approx \underline{2,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}}$$

D'après l'équation-bilan de dissolution on a :

$$\frac{n_{\text{Ca(OH)}_2}}{1} = \frac{n_{\text{Ca}^{2+}}}{1} = \frac{n_{\text{OH}^-}}{2} \Rightarrow \frac{n_{\text{Ca(OH)}_2}}{V} = \frac{n_{\text{Ca}^{2+}}}{V} = \frac{n_{\text{OH}^-}}{2V} \Rightarrow C_b = [\text{Ca}^{2+}] = \frac{[\text{OH}^-]}{2}$$

$$\Rightarrow [\text{Ca}^{2+}] = C_b = \underline{2,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}} \quad \text{et} \quad [\text{OH}^-] = 2C_b = 2 \times 2,6 \cdot 10^{-2} = \underline{5,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}}$$

3. Montrons que le pH d'une telle solution vaut 12,7.

Ca(OH)_2 est une dibase forte donc on a : $\text{pH} = 14 + \text{Log}(2C_b) = 14 + \text{Log}[\text{OH}^-]$

Application numérique : $\text{pH} = 14 + \text{Log}(5,2 \cdot 10^{-2}) = 12,7$.

Exercice 7

- 1) Montrons que l'acide perchlorique est un acide fort.

Soit C_a la concentration molaire de l'acide perchlorique HClO_4 .

$$C_a = \frac{m_{\text{HClO}_4}}{V} \quad \left. \begin{array}{l} \\ n_{\text{HClO}_4} = \frac{m_{\text{HClO}_4}}{M_{\text{HClO}_4}} \end{array} \right\} \Rightarrow C_a = \frac{m_{\text{HClO}_4}}{V} = \frac{m_{\text{HClO}_4}}{V \times M_{\text{HClO}_4}} = \frac{0,253}{2 \times (1 + 35,5 + 16 \times 4)} = 1,2587 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

L'acide perchlorique est un acide fort si et seulement si $-\log(C_a)$ est égal au pH de la solution c'est-à-dire 2,9.

$-\log(C_a) = -\log(1,2587 \cdot 10^{-3}) = 2,9$ donc l'acide perchlorique est bel et bien un acide fort.

- 2) Equation-bilan de dissolution de
- HClO_4
- dans l'eau.



- 3) Volume d'eau à ajouter à 40 mL de
- HClO_4
- pour obtenir une solution de
- $\text{pH} = 2,4$

Il s'agit d'une dilution au cours de laquelle la quantité de matière se conserve.

$$n_i = n_f \Leftrightarrow C_i V_i = C_f V_f \Leftrightarrow V_f = \frac{C_i V_i}{C_f}; \text{ de plus } V_f = V_i + V_{\text{eau}} \Rightarrow V_{\text{eau}} = V_f - V_i$$

$$V_{\text{eau}} = \frac{C_i V_i}{C_f} - V_i \Rightarrow V_{\text{eau}} = \frac{10^{-1,7} \times 40}{10^{-2,4}} - 40 = \frac{2 \cdot 10^{-2} \times 40}{4 \cdot 10^{-3}} - 40 = 160 \text{ mL}$$

Exercice 8

1. Calculons la concentration des espèces chimiques présentes dans la solution finale.

➤ Equations de dissolution des 3 composés et celle de l'autoprotolyse de l'eau.

- acide chlorhydrique : $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$
- acide nitrique : $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$
- acide bromhydrique : $\text{HBr} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Br}^-$
- autoprotolyse de l'eau : $2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$

➤ Bilan des différentes espèces chimiques présentes dans la solution.

Cl^- ; NO_3^- ; Br^- ; H_3O^+ ; OH^- ; (ou H_2O)

➤ Calcul des concentrations des espèces chimiques.

$$\bullet [\text{Cl}^-] = \frac{n_{\text{Cl}^-}}{V_s} = \frac{C_1 V_1}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} = \frac{10^{-3} \times 15}{15 + 7,5 + 7,5 + 970} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$\bullet [\text{NO}_3^-] = \frac{n_{\text{NO}_3^-}}{V_s} = \frac{C_2 V_2}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} = \frac{10^{-4} \times 7,5}{15 + 7,5 + 7,5 + 970} = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$$\bullet [\text{Br}^-] = \frac{n_{\text{Br}^-}}{V_s} = \frac{C_3 V_3}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} = \frac{10^{-3} \times 7,5}{15 + 7,5 + 7,5 + 970} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$\bullet [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{n_{\text{H}_3\text{O}^+}}{V_s} = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + C_4 V_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

$$\Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{10^{-3} \times 15 + 10^{-4} \times 7,5 + 10^{-3} \times 7,5 + 10^{-7} \times 970}{15 + 7,5 + 7,5 + 970} = 2,33 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$\bullet K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{10^{-14}}{2,33 \cdot 10^{-5}} = 4,3 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

Remarque : l'eau distillée est neutre donc on a : $C_4 = [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/L}$.

2. Calculons le pH de la solution.

$$\text{pH} = -\text{Log}[\text{H}_3\text{O}^+] = -\text{Log}(2,33 \cdot 10^{-5}) = 4,6$$

3. Vérifions l'électroneutralité de la solution.

$$[\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Br}^-] + [\text{OH}^-] = 1,5 \cdot 10^{-5} + 7,5 \cdot 10^{-7} + 7,5 \cdot 10^{-6} + 4,3 \cdot 10^{-10} = 2,325 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,33 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$\Rightarrow [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Br}^-] + [\text{OH}^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+]$ donc l'électroneutralité de la solution est vérifiée.

Exercice 9

Calcul du pH de la solution finale

La solution est un mélange de base forte donc son pH obéit à : $\text{pH} = 14 + \text{Log}[\text{OH}^-]$

Pour calculer la concentration des ions OH^- dans le mélange il faut connaître les quantités de matière des ions OH^- apportées par chacune des deux solutions. Ainsi on a :

➤ pour 0,1 g de KOH dissous dans les 250 mL, $n_{\text{OH}^-} = \frac{m_{\text{KOH}}}{M_{\text{KOH}}} = \frac{0,1}{39 + 16 + 1} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$;

➤ dans 500 L de NaOH à pH = 11, $n(\text{OH}^-) = C(\text{NaOH}) \times V(\text{NaOH}) = 10^{11-14} \times 0,5 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$.

Remarque : pour une base forte, $\text{pH} = 14 + \text{Log}C_b \Rightarrow \text{Log}C_b = \text{pH} - 14 \Rightarrow C_b = 10^{\text{pH}-14}$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{n_1(\text{OH}^-) + n_2(\text{OH}^-)}{V_1 + V_2} = \frac{1,8 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-4}}{0,25 + 0,5} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\Rightarrow \text{pH} = 14 + \text{Log}(\text{OH}^-) = 14 + \text{Log}(3 \cdot 10^{-3}) = 11,5$$

Exercice 10

1) Un flacon commercial de 1 L de lessive de soude ($d = 1,333$) contient 35% de NaOH pur.

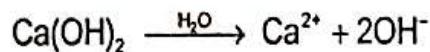
Déterminons la concentration de la lessive de soude

$$C_0 = \frac{\% \times \rho}{M} = \frac{0,35 \times 1,333 \times 1000}{23 + 16 + 1} = 11,66375 \text{ mol/L}$$

2) Déterminons V_0 .

$$C_0 V_0 = CV \Rightarrow V_0 = \frac{CV}{C_0} = \frac{0,5 \times 500}{11,66375} = 21,4 \text{ mL}$$

3) Calculons la concentration des ions présents dans cette solution



Inventaires des ions présents dans cette solution : Ca^{2+} ; OH^- ; H_3O^+

- $\text{pH} = 14 + \log(2C_b) \Rightarrow 2C_b = 10^{\text{pH}-14} = 10^{12-14} = 10^{-2} \Rightarrow C_b = \frac{10^{-2}}{2} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

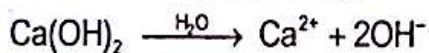
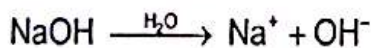
- $[\text{Ca}^{2+}] = C_b = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

- $[\text{OH}^-] = 2C_b = 2 \times 5 \cdot 10^{-3} = 10^{-2} \text{ mol/L}$

- $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_e}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{10^{-2}} = 10^{-12} \text{ mol/L}$

4) On mélange $V_1 = 200 \text{ mL}$ de NaOH de $C_1 = 0,5 \text{ mol/L}$ et $V_2 = 50 \text{ mL}$ de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de $C_2 = 0,01 \text{ mol/L}$. On obtient une solution S.

✓ Calculons la concentration des ions présents dans la solution S.



Inventaires des ions présents dans la solution S : Ca^{2+} ; OH^- ; H_3O^+ ; Na^+

➤ $[\text{Na}^+] = \frac{C_1 V_1}{V_1 + V_2} = \frac{0,5 \times 200}{250} = 0,4 \text{ mol/L}$

➤ $[\text{Ca}^{2+}] = \frac{C_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{0,01 \times 50}{250} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

➤ $[\text{OH}^-] = \frac{C_1 V_1 + 2C_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{0,5 \times 200 + 2 \times 0,01 \times 50}{250} = 0,404 \text{ mol/L}$

➤ $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_e}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{0,404} \approx 2,5 \cdot 10^{-14} \text{ mol/L}$

✓ Déduisons le pH de la solution S.

$$\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(0,404) = 13,6 \text{ ou } \text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log(2,5 \cdot 10^{-14}) = 13,6$$



Svante August Arrhenius
(1859-1927)

Chimiste suédois

Ses travaux de recherche portèrent sur la conductivité des solutions d'électrolytes. Ils lui permirent de rédiger Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes qui préfigure sa théorie de la dissociation.

En 1884, comme développement de sa théorie sur les ions, Arrhenius propose aussi une définition des acides et des bases, estimant que les substances acides produisent des ions d'hydrogène en solution, et que les bases produisent des ions hydroxyde en solution. Il reçoit le prix Nobel de chimie en 1903.

REACTION ACIDE FORT - BASE FORTE

Objectif spécifique

- Interpréter la courbe de variation du pH au cours d'une réaction acide - base.

RAPPEL DE COURS

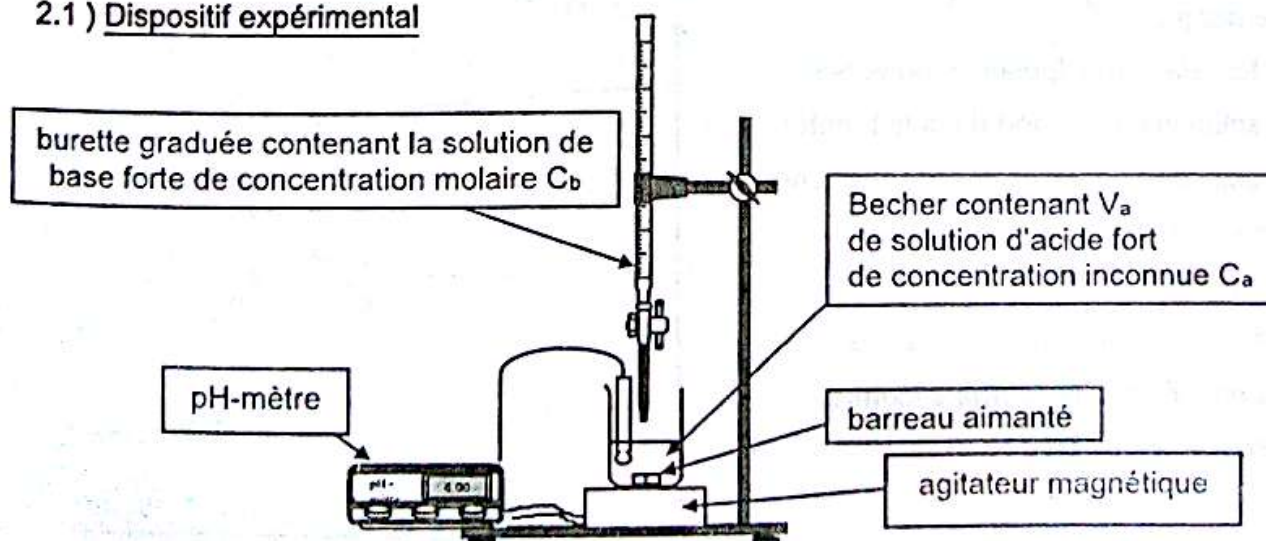
1.) Etude de la réaction

La réaction entre un acide fort quelconque et une base forte quelconque est une réaction totale et exothermique se déroulant entre les ions H_3O^+ et OH^- d'équation-bilan :

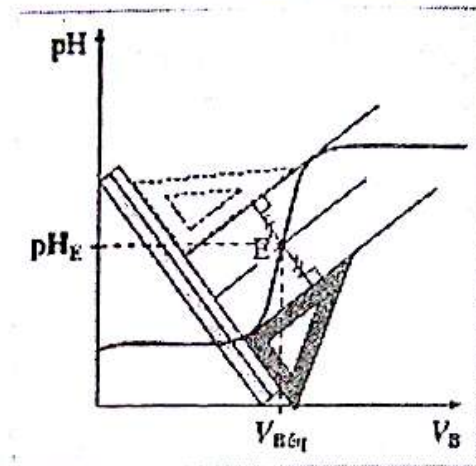
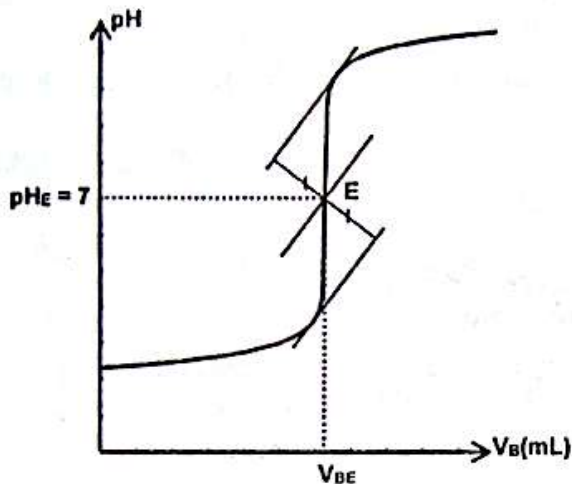


2.) Etude de l'évolution du pH du mélange

2.1) Dispositif expérimental



2.2) Allure de la courbe



Détermination du point équivalent par la méthode des tangentes.

La courbe admet un point particulier E (point d'inflexion) appelé point d'équivalence.

2.3) Détermination graphique du point d'équivalence

- Méthode des tangentes parallèles (voir figures ci-dessus).
- Utilisation des indicateurs colorés : le bleu de Bromothymol (BBT) est adapté (car sa zone de virage contient le pH à l'équivalence).

2.4) Relation d'équivalence

A l'équivalence le nombre de moles de base (OH^-) versés est égale au nombre de moles d'acide (H_3O^+) initial : $n_{\text{OH}^-}(\text{versé}) = n_{\text{H}_3\text{O}^+}(\text{initial})$ ou $C_b V_{bE} = C_a V_a$

Remarque : à l'équivalence on a : $[\text{Cl}^-] = [\text{Na}^+] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_{bE}} = \frac{C_b V_{bE}}{V_a + V_{bE}}$

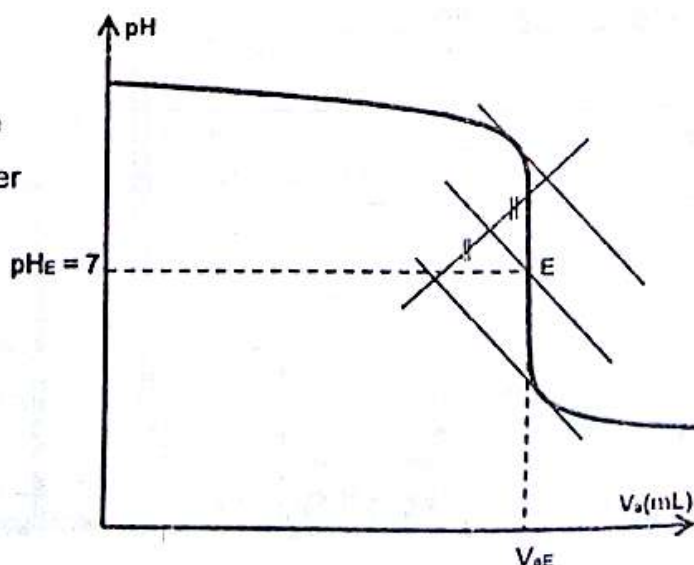
Le pH à l'équivalence est 7 à 25°C.

Remarque :

Si lors de la manipulation, on verse la solution d'acide fort dans la burette et celle de la base forte dans le bécher alors on obtient une réaction qui a les mêmes caractéristiques que précédemment mais dont l'allure est donnée par la courbe ci-contre :

A l'équivalence on a :

- > $C_a V_{aE} = C_b V_b$;
- > $\text{pH}_E = 7$ à 25°C.



3.) Méthode pratique➤ Comment déterminer la nature d'un mélange acide fort-base forte ?

On calcul d'abord les quantités de matières apportées par chacune des solutions.

- Pour l'acide : $n_a = C_a V_a$
- Pour la base : $n_b = C_b V_b$

3.1) si $n_a > n_b$ alors le mélange obtenu est acide

Les ions H_3O^+ de l'acide réagissent avec ceux de OH^- de la base et à la fin de la réaction le mélange obtenu contient majoritairement des ions H_3O^+ . On a alors :

- Quantité d'ions H_3O^+ restant en solution : $n(H_3O^+) = n_a - n_b = C_a V_a - C_b V_b$
- Concentration d'ions H_3O^+ restant en solution : $[H_3O^+] = \frac{n_a - n_b}{V_a + V_b} = \frac{C_a V_a - C_b V_b}{V_a + V_b}$
- pH du mélange obtenu : $pH = -\text{Log}[H_3O^+]$.

3.2) si $n_a < n_b$ alors le mélange obtenu est basique

Les ions H_3O^+ de l'acide réagissent avec ceux de OH^- de la base et à la fin de la réaction le mélange obtenu contient majoritairement des ions OH^- . On a alors :

- Quantité d'ions OH^- restant en solution : $n(OH^-) = n_b - n_a = C_b V_b - C_a V_a$
- Concentration d'ions OH^- restant en solution : $[OH^-] = \frac{n_b - n_a}{V_a + V_b} = \frac{C_b V_b - C_a V_a}{V_a + V_b}$
- pH du mélange obtenu : $pH = 14 + \text{Log}[OH^-]$

3.3) si $n_a = n_b$ alors le mélange obtenu est neutre

Les ions H_3O^+ de l'acide réagissent avec ceux de OH^- de la base et à la fin de la réaction le mélange obtenu contient, en quantité égale, les ions H_3O^+ et OH^- . On a alors :

- Quantité d'ions H_3O^+ et OH^- en solution : $n(H_3O^+) = n(OH^-) = C_b V_b = C_a V_a$.
- Concentration d'ions H_3O^+ et OH^- : $[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{K_e} = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ mol/L}$.
- pH du mélange obtenu : $pH = -\text{Log}[H_3O^+] = 7$.

EXERCICES RESOLUS

NB : Toutes les solutions sont étudiées à 25°C.

Exercice 1

Il faut verser un volume $V_b = 12 \text{ mL}$ d'une solution de soude de concentration $C_b = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ dans un volume $V_a = 8 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique pour atteindre l'équivalence. On donne : volume molaire $V_m = 24 \text{ L/mol}$.

1. Ecrire l'équation bilan de la réaction.
2. Calculer la concentration C_a de la solution acide.
3. Calculer le volume V_a' de chlorure d'hydrogène gazeux qu'il a fallu dissoudre dans un volume $V_e = 100 \text{ mL}$ d'eau pour obtenir cette solution.

Exercice 2

On verse dans $V_a = 200 \text{ mL}$ d'acide chlorhydrique une solution de soude ($C_b = 0,5 \text{ mol/L}$). On mesure le pH en fonction du volume V_b de soude versé.

$V_b \text{ (mL)}$	0	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	4,9	5,0	5,1	5,5	6,0	7,0	10,0	12,0
pH	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,6	2,9	3,6	5,1	10,3	11,0	11,3	11,6	11,8	11,9

- 1.) Faire le schéma annoté du montage.
- 2.) Tracer la courbe $\text{pH} = f(V_b)$. Echelle : 1 cm pour 1 unité pH et 1 cm pour 1 mL.
- 3.) Déterminer le point d'équivalence par la méthode des tangentes.
Quel est le pH à l'équivalence ?
- 4.) En déduire la concentration molaire C_a de la solution d'acide.
- 5.) Calculer les diverses concentrations pour $V_b = 3 \text{ mL}$.

Exercice 3

Un bécher contient $V_1 = 10 \text{ cm}^3$ de soude. On y ajoute progressivement une solution d'acide chlorhydrique ($C_2 = 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$). Le saut de pH se fait pour un volume d'acide versé $V_2 = 18 \text{ cm}^3$.

1. Donner l'allure de la courbe $\text{pH} = f(V)$.
2. Déterminer la concentration molaire C_1 de la solution initiale de soude.
3. Vers quelle valeur tend le pH de la solution finale ?
4. Calculer la masse m de chlorure de sodium se trouvant dans la solution à l'équivalence.
Cette masse augmente-t-elle après l'équivalence ?

On donne : Masses molaires atomiques en g/mol : H : 1 ; O : 16 ; Na : 23 ; Cl : 35,5.

Exercice 4

Un volume $V_b = 50,0$ mL d'hydroxyde de calcium (considérée comme base forte) est dosé par l'acide nitrique (acide fort) de concentration $C_a = 9 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹. L'équivalence est obtenue pour $V_a = 12,0$ mL.

1. Ecrire l'équation de la réaction acide – base.
2. En déduire la concentration C_b de l'hydroxyde de calcium.
3. Calculer le pH de la base de départ ainsi que le pH de l'acide utilisé pour faire ce dosage.
4. Calculer la masse m de nitrate de calcium formé.

On donne : Masses molaires atomiques en g/mol : H : 1 ; O : 16 ; Ca : 40 ; N : 14.

Exercice 5

On veut préparer un volume $V = 1$ L de solution d'acide chlorhydrique ($C = 0,1$ mol.L⁻¹) à partir d'une solution concentrée à $C' = 10$ mol.L⁻¹.

1. Indiquer avec précision comment il faut procéder.
2. A un volume $V_a = 2,0$ mL de la solution acide à $0,1$ mol.L⁻¹ on ajoute un volume $V_s = 100$ mL d'une solution de soude de concentration $C_s = 10^{-2}$ mol.L⁻¹.
 - a. Déterminer la nature de la solution obtenue.
 - b. En déduire l'équation bilan de la réaction.
 - c. Calculer les concentrations des espèces chimiques dans le mélange.
 - d. Déduire son pH.

Exercice 6

A $V_a = 10$ mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration C_a inconnue, on ajoute $V_b = 12,5$ mL d'une solution d'hydroxyde de potassium de concentration massique $C'_b = 4,48$ g/L.

1. Calculer la concentration molaire C_b de la solution d'hydroxyde de potassium.
2. Ecrire l'équation bilan de la réaction.
3. Calculer, à l'équivalence, la concentration molaire C_a de l'acide chlorhydrique.
4. On mélange maintenant $V'_a = 20$ cm³ d'acide à $V'_b = 16$ cm³ de base des solutions initiales.
 - a. L'équivalence acido-basique est-elle atteinte suite à ce mélange ? Justifier.
 - b. Quel est le pH de la solution obtenue ?
 - c. Au cas où l'équivalence n'est pas atteinte, calculer le volume en supplément de l'espèce qu'il faut ajouter pour l'atteindre.

On donne : Masses molaires atomiques en g/mol : H : 1 ; O : 16 ; K : 39 ; Cl : 35,5.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (Bac série C session Juin 2009 Programme Intermédiaire Benin)Données : Volume molaire $V_0 = 24 \text{ L.mol}^{-1}$;Masse atomique molaire en g.mol^{-1} : $M(\text{Mg}) = 24$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{H}) = 1$.

1. Pour préparer une solution S, on dissout un volume $V = 120 \text{ mL}$ de chlorure d'hydrogène gazeux dans un volume $V_1 = 200 \text{ mL}$ d'une solution d'acide bromhydrique de concentration $C_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$.
 - a) Faire le bilan qualitatif et quantitatif des espèces chimiques présentes dans la solution S.
 - b) Montrer que le pH de la solution S vaut 1,52.
2. On dissout du dihydroxyde de magnésium solide dans 20 mL de la solution S.
 - a) Écrire l'équation-bilan de la réaction qui se produit.
 - b) Calculer la masse m de dihydroxyde de magnésium dissout pour que le pH du mélange obtenu soit égal à 7 à 25°C .

Exercice 2 (extrait Bac série D 2nd groupe session 2014 NIGER)

On prélève un volume $V_1 = 20 \text{ cm}^3$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C_1 = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et on y ajoute à l'aide d'une burette un volume V_2 d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_2 = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ jusqu'à l'équivalence acido-basique.

- 1) Écrire l'équation bilan de la réaction.
- 2) Répondre aux questions suivantes en les justifiant :
 - a) Quelle est la valeur du pH de la solution acide de départ ?
 - b) Quel est le volume V_2 de solution d'hydroxyde de sodium versé ?
 - c) Quelle est la valeur du pH à l'équivalence ?

Exercice 3

Les parties I et II sont indépendantes.

Partie I (mélange) : On mélange $V_1 = 30 \text{ cm}^3$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire $C_1 = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et un volume V_2 de soude de concentration molaire initiale $C_2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On ajoute quelques gouttes de bleu de bromothymol.

1. Calculer la valeur de V_2 quand le pH est égal à 2,5.
2. Calculer la concentration des espèces chimiques présentes en solution à $\text{pH} = 2,5$.
3. Calculer le volume de soude à verser pour que la solution obtenue soit de couleur verte.

Partie II (dosage) : Dans un bécher contenant 100 mL d'acide chlorhydrique, on verse, à l'aide d'une burette, une solution d'éthanoate de sodium de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Le tableau ci-dessous indique pour différentes valeurs du volume V en mL de la solution de base versée, les valeurs correspondantes du pH.

V(mL)	0	1,5	3	5	7	7,5	8	8,5	8,7	9,3	9,5	10	10,5	11	13	15	17
pH		2,2	2,3	2,4	2,7	2,8	3	3,4	3,7	10	10,4	10,8	11	11,2	11,4	11,6	11,7

1. Construire le graphe $\text{pH} = f(V)$ en précisant l'échelle.
2. Écrire l'équation bilan de la réaction entre l'ion éthanolate et l'acide chlorhydrique.
3. Quelle est la concentration en mol.L^{-1} de la solution d'acide chlorhydrique ?
4. Compléter le tableau de valeur à $V = 0 \text{ mL}$.
5. Parmi les trois indicateurs colorés suivants, quel sont ceux qui pourraient servir au dosage de l'acide ? Comment serait repéré le volume à l'équivalence ?

Indicateurs	Valeur du pH		
Hélianthine	Rouge 3,1	Orange 4,4	Jaune
BBT	Jaune 6,0	Vert 7,4	Bleu
Jaune d'alizarine	jaune 10,1	violet 12,1	lilas

Exercice 4 : (Extrait Bac D 1996)

Masses molaires en g.mol^{-1} : Na : 23 ; O : 16 ; H : 1

Dans un laboratoire on dispose des produits suivants :

- une solution S d'hydroxyde de sodium de masse volumique $\rho = 1,2 \text{ kg.L}^{-1}$ et pourcentage massique d'hydroxyde de sodium pur 16,7% ;
- une solution d'acide sulfurique de concentration molaire volumique C_a ;
- de l'eau distillée.

1) Montrer que la concentration molaire volumique, C_b de la solution S d'hydroxyde de sodium peut s'écrire : $C_b = \frac{167}{40} \rho$. (ρ étant exprimée en kg.L^{-1})

2) On prélève 10 mL de la solution S qu'on dilue pour obtenir une solution S' de concentration molaire volumique $C_b' = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.

Déterminer le volume d'eau distillée nécessaire à la préparation de S'.

3) Afin de déterminer la concentration C_a de la solution d'acide sulfurique, on dose 10 mL de celle-ci par la solution diluée S' d'hydroxyde de sodium.

3.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction.

3.2. A l'équivalence, le volume de la solution S' d'hydroxyde de sodium utilisé est de 20 mL.

Définir l'équivalence acido-basique et évaluer, justification à l'appui, le pH du mélange à l'équivalence.

3.3. Calculer la concentration C_a de la solution sulfurique.

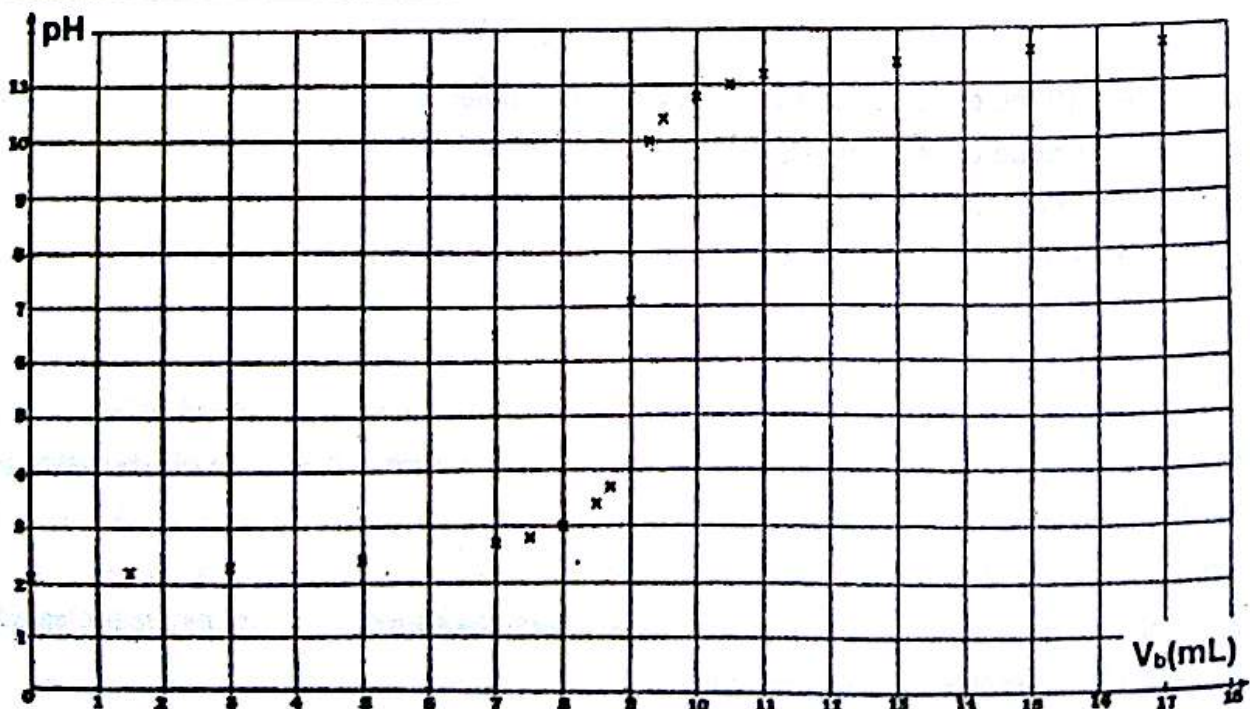
3.4. Calculer les concentrations molaires volumiques des espèces chimiques présentes dans le mélange obtenu, à l'équivalence.

Exercice 5

On donne : $K_e = 10^{-14}$; $M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(N) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$;
 $M(Na) = 23 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(Cl) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(Br) = 80 \text{ g.mol}^{-1}$.

1. Dans une fiole jaugée de 1000 mL contenant initialement 100 mL d'eau, on dissout une masse $m_1 = 4 \text{ g}$ d'hydroxyde de sodium et une masse $m_2 = 29,25 \text{ g}$ de chlorure de sodium puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge pour obtenir une solution S.
 - 1.1. Recenser les espèces chimiques présentes dans la solution S.
 - 1.2. Montrer que la concentration des ions OH^- dans la solution S est $[\text{OH}^-] = 0,1 \text{ mol/L}$
 - 1.3. Calculer les concentrations des autres espèces présentes dans la solution S.
2. Dans un bécher contenant $V_a = 100 \text{ cm}^3$ d'une solution d'un monoacide fort, on verse, à l'aide d'une burette, la solution S. Un pH-mètre permet de suivre l'évolution du pH du mélange en fonction du volume V_b de S versée. On obtient le document ci-dessous.
 - 2.1. Proposer un schéma du dispositif permettant d'effectuer ce dosage.
 - 2.2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction qui se produit au cours de ce dosage.
 - 2.3. Préciser sur le document joint en annexe, en le justifiant, le point d'équivalence. En déduire la concentration C_a de la solution de ce monoacide fort.
 - 2.4. A l'instant où le $\text{pH} = 11$ au cours du dosage, déterminer le nombre de moles des ions OH^- dans le bécher.
 - 2.5. La masse de ce monoacide fort contenue initialement dans le bécher est $m_a = 9,045 \cdot 10^{-2} \text{ g}$. Calculer la masse molaire du monoacide, puis l'identifier par sa formule brute et son nom.

Formules brutes	HBr	HCl	HClO ₄	HNO ₃
Noms	Acide bromhydrique	Acide chlorhydrique	Acide perchlorique	Acide nitrique



Exercice 6 (extrait Bac Blanc Régional Session 2014 DRENET Abidjan 3 C.I.)

Un professeur de Physique-Chimie fait déterminer la concentration molaire d'une solution d'hydroxyde de sodium par un groupe d'élèves. Pour cela, il remet au groupe d'élèves une bouteille contenant une solution commerciale S_0 d'hydroxyde de sodium. Sur cette bouteille, on peut lire les inscriptions suivantes : Masse molaire = 40 g/mol ; Densité = 1,2 ; Pourcentage en masse d'hydroxyde de sodium = 20,83%.

- Vérifier que la concentration de la solution commerciale S_0 est $C_0 \approx 6,25$ mol/L.
- Afin de préparer une solution S_b d'hydroxyde de sodium de volume $V = 500$ mL, le groupe d'élèves prélève un volume $V_0 = 2$ mL de S_0 . Le groupe dispose du matériel suivant :

- 01 pissette
- 03 béchers (50 mL ; 100 mL ; 250 mL)
- 03 erlenmeyers (125 mL ; 250 mL ; 500 mL)
- 04 fioles jaugées (100 mL ; 250 mL ; 500 mL ; 1 L)
- 04 pipettes munies de propipettes (1 mL ; 2 mL ; 5 mL ; 10 mL)
- 03 éprouvettes graduées (10 mL ; 25 mL ; 50 mL)
- de l'eau distillée

2.1. Préciser la liste de matériels permettant au groupe de préparer la solution S_b et donner le mode opératoire complet de la dilution.

2.2. Calculer la concentration molaire C_b de la solution S_b ainsi préparée.

- Afin de vérifier cette concentration C_b trouvée au 2.2, le groupe procède à un dosage de la solution S_b par une solution A d'acide nitrique de concentration $C_a = 5 \cdot 10^{-2}$ mol/L. Il prélève alors un volume $V_b = 20$ mL de la solution S_b qu'il met dans un bécher et à l'aide d'une burette graduée, le groupe verse progressivement la solution A et mesure après chaque ajout, le pH du mélange. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous

V_a (mL)	0	2	3	4	5	5,5	6,5	7,5	8	8,5	9	9,5
pH	12,4	12,3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,7	11,6	11,4	11,2	10,9
V_a (mL)	10	10,5	11	11,5	12	12,5	14	15	18	20		
pH	7	3,1	2,8	2,6	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9		

3.1. Faire le schéma expérimental permettant de réaliser le dosage.

3.2. Ecrire l'équation bilan de la réaction

3.3. Tracer sur une feuille de papier millimétré, le graphe $\text{pH} = f(V_a)$ et déterminer les coordonnées du point d'équivalence E.

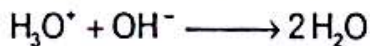
Echelle : 1 cm \rightarrow 1 mL et 1 cm \rightarrow 1 unité de pH.

3.4. Définir l'équivalence acido-basique

3.5. En déduire la concentration C_b de la solution S_b dosée. Comparer avec le résultat de la question 2.2.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1. Equation bilan de la réaction.



2. Calculons la concentration
- C_a
- de la solution acide.

$$\text{A l'équivalence on a : } C_a V_a = C_b V_b \Rightarrow C_a = \frac{C_b V_b}{V_a}$$

$$\text{Application numérique : } C_a = \frac{5,0 \cdot 10^{-2} \times 12}{8} = 0,075 \text{ mol/L} = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

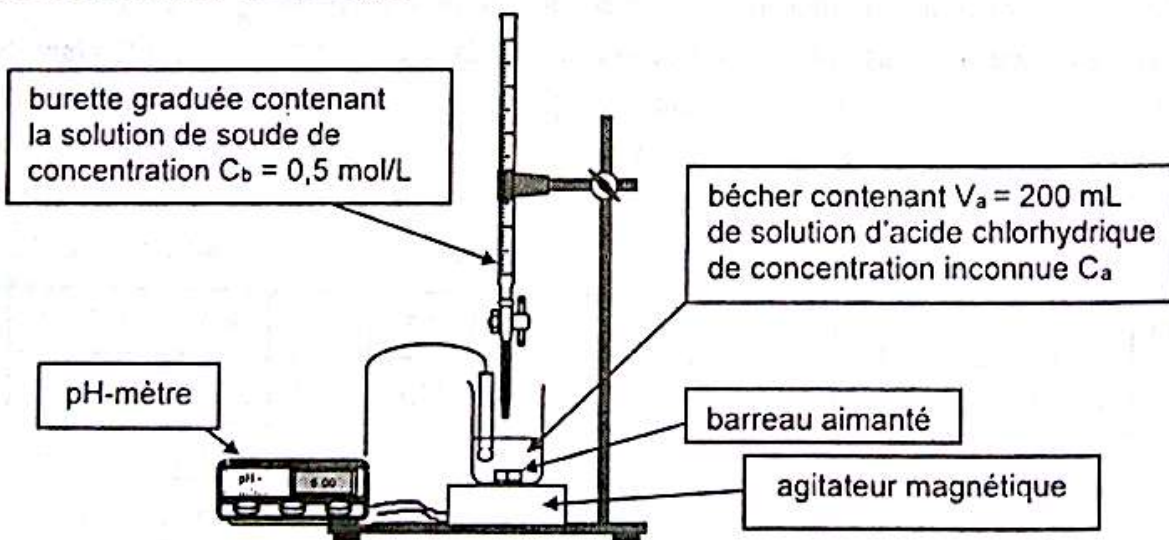
3. Volume
- V_a'
- de HCl à dissoudre dans
- $V_e = 100$
- mL d'eau pour obtenir cette solution.

$$C_a = \frac{n_{\text{HCl}}}{V_e} = \frac{V_a'}{V_m} = \frac{V_a'}{V_m \times V_e} \Rightarrow V_a' = C_a \times V_m \times V_e$$

$$\text{Application numérique : } V_a' = 7,5 \cdot 10^{-2} \times 24 \times 0,1 = 0,18 \text{ L} = 180 \text{ mL}$$

Exercice 2

- 1.) Schéma annoté du montage.



- 2.) Tracé de la courbe
- $\text{pH} = f(V_b)$
- . Echelle : 1 cm pour 1 unité pH et 1 cm pour 1 cm
- ³
- .

Voir courbe ci-après.

- 3.) Détermination du point d'équivalence par la méthode des tangentes et de
- pH_E
- .

On trouve graphiquement $E(V_{bE} = 5,05 \text{ mL} ; \text{pH}_E = 7)$. Voir courbe ci-après.

- 4.) Déduction de la concentration molaire
- C_a
- de la solution d'acide.

$$\text{A l'équivalence on a : } C_a V_a = C_b V_{bE} \Rightarrow C_a = \frac{C_b V_{bE}}{V_a}$$

$$\text{Application numérique : } C_a = \frac{0,5 \times 5,05}{200} = 0,012625 \text{ mol/L} = 1,2625 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

5.) Calcul des diverses concentrations molaires pour $V_b = 3 \text{ mL}$.

Pour $V_b = 3 \text{ mL}$ d'acide fort versé, $\text{pH} = 2,3$

bilan des espèces chimiques : H_3O^+ , OH^- , Na^+ , Cl^- ; (ou H_2O)

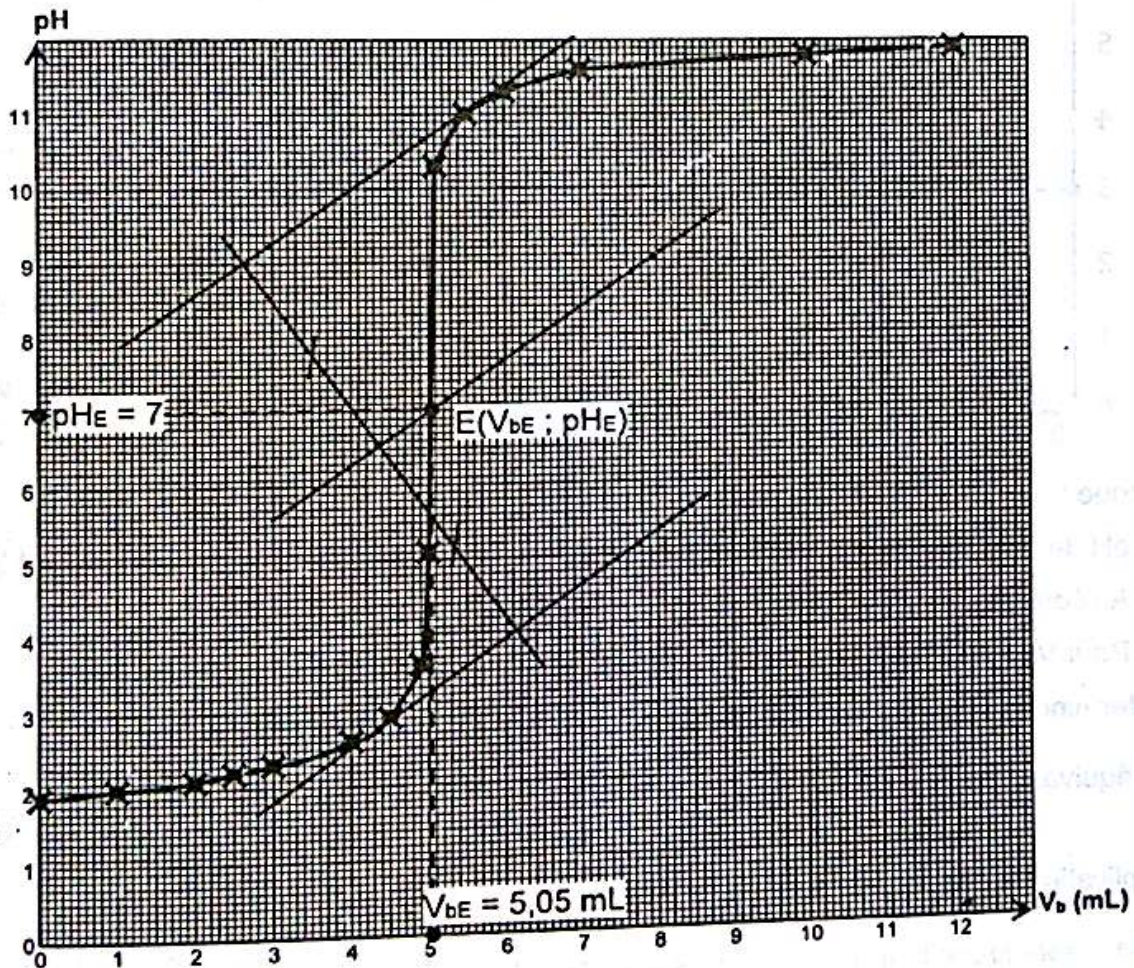
➤ $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2,3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$;

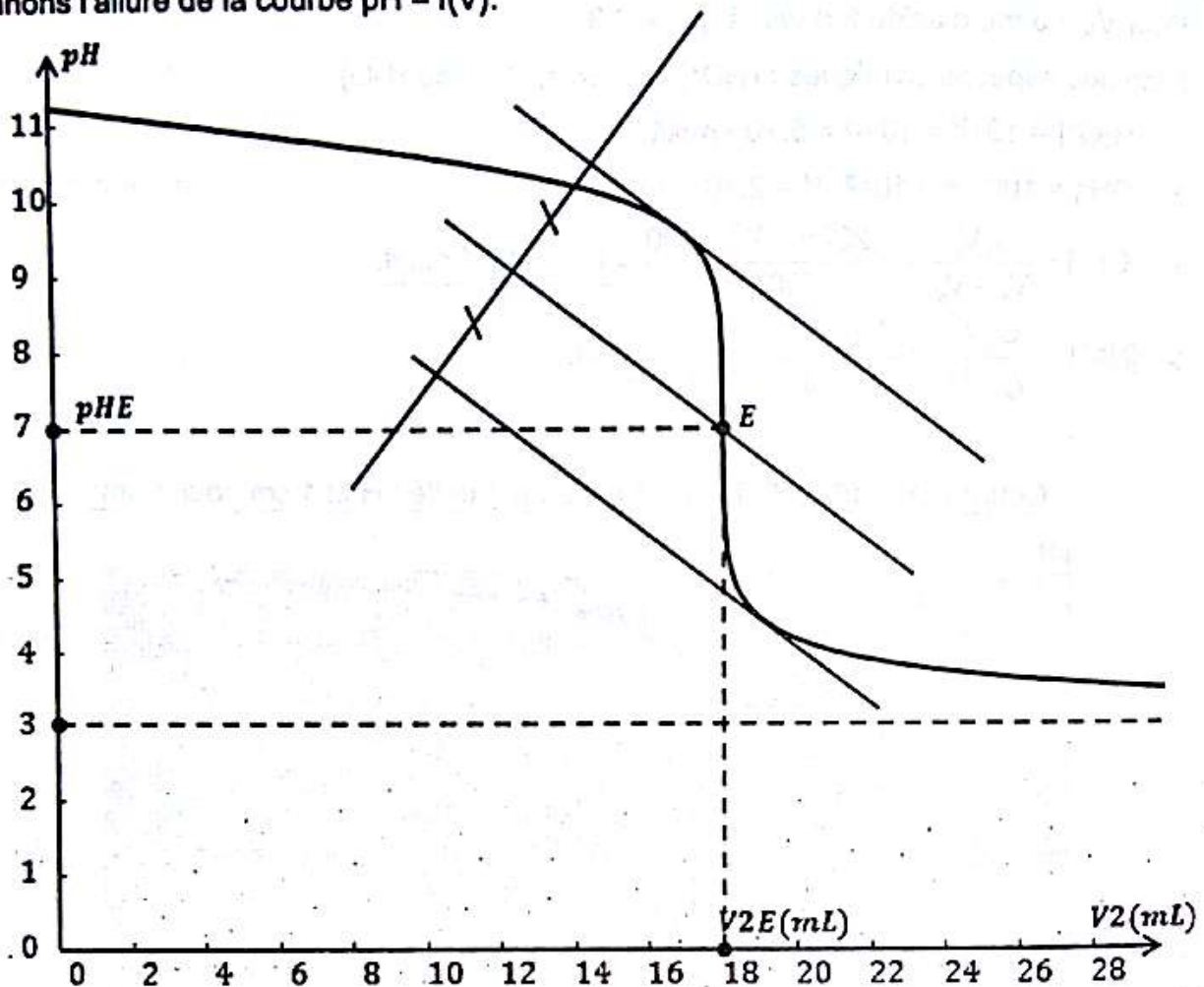
➤ $[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{2,3-14} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$;

➤ $[\text{Cl}^-] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = \frac{1,2625 \cdot 10^{-2} \times 200}{200 + 3} = \underline{1,244 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}}$

➤ $[\text{Na}^+] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = \frac{0,5 \times 3}{200 + 3} = \underline{7,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}}$

Courbe $\text{pH} = f(V_b)$. Echelle : 1 cm pour 1 unité pH et 1 cm pour 1 cm^3



Exercice 31. Donnons l'allure de la courbe $\text{pH} = f(V)$.

Remarque :

- pH de la solution initiale de soude est : $\text{pH} = 14 + \log C_1 = 14 + \log(1,8 \cdot 10^{-3}) \approx 11,3$
- A l'équivalence de cet dosage, $\text{pH}_E = 7$ et $V_{2E} = 18$ mL.
- Pour V_2 très grand, on a : $\text{pH}_{\text{lim}} = -\log(C_2) = -\text{Log}(10^{-3}) = 3$.

2. Déterminons la concentration molaire C_1 de la solution initiale de soude.

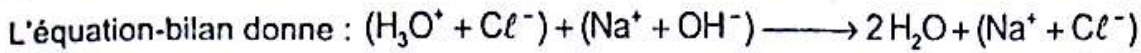
$$\text{A l'équivalence on a : } C_1 V_1 = C_2 V_{2E} \Rightarrow C_1 = \frac{C_2 V_{2E}}{V_1}$$

$$\text{Application numérique : } C_1 = \frac{10^{-3} \times 18}{10} = \underline{1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}}$$

3. Valeur vers laquelle tend le pH de la solution finale.

Dans la solution finale, le volume V_2 d'acide fort versé devient très grand. Ainsi le volume de base forte ($V_1 = 10$ mL) devient négligeable devant celui d'acide fort versé ; le mélange tend alors vers une solution d'acide fort. Ainsi le pH de la solution tendra vers la valeur suivante : $\text{pH} = -\text{Log}(C_2) = -\text{Log}(10^{-3}) = 3$.

4. Calculons la masse m de chlorure de sodium se trouvant dans la solution à l'équivalence.



Le mélange obtenu est la solution de chlorure de sodium ($\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$)

Après évaporation de l'eau on obtient les cristaux de chlorure de sodium NaCl .

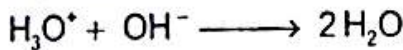
$$\text{D'après le bilan molaire on a : } n_{\text{NaCl}} = n_1 = n_2 \Rightarrow \frac{m_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}}} = C_2 V_{2E} \Rightarrow m = C_2 V_{2E} M_{\text{NaCl}}$$

$$\text{A.N : } m = 10^{-3} \times 18.10^{-3} \times (23 + 35,5) = 1,053.10^{-3} \text{ g} = 1,053 \text{ mg.}$$

Non, la masse de NaCl après l'équivalence n'augmente plus, puisque l'excès d'acide apporte des ions Cl^- , mais pas d'ions Na^+ .

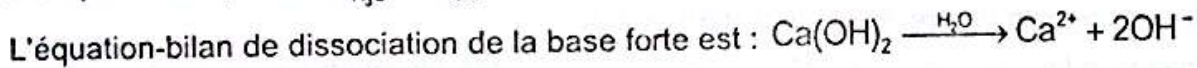
Exercice 4

1. Equation de la réaction acide – base.



2. Déduction de la concentration C_b de l'hydroxyde de calcium.

A l'équivalence, on a : $n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_{\text{OH}^-}$



$$\text{D'après le bilan molaire de cette équation : } \frac{n_{\text{OH}^-}}{2} = \frac{n_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{1} \Rightarrow n_{\text{OH}^-} = 2 n_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 2 n_b$$

$$\text{Donc on a : } n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_{\text{OH}^-} \Rightarrow n_a = 2 n_b \Rightarrow C_a V_{aE} = 2 C_b V_b \Rightarrow C_b = \frac{C_a V_{aE}}{2 V_b}$$

$$\text{Application numérique : } C_b = \frac{9.10^{-2} \times 12,0}{2 \times 50,0} = 0,0108 \text{ mol/L} = 1,08.10^{-2} \text{ mol/L}$$

3. Calcul du pH de la base de départ ainsi que du pH de l'acide utilisé pour faire ce dosage.

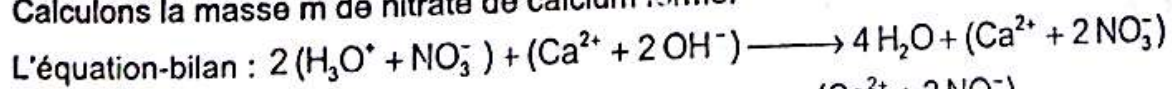
➤ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est une dibase forte donc son pH obéit à la relation : $\text{pH} = 14 + \text{Log}(2C_b)$

$$\text{Application numérique : } \text{pH} = 14 + \text{Log}(2 \times 1,08.10^{-2}) \approx 12,3.$$

➤ HNO_3 est un acide fort donc son pH obéit à la relation : $\text{pH} = -\text{Log}C_a$

$$\text{Application numérique : } \text{pH} = -\text{Log}(9.10^{-2}) \approx 1.$$

4. Calculons la masse m de nitrate de calcium formé.



Le mélange obtenu est la solution de nitrate de calcium ($\text{Ca}^{2+} + 2 \text{NO}_3^-$)

Après évaporation de l'eau on obtient les cristaux de nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

D'après le bilan molaire de l'équation précédente on a :

$$\frac{n_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}{1} = \frac{n_a}{2} = \frac{n_b}{1} \Rightarrow \frac{m_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}{M_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}} = \frac{C_a V_{aE}}{2} \Rightarrow m = \frac{C_a V_{aE} M_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}{2}$$

$$\text{A.N : } m = \frac{9.10^{-2} \times 12,0.10^{-3} \times (40 + 2 \times (14 + 3 \times 16))}{2} = 0,08856 \text{ g} = 88,56 \text{ mg}$$

Exercice 5

1. Indiquons avec précision comment il faut procéder.

➤ Détermination du volume de solution à prélever.

Il s'agit ici d'une dilution au cours de laquelle la quantité de matière se conserve.

$$n = n' \Rightarrow CV = C'V' \Rightarrow V' = \frac{CV}{C'}$$

$$\text{Application numérique : } V' = \frac{0,1 \times 1}{10} = \underline{0,01\text{L}} = \underline{10\text{ mL}}$$

➤ Mode opératoire

- Verser une certaine quantité de la solution concentrée d'acide chlorhydrique dans un bécher ;
- Prélever dans ce bécher, 10 mL de la solution concentrée à l'aide d'une pipette ;
- Verser les 10 mL de solution prélevée dans une fiole jaugée de 1000 mL ;
- Compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge à l'aide d'une pissette préalablement remplie d'eau distillée ;
- Rendre homogène la solution obtenue.

2. A $V_a = 2,0\text{ mL}$ d'acide à $0,1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ on ajoute $V_s = 100\text{ mL}$ de soude de $C_s = 10^{-2}\text{ mol/L}$.

a. Déterminons la nature de la solution obtenue.

Calculons les quantités de matières d'acide et de base introduites dans le mélange.

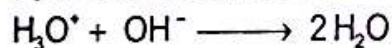
$$\text{➤ } n(\text{H}_3\text{O}^+) = C_a \times V_a = 0,1 \times 2 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-4}\text{ mol}$$

$$\text{➤ } n(\text{OH}^-) = C_s \times V_s = 10^{-2} \times 100 \cdot 10^{-3} = 10^{-3}\text{ mol}$$

$\Rightarrow n(\text{H}_3\text{O}^+) < n(\text{OH}^-)$ donc la solution obtenue est basique.

b. Dédudons de l'équation bilan de la réaction.

Il y a donc eu réaction entre les ions H_3O^+ et ceux de OH^- .



c. Calculons les concentrations des espèces chimiques dans le mélange.

bilan des espèces chimiques : H_3O^+ , OH^- , Na^+ , Cl^- ; (ou H_2O)

Les ions H_3O^+ ont réagi avec ceux de OH^- et à la fin de la réaction le mélange obtenu contient majoritairement des ions OH^- étant donné qu'il est basique.

Sa concentration vaut $C = [\text{OH}^-]$ et son volume est $V = V_a + V_s = 2 + 100 = 102\text{ mL}$.

$$\text{➤ } [\text{Cl}^-] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_s} = \frac{0,1 \times 2,0}{2 + 100} = \underline{1,96 \cdot 10^{-3}\text{ mol/L}}$$

$$\text{➤ } [\text{Na}^+] = \frac{C_s V_s}{V_a + V_s} = \frac{10^{-2} \times 100}{2,0 + 100} = \underline{9,8 \cdot 10^{-3}\text{ mol/L}}$$

$$\text{➤ } [\text{OH}^-] = \frac{C_s V_s - C_a V_a}{V_a + V_s} = \frac{10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}}{(2,0 + 100) \cdot 10^{-3}} = \underline{7,84 \cdot 10^{-3}\text{ mol/L}}$$

$$\text{➤ } K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_e}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{7,84 \cdot 10^{-3}} = \underline{1,275 \cdot 10^{-12}\text{ mol/L}}$$

d. Dédudons de son pH.

Par définition, $\text{pH} = -\text{Log}[\text{H}_3\text{O}^+] = -\text{Log}(1,275 \cdot 10^{-12}) = 11,9$.

Exercice 6

1. Calculons la concentration molaire C_b de la solution d'hydroxyde de potassium.

$$C_b = \frac{m_b}{V_b} = \frac{n_b \times M_b}{V_b} = \frac{n_b}{V_b} \times M_b = C_b \times M_b \Rightarrow C_b = \frac{C_b}{M_b}$$

$$\text{Application numérique : } C_b = \frac{4,48}{39 + 16 + 1} = 0,08 \text{ mol/L} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

2. Ecrivons l'équation bilan de la réaction.



3. Calculons, à l'équivalence, la concentration molaire C_a de l'acide chlorhydrique.

$$\text{A l'équivalence on a : } C_a V_a = C_b V_b \Rightarrow C_a = \frac{C_b V_b}{V_a} \Rightarrow C_a = \frac{8 \cdot 10^{-2} \times 12,5}{10} = 10^{-1} \text{ mol/L}$$

4. On mélange $V_a' = 20 \text{ cm}^3$ d'acide à $V_b' = 16 \text{ cm}^3$ de base des solutions initiales.

a. Montrons, en justifiant, si l'équivalence acido-basique est atteinte suite à ce mélange.

Calculons les quantités de matières d'acide et de base introduites dans le mélange.

$$\text{> } n_a = C_a \times V_a' = 10^{-1} \times 20 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\text{> } n_b = C_b \times V_b' = 8 \cdot 10^{-2} \times 16 \cdot 10^{-3} = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$\Rightarrow n_a \neq n_b$ donc l'équivalence acido-basique n'est pas atteinte.

b. Calculons le pH de la solution obtenue

On a : $n_a > n_b$ donc le mélange est acide.

$$\text{Donc : } [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{n_a - n_b}{V_a + V_b} = \frac{2 \cdot 10^{-3} - 1,28 \cdot 10^{-3}}{(20 + 16) \cdot 10^{-3}} = 0,02 \text{ mol/L}$$

$$\text{Par définition, } \text{pH} = -\text{Log}[\text{H}_3\text{O}^+] = -\text{Log}(2 \cdot 10^{-2}) = 1,7$$

c. Calculons le volume en supplément de l'espèce qu'il faut ajouter pour l'atteindre.

$$\text{A l'équivalence, } C_a V_a' = C_b V_{bE} \Rightarrow V_{bE} = \frac{C_a V_a'}{C_b} \Rightarrow V_b + V_b' = \frac{C_a V_a'}{C_b} \Rightarrow V_b' = \frac{C_a V_a'}{C_b} - V_b'$$

$$\text{Application numérique : } V_b' = \frac{10^{-1} \times 20 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-2}} - 16 \cdot 10^{-3} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 9 \text{ mL}$$



Johannes Nicolaus Brønsted
(1849-1947)

Chimiste Danois

Il est connu pour ses travaux sur la réaction chimique, et la formulation en 1923 de la théorie de Brønsted-Lowry des acides qui étend la théorie d'Arrhénius. Celle-ci définit les acides comme substances qui ont tendance à donner un proton et les bases comme substances qui ont tendance à accepter un proton. Cette théorie a été publiée à quelques mois d'intervalle par Brønsted et Lowry. Comme ils obtinrent les mêmes conclusions de manière indépendante, leurs deux noms furent associés à celle-ci.

ACIDE FAIBLE - BASE FAIBLE CLASSIFICATION DES COUPLES ACIDE/BASE

Objectifs spécifiques

- Définir un acide faible et une base faible à partir des solutions aqueuses d'acide éthanoïque et d'éthanoate de sodium.
- Définir un acide et une base selon Brønsted.
- Reconnaître l'espèce acide et l'espèce basique.
- Classer les couples acide/base suivant leur constante d'acidité K_A ou de leur pK_A .
- Déterminer l'expression du pH en fonction du pK_A du couple acide/base.
- Savoir qu'un équilibre chimique résulte de la coexistence de deux réactions opposées

RAPPEL DE COURS

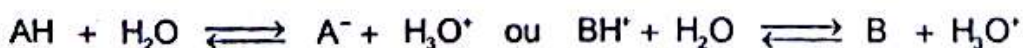
1.) Définition

Selon Brønsted :

- un acide est une substance susceptible céder un ou plusieurs protons :
acide \rightleftharpoons base + H^+ .
- une base est une substance susceptible de capter un ou plusieurs protons :
base + H^+ \rightleftharpoons acide .

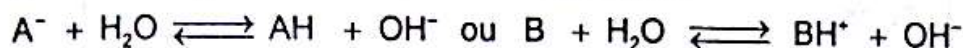
2.) Acide faible

Une substance (AH ou BH⁺) qui dans l'eau produit des ions H₃O⁺ suivant une réaction limitée ou réversible(double flèche) est un acide faible.



3.) Base faible

Une substance (A^- ou B) qui dans l'eau produit des ions OH^- suivant une réaction limitée ou réversible (double flèche) est une base faible.

**4.) Couple acide/base**

L'action d'un acide faible ou d'une base faible sur l'eau conduit à un équilibre chimique entre l'acide et la base. Ainsi acide et base constituent un couple acide/base.

- Acide faible sur l'eau : $\text{acide} + H_2O \rightleftharpoons \text{base} + H_3O^+$
- Base faible sur l'eau : $\text{base} + H_2O \rightleftharpoons \text{acide} + OH^-$

5.) Constante d'acidité

L'équilibre chimique entre un acide et sa base conjuguée est caractérisée par une constante K_A

appelée constante d'acidité : $K_A = \frac{[BASE] \times [H_3O^+]}{[ACIDE]}$

On définit aussi le pK_A tel que : $pK_A = -\text{Log}K_A \Rightarrow K_A = 10^{-pK_A}$

$$pK_A = -\text{Log} \frac{[BASE] \times [H_3O^+]}{[ACIDE]} = -\text{Log} \frac{[BASE]}{[ACIDE]} - \text{Log}[H_3O^+] \Rightarrow pH = pK_A + \text{Log} \frac{[BASE]}{[ACIDE]}$$

6.) Domaine de prédominance des formes acide et basique

Le domaine de prédominance de la forme acide ou de la forme basique d'un couple acide/base en solution varie en fonction du pH du milieu :

- si $pH < pK_A$ la forme acide est majoritaire ;
- si $pH = pK_A$ la forme acide et la forme basique sont en proportion identique ;
- si $pH > pK_A$ la forme basique est majoritaire.

7.) Indicateur coloré**7.1. Définition**

Un indicateur coloré est une substance naturelle ou synthétique qui change de couleur selon la nature de la solution.

7.2. Principe

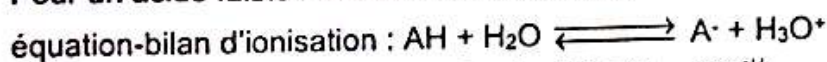
Les indicateurs colorés sont des acides ou des bases organiques dont les formes acide et basique sont de couleurs différentes. Le couple acido-basique correspondant aux deux formes de l'indicateur coloré est caractérisé par son pK_A . Lorsque la forme basique est majoritaire, la solution a la couleur de la base ; dans le cas contraire, c'est la forme acide qui donne sa couleur à la solution. On définit ainsi une zone de virage de l'indicateur coloré, correspondant au passage d'un domaine à l'autre et se traduisant par un changement de coloration de la solution.

7.3. Quelques exemples d'indicateurs colorés

Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage (Teinte sensible)	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4 (orange)	Jaune
Rouge de méthyle	Rouge	4,2 – 6,2 (marron)	Jaune
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6 (vert)	Bleu
Phéniolphtaléine	Incolore	8,2 – 10 (rose claire)	Rose

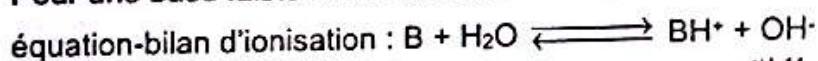
8.) Classification des couples acide/base8.1. Coefficient d'ionisation ou de dissociation α

- Pour un acide faible AH de concentration C_a



$$\text{coefficient de dissociation : } \alpha = \frac{[\text{A}^-]}{C_a} \approx \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{C_a} = \frac{10^{-\text{pH}}}{C_a}$$

- Pour une base faible B de concentration C_b



$$\text{coefficient de dissociation : } \alpha = \frac{[\text{BH}^+]}{C_b} \approx \frac{[\text{OH}^-]}{C_b} = \frac{10^{\text{pH}-14}}{C_b}$$

Remarque : de deux acides (ou bases) de même concentration le plus fort (ou la plus forte) est celui (ou celle) qui a son coefficient d'ionisation élevé.

8.2. Force d'un acide ou d'une base

- Un acide est d'autant plus fort que son K_A est grand ou que son $\text{p}K_A$ est petit.
- Une base est d'autant plus forte que son K_A est petit ou que son $\text{p}K_A$ est grand.
- De deux acides faibles de même concentration, le plus fort a le pH le plus bas.
- De deux bases faibles de même concentration, le plus fort a le pH le plus grand.

9.) Méthodes pratiques9.1. Comment comparer la force de deux acides ou de deux bases ?

- Comparer les constantes $\text{p}K_A$ ou K_A des couples si ces constantes sont données.
- Comparer les coefficients d'ionisation ou de dissociation α de chaque acide ou base si les solutions ont la même concentration.
- Comparer les pH des espèces si celles-ci ont la même concentration.

9.2. Comment appliquer la conservation de la quantité de matière à une solution ?

a) Solution unique d'acide faible AH ou BH^+ de concentration C_a

$$C_a = [\text{AH}] + [\text{A}^-] \quad \text{ou} \quad C_a = [\text{BH}^+] + [\text{B}]$$

Exemples :

- solution d'acide méthanoïque (HCOOH) : $C_a = [\text{HCOOH}] + [\text{HCOO}^-]$
- solution de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) : $C_a = [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3]$

b) Solution unique de base faible A^- ou B de concentration C_b

$$C_b = [AH] + [A^-] \quad \text{ou} \quad C_b = [BH^+] + [B]$$

Exemples :

- > solution d'éthanoate de sodium (CH_3COONa) : $C_b = [CH_3COOH] + [CH_3COO^-]$
- > solution d'ammoniac (NH_3) : $C_b = [NH_4^+] + [NH_3]$

c) Mélange d'une solution d'acide faible AH ou BH^+ de concentration C_a et de volume V_a avec une solution de base forte de volume V_b

$$\frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = [AH] + [A^-] \quad \text{ou} \quad \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = [BH^+] + [B]$$

Exemples :

- > mélange d'acide méthanoïque ($HCOOH$) et d'hydroxyde de sodium ($NaOH$) :

$$\frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = [HCOOH] + [HCOO^-]$$

- > mélange de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) et d'hydroxyde de sodium ($NaOH$) :

$$\frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = [NH_4^+] + [NH_3]$$

d) Mélange d'une solution de base faible A^- ou B de concentration C_b et de volume V_b avec une solution d'acide fort de volume V_a

$$\frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [AH] + [A^-] \quad \text{ou} \quad \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [BH^+] + [B]$$

Exemples :

- > mélange de méthanoate de sodium ($HCOONa$) et d'acide chlorhydrique (HCl) :

$$\frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [HCOOH] + [HCOO^-]$$

- > mélange d'ammoniac (NH_3) et d'acide chlorhydrique (HCl) : $\frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [NH_4^+] + [NH_3]$

e) Mélange d'une solution d'acide faible AH ou BH^+ de concentration C_a et de volume V_a et une solution de sa base conjuguée A^- ou B de concentration C_b et de volume V_b

$$\frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [HA] + [A^-] \quad \text{ou} \quad \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [BH^+] + [B]$$

Exemples :

- > mélange d'acide éthanoïque (CH_3COOH) et d'éthanoate de sodium (CH_3COONa) :

$$\frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [CH_3COOH] + [CH_3COO^-]$$

- > mélange de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) et d'ammoniac (NH_3) :

$$\frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [NH_4^+] + [NH_3]$$

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

- 1) Une solution d'acide benzoïque C_6H_5COOH de concentration molaire $C_a = 0,1 \text{ mol/L}$ a un $pH = 2,6$. Toutes les expériences se font à $25^\circ C$; $K_e = 10^{-14}$; $pK_a(NH_4^+/NH_3) = 9,2$.
- 1.1. Déterminer la masse d'acide benzoïque C_6H_5COOH que l'on doit dissoudre dans l'eau pure pour obtenir $V_a = 200 \text{ cm}^3$ d'une solution de concentration $C_a = 0,1 \text{ mol/L}$.
On donne : $M_H = 1 \text{ g/mol}$; $M_C = 12 \text{ g/mol}$; $M_O = 16 \text{ g/mol}$.
 - 1.2. L'acide benzoïque est-il un acide fort ou faible ? Justifier.
 - 1.3. Écrire l'équation-bilan de la réaction avec l'eau.
 - 1.4. Calculer les concentrations molaires des espèces chimiques dans la solution.
 - 1.5. En déduire le coefficient de dissociation α de l'acide dans l'eau et conclure.
 - 1.6. Donner l'expression de la constante d'acidité K_a du couple acide/base, calculer sa valeur ainsi que son pK_a .
 - 1.7. Comparer la force de cet acide avec celui du couple NH_4^+/NH_3 . Justifier.
- 2) Sur l'étiquette d'une bouteille de soda on peut lire entre autres : conservateur : benzoate de sodium (C_6H_5COONa). Les mesures effectués sur la solution contenue dans cette bouteille donne : $pH = 8$ et $C_b = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.
- 2.1. Écrire les équations-bilan des réactions qui ont lieu.
 - 2.2. Calculer les concentrations molaires des espèces chimiques dans la solution.
 - 2.3. Retrouver la valeur du pK_a calculée à la question 1.6).

Exercice 2 (extrait Bac Blanc 2013 Lycée Sainte Marie Cocody Côte d'Ivoire)

Les expériences sont faites à $25^\circ C$. On donne en g/mol : $M_H = 1$; $M_C = 12$; $M_N = 14$.

1. On prépare une solution aqueuse en dissolvant $m = 6,2 \text{ g}$ de méthylamine CH_3NH_2 par litre de solution. La mesure du pH donne la valeur 12.
 - 1.1. Calculer la concentration molaire C de la solution obtenue.
 - 1.2. Montrer que la méthylamine est une base faible.
 - 1.3. Écrire l'équation de sa réaction avec l'eau.
 - 1.4. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution et déterminer la concentration molaire de chacune.
 - 1.5. En déduire le pK_a du couple correspondant qu'on notera pK_{a1} .
2. A $V_a = 10 \text{ cm}^3$ d'une solution d'acide éthanóique CH_3COOH de concentration molaire $C_a = 0,5 \text{ mol/L}$, on ajoute $V_b = 15 \text{ cm}^3$ d'une solution d'éthanoate de sodium de concentration molaire $C_b = 0,333 \text{ mol/L}$. Le pH du mélange obtenu est égal à 4,8.
 - 2.1. Faire le bilan des espèces chimiques dans le mélange et calculer leur concentration.
 - 2.2. Calculer le rapport $\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$ et en déduire le pK_a du couple qu'on notera pK_{a2} .

- 3.
- 3.1. Entre la méthylamine et l'ion éthanoate quelle est la base la plus forte ? Justifier.
- 3.2. Placer sur un axe gradué en unité pH, les domaines de prédominances des couples étudiés aux questions 1 et 2.

Exercice 3

Un indicateur coloré est un acide faible ou une base faible d'un couple acide-base dont les formes acide et base conjuguées ont des couleurs ou teintes différentes.

L'hélianthine est, en solution aqueuse, un indicateur coloré qui peut être considéré comme un acide faible dont le couple acide/base sera noté en abrégé HIn/In^- et a un pK_a égal à 3,8.

- 1) Donner l'équation chimique traduisant la réaction de l'hélianthine avec l'eau.
- 2) Définir la constante K_a et le pK_a de cet indicateur.
- 3) La couleur d'une solution contenant quelques gouttes d'hélianthine apparaît :
 - rouge, couleur de sa forme acide, si $[\text{HIn}] > 10[\text{In}^-]$
 - jaune, couleur de sa forme basique, si $[\text{In}^-] > 10[\text{HIn}]$.
 - a) Quelles sont les valeurs du pH qui délimitent la zone de virage de l'indicateur coloré ?
 - b) Faire un diagramme de pH. Préciser les différents domaines et sa zone de virage.
- 4) On ajoute quelques gouttes de la solution d'hélianthine à une solution de chlorure d'ammonium de $\text{pH} = 5,1$. Le pH de cette solution n'est pas modifié par cette adjonction. Quelle est la couleur observée ? Justifier votre réponse.

Exercice 4

On souhaite étudier le couple acido-basique ion éthylammonium/éthylamine ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+/\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$) noté ensuite BH^+/B .

- 1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'eau sur le chlorure d'éthylammonium.
- 2) On place dans un bécher un volume $V_a = 50 \text{ mL}$ d'une solution de chlorure d'éthylammonium de concentration $C_a = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On ajoute à l'aide d'une burette un volume V_b d'une solution aqueuse d'éthylamine de concentration $C_b = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. On relève à chaque fois le pH.

V(mL)	5	10	15	20	25	30	35
pH	10,1	10,4	10,5	10,7	10,8	10,9	11,0

- 2.1. Tracer la courbe $\text{pH} = f(\log[\text{B}]/[\text{BH}^+])$ et déterminer son équation.
Echelle : 1 cm pour 1 unité de pH et 1 cm pour 0,1 unité de $\log[\text{B}]/[\text{BH}^+]$.
- 2.2. En déduire la valeur du pK_a du couple BH^+/B .

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1**

La méthylamine CH_3NH_2 est une base faible dont le pK_a du couple auquel il appartient est égal à 10,7.

- Après avoir défini une base faible, rappeler la différence entre une base faible et une base forte.
- Une solution aqueuse de méthylamine de concentration molaire C inconnue, a un $\text{pH} = 11,5$. Après avoir fait le bilan des espèces chimiques en présence,
 - Calculer le K_a de la méthylamine.
 - Déterminer les concentrations molaires de ces espèces.
 - En déduire C et calculer le coefficient α_1 .
- A 60 mL de la solution précédente on ajoute 20 mL d'eau et on obtient un $\text{pH} = 10,7$. Calculer les concentrations molaires des espèces en solution et le coefficient α_2 .
- Comparer α_1 et α_2 puis conclure.
- On donne :

Couples	$\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$	$\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$
pK_a	9,2	4,8

- La méthylamine est-elle plus ou moins basique que l'ion éthanoate ?
- Classer par ordre d'acidité croissante les acides des deux couples du tableau.

Exercice 2 (extrait Bac série C session 2013 Madagascar)

On dissout une masse $m = 2,44$ g d'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ pur dans l'eau, de façon à obtenir une solution A de volume $V = 2$ L et de $\text{pH} = 3,12$. La température des liquides est 25°C .

- Calculer les concentrations molaires des différentes espèces chimiques présentes (autre que l'eau) dans cette solution.
- On veut déterminer expérimentalement la valeur du pK_a du couple $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$, on réalise différentes solutions en mélangeant un volume V d'acide benzoïque de concentration $C_a = 10^{-2}$ mol.L $^{-1}$, avec un volume V_b d'une solution de benzoate de sodium $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ de concentration molaire $C_b = 2C_a$.

2.1. On admet que $[\text{OH}^-] \ll [\text{H}_3\text{O}^+] \ll [\text{Na}^+]$. Démontrer que $\frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]} = 2 \frac{V_b}{V_a}$.

2.2. Le tableau suivant donne la variation de pH des différents mélanges en fonction de

$$\log\left(2 \frac{V_b}{V_a}\right).$$

pH	5,2	4,9	4,7	4,5	4,2	3,9	3,5	3,2
$\log\left(2 \frac{V_b}{V_a}\right)$	1	0,69	0,47	0,3	0	-0,3	-0,69	-1

a) Tracer la courbe d'équation $\text{pH} = f \left[\log \left(2 \frac{V_b}{V_a} \right) \right]$.

Echelle : 1 cm pour 1 unité de pH et 1 cm pour 0,2 unité de $\log \left(2 \frac{V_b}{V_a} \right)$

b) Déterminer deux nombres réels positifs A et B tels que $\text{pH} = A \log \left(2 \frac{V_b}{V_a} \right) + B$

c) En déduire la valeur du pKa du couple $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$.

3- Calculer les volumes V_a et V_b de chacune des solutions à mélanger pour obtenir 60 mL de solution de pH = 5,2. On donne : $\log(7,58) \approx 0,88$

Exercice 3 : L'acide formique et les fourmis

Depuis très longtemps les scientifiques s'intéressent à l'acide formique de formule HCOOH. En 1671, le naturaliste anglais John Ray a isolé, par distillation d'un grand nombre de fourmis mortes, un liquide incolore à forte odeur âcre et au caractère acide nommé acide formique. Les fourmis se défendent en mordant avec leurs mandibules et, pour certaines espèces, en projetant de l'acide formique dans la morsure. La réaction de l'acide formique avec l'eau des tissus occasionne des brûlures.

- 1) Pourquoi l'acide formique est-il un acide selon la théorie de Brönsted ?
- 2) Ecrire la formule de sa base conjuguée, appelée ion formiate.
- 3) Écrire l'équation de la réaction chimique à l'origine des brûlures.
- 4) La digestion des aliments dans l'estomac nécessite un milieu acide de pH environ égal à 2. Chez la plupart des mammifères, ce pH est atteint grâce à la production d'acide chlorhydrique dans l'organisme. En revanche, l'appareil digestif du tamanoir est différent en raison de son régime alimentaire : il mange jusqu'à 30 000 fourmis par jour !
Données : pK_A du couple acide formique / ion formiate : 3,8.
Quelle est l'espèce prédominante du couple acide formique / ion formiate dans l'estomac des tamanoirs ? Justifier.
- 5) La concentration en acide formique apporté dans l'estomac du tamanoir est-elle égale, inférieure ou supérieure à $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$? Justifier.
- 6) Proposer une hypothèse justifiant le fait que les tamanoirs n'ont pas besoin de produire d'acide chlorhydrique pour leur digestion.

Exercice 4

On étudie le comportement de deux acides, l'acide éthanoïque CH_3COOH et l'acide méthanoïque HCOOH. On donne : pK₁ = pK_a pour le couple $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$: pK₁ = 4,8 ; pK₂ = pK_a pour le couple $\text{HCOOH}/\text{HCOO}^-$: pK₂ = 3,8.
On mélange une solution aqueuse d'acide méthanoïque et une solution aqueuse d'acide éthanoïque.

- 1) Préciser, en justifiant, lequel des deux acides est le plus fort.
- 2) Montrer que, quels que soient les mélanges considérés, on a : $\frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = k \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$;
k étant une constante que l'on déterminera. Montrer que la valeur de cette constante est en accord avec la réponse à la question précédente.
- 3) On mélange, 0,10 mol d'acide méthanoïque et 0,30 mol d'acide éthanoïque, on complète à 1,0 L avec de l'eau pure. Le pH du mélange est 2,35.
- 4) En écrivant les équations de conservation de la matière pour HCOOH, d'une part, et CH₃COOH, d'autre part, calculer la concentration molaire volumique de chacune des espèces, sauf de l'eau, présentes dans la solution.
- 5) En utilisant les résultats précédents, montrer que la solution est électriquement neutre.

Exercice 5

Couples acide/base :

- acide benzoïque/ion benzoate : pK_a = 4,2
- couples de l'eau : H₃O⁺/H₂O : pK_a = 0 ; H₂O/OH⁻ : pK_a = 14

- 1) On mesure le pH d'une solution S₁ d'acide benzoïque de concentration C_a = 1,0.10⁻² mol.L⁻¹. Le pH-mètre indique 3,1.
 - 1.1. Pourquoi cette mesure permet-elle d'affirmer que l'acide benzoïque est un acide faible dans l'eau ? Justifier.
 - 1.2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau.
 - 1.3. Donner l'expression de la constante d'acidité K_a du couple considéré.
- 2) On mesure ensuite le pH d'une solution S₂ de benzoate de sodium de concentration C_b = 1,0.10⁻² mol.L⁻¹. On trouve pH = 8,1. Le benzoate de sodium (C₆H₅COONa) est un corps pur ionique dont les ions se dispersent totalement en solution.
 - 2.1. Pourquoi la mesure du pH réalisée permet-elle d'affirmer que l'ion benzoate est une base faible dans l'eau ? Justifier.
 - 2.2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'ion benzoate avec l'eau.
- 3) On ajoute à la solution S₁ quelques gouttes d'une solution de soude. Le pH prend alors la valeur 5,2.
 - 3.1. Indiquer, sans calcul, en utilisant une échelle de pH, l'espèce du couple qui prédomine dans la solution obtenue.
 - 3.2. Noter, sur une échelle des pK_a les différents couples acide/base qui interviennent dans la solution S₁ et dans la solution de soude.
- 4) On réalise une solution S en mélangeant 20 cm³ de solution S₁ et 20 cm³ de solution S₂.
 - 4.1. A partir de la réaction se produisant lors du mélange, déduire, sans calcul, que la concentration de l'acide benzoïque, dans la solution S, est égale à celle de sa base conjuguée.
 - 4.2. En déduire la valeur du pH de la solution S.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1) Solution de C_6H_5COOH de concentration molaire $C_a = 0,1 \text{ mol/L}$ et de $pH = 2,6$.

1.1. Masse d'acide à dissoudre dans l'eau pour avoir $V_a = 200 \text{ cm}^3$ de $C_a = 0,1 \text{ mol/L}$.

$$m_{C_6H_5COOH} = n_{C_6H_5COOH} \times M_{C_6H_5COOH} = C_a \times V_a \times M_{C_6H_5COOH}$$

Application numérique : $m_{C_6H_5COOH} = 0,1 \times 0,2 \times (6 \times 12 + 5 \times 1 + 12 + 2 \times 16 + 1) = \underline{2,44 \text{ g}}$

1.2. Montrons en justifiant si l'acide benzoïque est un acide fort ou faible.

$$-\log C_a = -\log(0,1) = 1 \neq 2,6$$

On a : $pH \neq -\log C_a$ donc l'acide benzoïque est un acide faible.

1.3. Équation-bilan de la réaction avec l'eau.

Il s'agit de la réaction entre un acide faible et l'eau donc la réaction est partielle (double flèche) : $C_6H_5COOH + H_2O \rightleftharpoons C_6H_5COO^- + H_3O^+$

1.4. Calculons les concentrations molaires des espèces chimiques dans la solution.

Bilan des espèces : H_3O^+ , OH^- , C_6H_5COOH , $C_6H_5COO^-$, (ou H_2O)

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-2,6} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} ; [OH^-] = 10^{pH-14} = 10^{2,6-14} = 4 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

$$\text{Electroneutralité : } [H_3O^+] = [OH^-] + [C_6H_5COO^-]$$

$$\Rightarrow [C_6H_5COO^-] = [H_3O^+] - [OH^-] \approx [H_3O^+] = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } C_a = [C_6H_5COO^-] + [C_6H_5COOH]$$

$$\Rightarrow [C_6H_5COOH] = C_a - [C_6H_5COO^-] \Rightarrow [C_6H_5COOH] = 0,1 - 2,5 \cdot 10^{-3} = 9,75 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

1.5. Déduction du coefficient de dissociation α de l'acide dans l'eau et conclusion.

$$\alpha = \frac{[C_6H_5COO^-]}{C_a} \approx \frac{[H_3O^+]}{C_a} = \frac{10^{-pH}}{C_a} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{0,1} = 0,025 \text{ soit } 2,5\%$$

$\Rightarrow \alpha < 1$ ou $\alpha < 100\%$ donc cela confirme que l'acide benzoïque est un acide faible.

1.6. Expression et valeur de la constante K_a du couple acide/base ainsi que le pK_a .

$$K_a = \frac{[\text{Base}] \times [H_3O^+]}{[\text{Acide}]} = \frac{[C_6H_5COO^-] \times [H_3O^+]}{[C_6H_5COOH]} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \times 2,5 \cdot 10^{-3}}{9,75 \cdot 10^{-2}} = 6,41 \cdot 10^{-5}$$

$$pK_a = -\log(K_a) = -\log(6,41 \cdot 10^{-5}) \approx 4,2$$

1.7. Comparaison de la force de cet acide avec celui du couple NH_4^+/NH_3 de $pK_a = 9,2$.

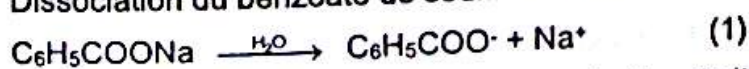
Plus un acide est fort plus le pK_a du couple acide/base correspondant est faible.

$pK_a(C_6H_5COOH/C_6H_5COO^-) < pK_a(NH_4^+/NH_3)$ donc C_6H_5COOH est plus fort que NH_4^+ .

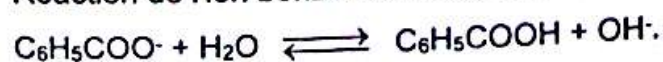
2) Conservateur : benzoate de sodium (C_6H_5COONa) : $pH = 8$ et $C_b = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

2.1. Equations-bilan des réactions qui ont lieu.

- Dissociation du benzoate de sodium dans l'eau : réaction totale (une seule flèche)



- Réaction de l'ion benzoate avec l'eau : réaction limitée (double flèche)



2.2. Calculons les concentrations molaires des espèces chimiques dans la solution.

Inventaire des espèces chimiques : H_3O^+ , OH^- , $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, Na^+

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-8} \text{ mol/L}; [\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{8-14} = 10^{-6} \text{ mol/L.}$$

D'après l'équation de la réaction (1), $[\text{Na}^+] = [\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}] = C_b = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

Electroneutralité : $[\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]$

$$\Rightarrow [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{Na}^+] = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Conservation de la matière : $C_b = [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] + [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]$

$$\Rightarrow [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] = C_b - [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] = C_b - [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{Na}^+] + [\text{OH}^-] \approx [\text{OH}^-] = 10^{-6} \text{ mol/L.}$$

2.3. Retrouvons la valeur du pKa calculée à la question 1.6).

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]} \Rightarrow \text{pKa} = \text{pH} - \log \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]}$$

$$\text{Application numérique : } \text{pKa} = 8 - \log \left(\frac{6,3 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} \right) = 4,2$$

Exercice 2 (extrait Bac Blanc 2013 Lycée Sainte Marie Cocody Côte d'Ivoire)

1. On dissout $m = 6,2 \text{ g}$ de CH_3NH_2 par litre de solution. La mesure du pH donne 12.

1.1. Calculons la concentration molaire C de la solution obtenue.

$$C_b = \frac{n_{\text{CH}_3\text{NH}_2}}{V_s} = \frac{m_{\text{CH}_3\text{NH}_2}}{M_{\text{CH}_3\text{NH}_2} \times V_s} \Rightarrow C_b = \frac{6,2}{(12 + 3 \times 1 + 14 + 2 \times 1) \times 1} = 0,2 \text{ mol/L}$$

1.2. Montrons que la méthylamine est une base faible.

$$14 + \log(C_b) = 14 + \log(0,2) = 13,3 \neq 12.$$

$\Rightarrow \text{pH} \neq 14 + \log(C_b)$ donc la méthylamine est une base faible.

1.3. Equation de sa réaction avec l'eau.

Il s'agit de la réaction entre une base faible et l'eau donc la réaction est partielle (double flèche) : $\text{CH}_3\text{-NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{-NH}_3^+ + \text{OH}^-$

1.4. Inventaire des espèces chimiques dans la solution et leur concentration molaire.

➤ Inventaire des espèces chimiques : H_3O^+ , OH^- , CH_3NH_3^+ , CH_3NH_2 ; (ou H_2O)

➤ Calcul des concentrations des espèces chimiques.

- $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-12} \text{ mol/L};$

- $[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{12-14} = 10^{-2} \text{ mol/L.}$

- Electroneutralité : $[\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] = [\text{OH}^-]$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] \approx [\text{OH}^-] = 10^{-2} \text{ mol/L}$$

- Conservation de la matière : $C_b = [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] + [\text{CH}_3\text{NH}_2]$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{NH}_2] = C_b - [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] \Rightarrow [\text{CH}_3\text{NH}_2] = 0,2 - 10^{-2} = 0,19 \text{ mol/L}$$

1.5. Dédution du pKa du couple correspondant noté pKa₁.

$$\text{pH} = \text{pKa}_1 + \log \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} = \text{pKa}_1 + \log \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+]} \Rightarrow \text{pKa}_1 = \text{pH} - \log \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+]}$$

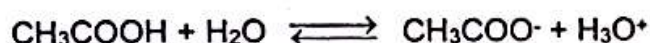
$$\text{Application numérique : } \text{pKa}_1 = 12 - \log \left(\frac{0,19}{10^{-2}} \right) = 10,72$$

2. A V_a = 10 cm³ de CH₃COOH de C_a = 0,5 mol/L, on ajoute V_b = 15 cm³ de CH₃COONa de C_b = 0,333 mol/L. Le pH du mélange obtenu est égal à 4,8.

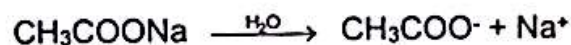
2.1. Bilan des espèces chimiques dans le mélange et leur concentration molaire.

➤ Ecriture des équations-bilan des différentes réactions.

- Réaction de l'acide éthanóique avec l'eau : réaction limitée (double flèche)



- Dissociation de l'éthanoate de sodium dans l'eau : réaction totale (une flèche)



- Réaction de l'ion éthanoate avec l'eau : réaction limitée (double flèche)



➤ Inventaire des espèces chimiques : H₃O⁺, OH⁻, CH₃COO⁻, CH₃COOH, Na⁺

➤ Calcul des concentrations

- [H₃O⁺] = 10^{-pH} = 10^{-4,8} ≈ 1,6 · 10⁻⁵ mol/L ;

- [OH⁻] = 10^{pH-14} = 10^{4,8-14} = 6,3 · 10⁻¹⁰ mol/L.

- [Na⁺] = $\frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = \frac{0,333 \times 15}{10 + 15} \approx 0,2$ mol/L

- Electroneutralité : [H₃O⁺] + [Na⁺] = [OH⁻] + [CH₃COO⁻]

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{Na}^+] = 0,2 \text{ mol/L}$$

- Conservation de la matière : $\frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [\text{CH}_3\text{COOH}] + [\text{CH}_3\text{COO}^-]$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} - [\text{CH}_3\text{COO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} - \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b}$$

$$\text{Application numérique : } [\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{0,5 \times 10}{10 + 15} = 0,2 \text{ mol/L}$$

2.2. Calculons le rapport $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ et déduisons le pKa du couple qu'on notera pKa₂.

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{0,2}{0,2} = 1$$

$$\text{pH} = \text{pKa}_2 + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

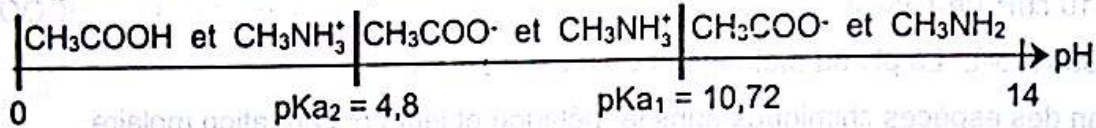
$$\Rightarrow \text{pH} = \text{pKa}_2 + \log(1) \Rightarrow \text{pKa}_2 = \text{pH} = 4,8$$

3.

3.1. Déterminons la base la plus forte entre la méthylamine et l'ion éthanoate.

Plus une base est forte plus le pKa du couple acide/base correspondant est grand.
 $pK_{a1} > pK_{a2}$ donc la base CH_3NH_2 est plus forte que CH_3COO^- .

3.2. Plaçons les domaines de prédominances des couples étudiés aux questions 1 et 2.



Exercice 3

1) Equation-bilan de la réaction de l'hélianthine avec l'eau

Il s'agit de la réaction d'un acide faible avec l'eau donc la réaction est limitée (double flèche) : $HIn + H_2O \rightleftharpoons In^- + H_3O^+$

2) Définition de la constante Ka et du pKa de cet indicateur

$$K_a = \frac{[H_3O^+] \times [In^-]}{[HIn]} \quad \text{et} \quad pK_a = -\text{Log}K_a$$

3)

a) Valeurs du pH qui délimitent la zone de virage de l'indicateur coloré

• si $[HIn] > 10 [In^-] \Rightarrow \frac{[HIn]}{[In^-]} > 10 \Rightarrow \frac{[In^-]}{[HIn]} < \frac{1}{10}$

$\Rightarrow \text{Log} \frac{[In^-]}{[HIn]} < \text{Log} \frac{1}{10} \Rightarrow pH - pK_a < -1 \Rightarrow pH < pK_a - 1$

$\Rightarrow pH < 3,8 - 1 \Rightarrow pH < 2,8$

• si $[In^-] > 10 [HIn] \Rightarrow \frac{[In^-]}{[HIn]} > 10 \Rightarrow \text{Log} \frac{[In^-]}{[HIn]} > \text{Log} 10$

$\Rightarrow pH - pK_a > 1 \Rightarrow pH > pK_a + 1 \Rightarrow pH > 3,8 + 1 \Rightarrow pH > 4,8$

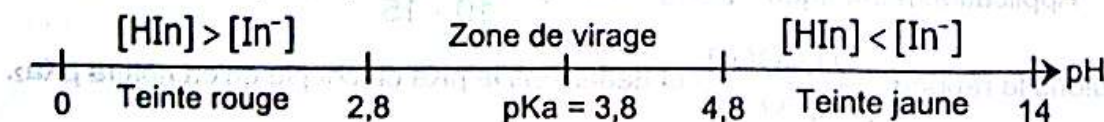
Conclusion :

➤ Si $pH < 2,8$ l'Hélianthine a la coloration nette de la forme acide (teinte rouge).

➤ Si $pH > 4,8$ l'Hélianthine a la coloration nette de la forme basique (teinte jaune).

Remarque : $pH = pK_a + \text{Log} \frac{[In^-]}{[HIn]} \Rightarrow \text{Log} \frac{[In^-]}{[HIn]} = pH - pK_a$

b) Diagramme de pH en précisant les différents domaines et sa zone de virage.



➤ Si $pH < 2,8$ c'est l'espèce acide (HIn) qui prédomine ;

➤ Si $pH > 4,8$ c'est l'espèce basique (In^-) qui prédomine.

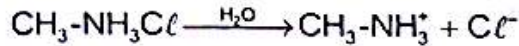
4) Couleur observé lorsqu'on ajoute quelques gouttes d'Hélianthine

$pH = 5,1 \Rightarrow pH > 4,8$ donc la couleur observée est celle de la forme basique (jaune).

Exercice 4

1) Equation-bilan de la réaction de l'eau sur le chlorure d'éthylammonium.

➤ Equation-bilan de la dissolution du chlorure de méthylammonium dans l'eau :



➤ Equation-bilan de la réaction de l'ion méthylammonium avec l'eau :



2) On place dans un bécher un volume $V_a = 50 \text{ mL}$ $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Cl}$ de $C_a = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

2.1. Tracé de la courbe $\text{pH} = f(\log[\text{B}]/[\text{BH}^+])$ et détermination de son équation.

Considérons le premier mélange ($V_b = 5 \text{ mL}$; $\text{pH} = 10,1$)

➤ Equation-bilan de la réaction de la méthylamine avec l'eau :



➤ Inventaire des espèces chimiques :

H_3O^+ , OH^- , BH^+ ou CH_3NH_3^+ , B ou CH_3NH_2 , Cl^- ; (ou H_2O)

➤ Calcul des concentrations molaires des espèces chimiques dans ce mélange

$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-10,1} \approx 7,94 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$; $[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{10,1-14} = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$.

$$[\text{Cl}^-] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \times 50}{50 + 5} = 3,64 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

Electroneutralité : $[\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{BH}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{Cl}^-]$

$$\Rightarrow [\text{BH}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{Cl}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] \approx [\text{Cl}^-] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = 3,64 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

Conservation de la matière : $\frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [\text{BH}^+] + [\text{B}]$

$$\Rightarrow [\text{B}] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} - [\text{BH}^+]$$

$$\Rightarrow [\text{B}] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} + \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} - \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b}$$

Application numérique : $[\text{B}] = \frac{10^{-1} \times 5}{50 + 5} = 9,09 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

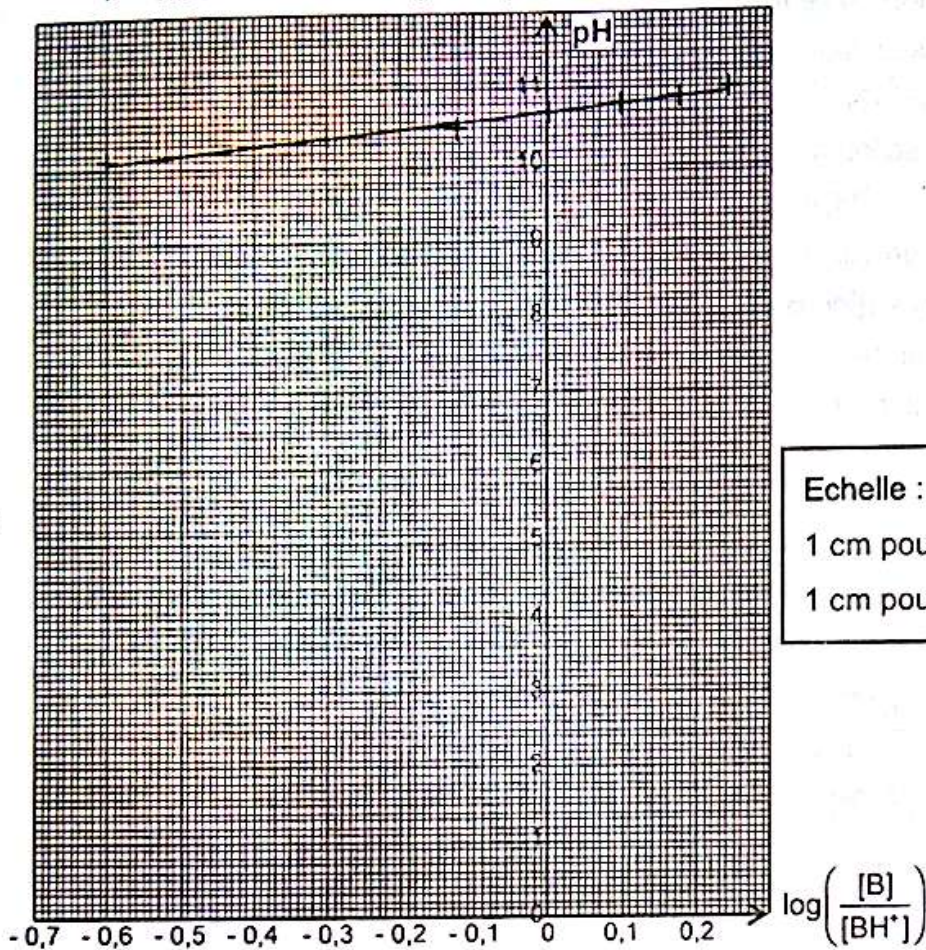
➤ Détermination du rapport $[\text{B}]/[\text{BH}^+]$

$$\frac{[\text{B}]}{[\text{BH}^+]} = \frac{C_b V_b / (V_a + V_b)}{C_a V_a / (V_a + V_b)} = \frac{C_b V_b}{C_a V_a} = \frac{10^{-1} \times V_b}{4 \cdot 10^{-2} \times V_a} = 2,5 \frac{V_b}{V_a}$$

➤ Complétons le tableau avec les valeurs de $\log[\text{B}]/[\text{BH}^+]$

$V_b(\text{mL})$	5	10	15	20	25	30	35
pH	10,1	10,4	10,5	10,7	10,8	10,9	11,0
$\frac{[\text{B}]}{[\text{BH}^+]} = 2,5 \frac{V_b}{V_a}$	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75
$\log\left(\frac{[\text{B}]}{[\text{BH}^+]}\right)$	-0,60	-0,30	-0,125	0	0,097	0,176	0,243

➤ Tracé de la courbe $\text{pH} = f(\log[B]/[BH^*])$



Echelle :

1 cm pour 1 unité de pH

1 cm pour 0,1 unité de $\log[B]/[BH^*]$

➤ Détermination de l'équation de la droite

On obtient une droite qui ne passe pas par l'origine dont l'équation est de la forme :

$$\text{pH} = a \log\left(\frac{[B]}{[BH^*]}\right) + b.$$

- b est l'ordonnée à l'origine c'est-à-dire pour $\log\left(\frac{[B]}{[BH^*]}\right) = 0$; $b = \text{pH} = 10,7$
- a est la pente (ou le coefficient directeur) de la droite :

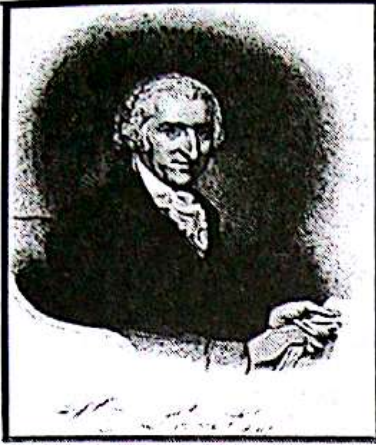
$$a = \frac{\Delta \text{pH}}{\Delta \log\left(\frac{[B]}{[BH^*]}\right)} = \frac{10,9 - 10,1}{0,176 - (-0,60)} = \frac{0,8}{0,776} \approx 1$$

Donc l'équation de la droite est en définitive : $\text{pH} = \log\left(\frac{[B]}{[BH^*]}\right) + 10,7.$

2.2. Dédution de la valeur du pK_a du couple BH^+/B .

De manière générale, on a : $\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{[B]}{[BH^*]}\right)$

Et l'équation de la droite est : $\text{pH} = 10,7 + \log\left(\frac{[B]}{[BH^*]}\right)$; Donc : $\text{pK}_a = 10,7.$



William Lewis
(1714 Londres - 21 janvier 1781)
Chimiste et Médecin Anglais

Il est connu pour ses travaux en pharmacie et médecine, et pour ses recherches sur les métaux, notamment le platine. La première utilisation d'un indicateur coloré pour un dosage acide-base a eu lieu en 1767. C'est W. Lewis qui eut l'idée d'utiliser un changement de couleur pour caractériser l'équivalence. En effet il choisit d'employer un extrait de tournesol (virant entre $\text{pH} = 5$ et $\text{pH} = 8$) pour caractériser le point d'équivalence d'un dosage. Jusqu'alors, on utilisait le carbonate de potassium K_2CO_3 comme base. On observait un dégagement gazeux à l'équivalence. Il faut noter que de nos jours, la teinture de tournesol est de moins en moins utilisée, au profit du bleu de Bromothymol (BBT) notamment.

REACTIONS ACIDO-BASIQUES SOLUTIONS TAMPONS DOSAGES

Objectifs spécifiques

- Ecrire l'équation-bilan de la réaction acido-basique.
- Reconnaître et analyser la courbe de variation de pH lors de la réaction d'un acide faible avec une base forte, ou d'un acide fort avec une base faible.
- Déterminer graphiquement le pK_A d'un couple acide/base.
- Expliquer pourquoi la solution est acide ou basique à l'équivalence.
- Connaître les propriétés d'une solution tampon.
- Savoir la technique du dosage et justifier le choix d'un indicateur au cours du dosage.

RAPPEL DE COURS

1.) REACTION ENTRE UN ACIDE FAIBLE ET UNE BASE FORTE

1.1) Etude de la réaction

La réaction entre un acide faible (AH ou BH^+) quelconque et une base forte quelconque est une réaction totale (une seule flèche) et exothermique entre l'acide faible et les ions hydroxyde OH^- d'équation-bilan : $\text{AH} + \text{OH}^- \longrightarrow \text{A}^- + \text{H}_2\text{O}$ ou $\text{BH}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{B} + \text{H}_2\text{O}$

1.2) Etude de l'évolution du pH

a) Equivalence acido-basique

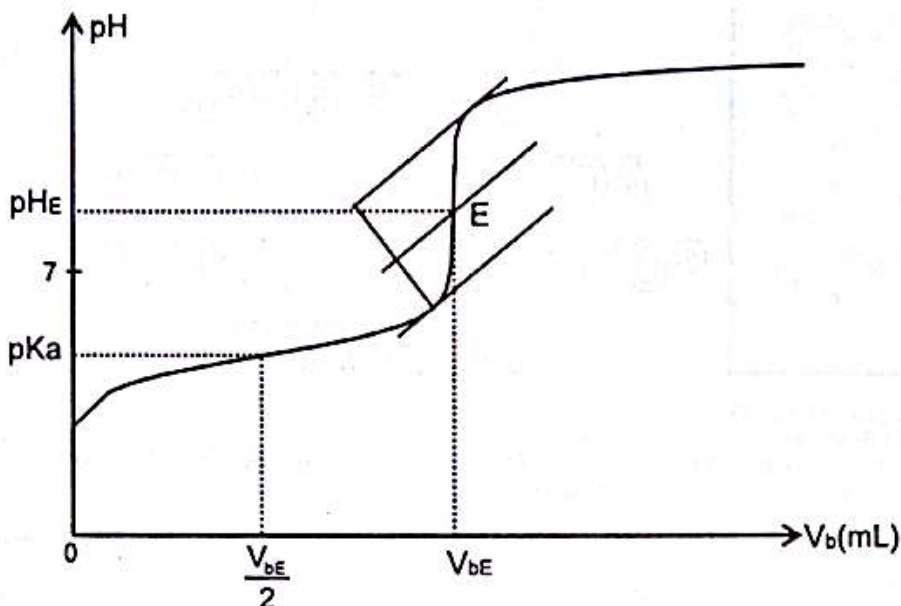
A l'équivalence : $n_{\text{OH}^-}(\text{versé}) = n_{\text{acide faible}}(\text{initial}) \Rightarrow C_b V_{\text{bE}} = C_a V_a$

avec V_{bE} volume de base à l'équivalence et le pH du mélange est supérieur à 7.

b) Demi-équivalence

A la demi-équivalence, le volume de base versé est : $V_{\text{base}}(\text{versé}) = \frac{V_{\text{bE}}}{2}$ et le $\text{pH} = \text{pK}_A$

c) Allure de la courbe



2.) REACTION ENTRE UNE BASE FAIBLE ET UN ACIDE FORT

2.1) Etude de la réaction

La réaction entre une base faible quelconque (A^- ou B) et un acide fort quelconque est une réaction totale (une seule flèche) et exothermique entre la base faible et l'ion H_3O^+ d'équation-bilan : $A^- + H_3O^+ \longrightarrow AH + H_2O$ ou $B + H_3O^+ \longrightarrow BH^+ + H_2O$

2.2) Etude de l'évolution du pH du mélange

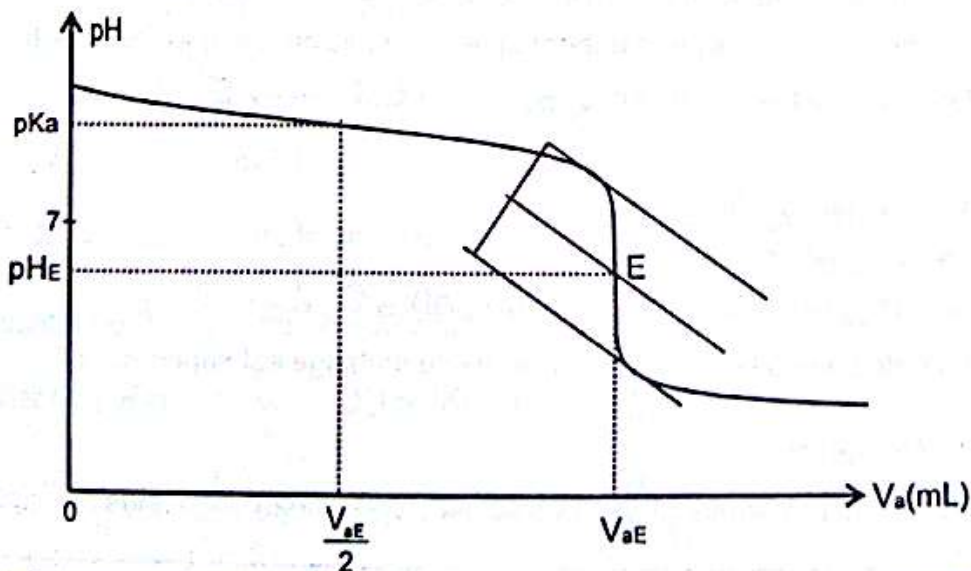
a) Equivalence acido-basique

A l'équivalence, $n_{H_3O^+}(\text{versé}) = n_{\text{base faible}}(\text{initial}) \Rightarrow C_a V_{aE} = C_b V_b$ et le $pH < 7$.

b) Demi-équivalence

A la demi-équivalence, le volume d'acide fort versé est : $V_{\text{acide}}(\text{versé}) = \frac{V_{aE}}{2}$ et $pH = pK_a$.

c) Allure de la courbe



3.) SOLUTIONS TAMPONS

3.1) Définition (propriétés)

Une solution tampon est une solution dont :

- le pH varie peu quand on lui ajoute des quantités modérées d'acide ou de base ;
- le pH reste invariable sous l'effet d'une dilution modérée.

3.2) Méthode de préparation

a) Mélange équimolaire d'acide faible et de sa base conjuguée

On mélange des quantités égales d'un acide faible et de sa base conjugué :

$$n_{\text{acide faible}} = n_{\text{base faible}} \Leftrightarrow C_a V_a = C_b V_b$$

b) Mélange d'un acide faible et d'une base forte

À un volume d'acide faible, on ajoute la quantité de base forte pour atteindre

la demi-équivalence : $n_{\text{base forte}} = \frac{n_{\text{acide faible}}}{2} \Leftrightarrow C_b V_b = \frac{C_a V_a}{2}$.

c) Mélange d'un acide fort et d'une base faible

À une quantité donnée de base faible on ajoute la quantité d'acide fort pour atteindre

la demi-équivalence : $n_{\text{acide fort}} = \frac{n_{\text{base faible}}}{2} \Leftrightarrow C_a V_a = \frac{C_b V_b}{2}$.

4.) DOSAGES

4.1) Définition

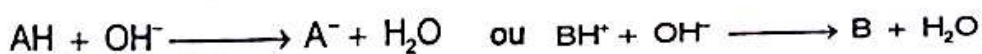
Doser ou titrer une espèce chimique dans une solution, c'est déterminer sa concentration.

4.2) Principe

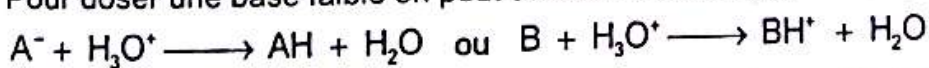
La réaction de dosage ou de titrage doit être unique, totale et rapide.

4.3) Exemples

- Pour doser un acide faible on peut utiliser une base forte.



- Pour doser une base faible on peut utiliser un acide fort.



- Pour doser un acide fort on peut utiliser une base forte ou vice-versa.



4.4) Méthodes de dosage

- Dosage pH-métrique : tracer la courbe $\text{pH} = f(V_{\text{versé}})$ et déterminer le volume à l'équivalence V_E par la méthode des tangentes parallèles.
- Dosage colorimétrique : déterminer le point d'équivalence par le changement de couleur de l'indicateur coloré dont la zone de virage contient le pH à l'équivalence.

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac série D 1^{er} groupe session 2014 NIGER)

- 1) a) Qu'appelle-t-on concentration massique, concentration molaire ?
b) Calculer la concentration molaire de l'acide benzoïque lorsqu'on dissout une masse m de 122 g dans un litre d'eau. Données en g.mol^{-1} : $M(\text{C}) = 12$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{H}) = 1$.
- 2) Le pH de cette solution vaut 2,1. Montrer que cet acide est faible et calculer son pK_A .
- 3) On se propose de doser cette solution avec une solution d'hydroxyde de potassium.
 - a) Faire un schéma annoté du dispositif expérimental permettant de réaliser le dosage. Ce dernier permettra de tracer la courbe $\text{pH} = f(V)$ où V est le volume de l'hydroxyde de potassium versé.
 - b) Donner l'allure de la courbe $\text{pH} = f(V)$ qu'on peut obtenir.
 - c) Situer le pH au point de l'équivalence par rapport au pH de l'eau pure et placer sur le graphe la valeur du pK_A du couple acide benzoïque / ion benzoate.

Exercice 2 (extrait Bac D 2008 Madagascar)

On considère une solution aqueuse d'acide monochloroéthanoïque CH_2ClCOOH de concentration molaire $C_A = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. A 25°C , le pH de cette solution vaut 2,1.

- 1) Vérifier que l'acide monochloroéthanoïque est un acide faible.
- 2) Calculer le pK_A du couple $\text{CH}_2\text{ClCOOH} / \text{CH}_2\text{ClCOO}^-$.
- 3) Quel volume V_B d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_B = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ doit-on ajouter à un volume $V_A = 20 \text{ mL}$ de la solution d'acide monochloroéthanoïque pour obtenir une solution dont le pH est égal au pK_A ?

Exercice 3 (extrait Bac D 2009 Madagascar)

On neutralise 10 cm^3 d'une solution de l'éthylamine $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ par une solution d'acide chlorhydrique de concentration 10^{-1} mol/L . Il a fallu $8,3 \text{ cm}^3$ d'acide pour atteindre le point d'équivalence. On a remarqué les points suivants :

$V_A(\text{mL})$	0	4,15	8,3
pH	11,8	10,8	6,6

- 1) Donner l'équation de la réaction acide base et le pK_A du couple $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+ / \text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$.
- 2) Calculer la concentration de la solution basique.
- 3) Pour $V_A = 0$, calculer les concentrations des espèces chimiques dans la solution.

Exercice 4 (extrait Bac série D session normale 2007 Côte d'Ivoire)

Votre Professeur de Sciences Physiques vous propose de faire l'étude d'un produit commercial qui, selon le fabricant, contient essentiellement de l'ammoniac.

1. Il prélève 10 mL de ce produit de concentration inconnue C_B qu'il dose par pHmétrie avec une solution d'acide chlorhydrique $10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

Les mesures sont consignées dans le tableau ci-dessous.

$V_A(\text{mL})$	0	1	2	3	4	5	6	7
pH	11,0	10,0	9,7	9,4	9,2	9,0	8,7	8,4
$V_A(\text{mL})$	7,5	8	8,5	9,5	10	13	16	18
pH	8,0	5,3	2,5	2,1	2,0	1,7	1,5	1,4

1.1. Faire un schéma annoté du dispositif expérimental.

1.2. Tracer la courbe $\text{pH} = f(V_A)$. Echelle : 1 cm \leftrightarrow 1 mL ; 1,5 cm \leftrightarrow 1 unité de pH.

1.3. A partir de la courbe, montrer que l'ammoniac est une base faible.

2. Exploitation de la courbe $\text{pH} = f(V_A)$.

2.1. Déterminer le point d'équivalence E.

2.2. En déduire la valeur de la concentration molaire volumique de l'ammoniac C_B .

2.3. Déterminer la demi-équivalence et le pK_a du couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$.

2.4. Quelle est la nature du mélange à l'équivalence ? Justifier.

3. Déterminer la concentration massique volumique en ammoniac en g/L en vue d'étiqueter le produit. On donne : $M_H = 1 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_N = 14 \text{ g.mol}^{-1}$.

Exercice 5 (extrait Bac S1 & S3 1998 Sénégal)

On introduit 4,83 g d'un monoacide carboxylique saturé dans de l'eau pour obtenir 1 litre de solution. Dans un bécher contenant 30 mL de cette solution on verse progressivement une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration molaire volumique $C_B = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

A chaque volume d'hydroxyde de sodium versé, on mesure le pH du mélange. On obtient alors le tableau de mesures ci-dessous :

$V_B(\text{mL})$	0	5	10	15	20	24	28	30	32	34	36	40
pH	2,4	3,4	3,6	3,7	3,9	4,3	5,0	5,5	10,9	11,4	11,5	11,7

1) Tracer la courbe donnant les variations du pH en fonction du volume V_B de base versé.

Echelle : 1 cm pour 5 mL d'hydroxyde de sodium versé 1 cm pour 1 unité pH.

- 2) Dédurre graphiquement :
 - 2.1. les coordonnées du point d'équivalence E ;
 - 2.2. le pKa du couple acide-base correspondant à l'acide carboxylique considéré.
- 3) Calculer la concentration molaire volumique C_A de la solution aqueuse d'acide.
En déduire la formule semi-développée et le nom de l'acide.
- 4) Calculer les concentrations molaires des diverses espèces chimiques présentes dans le bécher lorsqu'on a ajouté un volume $V_B = 28$ mL de solution d'hydroxyde de sodium.
- 5) On désire réaliser une solution tampon de $\text{pH} = 4$ et de volume $V = 267$ mL à partir de l'acide considéré et de la solution de soude de concentration molaire volumique $C_B = 10^{-1}$ mol.L⁻¹.
 - 5.1. Rappeler les caractéristiques d'une solution tampon.
 - 5.2. Proposer une méthode pour obtenir cette solution tampon.

Exercice 6 (extrait Bac séries S1 & S3 2013 Sénégal)

- 1) L'acide méthanoïque de formule HCO_2H a pour masse molaire $M(\text{HCO}_2\text{H}) = 46,0$ g.mol⁻¹.
Dans ce qui suit, la solution commerciale S_0 d'acide méthanoïque utilisée a une masse volumique $\rho = 1,15$ kg.L⁻¹ et contient en masse 80,0% d'acide méthanoïque pur.
 - 1.1. Montrer que la concentration C_0 de la solution commerciale S_0 est environ 20 mol.L⁻¹.
 - 1.2. Un professeur propose, en TP, à un groupe d'élèves de préparer un volume $V = 1,00$ L d'une solution S d'acide méthanoïque de concentration $C = 5 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹.
 - 1.2.1. Déterminer le volume V_0 de la solution S_0 à prélever pour préparer S .
 - 1.2.2. Décrire le protocole expérimental de préparation de la solution S .
 - 1.2.3. La mesure du pH de la solution S obtenue montre que la concentration des ions hydronium est $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,50 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹.
Montrer que l'acide méthanoïque réagit partiellement avec l'eau.
- 2) Pour réaliser le dosage de 10 mL de la solution S , on dispose au laboratoire de solutions aqueuses de soude (ou d'hydroxyde de sodium).
 - 2.1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction du dosage de l'acide méthanoïque par la soude.
 - 2.2. Définir l'équivalence acido-basique.
 - 2.3. Pour réaliser le dosage le groupe d'élèves dispose sur la paillasse de deux solutions aqueuses de soude S_1 et S_2 de concentrations molaires respectives : $C_1 = 2,00 \cdot 10^{-1}$ mol.L⁻¹ et $C_2 = 2,5 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹. Quelle est parmi ces deux solutions de soude, celle qui semble la plus adaptée au dosage ? Justifier votre réponse.
Données : $\text{pK}_e = 14,0$; $\text{pK}_a(\text{HCO}_2\text{H}/\text{HCOO}^-) = 3,8$.

Exercice 7 (extrait Bac C & E session normale 2007 Côte d'Ivoire)

On se propose de réaliser un dosage acido-basique pour déterminer la concentration C_B d'une solution aqueuse d'ammoniac. Pour cela, on prépare deux solutions S_1 et S_2 .

1. S_1 est une solution aqueuse de chlorure d'hydrogène de concentration molaire $C_A = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$. Elle est obtenue à partir d'une solution S_0 de chlorure d'hydrogène de concentration molaire $C_0 = 1 \text{ mol.L}^{-1}$.

1.1. Donner le nom de l'opération à effectuer pour préparer la solution S_1 .

1.2. Déterminer le volume v_0 de solution S_0 à prélever pour obtenir un volume $v_1 = 100 \text{ mL}$ de solution S_1 .

1.3. Décrire la préparation de la solution S_1 .

2. S_2 est une solution aqueuse d'ammoniac. Elle est préparée en faisant dissoudre une masse m d'ammoniac dans de l'eau pour obtenir 1 L de solution.

On dose un volume $V_B = 20 \text{ mL}$ de la solution S_2 par la solution S_1 .

Le virage de l'indicateur coloré est obtenu lorsqu'on a versé un volume de 18,5 mL de solution S_1 .

2.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction du dosage.

2.2. Déterminer la concentration molaire C_B de S_2 .

2.3. Calculer la masse d'ammoniac dissous.

2.4. Un point particulier est obtenu au cours du dosage quand on a versé 9,25 mL de solution acide.

2.4.1. Donner le nom de ce point.

2.4.2. Que vaut le pH en ce point ?

3. On veut déterminer la valeur du pK_a du couple ion ammonium/ammoniac. Pour cela, on étudie la solution S_2 de concentration $C_B = 9,25 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et de $\text{pH} = 11,1$ à 25°C .

3.1. Écrire l'équation-bilan de la mise en solution de l'ammoniac dans l'eau.

3.2. Recenser les espèces chimiques présentes dans la solution S_2 .

3.3. Calculer :

3.3.1. les concentrations molaires de ces espèces ;

3.3.2. le pK_a du couple ion ammonium/ammoniac correspondant.

Données : masses molaires atomiques en g.mol^{-1} C : 12 ; O : 16 ; H : 1 ; N : 14.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (extrait Bac D session normale 2015 Burkina Faso)

Une solution de volume 10,0 mL est préparée en dissolvant 12,2 mg d'acide benzoïque C_6H_5-COOH dans l'eau pure. Le coefficient d'ionisation α de l'acide benzoïque pour la solution étudiée est égal à 0,22.

- 1) Calculer la concentration molaire de cette solution.
- 2) Le K_a du couple acide benzoïque/ion benzoate est $6,3 \cdot 10^{-5}$.
 - a) Calculer les concentrations molaires des espèces C_6H_5-COOH et $C_6H_5-COO^-$ présentes dans cette solution.
 - b) En déduire le pH de la solution.
- 3) A la solution précédente d'acide benzoïque, on ajoute une masse m' d'hydroxyde de sodium pour obtenir une solution de pH égale à 4,2.
L'ajout de l'hydroxyde de sodium se fait sans variation notable de volume.
 - a) Ecrire l'équation-bilan de la réaction qui a lieu lors de l'ajout de l'hydroxyde de sodium.
 - b) Montrer qu'il s'agit d'une réaction acide/base.
 - c) Déterminer la valeur de m' .

Données : les masses molaires atomiques sont en g/mol : H : 1 ; C : 12 ; O : 16 ; Na : 23

Exercice 2 (Extrait Bac S1 & S3 2010 session de remplacement Sénégal)

On lit sur l'étiquette d'une bouteille contenant une solution commerciale d'ammoniaque S_0 les indications : contient 20% en masse d'ammoniac, densité = 0,92, masse molaire, $M(NH_3) = 17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- 1) Calculer la concentration molaire C_0 en ammoniac de cette solution commerciale S_0 .
- 2) On se propose de déterminer par titrage acido-basique la concentration molaire de la solution commerciale. Celle-ci étant très concentrée, on en dilue une partie pour obtenir une solution S. On dispose de la verrerie suivante :
 - béchers : 50 mL, 100 mL, 250 mL ;
 - erlenmeyers : 125 mL, 250 mL, 1 L ;
 - fioles jaugées : 100 mL, 250 mL, 500 mL, 1 L ;
 - pipettes jaugées : 1 mL, 5 mL, 10 mL, 25 mL ;
 - éprouvettes : 10 mL, 25 mL, 50 mL.

Justifiez le choix du matériel pour diluer 1000 fois la solution commerciale et donnez le mode opératoire complet de la dilution.

- 3) La solution diluée S est titrée par une solution A d'acide chlorhydrique de concentration $C_A = 0,015 \text{ mol/L}$. Dans 20,0 mL de solution diluée S, on verse progressivement la solution A et on mesure après chaque ajout le pH de la solution. Les résultats suivants sont obtenus.

$V_A(\text{mL})$	0	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0
pH	11,0	10,3	10,0	9,8	9,5	9,2	9,0	8,7

$V_A(\text{mL})$	13,0	14,0	14,5	15,0	16,0	17,0	18,0	20,0
pH	8,2	7,3	4,4	3,6	3,2	3,0	2,8	2,7

- 3.1. Faire le schéma du dispositif expérimental permettant de réaliser ce dosage.
 - 3.2. Représenter le graphe $\text{pH} = f(V_A)$. Echelle 1 cm pour 2 mL ; 1 cm pour 1 unité de pH.
 - 3.3. Déterminer le point d'équivalence.
- 4) Déterminer la concentration C_0 de la solution commerciale.
Comparer avec le résultat trouvé en 2.

Exercice 3 (extrait Bac D session normale 2009 Côte d'Ivoire)

On dose 10 mL d'une solution d'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ de concentration C_a inconnue par une solution d'hydroxyde de sodium (soude) décimolaire (0,1 mol/L).

On note les résultats suivants :

$V_b(\text{mL})$	0	1	2	3	5	6	8	9	9,5
pH	2,6	3,2	3,6	3,8	4,2	4,4	4,8	5,1	5,5

$V_b(\text{mL})$	9,8	9,9	10	10,1	11	12	14	16
pH	5,9	6,2	8,4	10,7	11,7	12	12,4	12,7

1. Schématiser et annoter le dispositif expérimental.
2. Écrire l'équation-bilan de la réaction de dosage.
3. Construire la courbe $\text{pH} = f(V_b)$. Échelle : 1 cm pour 1 mL et 1 cm pour 1 unité de pH.
4.
 - 4.1. A l'aide de la courbe, déterminer le point d'équivalence E et le point de demi-équivalence E'.
 - 4.2. En déduire la concentration molaire volumique C_a de la solution d'acide benzoïque ainsi que la valeur du pK_a du couple A/B.
5. Pour $V = 3 \text{ mL}$ de soude versée, faire l'inventaire des espèces et calculer leur concentration molaire volumique. Retrouver la valeur du pK_a .

6. On dispose des indicateurs colorés suivants :

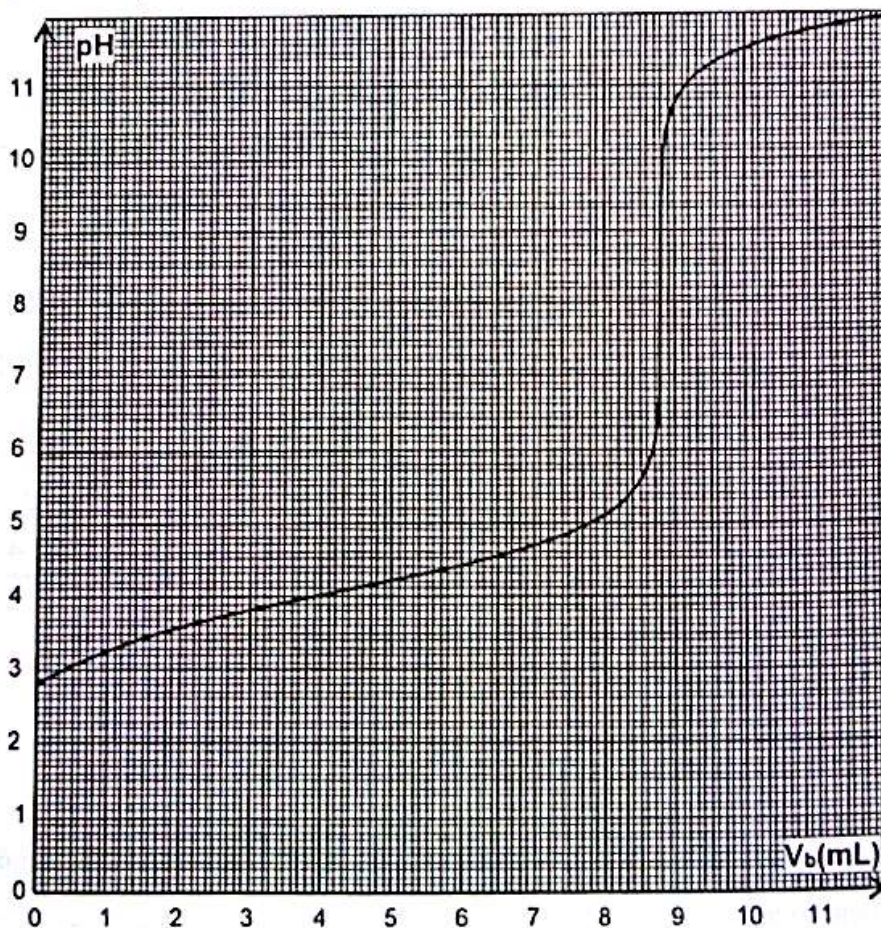
Indicateur coloré	Zone de virage
alpha-naphtolphtaléine	7,5 – 8,6
phénolphtaléine	8,2 – 10,0

6.1. Montrer que ces deux indicateurs colorés conviennent au dosage précédent.

6.2. Lequel est le plus précis ? Justifier votre réponse.

Exercice 4 (extrait Bac séries C – D - TI session de Juin 2014 Cameroun)

Dans un laboratoire de Lycée, on veut déterminer, par dosage pH-métrique, la masse de vitamine C ou acide ascorbique ($C_6H_8O_6$) contenue dans un comprimé de « Vistacorbol 500 ». Pour cela, on dissout ce comprimé dans 100 mL d'eau distillée, que l'on dose par une solution d'hydroxyde de potassium de concentration $0,32 \text{ mol.L}^{-1}$. Pour chaque volume V_b de la solution basique versée, on relève le pH de la solution obtenue. Le tracé du graphe $\text{pH} = f(V_b)$ est représenté ci-contre.



- 1) Sachant que l'acide ascorbique est un monoacide faible, écrire l'équation-bilan de la réaction de dosage.
- 2) Faire le schéma annoté du dispositif de dosage.
- 3) Déduire du graphe ci-contre :
 - 3.1. Les coordonnées du point d'équivalence, par la méthode des tangentes.
 - 3.2. Le pK_a du couple acide/base de la vitamine C.

- 4) Déterminer la masse (en mg) d'acide ascorbique contenu dans un comprimé.
Ce résultat est-il compatible avec l'indication « 500 » du fabricant ?
- 5) Si le dosage avait été colorimétrique, dire en justifiant, l'indicateur approprié, parmi ceux cités ci-dessous :
- Rouge de méthyle : [4,2 - 6,2] ; - Bleu de bromothymol : [6,0 - 7,6]
 - Rouge de crésol : [7,2 - 8,6] ; - Phénolphthaléine : [8,2 - 10]

Données : Masses molaires atomiques (en g.mol⁻¹) : C : 12 ; H : 1 ; O : 16.

Exercice 5 : (extrait Bac série E session Juin 2009 Cameroun)

1. Qu'est-ce que l'équivalence acido-basique ?
2. On dispose d'une solution S₀ d'acide méthanoïque HCOOH de concentration molaire C₀ = 0,1 mol.L⁻¹ et un pH = 2,4.
 - 2.1. Déterminer la concentration de la solution en ion H₃O⁺
En déduire la force de l'acide méthanoïque.
 - 2.2. Calculer la valeur du pK_A du couple (HCOOH/HCOO⁻).
 - 2.3. On mélange 10 cm³ de la solution S₀ précédente avec un volume V d'une solution de méthanoate de sodium de concentration C_B = 0,1 mol.L⁻¹. Le pH du mélange obtenu est égal au pK_A précédent.
 - 2.3.1. Déterminer, sans calculer, la valeur du volume V.
 - 2.3.2. Comment appelle-t-on une telle solution ?
Donner une propriété importante de cette solution.
 - 2.4. On ajoute progressivement une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration C'_B = 0,25 mol.L⁻¹ à 20 mL de la solution S₀ d'acide méthanoïque précédente.
 - 2.4.1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction qui se produit.
 - 2.4.2. Quel est le volume de la solution d'hydroxyde de sodium à l'équivalence.

Exercice 6 (extrait Bac D session normale 2005 Côte d'Ivoire)

On dispose de cinq flacons contenant des solutions aqueuses différentes, mais de même concentration C = 10⁻² mol.L⁻¹ : l'acide éthanoïque ; l'acide chlorhydrique ; le chlorure de potassium ; l'hydroxyde de potassium et l'ammoniaque. Les étiquettes A, B, C, D et E de ces flacons ont été mélangées lors d'un rangement. Les pH sont mesurés à 25°C.

1. Identification des solutions

Le pH de la solution B est égal à 12. Le dosage de B par C donne un pH égal à 7 à l'équivalence.

- 1.1. Identifier B et C.
- 1.2. Au cours du dosage de D par B, le pH à l'équivalence est égal à 8,2. Identifier D.
- 1.3. Le pH de la solution A est égal à 7. Identifier A.
- 1.4. Déduire des questions précédentes, la nature de la solution E.

2. Détermination de pKa du couple ion ammonium/ammoniac.

On désire déterminer le pKa du couple ammonium/ammoniac. Le pH de la solution d'ammoniaque est 10,6.

2.1. Ecrire l'équation bilan de la réaction de l'ammoniac avec l'eau.

2.2. Calculer les concentrations molaires des espèces chimiques présentes en solution.

2.3. Calculer le pKa du couple ammonium/ammoniac.

3. Préparation d'une solution tampon.

On veut préparer une solution tampon à partir de la solution d'ammoniaque et de l'acide chlorhydrique.

3.1. Calculer le volume V_A d'acide chlorhydrique à ajouter à $V_B = 25 \text{ cm}^3$ de la solution d'ammoniaque pour obtenir la solution tampon.

3.2. Citer les propriétés du mélange obtenu.

Exercice 7 (extrait Bac D session normale 2008 Côte d'Ivoire)

Dans cet exercice, les solutions sont à 25°C et le produit ionique de l'eau à cette température $K_e = 10^{-14}$.

1. La solution d'acide bromhydrique (HBr)

Une solution A d'acide bromhydrique centimolaire (10^{-2} mol/L) à un $\text{pH} = 2$.

1.1. Montrer que l'acide bromhydrique est un acide fort.

1.2. Écrire l'équation-bilan de la réaction avec l'eau.

1.3. Citer un autre exemple d'acide fort.

2. La solution de méthylamine (CH_3NH_2)

On dispose de 5 mL d'une solution B de méthylamine de concentration molaire volumique $C_B = 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$, de $\text{pH} = 11,8$.

2.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction de la méthylamine avec l'eau.

2.2. Faire l'inventaire des espèces chimiques et calculer leur concentration.

2.3. Calculer le pKa du couple $\text{CH}_3\text{NH}_3^+/\text{CH}_3\text{NH}_2$.

3. Mélange de solutions

On mélange les deux solutions précédentes.

3.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction qui a lieu entre l'acide bromhydrique et la méthylamine.

3.2. Quel volume V_{AE} de solution A d'acide bromhydrique faut-il verser dans 5 mL de la solution B de méthylamine pour atteindre l'équivalence acido-basique ?

3.3. Quelle est la nature du mélange à l'équivalence acido-basique ? Justifier.

3.4. On mélange un volume $V_A = 20,5 \text{ mL}$ de solution A à un volume $V_B = 5 \text{ mL}$ de la solution B. Donner le pH, le nom et les propriétés de ce mélange.

3.5. Donner l'allure de la courbe de dosage de B par A (préciser les points caractéristiques).

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1** (extrait Bac série D 1^{er} groupe session 2014 NIGER)

1) a) Définition de concentration massique et de concentration molaire

- Concentration massique : c'est la masse de soluté dissous par litre de solution.
- Concentration molaire : c'est la quantité de matière de soluté par unité de volume.

b) Calcul de la concentration molaire de l'acide benzoïque obtenue

L'acide benzoïque a pour formule C_6H_5COOH .

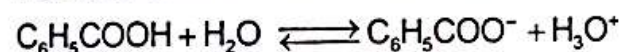
$$C_a = \frac{n_a}{V} = \frac{\frac{m}{M}}{V} = \frac{m}{MV} = \frac{122}{(6 \times 12 + 5 + 12 + 2 \times 16 + 1)} = 1 \text{ mol/L}$$

2) Le pH de cette solution vaut 2,1. Montrons que cet acide est faible et calculons son pKa.

$-\log C_a = -\log 1 = 0$ or $\text{pH} = 2,1$ donc $-\log C_a \neq \text{pH}$ d'où l'acide benzoïque est faible.

Calcul du pKa

Équation-bilan de la réaction de l'acide faible avec l'eau :

Bilan des espèces : H_3O^+ , OH^- , C_6H_5COOH , $C_6H_5COO^-$, H_2O

$$[H_3O^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2,1} = 7,94 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}; [OH^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{2,1-14} = 1,26 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

Electroneutralité : $[H_3O^+] = [OH^-] + [C_6H_5COO^-]$

$$\Rightarrow [C_6H_5COO^-] = [H_3O^+] - [OH^-] \approx [H_3O^+] = 7,94 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Conservation de la matière : $C_a = [C_6H_5COO^-] + [C_6H_5COOH]$

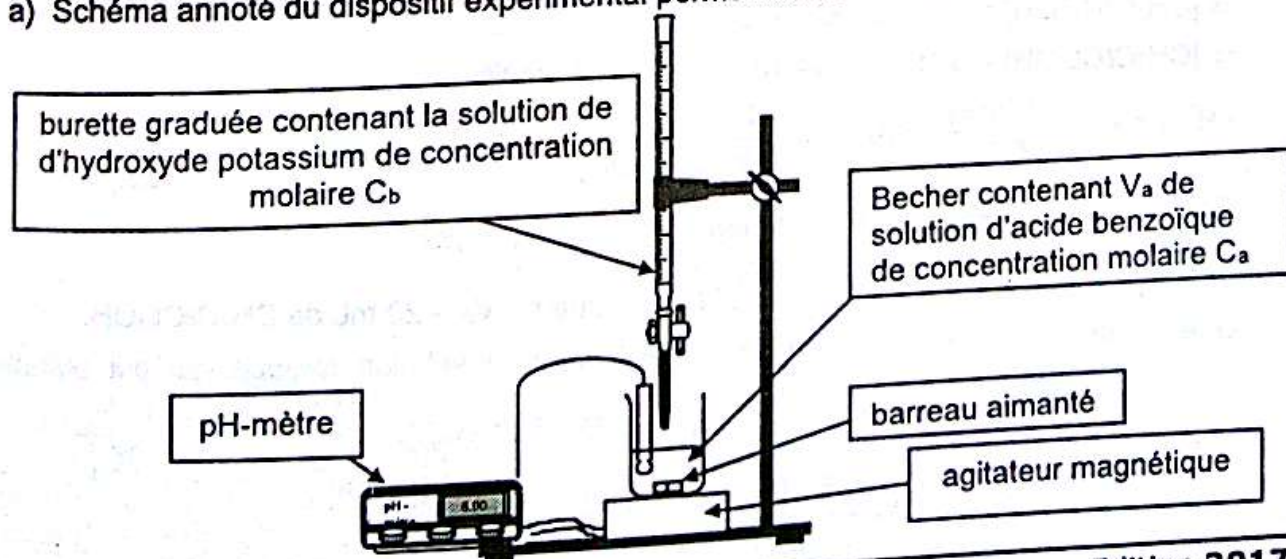
$$\Rightarrow [C_6H_5COOH] = C_a - [C_6H_5COO^-] = 1 - 7,94 \cdot 10^{-3} = 0,99206 \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} \Leftrightarrow \text{pKa} = \text{pH} - \log \frac{[C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]}$$

$$\text{Application numérique : pKa} = 2,1 - \log \frac{7,94 \cdot 10^{-3}}{0,99206} \approx 4,2$$

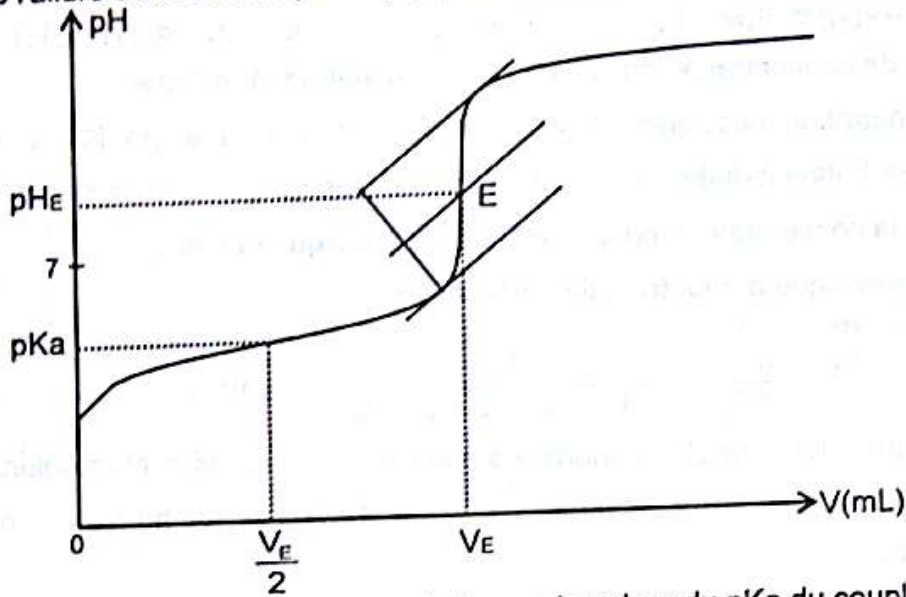
3) On se propose de doser cette solution avec une solution d'hydroxyde de potassium.

a) Schéma annoté du dispositif expérimental permettant de réaliser le dosage.



Edition 2017

b) Donnons l'allure de la courbe $\text{pH} = f(V)$ qu'on peut obtenir.



c) Situons le pH au point d'équivalence et plaçons la valeur du pK_a du couple.
 $\text{pH}_E > 7$; $\text{pK}_a < 7$ où $7 = \text{pH}$ de l'eau pure (voir courbe ci-dessus).

Exercice 2 (extrait Bac D 2008 Madagascar)

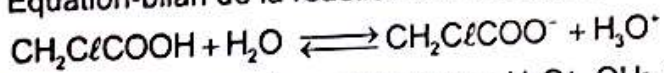
1) Vérifions que l'acide monochloroéthanoïque est un acide faible.

$$-\log C_A = -\log(5 \cdot 10^{-2}) = 1,3 \neq 2,1$$

On a : $\text{pH} \neq -\log C_a$ donc l'acide monochloroéthanoïque est un acide faible.

2) Calculons le pK_a du couple $\text{CH}_2\text{ClCOOH} / \text{CH}_2\text{ClCOO}^-$.

Équation-bilan de la réaction de l'acide faible avec l'eau :



Inventaire des espèces chimiques : H_3O^+ , OH^- , $\text{CH}_2\text{ClCOO}^-$, CH_2ClCOOH

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2,1} = 7,94 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} ; [\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{2,1-14} = 1,26 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

$$\text{Electroneutralité : } [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{CH}_2\text{ClCOO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_2\text{ClCOO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+] = 7,94 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } C_a = [\text{CH}_2\text{ClCOO}^-] + [\text{CH}_2\text{ClCOOH}]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_2\text{ClCOOH}] = C_a - [\text{CH}_2\text{ClCOO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_2\text{ClCOOH}] = 5 \cdot 10^{-2} - 7,94 \cdot 10^{-3} = 4,206 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{CH}_2\text{ClCOO}^-]}{[\text{CH}_2\text{ClCOOH}]} \Rightarrow \text{pK}_a = \text{pH} - \log \frac{[\text{CH}_2\text{ClCOO}^-]}{[\text{CH}_2\text{ClCOOH}]}$$

$$\text{Application numérique : } \text{pK}_a = 2,1 - \log \left(\frac{7,94 \cdot 10^{-3}}{4,206 \cdot 10^{-2}} \right) = 2,82$$

3) Volume V_B de NaOH de $C_B = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ à ajouter à $V_A = 20 \text{ mL}$ de CH_2ClCOOH .

Une solution dont le pH est égal au pK_a est une solution tampon qui est obtenue à

$$\text{la demi-équivalence. Ainsi on a : } n_{\text{base forte}} = \frac{n_{\text{acide faible}}}{2} \Leftrightarrow C_B V_B = \frac{C_A V_A}{2} \Rightarrow V_B = \frac{C_A V_A}{2 C_B}$$

$$\text{Application numérique : } V_B = \frac{5 \cdot 10^{-2} \times 20}{2 \times 10^{-1}} = 5 \text{ mL}$$

Exercice 3 (extrait Bac D 2009 Madagascar)

1) Equation de la réaction acide / base et pK_A du couple $C_2H_5NH_3^+/C_2H_5NH_2$.

Il s'agit d'une réaction de dosage donc la réaction est totale (une seule flèche).



A l'équivalence, $V_{AE} = 8,3 \text{ cm}^3$ donc pour $V_A = \frac{V_{AE}}{2} = \frac{8,3}{2} = 4,15 \text{ cm}^3$ on est à la demi-équivalence où $pH = pK_A$; d'où d'après le tableau $pK_A = 10,8$.

2) Calculons la concentration de la solution basique.

$$\text{A l'équivalence, } C_B V_B = C_A V_{AE} \Rightarrow C_B = \frac{C_A V_{AE}}{V_B}$$

$$\text{Application numérique : } C_B = \frac{10^{-1} \times 8,3}{10} = 8,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

3) Pour $V_A = 0$, calculons les concentrations des espèces chimiques dans la solution.

Inventaire des espèces chimiques : H_3O^+ , OH^- , $C_2H_5NH_3^+$, $C_2H_5NH_2$; (ou H_2O)

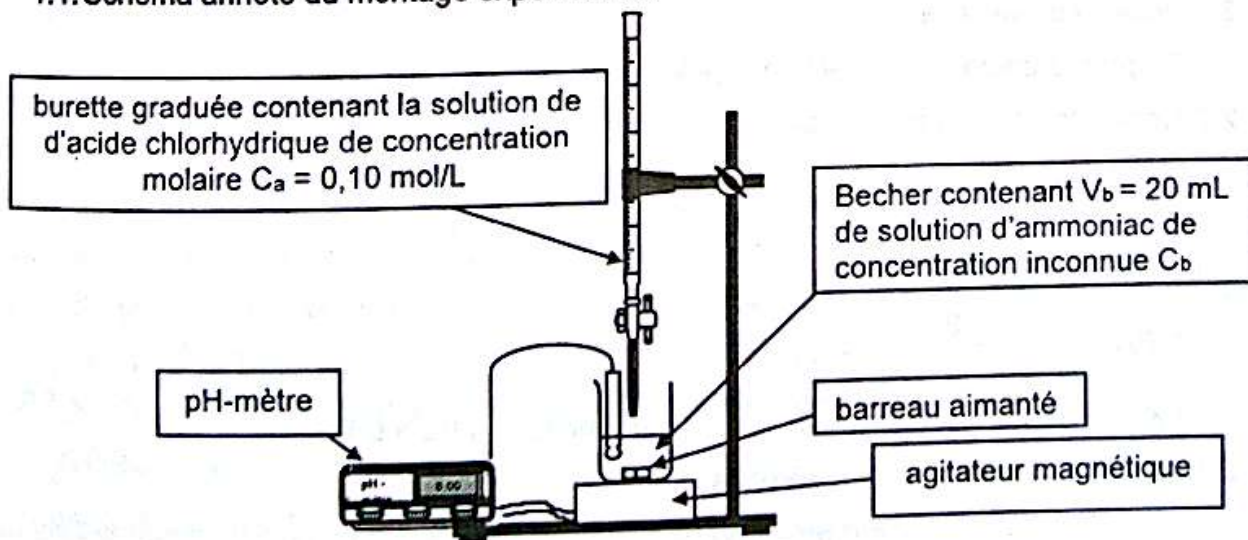
D'après le tableau, pour $V_A = 0$, $pH = 11,8$.

- $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-11,8} \text{ mol/L} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$;
- $[OH^-] = 10^{pH-14} = 10^{11,8-14} = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$.
- Electroneutralité : $[H_3O^+] + [C_2H_5NH_3^+] = [OH^-]$
 $\Rightarrow [C_2H_5NH_3^+] \approx [OH^-] = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$
- Conservation de la matière : $C_B = [C_2H_5NH_3^+] + [C_2H_5NH_2]$
 $\Rightarrow [C_2H_5NH_2] = C_B - [C_2H_5NH_3^+]$
 $\Rightarrow [C_2H_5NH_2] = 8,3 \cdot 10^{-2} - 6,3 \cdot 10^{-3} = 7,67 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$

Exercice 4 (extrait Bac D session normale 2007 Côte d'Ivoire)

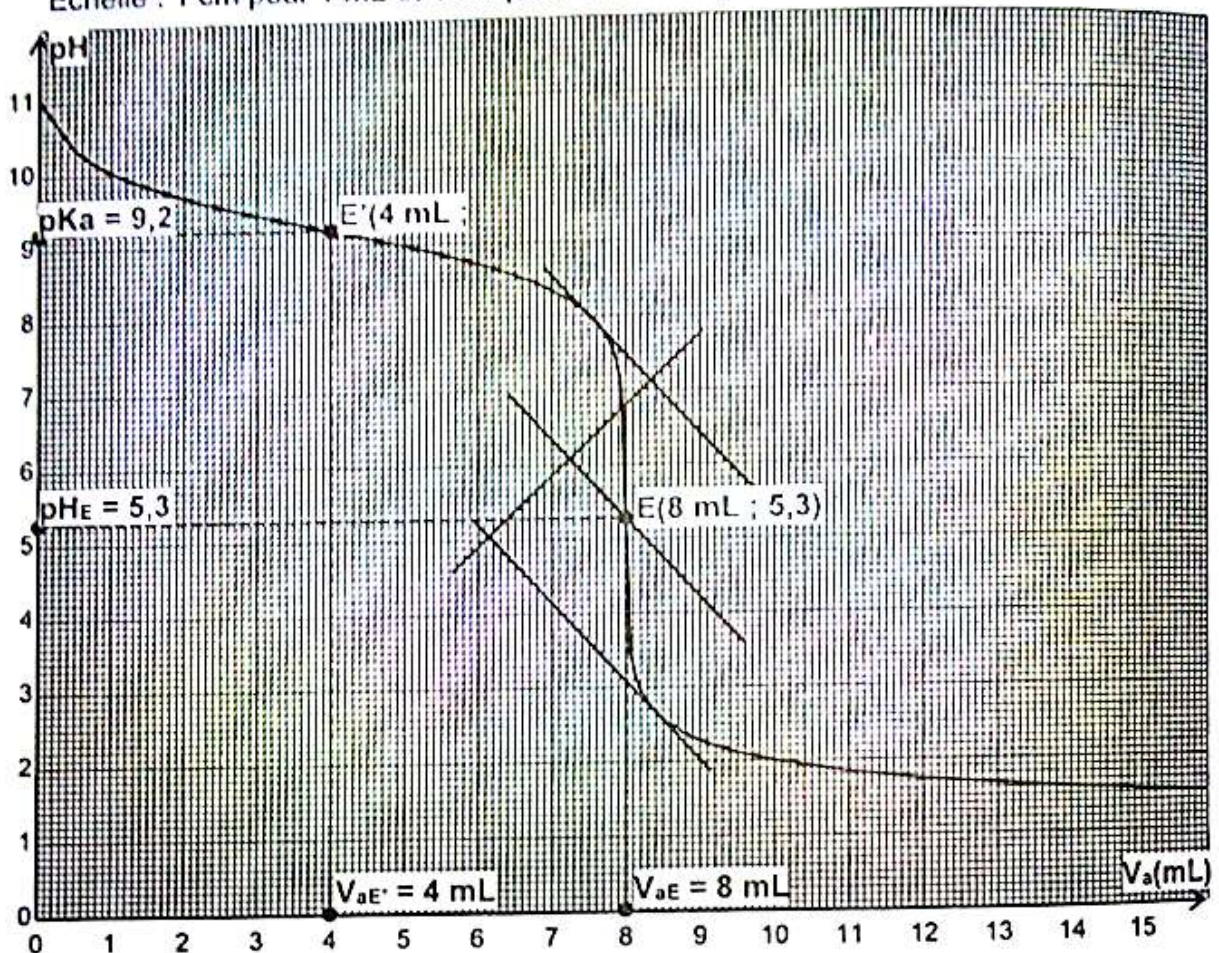
1- On prélève 10 mL d'ammoniac de concentration C_B qu'on dose avec HCl à $10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

1.1. Schéma annoté du montage expérimental



1.2. Tracé de la courbe $\text{pH} = f(V_A)$

Echelle : 1 cm pour 1 mL et 1 cm pour 1 unité de pH



1.3. Montrons que l'ammoniac est une base faible

L'ammoniac est une base faible car sa courbe de dosage présente quatre parties distinctes et deux(2) points d'inflexion.

2. Exploitation de la courbe $\text{pH} = f(V_A)$.

2.1. Point d'équivalence

D'après la courbe, E($V_{AE} = 8 \text{ mL}$; $\text{pH}_E = 5,3$).

2.2. Concentration de l'ammoniac

$$\text{A l'équivalence, } C_A V_{AE} = C_B V_B \Rightarrow C_B = \frac{C_A V_{AE}}{V_B} = \frac{0,1 \times 8}{10} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L.}$$

2.3. Demi-équivalence

$$E'(V_{AE}' = \frac{V_{AE}}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ mL ; } \text{pH}_{E'} = 9,2)$$

pK_a du couple : pour 4 mL on lit sur le graphe $\text{pH} = \text{pK}_a = 9,2$.

2.4. Nature du mélange à l'équivalence

Le mélange est acide car $\text{pH}_E = 5,3 < 7$.

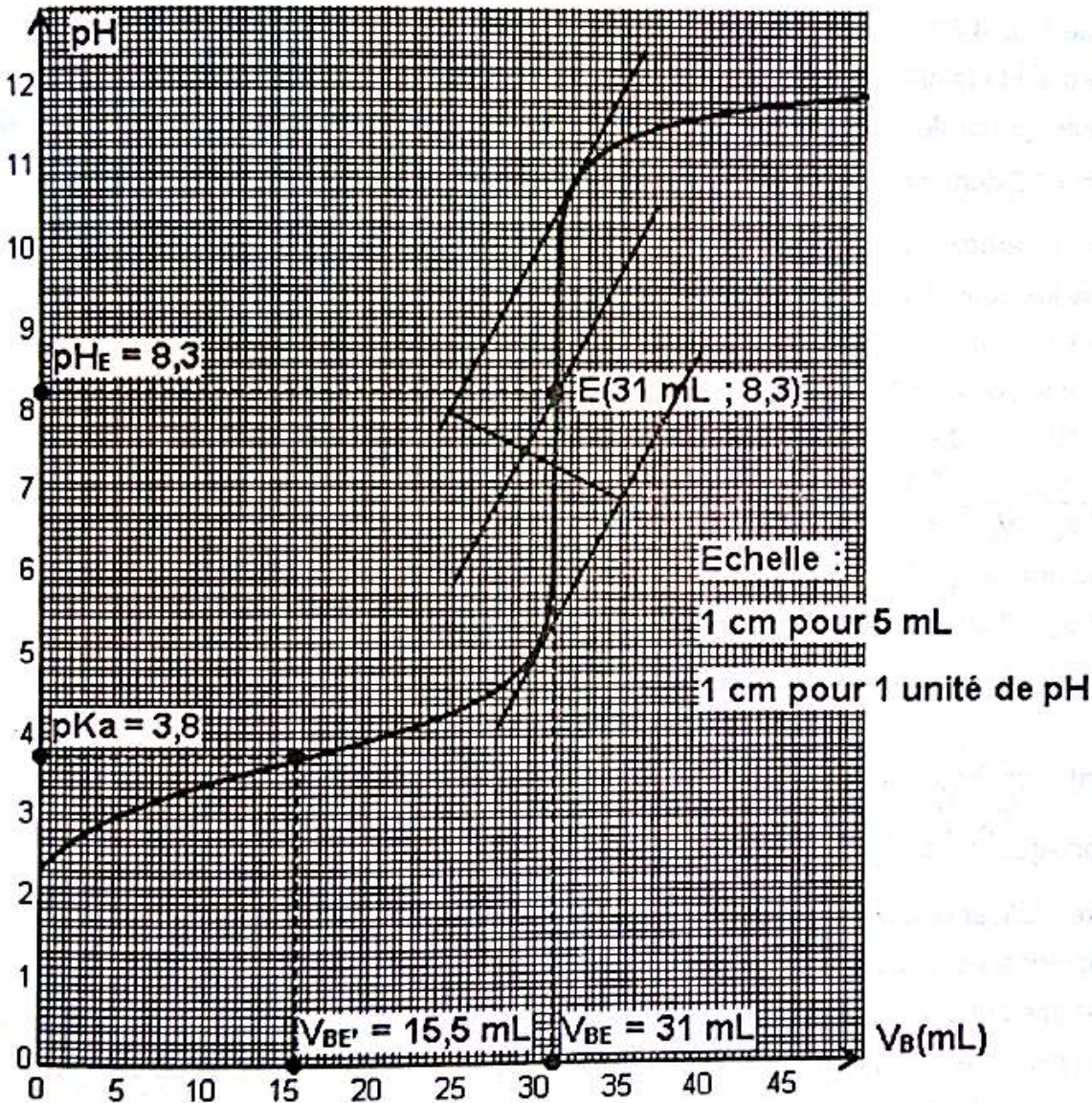
De plus on a une solution de chlorure d'ammonium qui est un acide faible.

3- Concentration massique

$$C_B = \frac{e_B}{M} \Rightarrow e_B = C_B \times M = 8 \cdot 10^{-2} \times (14 + 1 \times 3) = 1,36 \text{ g.L}^{-1}.$$

Exercice 5 (extrait Bac S1 & S3 1998 Sénégal)

1. Graphe donnant les variations du pH en fonction du volume V_B de base versé.



2. Déduisons graphiquement :

2.1. les coordonnées du point d'équivalence E ;

En utilisant la méthode des tangentes parallèles (voir courbe ci-dessus) on obtient :

$$E(V_{BE} = 31 \text{ mL} ; \text{pH}_E = 8,3).$$

2.2. le pKa du couple acide-base correspondant à l'acide carboxylique considéré.

$$\text{A la demi-équivalence on a : } V_{BE'} = \frac{V_{BE}}{2} = \frac{31}{2} = 15,5 \text{ mL}.$$

$$\text{Pour } V_{BE'} = 15,5 \text{ mL} ; \text{pH} = 3,8 \text{ donc on a : } \text{pH} = \text{pKa} = 3,8$$

3. Calculons la concentration molaire volumique C_A de la solution aqueuse d'acide

$$\text{A l'équivalence on a : } C_A V_A = C_B V_{BE} \Rightarrow C_A = \frac{C_B V_{BE}}{V_A} = \frac{0,1 \times 31}{30} = 1,033 \cdot 10^{-1} \text{ mol/L}$$

En déduire la formule semi-développée et le nom de l'acide.

$$m_A = n_A M_A \Rightarrow M_A = \frac{m_A}{n_A} = \frac{m_A}{C_A V} \Rightarrow M_A = \frac{4,83}{1,033 \cdot 10^{-1} \times 1} = 46,8 \text{ g/mol}$$

Remarque : les 4,83 g de l'acide ont été introduit dans un litre d'eau pour obtenir la solution aqueuse d'acide faible ; c'est pourquoi il faut utiliser $V = 1 \text{ L}$ pour le calcul de M_A .

La formule générale d'un acide carboxylique est $C_n H_{2n} O_2$ de masse molaire générale

$$M_A = 14n + 32 \text{ donc on a : } 14n + 32 = 46,8 \Rightarrow n = \frac{46,8 - 32}{14} = 1$$

D'où l'acide carboxylique utilisé est l'acide méthanoïque de formule $HCOOH$.

4. Calculons les concentrations molaires des diverses espèces chimiques pour $V_B = 28 \text{ mL}$

Lorsqu'on a ajouté un volume $V_B = 28 \text{ mL}$ de solution d'hydroxyde de sodium, $pH = 5,0$

Bilan des espèces : H_3O^+ , OH^- , Na^+ , $HCOOH$, $HCOO^-$, H_2O

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-5} \text{ mol/L} ; [OH^-] = 10^{pH-14} = 10^{5-14} = 10^{-9} \text{ mol/L}$$

$$[Na^+] = \frac{C_B V_B}{V_A + V_B} = \frac{0,1 \times 28}{30 + 28} = 4,83 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{Electroneutralité : } [H_3O^+] + [Na^+] = [OH^-] + [HCOO^-]$$

$$\Rightarrow [HCOO^-] = [Na^+] + [H_3O^+] - [OH^-] \approx [Na^+] = 4,83 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } \frac{C_A V_A}{V_A + V_B} = [HCOO^-] + [HCOOH]$$

$$[HCOOH] = \frac{C_A V_A}{V_A + V_B} - [HCOO^-] = \frac{C_A V_A}{V_A + V_B} - \frac{C_B V_B}{V_A + V_B} = \frac{C_A V_A - C_B V_B}{V_A + V_B}$$

$$\Rightarrow [HCOOH] = \frac{0,1033 \times 30 - 0,1 \times 28}{30 + 28} = 5,16 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

5. On désire réaliser une solution tampon de $pH = 4$ et de volume $V = 266 \text{ mL}$.

5.1. Rappelons les caractéristiques d'une solution tampon.

C'est une solution dont :

- le pH varie peu quand on lui ajoute des quantités modérées d'acide ou de base ;
- le pH reste invariable sous l'effet d'une dilution modérée.

5.2. Proposons une méthode pour obtenir cette solution tampon.

A la demi-équivalence d'un mélange de base forte et d'acide faible on a :

$$n_{\text{base forte}} = \frac{n_{\text{acide faible}}}{2} \Leftrightarrow C_B V_B = \frac{C_A V_A}{2} \text{ or } C_B \approx C_A \text{ donc } V_B = \frac{V_A}{2} \text{ ou } V_A = 2V_B$$

$$\text{Par ailleurs : } V_A + V_B = V \Rightarrow 2V_B + V_B = V \Rightarrow 3V_B = V \Rightarrow V_B = \frac{V}{3} = \frac{266}{3} = 89 \text{ mL}$$

$$\Rightarrow V_A = 2V_B = 2 \times 89 = 178 \text{ mL}$$

Donc il faut 178 mL de $HCOOH$ à $0,1 \text{ mol/L}$ et 89 mL de $NaOH$ à $0,1 \text{ mol/L}$.

Exercice 6 (extrait Bac séries S1 & S3 2013 Sénégal)

1) L'acide méthanoïque de formule HCO_2H a pour masse molaire $M(\text{HCO}_2\text{H}) = 46,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

1.1. Vérifions que la concentration C_0 de la solution commerciale S_0 est 20 mol.L^{-1} .

$$C_0 = \frac{\% \times \rho}{M} = \frac{80,0}{100} \times \frac{1,15 \cdot 10^3}{46,0} = 20 \text{ mol/L}$$

1.2. Un professeur propose de préparer $V = 1 \text{ L}$ d'acide méthanoïque de $C = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$.

1.2.1. Déterminons le volume V_0 de la solution S_0 à prélever pour préparer S .

Il s'agit d'une dilution au cours de laquelle la quantité de matière est constante.

$$n_0 = n \Leftrightarrow C_0 V_0 = CV \Rightarrow V_0 = \frac{CV}{C_0} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \times 1}{20} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ L ou } V_0 = 2,5 \text{ mL}$$

1.2.2. Description du protocole expérimental de préparation de la solution S .

- Prélever 2,5 mL de la solution S_0 avec une pipette graduée ;
- Placer ce prélèvement dans une fiole jaugée de 1 litre ;
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et homogénéiser.

1.2.3. Vérifions que l'acide méthanoïque réagit partiellement avec l'eau.

$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] < C$. Ainsi toutes les molécules d'acide méthanoïque introduites dans l'eau ne sont pas dissociées ; l'acide méthanoïque est donc partiellement dissocié dans l'eau : c'est un acide faible.

2) Pour réaliser le dosage de 10 mL de la solution S , on dispose de solution de soude.

2.1. Equation-bilan de la réaction du dosage de l'acide méthanoïque par la soude.

C'est une réaction de dosage donc la réaction est totale (une seule flèche) :



2.2. Définition de l'équivalence acido-basique.

Il y a équivalence acido-basique lorsque les réactifs sont mélangés dans les proportions stoechiométriques.

2.3. Solution de soude qui semble la plus adaptée au dosage en justifiant notre réponse.

Calculons le volume de soude qu'on obtiendrait à l'équivalence pour chaque solution

- Pour S_1 : $C_1 V_1 = CV \Rightarrow V_1 = \frac{CV}{C_1} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \times 10}{2,00 \cdot 10^{-1}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ L ou } V_1 = 2,5 \text{ mL}$
- Pour S_2 : $C_2 V_2 = CV \Rightarrow V_2 = \frac{CV}{C_2} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \times 10}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ L ou } V_2 = 20 \text{ mL}$

Le volume V_1 est faible donc c'est la solution S_2 qui est la plus adaptée.

Exercice 7 : (extrait Bac C & E session normale 2007 Côte d'Ivoire)

1.

1.1. Nom de l'opération effectuée pour préparer S_1 : c'est une dilution de S_0 .1.2. Détermination du volume v_0 à prélever pour obtenir $v_1 = 100$ mL de S_1 .

Conservation de la quantité de matière :

$$n_0 = n_1 \Rightarrow C_0 V_0 = C_1 V_1 \Rightarrow v_0 = \frac{C_1 V_1}{C_0} = \frac{0,1 \times 100}{1} = 10 \text{ mL}$$

1.3. Description de la préparation de la solution S_1 .

- Prélever 10 mL de S_0 avec une pipette jaugée de 10 mL ;
- Introduire les 10 mL prélevés dans une fiole jaugée de 100 mL ;
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et homogénéiser.

2. On dose $V_B = 20$ mL de S_2 par S_1 .

2.1. Équation-bilan de la réaction du dosage

Il s'agit du dosage d'une base faible (NH_3) par un acide fort (HCl), donc l'équation contient une seule flèche : $\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$.

2.2. Concentration molaire C_B de la solution S_2

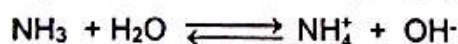
A l'équivalence, $C_A V_{AE} = C_B V_B \Rightarrow C_B = \frac{C_A V_{AE}}{V_B} = \frac{0,1 \times 18,5}{20} = 9,25 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$.

2.3. Masse d'ammoniac dissous.

$$n = \frac{m}{M} \text{ et } n = C_B V \Rightarrow m = C_B V M = 9,25 \cdot 10^{-2} \times 1 \times (14 + 3) = 1,57 \text{ g}$$

2.4. En un point particulier du dosage, $V_A = 9,25$ mL2.4.1. Nom du point : $9,25 \text{ mL} = \frac{18,5}{2} = \frac{V_{AE}}{2}$ donc c'est la demi-équivalence.2.4.2. Valeur du pH en ce point : en ce point le $\text{pH} = \text{pKa}$ du couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$.3. Détermination du pKa du couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$.

3.1. Équation-bilan de la mise en solution de l'ammoniac dans l'eau

3.2. Inventaire des espèces chimiques présentes dans S_2 : H_3O^+ , OH^- , NH_4^+ , NH_3

3.3. Calculons :

3.3.1. les concentrations de ces espèces chimiques ;

- $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-11,1} = 7,94 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$;
- $[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{11,1-14} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$.
- Electroneutralité : $[\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-]$
 $\Rightarrow [\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] \approx [\text{OH}^-] = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$.
- Conservation de la matière : $C = [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3]$
 $\Rightarrow [\text{NH}_3] = C - [\text{NH}_4^+] = 9,25 \cdot 10^{-2} - 1,26 \cdot 10^{-3} = 9,12 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$.

3.3.2. le pKa du couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$.

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} \Leftrightarrow \text{pKa} = \text{pH} - \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 11,1 - \log \frac{9,12 \cdot 10^{-2}}{1,26 \cdot 10^{-3}} \approx 9,2$$



Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro
(1776-1856)

Physicien et Chimiste Italien

Il proposa une hypothèse connue plus tard sous le nom de la loi d'Avogadro. Son nom reste lié à celui du nombre d'Avogadro indiquant le nombre de molécules contenues dans une mole (mol).

GENERALITES SUR LA CHIMIE ORGANIQUE

RAPPEL DE COURS

1. MOLES ET GRANDEURS MOLAIRES

Grandeurs chimiques	Symbole	Unité	Formules
Constante d'Avogadro	N_a	mol ⁻¹	$N = n \times N_a$
Nombre d'entités élémentaires	N	sans unité	$n = \frac{N}{N_a}$
Quantité de matière ou nombre de moles	n	mol	$m = n \times M$ $n = \frac{m}{M}$
Masse molaire	M	g/mol ou g.mol ⁻¹	$V = n \times V_m$
Masse	m	g	$n = \frac{V}{V_m}$
Volume molaire (gaz)	V_m	L/mol ou L.mol ⁻¹	$M = 29d$
Volume (gaz)	V	L	$d = \frac{M}{29}$
Densité (gaz)	d	sans unité	

2. ANALYSE D'UN COMPOSE ORGANIQUE

2.1. Densité

- La densité d d'un liquide ou d'un solide est exprimée par rapport à l'eau : $d = \frac{\rho_c}{\rho_{eau}}$
 ρ_c est la masse volumique du corps considéré et ρ_{eau} celle de l'eau ($\rho_{eau} = 1 \text{ g/cm}^3$).
- La densité d d'un gaz est exprimée par rapport à l'air : $d = \frac{M}{29}$
M est la masse molaire du gaz considéré en g/mol et 29 g/mol est celle de l'air.
- La densité d'un corps n'a pas d'unité.

2.2. Analyse élémentaire quantitative

a. But

Elle consiste à déterminer la composition centésimale d'un corps ou le pourcentage massique de chaque élément contenu dans le composé et à en déduire sa formule brute.

b. Définition

Le pourcentage massique d'un élément A dans un composé est donné par les expressions :

$$\%A = \frac{\text{nombre d'atomes de A} \times \text{masse molaire de A}}{\text{masse molaire du composé}} \times 100 \quad \text{ou} \quad \%A = \frac{\text{masse de A}}{\text{masse du composé}} \times 100$$

Remarque : dans un composé organique la somme des pourcentages massiques de tous les éléments est égale à 100.

c. Exemple 1

Considérons un composé organique de formule brute $C_xH_yO_z$ et de masse molaire M.

- pourcentage massique des éléments : $\%C = \frac{12x}{M} \times 100$; $\%H = \frac{y}{M} \times 100$; $\%O = \frac{16z}{M} \times 100$
- formule brute : $x = \frac{\%C \times M}{1200}$; $y = \frac{\%H \times M}{100}$; $z = \frac{\%O \times M}{1600}$
- masse molaire du composé : $\frac{M}{100} = \frac{12x}{\%C} = \frac{y}{\%H} = \frac{16z}{\%O}$

d. Exemple 2

La combustion d'un composé organique $C_xH_yO_z$ de masse m donne $m(\text{CO}_2)$ de dioxyde de carbone et $m(\text{H}_2\text{O})$ d'eau.

- masse et pourcentage massique de carbone :

il y a 12 g de C dans 44 g de CO_2 donc dans $m(\text{CO}_2)$ il y aura $m(\text{C})$:

$$\Rightarrow m(\text{C}) = \frac{12 \times m(\text{CO}_2)}{44} = \frac{3m(\text{CO}_2)}{11} \quad \text{et} \quad \%C = \frac{m(\text{C})}{m} \times 100$$

- masse et pourcentage massique d'hydrogène :

il y a 2 g de H dans 18 g de H_2O donc dans $m(\text{H}_2\text{O})$ il y aura $m(\text{H})$:

$$\Rightarrow m(\text{H}) = \frac{2 \times m(\text{H}_2\text{O})}{18} = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{9} \quad \text{et} \quad \%H = \frac{m(\text{H})}{m} \times 100$$

- pourcentage massique d'oxygène : $\%O = 100 - (\%C + \%H)$

3. MÉTHODES PRATIQUES

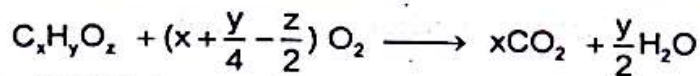
3.1. Comment déterminer la masse molaire M d'un composé $C_xH_yO_z$?

- par la relation la liant à sa masse m et à son nombre de moles n : $M = \frac{m}{n}$
- par sa densité par rapport à l'air : $M = 29.d$
- par ses pourcentages massiques : $M = \frac{1200x}{\%C} = \frac{100y}{\%H} = \frac{1600z}{\%O}$

3.2. Comment déterminer la formule brute d'un composé $C_xH_yO_z$?

a) par sa masse molaire : $12x + y + 16z = M$

b) par le bilan molaire de l'équation de sa combustion :



$$\frac{n(C_xH_yO_z)}{1} = \frac{n(O_2)}{x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}} = \frac{n(CO_2)}{x} = \frac{n(H_2O)}{\frac{y}{2}}$$

c) par ses pourcentages massiques : $x = \frac{\%C \times M}{1200}$; $y = \frac{\%H \times M}{100}$; $z = \frac{\%O \times M}{1600}$

3.3. Comment déterminer le rendement r au cours d'une réaction chimique ?

$$r = \frac{\text{nombre de mol final du produit}}{\text{nombre de mol initial du réactif}} \times 100$$

Exemple : le rendement de la transformation d'un corps A en un corps B est : $r = \frac{n(B)}{n(A)} \times 100$

où n est la quantité de matière (en mol) du corps considéré et r le rendement (sans unité).

4. ALCANES

4.1. Définition

Ceux sont les hydrocarbures saturés (les liaisons sont simples) de formule générale C_nH_{2n+2} .

4.2. Nomenclature

a) Alcane à chaîne linéaire

Le nom d'un alcane à chaîne linéaire se forme en associant un préfixe qui indique le nombre d'atomes de carbone de la chaîne à la terminaison « ane », à l'exception des quatre premiers qui portent des noms usuels.

Remarque : pour signifier que la molécule est linéaire (normale), on fait précéder son nom par « n- » à partir de quatre atomes de carbone (où on peut avoir une chaîne ramifiée).

Exemples :

Nbre d'atome de carbone	1	2	3	4	5
Formule brute	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂
Nom	méthane	éthane	propane	n-butane	n-pentane

Nbre d'atome de carbone	6	7	8	9	10
Formule brute	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆	C ₈ H ₁₈	C ₉ H ₂₀	C ₁₀ H ₂₂
Nom	n-hexane	n-heptane	n-octane	n-nonane	n-décane

b) Groupe alkyle

C'est un groupe monovalent d'atomes obtenu en retirant un atome d'hydrogène à un alcane. Son nom est obtenu en remplaçant, dans le nom de l'alcane correspondant, le suffixe « -ane » par le suffixe « -yle ». Sa formule générale est $-C_nH_{2n+1}$.

Exemples :

Nombre d'atomes de carbone	Formule	Nom
1	$-CH_3$	méthyle
2	$-CH_2-CH_3$	éthyle
3	$-CH_2-CH_2-CH_3$	propyle
	$\begin{array}{c} -CH-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	1-méthyléthyle ou méthyléthyle ou isopropyle
4	$-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	butyle
	$\begin{array}{c} -CH-CH_2-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	1-méthylpropyle
	$\begin{array}{c} -CH_2-CH-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	2-méthylpropyle
	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ -C-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	1,1-diméthyléthyle ou diméthyléthyle

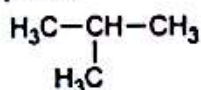
c) Alcane à chaîne ramifiée

Son nom est constitué des noms des groupes alkyles (privés de la voyelle e) précédés de leur indice de position et suivis du nom de l'alcane linéaire de même chaîne principale.

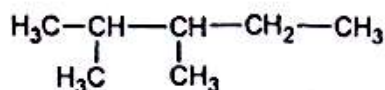
Le principe est le suivant :

- chercher la chaîne carbonée la plus longue, appelée chaîne principale : le nombre d'atome de cette chaîne détermine le nom de l'alcane ;
- déterminer la position des groupes alkyles en numérotant les atomes de carbone de la chaîne principale. Cette numérotation se fait dans n'importe quel sens de telle sorte que le sens choisit donne l'ensemble des indices les plus bas possible ;
- si un groupe alkyle est plusieurs fois présent, son nom est précédé des préfixes di- (2), tri- (3), tétra- (4), etc. ;
- si l'alcane est constitué de différents groupes alkyles, ils sont énoncés dans l'ordre alphabétique.

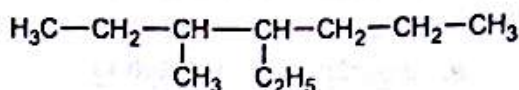
Exemples :



2-méthylpropane



2,3-diméthylpentane

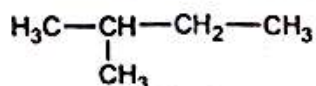


4-éthyl-3-méthylheptane

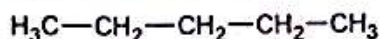
d) Isomérisation

Deux composés sont dits isomères s'ils ont la même formule brute mais des formules développées différentes.

Exemple :



2-méthylbutane



n-pentane

5. ALCENES**5.1. Définition**

Ceux sont des hydrocarbures insaturés (toutes les liaisons ne sont pas simples) de formule générale C_nH_{2n} avec $n \geq 2$. Ils comportent une seule double liaison $\text{C}=\text{C}$.

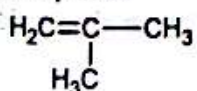
5.2. Nomenclature

Le nom d'un alcène comporte toujours la terminaison « -ène » précédé de l'indice de position de la double liaison $\text{C}=\text{C}$ dans la chaîne principale.

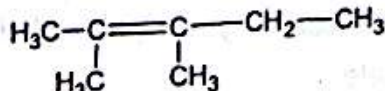
Le principe est le suivant :

- déterminer la chaîne carbonée la plus longue, appelée chaîne principale, contenant la double liaison ;
- numéroter les atomes de carbone de la chaîne principale de telle sorte que l'indice de la double liaison soit le plus bas possible ; cet indice est le numéro du premier carbone rencontré participant à la double liaison. Il se place entre le préfixe indiquant le nombre de carbone de la chaîne principale et le suffixe « -ène » ;
- pour les alcènes ramifiés, on procède comme chez les alcanes.

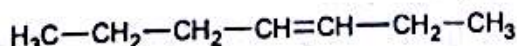
Exemples :



2-méthylpropène



2,3-diméthylpent-2-ène

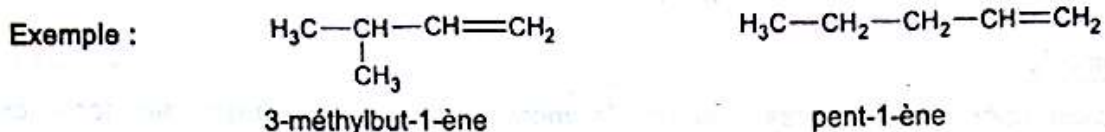


hept-3-ène

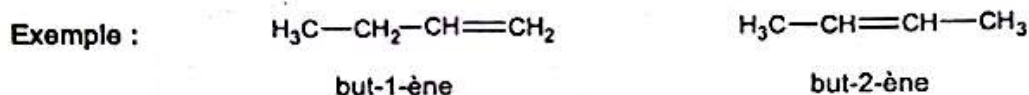
5.1. Isomérisation

a. Isomérisation de constitution

➤ **Isomérisation de chaîne** : ces isomères ne diffèrent que par leur chaîne carbonée.

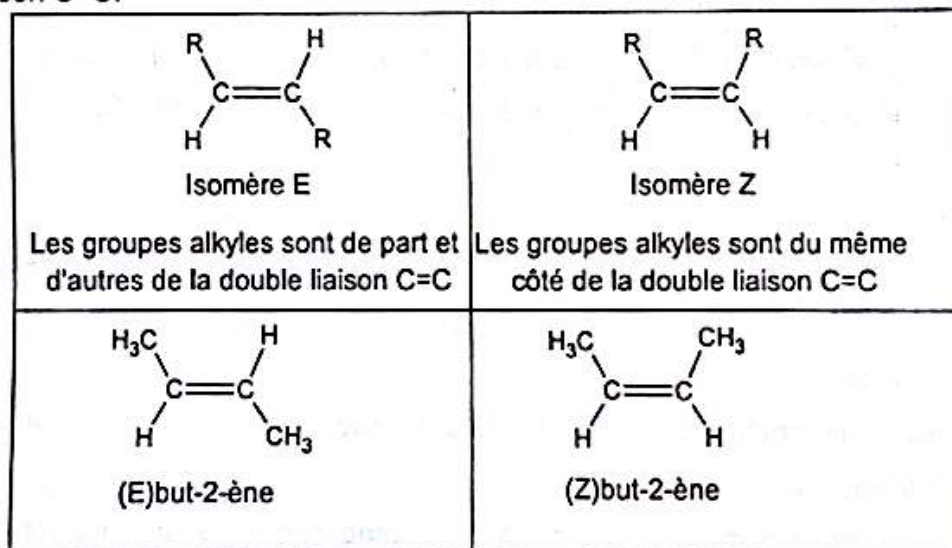


➤ **Isomérisation de position** : ces isomères ne diffèrent que par la position de la double liaison.



b. Isomérisation E-Z

Ces isomères ne diffèrent que par la position des groupes alkyles par rapport à l'axe de la double liaison C=C.



5. ALCYNES

6.1. Définition

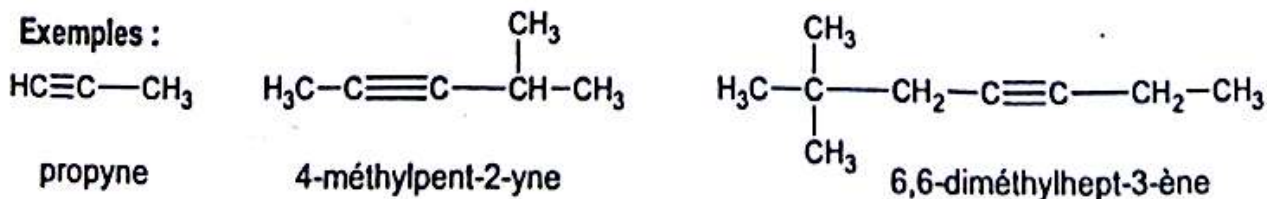
Ceux sont des hydrocarbures insaturés de formule générale $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ avec $n \geq 2$.

Ils comportent une seule triple liaison $\text{C} \equiv \text{C}$.

6.2. Nomenclature

Le nom d'un alcène comporte toujours la terminaison « -yne » précédé de l'indice de position de la triple liaison $\text{C} \equiv \text{C}$ dans la chaîne principale.

Le principe est le même que chez les alcènes.

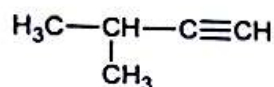


6.3. Isomérisation

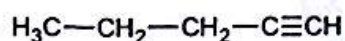
a. Isomérisation de chaîne

Ces isomères ne diffèrent que par leur chaîne carbonée.

Exemple :



3-méthylbut-1-yne

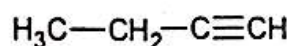


pent-1-yne

b. Isomérisation de position

Ces isomères ne diffèrent que par la position de la triple liaison.

Exemple :



but-1-yne



but-2-yne

7. COMBUSTION COMPLETE

Les hydrocarbures (alcane, alcène, alcyne) brûlent dans le dioxygène.

Lorsque la combustion est complète, il se forme du dioxyde de carbone et de l'eau selon les équations-bilan suivantes :

- hydrocarbures : $\text{C}_x\text{H}_y + \left(x + \frac{y}{4}\right)\text{O}_2 \longrightarrow x\text{CO}_2 + \frac{y}{2}\text{H}_2\text{O}$
- alcane : $\text{C}_n\text{H}_{2n+2} + \frac{3n+1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow n\text{CO}_2 + (n+1)\text{H}_2\text{O}$
- alcène : $\text{C}_n\text{H}_{2n} + \frac{3n}{2}\text{O}_2 \longrightarrow n\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$
- alcyne : $\text{C}_n\text{H}_{2n-2} + \frac{3n-1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow n\text{CO}_2 + (n-1)\text{H}_2\text{O}$



LES ALCOOLS

Vladimir Vassilievitch Markovnikov
(22 décembre 1838 - 11 février 1904)
Chimiste Russe

Il est connu pour ses travaux sur la structure moléculaire de divers corps organiques et pour avoir énoncé en 1871 une règle empirique concernant l'hydratation des alcènes asymétriques ou dissymétriques dite règle de Markovnikov qui dit que l'hydratation d'un alcène dissymétrique conduit de façon majoritaire à l'alcool dont la classe est la plus élevée..

Objectifs spécifiques

- Connaître les trois classes d'alcool.
- Connaître les méthodes de préparation d'un alcool.
- Connaître les propriétés chimiques des alcools.
- Connaître la nature et les noms des produits d'oxydation des alcools primaires et secondaires.
- Connaître la nomenclature des aldéhydes et des cétones et les réactifs qui permettent de les identifier.

RAPPEL DE COURS

1. ALCOOL

1.1) Définition

C'est un composé organique comportant un groupement fonctionnel hydroxyle (-OH).

La formule générale brute d'un alcool saturé est $C_nH_{2n+2}O$.

Cette formule peut s'écrire sous la forme $C_nH_{2n+1}-OH$ ou $R-OH$.

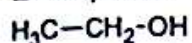
1.2) Nomenclature

Le nom d'un alcool dérive de celui de l'alcane correspondant en remplaçant la terminaison « e » de l'alcane par « ol » puis on indique, si nécessaire, le numéro de l'atome de carbone où le groupe hydroxyle est fixé (carbone fonctionnel).

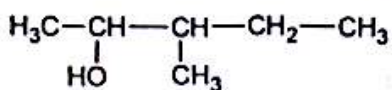
Si la molécule est ramifiée on procède comme suit :

- on détermine la chaîne principale contenant le carbone fonctionnel ;
- on indique, si nécessaire, l'indice du carbone fonctionnel. Cet indice doit être le plus bas possible et est placé entre le nom de l'alcane correspondant à la chaîne principale (privé de la voyelle « e ») et le suffixe « -ol ».

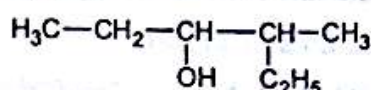
Exemples :



éthanol



3-méthylpentan-2-ol



4-méthylhexan-3-ol

1.3) Les trois classes d'alcool

Classe	Alcool primaire	Alcool secondaire	Alcool tertiaire
Nombre d'atomes de carbone auquel le carbone fonctionnel est lié	0 ou 1	2	3
Formule semi-développée	$\text{R}-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\begin{array}{c} \text{R}_1-\text{CH}-\text{R}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}_3 \\ \\ \text{R}_1-\text{C}-\text{R}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$

Remarque : R, R₁, R₂ et R₃ sont des groupes carbonés (ils sont différents de H).

1.4) Polyols ou polyalcools

Ce sont les molécules qui possèdent plusieurs groupes hydroxyles OH.

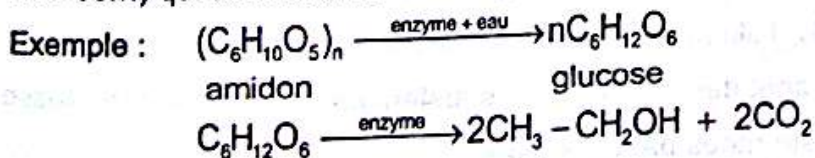
Exemples :

Formule semi-développée	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$
nom	glycol (ou éthan-1,2-diol)	glycérol (ou propan-1,2,3-triol)

1.5) Préparation des alcools

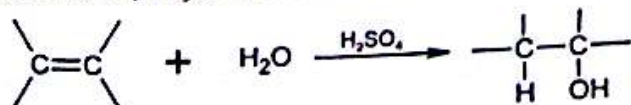
a) Fermentation des jus sucrés

L'éthanol est obtenu par fermentation alcoolique à partir de jus sucrés (palme, cacao, ananas, canne, sorgho...), ou à partir de produits contenant de l'amidon (céréales, pomme de terre, manioc...) qui donnent des sucres par hydrolyse.



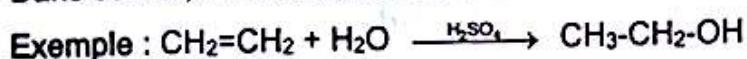
b) Hydratation des alcènes

En milieu acide, l'hydratation d'un alcène conduit à un alcool.



• Hydratation d'un alcène symétrique

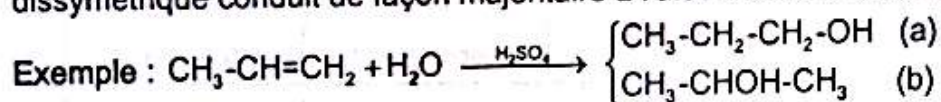
Dans ce cas, on obtient un seul produit.



• Hydratation d'un alcène dissymétrique

Dans ce cas, on obtient deux produits dont l'un est majoritaire et l'autre minoritaire.

Pour les identifier, on applique la règle de Markovnikov qui dit que l'hydratation d'un alcène dissymétrique conduit de façon majoritaire à l'alcool dont la classe est la plus élevée.

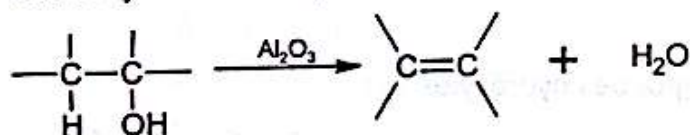


Ici le produit (a) est un alcool primaire et (b) est un alcool secondaire donc le produit obtenu majoritairement est (b) et celui obtenu minoritairement est (a).

1.6) Propriétés chimiques des alcools

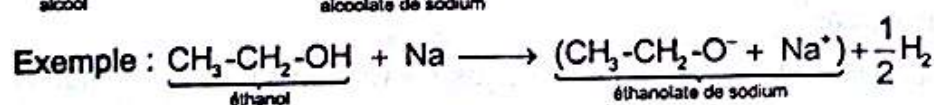
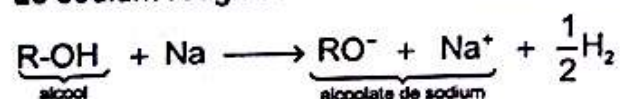
a) Déshydratation

La déshydratation en présence d'alumine Al_2O_3 d'un alcool conduit à un alcène.



b) Réaction avec le sodium

Le sodium réagit avec les alcools selon une réaction d'oxydoréduction :



Remarque :

Les enzymes, l'acide sulfurique H_2SO_4 , l'alumine Al_2O_3 (qui figurent dans les équations-bilans des réactions chimiques précédentes) sont des catalyseurs, substances qui modifient la vitesse d'une réaction chimique sans être transformées par la réaction.

On en distingue plusieurs.

2. ALDEHYDES ET CETONES**2.1) Définition**

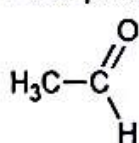
Composés carbonylés	Aldéhyde	Cétone
Formule générale particulière	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{R}' \end{array} \quad \text{R} \neq \text{H} \text{ et } \text{R}' \neq \text{H}$
Groupe fonctionnel(carbonyle) commun	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \end{array}$	
Formule générale brute commune	C _n H _{2n} O	

2.2) Nomenclature des aldéhydes

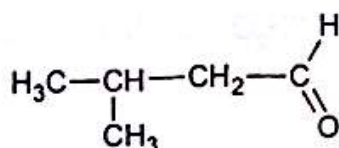
Pour nommer un aldéhyde, on remplace le « e » final de l'alcane correspondant par le suffixe « -al ». Si la molécule est ramifiée, le principe est le suivant :

- déterminer la chaîne principale contenant le carbone fonctionnel ;
- numéroter les carbones de la chaîne principale en commençant par le carbone fonctionnel.

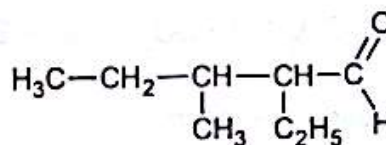
Exemples :



éthanal



3-méthylbutanal



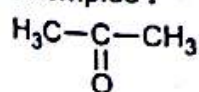
2-éthyl-3-méthylpentanal

2.3) Nomenclature des cétones

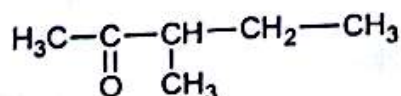
Pour nommer une cétone, on remplace le « e » final de l'alcane correspondant par le suffixe « -one ». Le principe est le suivant :

- déterminer la chaîne principale contenant le carbone fonctionnel ;
- indiquer, si nécessaire, l'indice du carbone fonctionnel. Cet indice doit être le plus bas possible et est placé entre le préfixe indiquant le nombre de carbone de la chaîne principale et le suffixe « -one » ;
- si la molécule est ramifiée, procéder comme chez les hydrocarbures.

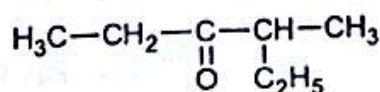
Exemples :



propanone



3-méthylpentan-2-one



4-méthylhexan-3-one

2.4) Propriétés chimiques

- Les aldéhydes et les cétones donnent avec la DNPH un précipité jaune (propriété commune).
- Les aldéhydes rosissent le réactif de Schiff.
- Les aldéhydes réduisent l'ion diamine argent en donnant un miroir ou dépôt d'argent (réactif de Tollens).
- Les aldéhydes réduisent la liqueur de Fehling en donnant un précipité rouge brique (foncé).

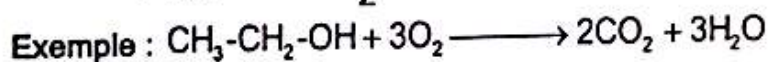
Remarque : La couleur rouge brique est due à la formation d'un précipité d'oxyde de cuivre I (Cu₂O). Un précipité est la formation dans une solution (parfois colorée mais transparente) de minuscules particules insolubles : la solution se trouble (translucide).

3. OXYDATION DES ALCOOLS

3.1) Combustion

C'est l'action de brûler ; combinaison, dégageant de la chaleur, d'un corps avec l'oxygène. La réaction de combustion est une oxydation brutale.

La combustion des alcools dans le dioxygène donne du dioxyde de carbone et de l'eau.

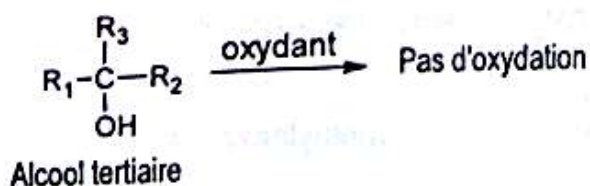
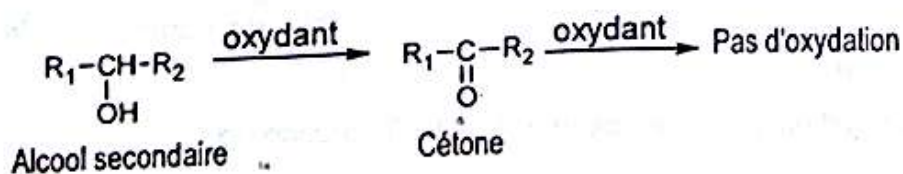
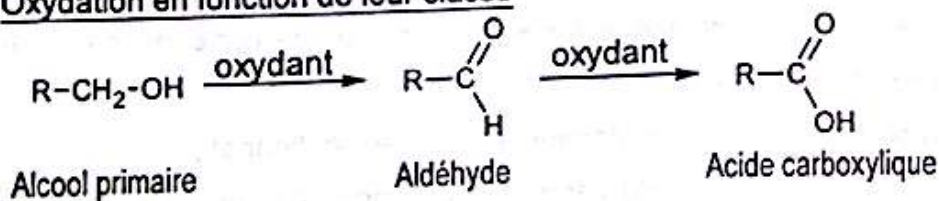


3.2) Oxydation ménagée

a) Définition

Une oxydation ménagée est une oxydation douce au cours de laquelle le squelette carboné de la molécule est conservé.

b) Oxydation en fonction de leur classe



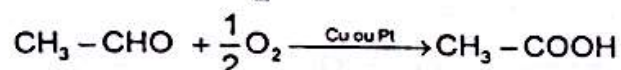
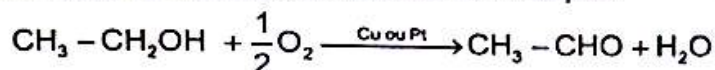
c) Oxydation par l'oxygène de l'air

C'est l'expérience de la lampe sans flamme.

Elle se fait en présence de métaux cuivre (Cu) ou platine (Pt).

Exemple :

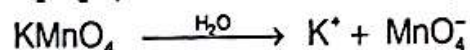
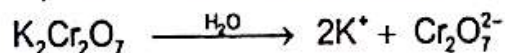
En présence de cuivre ou de platine, l'éthanol brûle dans l'oxygène de l'air pour donner successivement l'éthanal puis l'acide éthanoïque.

d) Oxydation par un oxydant.

Elle se fait en présence d'une solution acidifiée de permanganate de potassium (KMnO_4) ou de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

Les ions dichromate ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) et permanganate (MnO_4^-) sont obtenus en dissolvant respectivement les composés ioniques $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ et KMnO_4 dans l'eau.

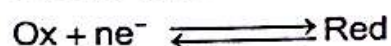
➤ Équations-bilan de dissolution



➤ Couple oxydant/réducteur et demi-équation électronique

Un couple oxydant/réducteur se note Ox/Red.

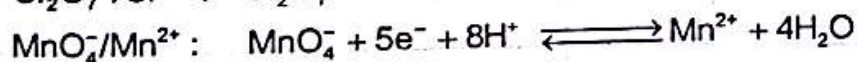
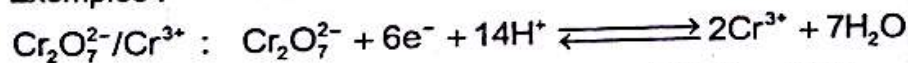
Sa demi-équation électronique est donnée par :



ou bien



Exemples :

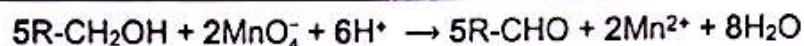
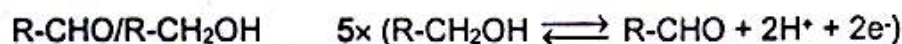


4. MÉTHODE PRATIQUE

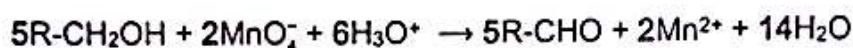
➤ Comment écrire l'équation-bilan d'une réaction d'oxydation d'un alcool.

- Déterminer les couples oxydant/réducteur en présence ;
- Écrire les demi-équations électroniques des couples en présence ;
- Multiplier ces demi-équations par les coefficients qu'il faut pour avoir le même nombre d'électrons dans les demi-équations ;
- Additionner membre à membre les deux demi-équations ;
- Simplifier les termes apparaissant à la fois dans les deux membres ;
- Transformer les ions H^+ en ions H_3O^+ en ajoutant le nombre de molécules d'eau qu'il faut à chacun des membres de l'équation-bilan (nécessaire si demandé).

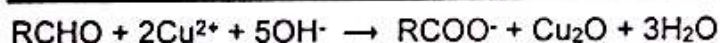
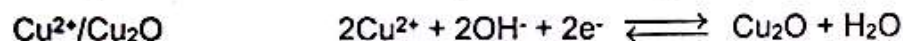
Exemple 1 : Oxydation de R-CH₂OH par l'ion permanganate en défaut en milieu acide.



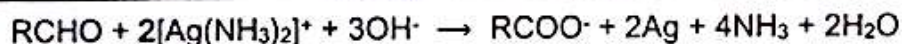
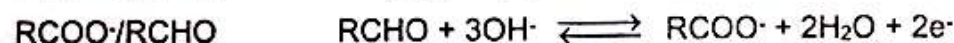
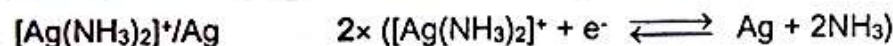
ou bien



Exemple 2 : Réaction avec la liqueur de Fehling en milieu basique



Exemple 3 : Réaction avec le nitrate d'argent ammoniacal en milieu basique



5. TABLEAU RECAPITULATIF DE QUELQUES REACTIONS

	Aldéhyde	Cétone	Alcool primaire ou secondaire	Alcool tertiaire	Acide carboxylique
2,4-DNPH	précipité jaune	précipité jaune	-	-	-
Réactif de Schiff	coloration rose	-	-	-	-
Réactif de Tollens	dépôt d'argent	-	-	-	-
Liqueur de Fehling	précipité rouge brique	-	-	-	-
Papier pH	-	-	-	-	coloration rouge
Solution oxydante + H ₂ SO ₄ concentré	décoloration	-	décoloration	-	-

EXERCICES RESOLUS**Exercice 1.** (Extrait Bac D session 2001 Madagascar)

- 1) a) Donner la formule brute d'un monoalcool saturé X.
- b) Déterminer la formule brute de l'alcool X si sa masse moléculaire est $M = 74 \text{ g.mol}^{-1}$.
- c) Donner les formules semi-développées, les noms et les classes des isomères de cet alcool.
- 2) Un des isomères de l'alcool X, noté A, réagit avec le permanganate de potassium (KMnO_4) en excès pour donner l'acide butanoïque.
 - a) Donner la formule semi-développée et le nom de A.
 - b) Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'oxydo-réduction entre le KMnO_4 et l'alcool A.

Exercice 2

L'analyse élémentaire d'un composé B a donné 62% de carbone, 27,6% d'oxygène et 10,4% d'hydrogène. Données : $M_H = 1 \text{ g/mol}$; $M_C = 12 \text{ g/mol}$; $M_O = 16 \text{ g/mol}$; $M_B = 58 \text{ g/mol}$.

1. Montrer que B a pour formule brute $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$.
2. On introduit dans un tube à essai qui contient le composé B quelques gouttes de la 2,4 DNPH. On observe alors la formation d'un précipité jaune.
Dédurre de ce test les formules semi-développées possibles pour B en indiquant les noms des composés correspondants.
3. Le composé B réagit avec le réactif de Schiff en donnant une coloration rose.
Quelle est la fonction chimique de B ? Identifier B.
4. Le composé B a été obtenu par oxydation ménagée d'un alcool A par l'oxygène de l'air.
 - 4.1. Donner la classe, la formule semi-développée et le nom de l'alcool A.
 - 4.2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'oxydation de l'alcool A.

Exercice 3

On place dans un tube à essai une masse $m = 2,96 \text{ g}$ d'alcool D à chaîne saturée non cyclique avec un excès de sodium métal. On observe un dégagement de gaz qui recueilli, a un volume $V = 480 \text{ mL}$.

- 1) Quel est le nom de ce gaz qui se dégage ? Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
- 2) En déduire la masse molaire M_D de l'alcool D ainsi que sa formule brute.
- 3) La chaîne carbonée de D est ramifiée et son produit d'oxydation réagit positivement avec la 2,4-D.N.P.H et le réactif de Schiff. Dédurre sa formule semi-développée et son nom.

On donne :

- Masses molaires atomiques en g.mol^{-1} : H : 1 ; C : 12 ; O : 16 ; Na : 23.
- Volume molaire : $V_m = 24 \text{ L/mol}$.

Exercice 4 (extrait Bac série D 2nd groupe session 2014 NIGER)

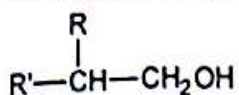
- 1) Donner les formules semi-développées des isomères de l'alcool de formule brute $C_4H_{10}O$
 - 2) On considère trois alcools A, B, C de formule brute $C_4H_{10}O$, dont on désire déterminer la formule semi-développée. Pour cela on réalise les expériences suivantes :
 - a) On ajoute à chacun de ces alcools une petite quantité d'une solution de dichromate de potassium acidifiée par l'acide sulfurique; on observe un changement de couleur uniquement pour les solutions B et C.
 - b) L'oxydation ménagée de B conduit à un composé D capable de réagir avec la liqueur de Fehling. L'oxydation ménagée de C conduit à un composé E donnant un précipité jaune avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine (D.N.P.H) et ne réagit pas avec la liqueur de Fehling.
 - c) Chauffée en présence d'un catalyseur, une molécule de B donne une molécule d'eau et une molécule de but-1-ène.
- 2.1. Quel(s) renseignement(s) peut-on déduire de chacun des tests ?
- 2.2. En déduire les formules semi-développées des alcools A, B, C.

Exercice 5

- 1) La combustion complète de 0,37 g de deux alcools aliphatiques saturés isomères (A_1) et (A_2) nécessite un volume $V = 0,72$ L de dioxygène dans les conditions de température et de pression où le volume molaire des gaz est égal à 24 L.mol⁻¹.
On donne en g.mol⁻¹ : $M(C) = 12$, $M(H) = 1$ et $M(O) = 16$.
 - a) Ecrire l'équation de la combustion complète d'un alcool.
 - b) Montrer que la formule brute des deux alcools (A_1) et (A_2) est $C_4H_{10}O$.
- 2) On réalise leur oxydation ménagée par une solution de bichromate de potassium acidifiée.
 - (A_1) ne donne rien.
 - (A_2) donne un composé (B_2).
 - (B_2) donne un test positif avec la D.N. P. H et un test négatif avec le réactif de Schiff.
 - a) Préciser en le justifiant la classe de chacun des alcools (A_1) et (A_2).
 - b) Donner la formule semi-développées et le nom de (B_2).
 - c) Donner la formule semi développées et le nom de (A_1) et (A_2).
- 3) On réalise la déshydratation intramoléculaire de (A_1) en présence de l'acide sulfurique. On obtient un composé organique C_1 .
 - a) Ecrire l'équation de la réaction en utilisant les formules semi-développées.
 - b) Préciser le nom de C_1 .

Exercice 6

Un alcool A a pour formule :



R et R' sont des radicaux alkyles - $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$

- Quelle est la classe de cet alcool A ?
- On effectue une oxydation ménagée de cet alcool par l'ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en milieu acide.
 - Quels sont les corps susceptibles de se former ?
 - Ecrire l'équation-bilan d'oxydation de l'alcool dans le cas où la solution oxydante est en défaut puis en excès.
- Pour déterminer la formule complète de l'alcool précédent, on oxyde avec un excès d'oxydant $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ une masse $m = 15,0$ g de A. On obtient un composé B. Le composé B est étudié avec une solution de soude (hydroxyde de sodium) de concentration molaire $2,00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. L'équivalence acido-basique est obtenue lorsque l'on a versé $V_b = 85,2 \text{ cm}^3$ de solution basique.
 - Quelle est la masse molaire de l'alcool A ? En déduire sa formule brute.
 - Quelle est la formule semi-développée de l'alcool A ? Quel est son nom ?

Exercice 7 (extrait Bac D Deuxième Session 2004 Côte d'Ivoire)

- On réalise dans le dioxygène la combustion complète d'un hydrocarbure non cyclique, de formule brute C_nH_{2n} , où n désigne le nombre d'atomes de carbone.
La combustion complète d'une mole de l'hydrocarbure produit 72 g d'eau.
 - Ecrire l'équation-bilan de la réaction de combustion en fonction de n.
 - Calculer la valeur de n et donner la formule brute de cet hydrocarbure.
 - On suppose que l'hydrocarbure contient quatre atomes de carbone.
Ecrire les formules semi-développées et les noms des isomères possibles.
 - L'hydratation de l'un des isomères nommé A ne donne qu'un seul produit B.
 - Quels sont les formules semi-développées et les noms de A et de B ?
 - Ecrire l'équation-bilan de l'hydratation de A.
 - Le corps B est oxydé en milieu acide par le permanganate de potassium. Il se forme un seul produit C.
 - Quelle est la fonction de C ? Donner sa formule semi-développée et son nom.
 - Proposer un test permettant d'identifier C.
- On donne : $M(\text{H}) = 1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (extrait Bac Blanc Régional série D 2016 DREN Abidjan 3 C.I.)

L'hydratation d'une masse $m_1 = 2,24$ g d'un alcène A de formule brute C_nH_{2n} produit une masse $m_2 = 2,96$ g d'un alcool B. On donne : $M(C) = 12$ g/mol, $M(H) = 1$ g/mol, $M(O) = 16$ g/mol.

- 1) Donner la formule brute générale de cet alcool B.
- 2) Ecrire l'équation bilan de la réaction d'hydratation.
- 3) Montrer que la formule brute de B est $C_4H_{10}O$.
- 4) Donner les formules semi-développées, les noms et les classes des isomères de B.
- 5) L'hydratation de A a produit deux alcools isomères B_1 et B_2 . L'oxydation ménagée de l'isomère B_1 de B donne un produit C à chaîne carbonée linéaire de formule brute C_4H_8O qui ne réagit pas avec le réactif de Schiff.
 - 5.1. Donner la fonction chimique de C, sa formule semi-développée et son nom.
 - 5.2. Donner la formule semi-développée et le nom de B_1 .
 - 5.3. Déduire la formule semi-développée et le nom de l'alcène A.
- 6) On fait réagir l'isomère B_2 (produit minoritaire de l'hydratation) avec du sodium. Il se forme un alcoolate de sodium D et du dihydrogène.
 - 6.1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
 - 6.2. Nommer l'alcoolate de sodium obtenu.
 - 6.3. Calculer la masse d'alcool B_2 qu'il faut faire réagir entièrement pour obtenir un volume $V = 0,12$ L de dihydrogène. On donne : $V_m = 24$ L/mol.

Exercice 2

Deux composés non cycliques A et B, de fonctions chimiques différentes, ont la même chaîne carbonée et la même formule brute $C_xH_yO_z$. La combustion complète d'une mole de A ou de B nécessite, d'une part, 7 moles de dioxygène et produit d'autre part 220 g de dioxyde de carbone et 90 g d'eau. Données en g/mol : $M(H) = 1$; $M(C) = 12$; $M(O) = 16$.

1. Écrire l'équation bilan de la combustion de ces deux corps.
2. En utilisant cette équation bilan, déterminer leur formule brute.
3. Dans la suite on supposera que cette formule brute est $C_5H_{10}O$.
 - 3.1. À quelle(s) famille(s) organique(s) A et B peuvent-ils appartenir ?
 - 3.2. Chacun de ces composés ne comporte qu'un seul groupe fonctionnel et les atomes de carbone sont liés entre eux par des liaisons simples. A possède un groupe méthyle lié au carbone numéro 2 et B un groupe méthyle lié au carbone numéro 3.
Donner les formules semi développées et les noms de A et B.
4. Le composé A est oxydé par les ions dichromates ($Cr_2O_7^{2-}$) en milieu acide ; la solution prend la teinte verte des ions Cr^{3+} et on obtient un produit organique C.
Écrire l'équation bilan de la réaction.

5. Le composé B est obtenu par oxydation ménagée d'un alcool B₁.

Le composé B₁ peut être obtenu de façon majoritaire par hydratation d'un hydrocarbure B₂.

Écrire les formules semi-développées et les noms de B₁ et B₂.

Exercice 3 (extrait Bac session normale 2015 Burkina Faso)

1) La combustion complète par le dioxygène de 0,1 mole d'un alcool saturé A a donné 8,96 L de dioxyde de carbone et de l'eau. Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire d'un gaz est 22,4 L/mol.

a) Ecrire l'équation-bilan de la combustion complète d'un alcool saturé et en déduire que la formule brute de l'alcool A est C₄H₁₀O.

b) Donner la formule semi-développée, le nom et la classe de chacun des isomères possibles de A.

2) On effectue l'oxydation de trois isomères, notés A₁, A₂ et A₃ par une solution aqueuse de dichromate de potassium en milieu acide.

➤ L'oxydation ménagée de A₁ à chaîne non ramifiée donne un mélange de deux produits organiques B₁ et C₁ ; celle de A₂ donne un mélange de deux produits organiques B₂ et C₂. B₁ et B₂ donnent un test positif avec la liqueur de Fehling. C₁ et C₂ font virer au jaune le bleu de bromothymol.

➤ L'oxydation ménagée de A₃ donne un produit organique D qui réagit positivement avec la DNPH, mais négativement avec la liqueur de Fehling.

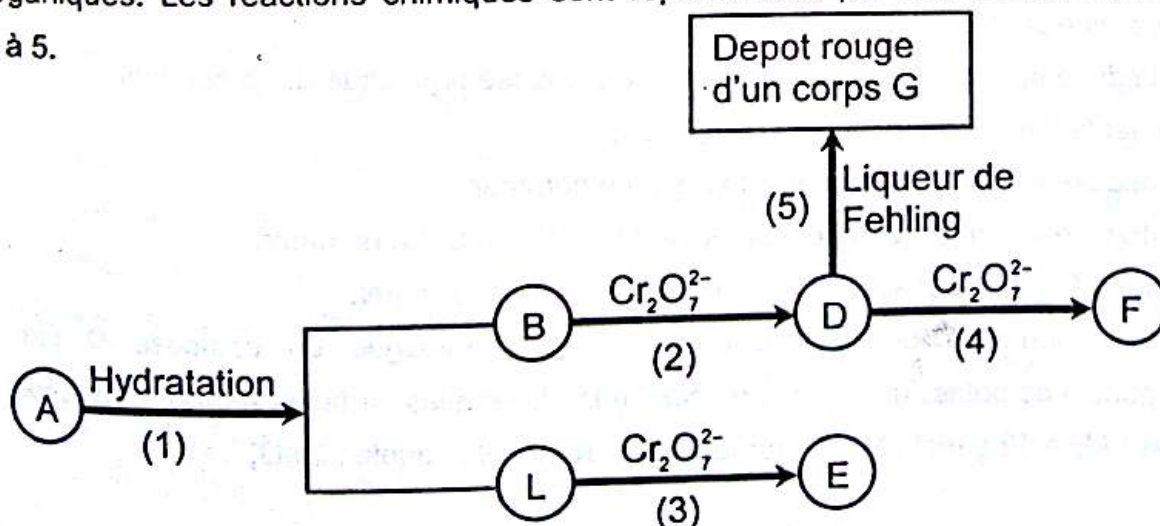
a) Identifier sans ambiguïté les réactifs A₁, A₂ et A₃.

Donner la formule semi-développée et le nom de chacun des produits B₁, B₂, C₁, C₂ et D.

b) Ecrire l'équation bilan d'oxydoréduction qui permet le passage de l'alcool A₃ au produit D.

Exercice 4 (extrait Bac Blanc 2013 Lycée Sainte Marie Cocody Côte d'Ivoire)

On considère le schéma ci-dessous où A ; B ; C ; D ; E et F sont des composés organiques. Les réactions chimiques sont représentées par des flèches numérotées de 1 à 5.



- 1) A est un alcène de masse molaire moléculaire $M_A = 70 \text{ g/mol}$.
- 1.1. Déterminer sa formule brute.
 - 1.2. Donner les formules semi-développées et les noms des isomères ramifiés de A.
- 2) B est le 3-methylbutan-1-ol. Ecrire sa formule semi-développée et identifier A.
- 3) Après analyse du schéma réactionnel :
- 3.1. Déterminer la formule semi-développée et le nom de chacun des composés organiques L ; D ; E et F en justifiant.
 - 3.2. Ecrire l'équation-bilan des réactions 3 (en milieu acide) et 5 (en milieu basique).
 - 3.3. Donner le nom et la formule brute de G.
 - 3.4. Calculer la concentration molaire C de la solution de dichromate de potassium acidifiée de volume $V = 150 \text{ mL}$ nécessaire pour transformer 15 g du composé L en E. On donne : $M_H = 1 \text{ g/mol}$; $M_O = 16 \text{ g/mol}$; $M_C = 12 \text{ g/mol}$.

Exercice 5 (extrait Bac Blanc 2013 Lycée Classique Abidjan Côte d'Ivoire)

Par hydratation d'un alcène ramifié A en présence d'acide sulfurique (H_2SO_4), on obtient deux produits isomères B et D dont l'un est majoritaire.

- 1) Donner la fonction chimique de B et D.
- 2) L'analyse élémentaire des produits B et D montre qu'ils contiennent, en masse 68,18% de carbone.
 - 2.1. Donner l'expression de la masse molaire moléculaire commune M de B et D en fonction de n, nombre d'atomes de carbone qu'ils contiennent.
 - 2.2. Montrer que B et D ont pour formule brute $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$.
- 3) Pour identifier les produits B et D, on procède à leur oxydation ménagée :
 - Le composé B ne donne aucune réaction avec les oxydants usuels ;
 - Le composé D réagit avec le permanganate de potassium en milieu acide. Le composé organique E résultant de cette réaction donne un précipité jaune avec la 2,4-DNPH et est sans action sur le réactif de Schiff.
 - 3.1. En déduire la formule semi-développée du composé organique B. Le nommer.
 - 3.2. Donner la fonction chimique du composé E.
En déduire sa formule semi-développée. Le nommer.
 - 3.3. En déduire la formule semi-développée du composé D. Le nommer.
 - 3.4. Ecrire la formule semi-développée de l'alcène A. Le nommer.
- 4) Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'oxydation ménagée du composé D par le permanganate de potassium en milieu acide. (On utilisera les formules semi-développées).
Données : $M_C = 12 \text{ g/mol}$; $M_H = 1 \text{ g/mol}$; $M_O = 16 \text{ g/mol}$; couple : $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1.** (Extrait Bac D session 2001 Madagascar)

1) a) Donnons la formule brute d'un monoalcool saturé X. : c'est $C_nH_{2n+2}O$.

b) Déterminons la formule brute de l'alcool X si sa masse moléculaire est $M = 74 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Méthode simple : examiner la liste des premiers alcools et comparer leur masse molaire moléculaire à celle indiquée.

Le 1^{er} : CH_4O ; $M = 32 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Le 2^{ème} : C_2H_6O ; $M = 46 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Le 3^{ème} : C_3H_8O ; $M = 60 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Le 4^{ème} : $C_4H_{10}O$; $M = 74 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

C'est donc bien de cette dernière formule qu'il s'agit.

Méthode plus élaborée : Résoudre la question à l'aide d'une équation.

La masse molaire moléculaire d'un alcool de formule brute $C_nH_{2n+2}O$ est :

$$M = n \times M_C + (2n + 2) \times M_H + M_O = n \times 12 + (2n + 2) \times 1 + 16 = 14n + 18$$

Alors, si $M = 74 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, on résout l'équation : $14n + 18 = 74$; soit : $n = \frac{74 - 18}{14} = 4$.

Ainsi la formule brute de X s'écrit : $C_4H_{10}O$.

c) Donnons les formules semi-développées, noms et classes des isomères de cet alcool.

Il faut citer tous les alcools ayant quatre(4) atomes de carbone.

Formule semi-développée	Nom	Classe
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$	butan-1-ol	Alcool primaire
$\begin{array}{c} H_3C-CH_2-CH-CH_3 \\ \\ OH \end{array}$	butan-2-ol	Alcool secondaire
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C-CH-CH_2\cdot OH \end{array}$	2-méthylpropan-1-ol	Alcool primaire
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C-C-CH_3 \\ \\ OH \end{array}$	2-méthylpropan-2-ol	Alcool tertiaire

2) L'isomère A de l'alcool X réagit avec le $KMnO_4$ en excès pour donner l'acide butanoïque.

a) Donnons la formule semi-développée et le nom de A.

L'isomère A de X réagit avec le permanganate de potassium ($KMnO_4$) en excès pour donner l'acide butanoïque $CH_3-CH_2-CH_2-COOH$ donc l'alcool A est primaire ; de plus sa chaîne carbonée est linéaire. D'où l'isomère A recherché est le butan-1-ol : $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$.

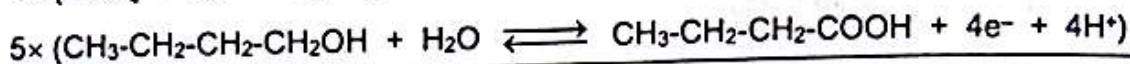
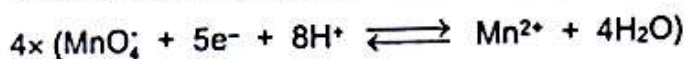
b) Equation-bilan de la réaction d'oxydo-réduction entre le $KMnO_4$ et l'alcool A.

C'est une réaction d'oxydoréduction entre les couples oxydant / réducteur suivants :

➤ MnO_4^- / Mn^{2+} ;

➤ $CH_3-CH_2-CH_2-COOH / CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$

On écrit les demi-équations de ces couples et on fait leur somme membre à membre.



Ou bien



Exercice 2

1. Montrons que B a pour formule brute $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$.

Soit $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ la formule du composé organique B. Déterminons les nombres x , y et z .

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\%C \times M}{1200} = \frac{62 \times 58}{1200} \approx 3 \\ y &= \frac{\%H \times M}{100} = \frac{10,4 \times 58}{100} \approx 6 \\ z &= \frac{\%O \times M}{1600} = \frac{27,6 \times 58}{1600} \approx 1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{la formule brute de B est } \text{C}_3\text{H}_6\text{O}$$

2. Formules semi-développées possibles pour B et noms des composés correspondants.

Le composé B réagit avec la 2,4 DNPH en donnant un précipité jaune donc B est un composé carbonylé (aldéhyde ou cétone).

Famille	Formule semi-développée	Nom
Aldéhyde	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	propanal
Cétone	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	propanone ou propan-2-one

3. Déterminons la fonction chimique de B et identifions-le.

B rosit le réactif de Schiff donc B est un aldéhyde : c'est le propanal $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$.

4. Le composé B a été obtenu par oxydation ménagée d'un alcool A par l'oxygène de l'air.

4.1. Donnons la classe, la formule semi-développée et le nom de l'alcool A.

Le propanal (aldéhyde) est obtenu par oxydation ménagée d'un alcool primaire donc A est un alcool primaire : le propan-1-ol de formule $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$.

4.2. Equation-bilan de la réaction d'oxydation de l'alcool A.



Exercice 3

1.) Nom du gaz dégagé et équation-bilan de la réaction

Il s'agit de la réaction d'un alcool avec le sodium métal. Au cours de celle-ci, il se dégage du dihydrogène (H_2). L'équation-bilan de la réaction est : $R-OH + Na \longrightarrow RO^- + Na^+ + \frac{1}{2}H_2$

2.) Masse molaire et formule brute de D

le bilan molaire de la réaction est : $\frac{n_D}{1} = \frac{n_{H_2}}{1} \Rightarrow n_D = 2n_{H_2}$

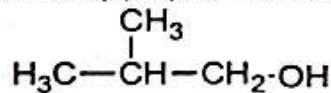
$$\Rightarrow \frac{m_D}{M_D} = 2 \times \frac{V}{V_m} \Rightarrow M_D = m_D \times \frac{V_m}{2V} = 2,96 \times \frac{24}{2 \times 0,48} = 74 \text{ g/mol}$$

$$M_D = M(C_nH_{2n+2}O) = 12n + 2n + 2 + 16 = 14n + 18 \Rightarrow n = \frac{M_D - 18}{14} = \frac{74 - 18}{14} = 4$$

La formule brute de D est donc $C_4H_{10}O$.

3.) Formule semi-développée et nom de D

Le produit d'oxydation de D réagit positivement avec la 2,4-D.N.P.H et le réactif de Schiff donc D est un alcool primaire. Le seul alcool primaire ayant 4 atomes de carbone dont la chaîne carbonée est ramifiée est le 2-méthylpropan-1-ol. Sa formule semi-développée est :

**Exercice 4** (extrait Bac série D 2nd groupe session 2014 NIGER)1) Formules semi-développées des isomères de l'alcool de formule brute $C_4H_{10}O$.

Formule semi-développée	Nom	Classe
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	butan-1-ol	alcool primaire
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	butan-2-ol	alcool secondaire
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{-OH} \end{array}$	2-méthylpropan-1-ol	alcool primaire
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	2-méthylpropan-2-ol	alcool tertiaire

2) On considère trois alcools A, B, C de formule brute $C_4H_{10}O$.

2.1. Renseignements déduits de chacun des tests.

- a) On ajoute à chacun de ces alcools une petite quantité d'une solution de dichromate de potassium acidifiée par l'acide sulfurique ; on observe un changement de couleur uniquement pour les solutions B et C ; ce qui veut dire que seuls les composés B et C peuvent s'oxyder donc le composé A, lui, ne pouvant pas s'oxyder, est un alcool tertiaire.

b) L'oxydation ménagée de B conduit à un composé D capable de réagir avec la liqueur de Fehling ; ce qui veut dire que le produit d'oxydation D de B est un aldéhyde d'où B est un alcool primaire.

L'oxydation ménagée de C conduit à un composé E donnant un précipité jaune avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine (D.N.P.H) et ne réagit pas avec la liqueur de Fehling ; ce qui signifie que le produit d'oxydation E de C est une cétone d'où C est un alcool secondaire.

c) Chauffée en présence d'un catalyseur, une molécule de B donne une molécule d'eau et une molécule de but-1-ène ; ce qui signifie que la chaîne carbonée du produit de la déshydratation de B est linéaire ; il en est donc de même pour la chaîne carbonée de B.

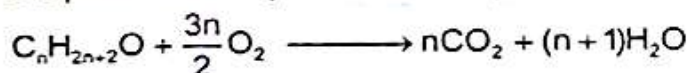
2.2. Formules semi-développées des alcools A, B, C.

Composé	Formule semi-développée	Nom	Classe
B	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	butan-1-ol	alcool primaire
C	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	butan-2-ol	alcool secondaire
A	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	2-méthylpropan-2-ol	alcool tertiaire

Exercice 5

1) a) Equation de combustion complète de l'alcool (A).

La combustion d'un l'alcool ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$) se fait en présence de dioxygène (O_2) et elle produit du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O).



b) Montrons que la formule brute des deux alcools (A_1) et (A_2) est $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.

Établissons le bilan molaire de l'équation précédente : $\frac{n_{\text{A}_1}}{1} = \frac{n_{\text{O}_2}}{\frac{3n}{2}} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n+1}$

Les données sont la masse m_{A_1} de l'alcool A_1 et le volume V_{O_2} de dioxygène O_2 .

La masse molaire de l'alcool A_1 de formule générale $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$ est :

$$M_{\text{A}_1} = 12n + 2n + 2 + 16 = 14n + 18$$

$$\frac{n_{\text{A}_1}}{1} = \frac{n_{\text{O}_2}}{\frac{3n}{2}} \Rightarrow \frac{m_{\text{A}_1}}{M_{\text{A}_1}} = \frac{V_{\text{O}_2}}{\frac{3n}{2}} \Rightarrow \frac{m_{\text{A}_1}}{14n+18} = \frac{2V_{\text{O}_2}}{3nV_0} \Rightarrow 3nV_0m_{\text{A}_1} = (14n+18)2V_{\text{O}_2}$$

$$3nV_0m_{A_1} - 14n \times 2V_{O_2} = 18 \times 2V_{O_2} \Rightarrow (3V_0m_{A_1} - 28V_{O_2})n = 36V_{O_2}$$

$$n = \frac{36V_{O_2}}{3V_0m_{A_1} - 28V_{O_2}} = \frac{36 \times 0,72}{3 \times 24 \times 0,37 - 28 \times 0,72} \Rightarrow n = 4$$

Donc la formule brute de A_1 est $C_4H_{10}O$ et comme A_1 et A_2 sont isomères donc ils ont la même formule brute.

2) On réalise leur oxydation ménagée par la solution de bichromate de potassium acidifiée.

a) Précisons en le justifiant la classe de chacun des alcools (A_1) et (A_2).

- (A_1) ne donne rien donc c'est un alcool tertiaire.
- Le produit d'oxydation (B_2) de (A_2) donne un test positif avec la D.N.P.H et un test négatif avec le réactif de Schiff. Donc (B_2) est une cétone et (A_2) un alcool secondaire

b) Donnons la formule semi développées et le nom de (B_2).

La seule cétone ayant quatre atomes de carbone est la butanone ou butan-2-one.

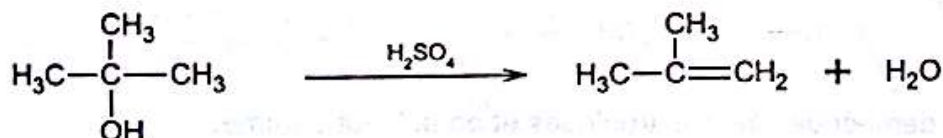
c) Donnons la formule semi développées et le nom de (A_1) et (A_2).

Tous les alcools correspondant à $C_4H_{10}O$ sont donnés à la question 1°c) de l'exo 1.

- ✓ Le seul alcool tertiaire est (A_1) ; son nom est le 2-méthylpropan-2-ol.
- ✓ Le seul alcool secondaire est (A_2) ; son nom est le butan-2-ol.

3) Par déshydratation de l'alcool (A_1) en présence de l'acide sulfurique, on obtient (C_1).

a) Equation-bilan de la réaction en utilisant les formules semi-développées.



b) Précisons le nom de C_1 .

La déshydratation d'un l'alcool donne un alcène ; il s'agit ici du 2-méthylpropène.

Tableau récapitulatif des différents composés organiques.

Composé	Famille	Formule semi-développée	Nom
A_1	Alcool (tertiaire)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array} $	2-méthylpropan-2-ol ou méthylpropan-2-ol.
A_2	Alcool (secondaire)	$ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{OH} \end{array}-\text{CH}_3 $	butan-2-ol
B_2	Cétone	$ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{O} \end{array}-\text{CH}_3 $	butanone ou butan-2-one
C_1	Alcène	$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $	2-méthylpropène ou méthylpropène

Exercice 6

1. La classe de l'alcool A

A est un alcool primaire.

2. On effectue une oxydation ménagée de cet alcool par l'ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en milieu acide.

a) Les corps susceptibles de se former

On peut former un aldéhyde et un acide carboxylique

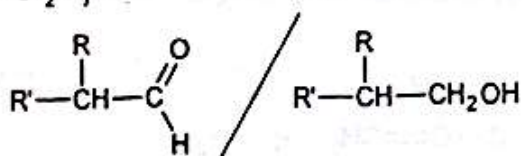
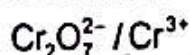
Alcool A	Corps obtenu	Famille
$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R}'-\text{CH}-\text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R}'-\text{CH}-\text{C} \\ \quad \quad \quad \parallel \\ \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	aldéhyde
	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R}'-\text{CH}-\text{C} \\ \quad \quad \quad \parallel \\ \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \text{OH} \end{array}$	acide carboxylique

b) Equation-bilan d'oxydation de l'alcool :

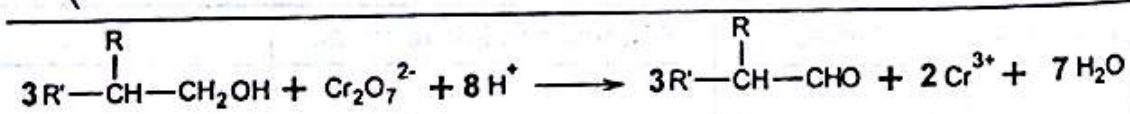
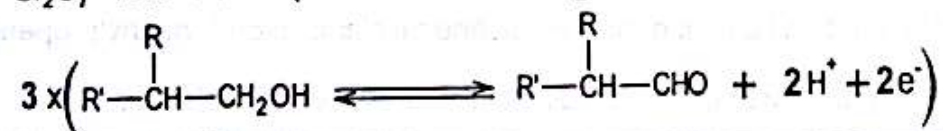
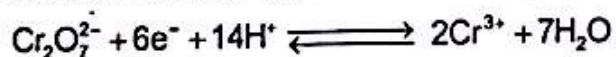
➤ Cas où la solution oxydante est en défaut.

Dans ce cas on obtient un aldéhyde.

C'est une réaction d'oxydoréduction entre les couples oxydant/réducteur suivants :



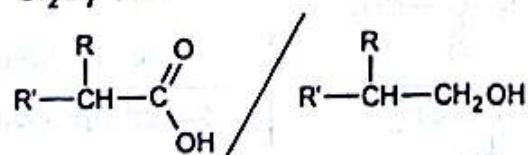
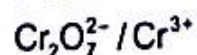
On écrit les demi-équations électroniques et on fait leur somme.

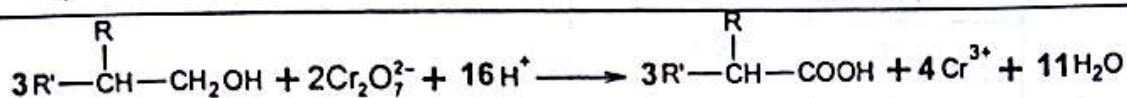
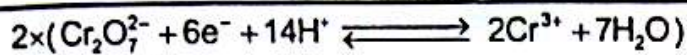


➤ Cas où la solution oxydante est en excès.

Dans ce cas on obtient un acide carboxylique.

C'est une réaction d'oxydoréduction entre les couples oxydant/réducteur suivants :





3. On oxyde avec un excès d'oxydant $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ une masse $m = 15,0$ g de A. On obtient B.

a) Calculons la masse molaire et formule brute de l'alcool A.

A l'équivalence acido-basique, $n_{\text{base(b)}} = n_{\text{acide(B)}} \Rightarrow C_b V_{bE} = C_B V_B$

Par ailleurs le bilan molaire de l'équation précédente donne : $\frac{n_{\text{alcool(A)}}}{3} = \frac{n_{\text{acide(B)}}}{3}$

$$\Rightarrow \frac{n_A}{3} = \frac{n_B}{3} \Rightarrow n_A = n_B = C_b V_{bE} \Rightarrow M_A = \frac{m_A}{n_A} = \frac{m}{C_b V_{bE}} = \frac{15}{2 \times 85,2 \cdot 10^{-3}} = \underline{88 \text{ g/mol}}$$

La formule brute de l'alcool A est $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$.

b) Déterminons la formule développée et le nom de l'alcool A.

La masse molaire moléculaire d'un alcool de formule brute $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$ est :

$$M = n \times M_C + (2n + 2) \times M_H + M_O = n \times 12 + (2n + 2) \times 1 + 16 = 14n + 18$$

Alors, si $M = 88 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, on résout l'équation : $14n + 18 = 88$; soit : $n = \frac{88 - 18}{14} = 5$.

Donc d'après la formule générale initiale de A on a :

Composé	Formule générale	Formule semi-développée	Nom
A	$\text{R}'-\overset{\text{R}}{\underset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_2\text{OH}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\text{OH}$	2-méthylbutan-1-ol

Exercice 7 (extrait Bac D deuxième Session 2004)

1) La combustion complète d'une mole de l'hydrocarbure produit 72 g d'eau.

1.1. Equation-bilan de la réaction de combustion en fonction de n.



1.2. Calculons la valeur de n et donnons la formule brute de cet hydrocarbure.

Bilan molaire : $\frac{n_{\text{C}_n\text{H}_{2n}}}{1} = \frac{n_{\text{O}_2}}{\frac{3n}{2}} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n}$

$$\frac{n_{\text{C}_n\text{H}_{2n}}}{1} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n} \Rightarrow n_{\text{C}_n\text{H}_{2n}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} \Rightarrow n_{\text{C}_n\text{H}_{2n}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{n \times M_{\text{H}_2\text{O}}} \Rightarrow n = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{C}_n\text{H}_{2n}} \times M_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Application numérique : $n = \frac{72}{1 \times (2 + 16)} = 4$

La formule brute de cet hydrocarbure est C_4H_8 .

2) Formules semi-développées et noms des isomères possibles.

Ses formules semi-développées possibles sont les suivantes :

Formule semi-développée	Nom
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH}_2$	but-1-ène
$\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_3$	but-2-ène
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	2-méthylpropène

3) L'hydratation de l'un des isomères nommé A ne donne qu'un seul produit B.

3.1. Formules semi-développées et noms de A et de B

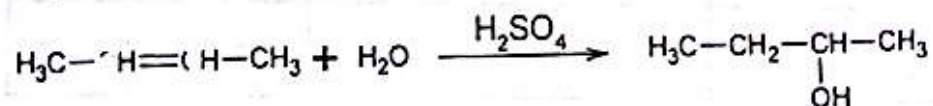
L'hydratation de A ne donne qu'un seul produit B donc A est un alcène symétrique.

Parmi les isomères ci-dessus, le seul alcène symétrique est le but-2-ène.

Le produit d'hydratation B du but-2-ène est le butan-2-ol.

Composé	Nom	Formule semi-développée
A	but-2-ène	$\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_3$
B	butan-2-ol	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$

3.2. Equation-bilan de l'hydratation de A.

4) Le corps B est oxydé en milieu acide par le KMnO_4 . Il se forme un seul produit C.

4.1. Fonction, formule semi-développée et son nom de C.

Le produit d'oxydation d'un alcool secondaire est une cétone.

D'où C est la butan-2-one ou butanone.

Composé	Nom	Formule semi-développée
C	butanone	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$

4.2. Proposons un test permettant d'identifier C.

C réagit positivement avec la 2,4-DNPH en donnant un précipité jaune mais ne réagit pas avec la liqueur de Fehling ou le réactif de Schiff ou encore le réactif de Tolens.



AMINES

August Wilhelm von Hofmann
(1818-1892)

Chimiste allemand inventeur de la réaction d'Hofmann.

De 1845 à 1864, il fut directeur du Collège royal de chimie de Londres. En 1865, il accepta une chaire de professeur de chimie à l'université de Berlin. Il fonda l'Association chimique allemande en 1868.

Hofmann travailla sur le goudron de houille, d'où il isola le benzène et l'aniline, et qu'il utilisa dans la synthèse de colorants artificiels qui furent à l'origine d'une nouvelle industrie. Il étudia et expliqua la chimie des amines, et sa méthode de conversion des amides en amines est appelée aujourd'hui réaction d'Hofmann. Il découvrit également des produits chimiques organiques, dont le propénol et le formol.

Objectifs spécifiques

- Connaître la nomenclature et quelques propriétés des amines.

RAPPEL DE COURS

1.) Généralités

1.1) Présentation

Les amines sont obtenues en remplaçant dans la molécule d'ammoniac (NH_3) un, deux ou trois atomes d'hydrogène par un groupe carboné (R-). Leur formule générale est $\text{C}_n\text{H}_{2n+3}\text{N}$.

1.2) Les trois classes des amines

Classe de l'amine	amine primaire	amine secondaire	amine tertiaire
Nombre de groupes carbonés auquel l'atome d'azote est lié	1	2	3
Formule semi-développée	$\text{R}-\text{NH}_2$	$\text{R}_1-\text{NH}-\text{R}_2$	$\begin{array}{c} \text{R}_1-\text{N}-\text{R}_2 \\ \\ \text{R}_3 \end{array}$

1.3) Nomenclature

Deux nomenclatures sont utilisées :

- on ajoute la terminaison « amine » au nom du groupe carboné R,
- on utilise le nom de l'alcane correspondant en remplaçant la voyelle « e » par « amine ».

Remarque

Les noms des groupes carbonés liés à l'atome d'azote sont précédés par la lettre « N ».

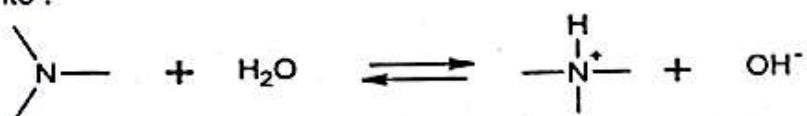
Exemples :

Formule semi-développée	$\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CH}_3$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_3$ CH_3
Nom	méthylamine ou méthanamine	N-méthyléthylamine ou N-méthyléthanamine	N,N-diméthyléthylamine ou N,N,-diméthyléthanamine

2.) Propriétés des amines2.1) Caractère basique

Les amines sont des bases faibles dues au doublet non liant de l'atome d'azote (N).

Elles réagissent avec l'eau en donnant l'acide conjugué correspondant selon l'équation-bilan suivante :

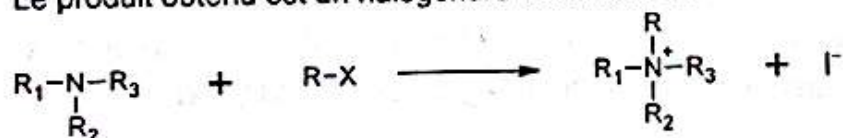


Exemple :

2.2) Caractère nucléophile : la réaction d'Hofmann

C'est la réaction entre une amine tertiaire et un halogénoalcane de formule R-X.

Le produit obtenu est un halogénure d'ammonium.



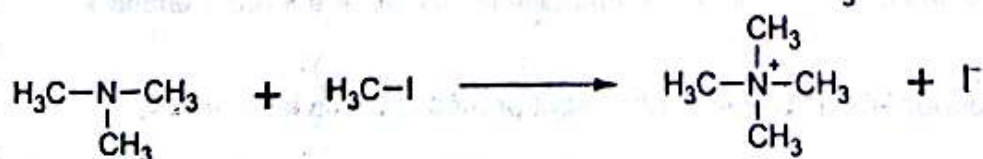
Exemple :



Ici on obtient l'iodure de tetraméthylammonium.

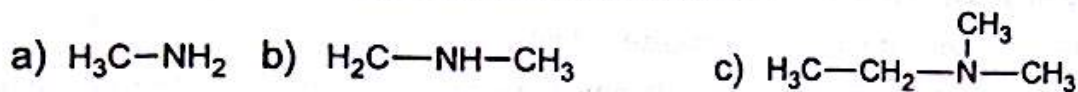
Remarque : une amine primaire peut réagir successivement avec un halogénoalcane, si ce dernier est en excès, pour donner un halogénure d'ammonium.

Exemple :



EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1) Nommer les amines suivantes et donner leur classe :



2) Ecrire les formules développées des amines suivantes et indiquer leur classe :

a) 2,2-diméthylbutanamine b) N-méthylpropylamine c) triméthylamine

Exercice 2

- Donner la formule brute d'une monoamine aliphatique primaire contenant n atomes de carbone. Exprimer en fonction de n le pourcentage en masse d'azote qu'elle contient.
- Une masse de 15 g d'une telle amine contient 3,56 g d'azote. Quelle est sa formule brute ? Ecrire les formules semi développées, les noms et les classes des isomères possibles des amines, qui sont compatibles avec la formule brute trouvée.

Exercice 3

Un échantillon de 18 g d'une amine primaire est dissous dans un litre d'eau.

On prélève 10 mL de la solution obtenue que l'on dose par une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire $C_a = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ en présence du B.B.T.

La solution change de couleur lorsqu'on a versé 40 mL de solution acide.

- Ecrire l'équation de la réaction et préciser les couples acide/base mis en jeu.
- Calculer la concentration molaire de la solution d'amine.
- Déterminer la masse molaire de l'amine et déduire sa formule brute et son nom.
- Calculer la masse du solide que l'on obtient en faisant évaporer la solution obtenue après changement de couleur.

Exercice 4

On dissout 7,5 g d'une amine aliphatique A dans l'eau pure ; ce qui permet d'obtenir un litre de solution. Un échantillon de cette solution dosée révèle une concentration de 0,1027 mol/L

- En déduire la masse molaire de l'amine A et sa formule brute.
On donne les masses molaires en g/mol : C = 12 ; H = 1 ; N = 14 ; O = 16.
- L'action de l'iodométhane sur l'amine A permet d'obtenir une amine secondaire, une amine tertiaire, ainsi qu'un iodure d'ammonium quaternaire.
Quelles sont les formules semi développées possible de A ?
- L'amine obtenue contient un carbone lié à 4 groupements différents.
Donner sa formule semi-développée.
- a) Ecrire l'équation bilan de la réaction de dissolution de cette amine dans l'eau.
b) Quelle est le caractère mise ici en évidence ?
- a) Quelles sont les formules semi-développées et les noms des amines et de l'ion ammonium quaternaire obtenus par l'action de l'iodométhane avec l'amine A.
b) Ecrire l'équation bilan de la réaction de l'iodométhane sur l'amine tertiaire.
c) Préciser le caractère mise en évidence.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (extrait Bac séries C - D - TI session de Juin 2014 Cameroun)

On considère une amine de formule $R-NH_2$, dans laquelle R est un groupe alkyle.

A $25^\circ C$, une solution de cette amine a une masse volumique $\rho = 63,5 \text{ g.L}^{-1}$.

- 1) Écrire l'équation-bilan de la réaction de cette amine avec l'eau, sachant que l'amine est une base faible.
- 2) Donner le couple acide-base correspondant à cette amine.
- 3) On verse progressivement la solution de cette amine dans un volume $V_a = 20 \text{ cm}^3$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire $C_a = 2,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

Le suivi de l'évolution du pH du mélange au cours de l'addition montre une augmentation brutale du pH correspondant à l'équivalence ; le volume de solution d'amine versé est d'environ $4,6 \text{ cm}^3$.

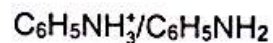
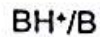
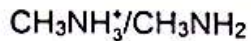
- 3.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction de dosage.
- 3.2. La solution obtenue à l'équivalence est-elle acide, basique ou neutre ? Justifier.
- 3.3. Déterminer la quantité de matière de l'amine, puis en déduire la masse molaire moléculaire de cette amine.
- 3.4. Déterminer la formule du radical R.
- 3.5. Écrire la formule semi-développée de cette amine, sachant qu'elle possède un atome de carbone asymétrique (carbone tétraédrique qui possède quatre substituants de natures différentes).
- 3.6. Après l'équivalence, on ajoute à nouveau une certaine quantité d'amine, le pH du mélange est alors égale au pK_a du couple constitué par la base faible.
 - 3.6.1. Quel nom donne-t-on à une telle solution ?
 - 3.6.2. Donner les caractéristiques d'une telle solution.

Exercice 2 (extrait Bac Blanc 2008 Lycée Sainte Marie Cocody Côte d'Ivoire)

- 1) En combien de classes les amines peuvent-elles être réparties ?
Donner un exemple de chaque classe en précisant le nom du corps.
- 2) Une amine aliphatique de masse $m = 1,77 \text{ g}$ contient $0,42 \text{ g}$ d'azote.
Montrer que cette amine a pour formule brute C_3H_9N .
- 3) On considère l'amine tertiaire notée B de cette formule brute.
 - 3.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction de cette amine sur l'eau.
 - 3.2. Quel est le caractère de l'amine mis en évidence ? Justifier la réponse.
 - 3.3. Le pH d'une solution aqueuse de cette amine est égal à 11,4.
 - a) Calculer les concentrations molaires des espèces chimiques de cette solution sachant que la constante d'acidité du couple relatif à l'amine est $K_A = 1,56 \cdot 10^{-10}$.
 - b) En déduire la concentration molaire C de cette solution.

- 4) Cette amine B réagit sur l'iodure d'éthyle en solution dans l'éthanol.
- 4.1. Ecrire l'équation-bilan de cette réaction.
 - 4.2. Quel est le nom du produit obtenu ?
 - 4.3. Quel est le caractère de l'amine mis ainsi en évidence ? Justifier la réponse.

- 5) On donne le K_A des couples acide/base suivants :



$$K_{A1} = 2,7 \cdot 10^{-11}$$

$$K_{A2} = 1,56 \cdot 10^{-10}$$

$$K_{A3} = 2,51 \cdot 10^{-5}$$

- 5.1. Classer ces amines par force basique croissante.
- 5.2. A concentration égale, la méthylamine se protonise plus que l'amine tertiaire B. De ces deux solutions basiques, quelle est la solution de pH le moins élevé. Justifier la réponse.

On donne : $M_H = 1 \text{ g/mol}$; $M_C = 12 \text{ g/mol}$; $M_N = 14 \text{ g/mol}$.

Exercice 3 (Extrait Bac séries S2, S2A, S4 et S5 session 2008 Sénégal)

La fonction amine recouvre un ensemble très étendu de composés organiques azotés dont l'intérêt réside, entre autres, dans l'utilisation qu'on en fait dans l'industrie.

La méthylamine et l'éthylamine sont utilisées comme solvants et comme matières premières dans la synthèse de colorants et d'insecticides. Quant à la diéthylamine ou N-éthyléthanamine, de formule brute $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$, elle est utilisée comme inhibiteur de corrosion dans la fabrication de résines ainsi que dans le domaine pharmaceutique. On pourrait citer bien d'autres utilisations industrielles des amines.

1. Ecrire la formule semi-développée de la diéthylamine. Préciser la classe de l'amine.
2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction de la diéthylamine avec l'eau.
Préciser les couples acide/base mis en jeu.
3. La solution obtenue est-elle acide, base ou neutre ? Justifier la réponse.
Proposer une expérience simple permettant de vérifier cela.
4. On dispose au laboratoire, d'une solution de diéthylamine peu diluée.
La concentration molaire volumique de la solution est C_1 .
 - 4.1. Faire l'inventaire des espèces chimiques en solution.
 - 4.2. Rappeler l'expression du produit ionique de l'eau K_e et donner sa valeur à 25°C .
 - 4.3. Quelle relation existe-t-il entre le pH de la solution, le pK_a du couple ion diéthylammonium/diéthylamine, la concentration en diéthylamine et la concentration en ion diéthylammonium dans la solution à l'équilibre ?
 - 4.4. En usant des approximations qu'il est légitime de faire, montrer que le pH de la solution de diéthylamine peut se mettre sous la forme :

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_e + \text{p}K_a - \text{p}C_1)$$
 relation où $\text{p}C_1 = -\log C_1$.
 Calculer alors le pH d'une solution de diéthylamine à 10^{-1} mol/L .
 On prendra $\text{p}K_a = 10,5$.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1) Nom et classe des amines

Question	Formule semi-développée	Nom	Classe
a)	$\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2$	méthylamine ou méthanamine	primaire
b)	$\text{H}_2\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_3$	diméthylamine ou N-méthylméthanamine	secondaire
c)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_3 \end{array}$	N,N-diméthyléthylamine ou N,N-diméthyléthanamine	tertiaire

2) Formules semi-développées et classe des amines

Question	Nom	Formule semi-développée	Classe
a)	2,2-diméthylbutanamine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	primaire
b)	N-méthylpropylamine	$\text{H}_3\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	secondaire
c)	triméthylamine	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{N}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	tertiaire

Exercice 2

1. Formule brute d'une monoamine aliphatique primaire contenant n atomes de carbone.



Exprimons en fonction de n le pourcentage en masse d'azote qu'elle contient.

$$\%N = \frac{14 \times 100}{M} = \frac{1400}{12n + 2n + 3 + 14} = \frac{1400}{14n + 17}$$

2. Une masse de 15 g de l'amine contient 3,56 g d'azote. Déterminons sa formule brute.

$$\%N = \frac{1400}{14n + 17} = \frac{m_N}{m_{\text{amine}}} \times 100 \Rightarrow \frac{14}{14n + 17} = \frac{m_N}{m_{\text{amine}}} \Rightarrow \frac{14n + 17}{14} = \frac{m_{\text{amine}}}{m_N}$$

$$\Rightarrow 14n + 17 = \frac{14 \times m_{\text{amine}}}{m_N} \Rightarrow 14n = \frac{14 \times m_{\text{amine}}}{m_N} - 17 \Rightarrow n = \frac{1}{14} \times \left(\frac{14 \times m_{\text{amine}}}{m_N} - 17 \right)$$

$$\text{Application numérique : } n = \frac{1}{14} \times \left(\frac{14 \times 15}{3,56} - 17 \right) \approx 3$$

La formule brute de l'amine est : $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$.

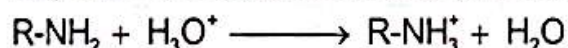
Formules semi-développées, nom et classe des isomères possibles de l'amine.

Formule semi-développée	Nom	Classe
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	propanamine ou propylamine	amine primaire
$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$	1-méthyléthanamine ou 1-méthyléthylamine	amine primaire
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CH}_3$	N-méthyléthanamine ou N-méthyléthylamine	amine secondaire
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{N}-\text{CH}_3 \end{array}$	triméthylamine	amine tertiaire

Exercice 3

1. Écrivons l'équation de la réaction et précisons les couples acide/base mis en jeu

➤ Equation-bilan : il s'agit d'une réaction de dosage (dosage d'une base faible par un acide fort) donc la réaction est totale (une seule flèche).



➤ Les couples mis en jeu : $\text{R-NH}_3^+/\text{R-NH}_2$ et $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$

2. Déterminons la concentration molaire de la solution d'amine dosée

La solution change de couleur à l'équivalence acido-basique où la quantité d'acide chlorhydrique versé est égale à celle de l'amine dosée. Ainsi on a :

$$C_a V_a = C_b V_b \Rightarrow C_b = \frac{C_a V_a}{V_b} = \frac{0,1 \times 40}{10} \Rightarrow C_b = 0,4 \text{ mol/L}$$

3. Déterminons la masse molaire de l'amine et déduisons sa formule brute et son nom.

Déterminons d'abord la quantité de matière n_b d'amine dissous dans un litre d'eau.

$$n_b = C_b V = 0,4 \times 1 = 0,4 \text{ mol}$$

$$\text{Enfin la masse molaire } M_b \text{ de l'amine est : } M_b = \frac{m_b}{n_b} = \frac{18}{0,4} \Rightarrow M_b = 45 \text{ g/mol}$$

Formule brute et nom de l'amine

La formule brute générale d'une amine est $\text{C}_n\text{H}_{2n+3}\text{N}$.

Sa masse molaire générale est : $M_b = 12n + 2n + 3 + 14 = 14n + 17$

$$\text{Ainsi on a : } 14n + 17 = 45 \Rightarrow n = \frac{45 - 17}{14} = 2$$

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
$\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	éthanamine ou éthylamine

4. Masse du solide que l'on obtient en faisant évaporer la solution obtenue à l'équivalence
On obtient le chlorure d'éthylammonium ($\text{C}_2\text{H}_5-\text{NH}_3\text{Cl}$) à l'équivalence. La réaction de dosage est totale donc d'après le bilan molaire : $n_{\text{amine}} = n_{\text{solide}} = C_b V_b = 0,4 \times 10^{-3}$
 $\Rightarrow n_{\text{solide}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \Rightarrow m_{\text{solide}} = n_{\text{solide}} \times M_{\text{solide}} = 4 \cdot 10^{-3} \times (12 \times 2 + 8 + 14 + 35,5) = 0,326 \text{ g}$

Exercice 4

1. Déterminons la masse molaire de l'amine A et sa formule brute.

$$M_A = \frac{m_A}{n_A} = \frac{m_A}{C_A V_A} = \frac{7,5}{1 \times 0,1027} = \underline{73 \text{ g/mol}}$$

$$M_A = 12n + 2n + 3 + 14 = 14n + 17 \Rightarrow n = \frac{M_A - 17}{14} = \frac{73 - 17}{14} = 4$$

La formule brute de l'amine A est : $C_4H_{11}N$.

2. Formules semi développées possible de l'amine A.

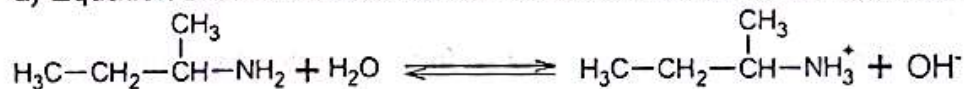
L'action de l'iodométhane sur A permet d'obtenir une amine secondaire, une amine tertiaire, ainsi qu'un iodure d'ammonium quaternaire donc A est une amine primaire.

Formule semi-développée	Nom
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-NH_2$	butanamine ou butylamine
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C-CH_2-CH-NH_2 \end{array}$	1-méthylpropanamine ou 1-méthylpropylamine
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_2C-CH-CH_2-NH_2 \end{array}$	2-méthylpropanamine ou 2-méthylpropylamine
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C-C-NH_2 \\ \\ CH_3 \end{array}$	1,1-diméthyléthanamine ou 1,1-diméthyléthylamine

3. Donnons la formule semi-développée de A.

L'amine obtenue contient un carbone lié à 4 groupements différents donc d'après le tableau ci-dessus, A est le 1-méthylpropanamine ou 1-méthylpropylamine.

4. a) Equation bilan de la réaction de dissolution de cette amine dans l'eau.



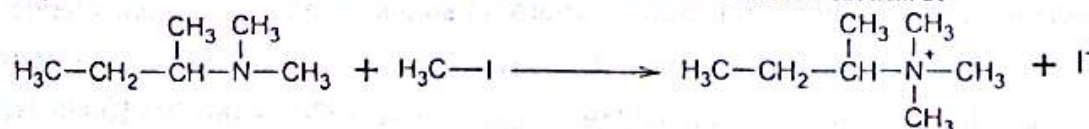
b) Précisons le caractère mise ici en évidence

C'est le caractère basique car l'amine (base) capte un proton pour devenir un acide.

5. a) Formules semi-développées et noms des amines et de l'ion ammonium quaternaire.

Formule semi-développée	Nom	Classe
$H_3C-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{ }}{CH}-NH-CH_3$	N-méthyl-1-méthylpropylamine	amine secondaire
$H_3C-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{ }}{CH}-\overset{\overset{CH_3}{ }}{N}-CH_3$	N,N-diméthyl-1-méthylpropylamine	amine tertiaire
$H_3C-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{ }}{CH}-\overset{\overset{CH_3}{ }}{N^+}-CH_3$ $\quad \quad \quad $ $\quad \quad \quad CH_3$	ion N,N,N-triméthyl-1-méthylpropylammonium	ion ammonium quaternaire

b) Equation bilan de la réaction de l'iodométhane sur l'amine tertiaire.



c) Caractère mise en évidence : c'est le caractère nucléophile (réaction de Hofmann).



Michel-Eugène Chevreul
(31 août 1786 - 9 avril 1889)
Chimiste Français

ACIDES CARBOXYLIQUES ET DERIVES

Il est connu pour son travail sur les acides gras, la saponification, la découverte de la créatine et sa contribution à la théorie des couleurs. Ces travaux lui valurent la médaille Copley en 1857.

En 1813 il isole l'acide margarique qui n'est, en fait, qu'une composition d'acide stéarique et de l'acide palmitique qui est l'un des trois acides gras qui entrent dans la composition de la plupart des matières grasses animales, les deux autres étant l'acide oléique et l'acide stéarique. En 1823, il explique la réaction de saponification et la composition de la stéarine. Il démontre que les corps gras sont formés d'une combinaison entre le glycérol et des acides gras. Il isole les acides stéariques et oléiques, auxquels il donne leur nom.

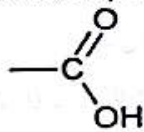
Objectifs spécifiques

- Connaître la nomenclature et quelques propriétés chimiques des acides carboxyliques.
- Interpréter les réactions d'estérification et d'hydrolyse.
- Connaître les caractéristiques de la réaction de saponification.
- Ecrire les équations-bilans de passage de l'acide carboxylique aux fonctions dérivées et la réaction d'obtention d'un ester à partir d'un anhydride d'acide ou d'un chlorure d'acyle.

RAPPEL DE COURS

1.) ACIDES CARBOXYLIQUES

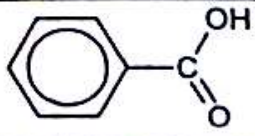
C'est un composé organique comportant un groupement fonctionnel carboxyle :



La formule générale d'un acide carboxylique saturée est $C_nH_{2n}O_2$ (brute) ou $R-COOH$.

Pour nommer un acide carboxylique, on remplace le « e » final de l'alcane correspondant par le suffixe « oïque ». Le nom final est précédé du mot « acide ».

Exemples :

Formule semi-développée	$H_3C-C(=O)OH$	$H_3C-CH(CH_3)-C(=O)OH$	
Nom	acide éthanoïque	acide 2-méthylpropanoïque	acide benzoïque

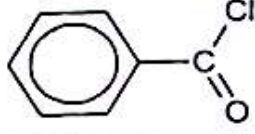
2.) DERIVES D'ACIDES

2.1) Les chlorures d'acyle

La formule générale d'un chlorure d'acyle est $C_nH_{2n-1}OCl$ (brute) ou $R-COCl$.

Le nom du chlorure d'acyle est obtenu à partir du nom de l'acide dont il dérive en remplaçant le mot « acide » par « chlorure de » et la terminaison « oïque » par « oyle »

Exemples :

Formule semi-développée	$H_3C-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown Cl \end{matrix}$	$H_3C-CH \begin{matrix} \diagup Cl \\ \diagdown O \\ CH_3 \end{matrix}$	
Nom	chlorure d'éthanoyle	chlorure de 2-méthylpropanoyle	chlorure de benzoyle

2.2) Les anhydrides d'acide

La formule générale d'un anhydride d'acide est $C_nH_{2n-2}O_3$ (brute) ou $R-COOOC-R$.

Le nom de l'anhydride d'acide est obtenu à partir du ou des noms de l'acide ou des acides dont il dérive en remplaçant le mot « acide » par « anhydride ».

Exemples :

Formule semi-développée	$H-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix}-O-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix}-H$	$H_3C-CH \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \\ CH_3 \end{matrix}-O-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix}-CH-CH_3$	$H-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix}-O-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix}-CH_3$
Nom	Anhydride méthanoïque	Anhydride 2-méthylpropanoïque	Anhydride éthanoïque et méthanoïque

2.3) Les esters

La formule générale d'un ester est $C_nH_{2n}O_2$ (brute) ou $R-COO-R'$.

Le nom d'un ester s'obtient à partir du nom de l'acide carboxylique dont il dérive :

- en supprimant le mot « acide »,
- en remplaçant la terminaison « -oïque » par « -oate »,
- en ajoutant la préposition « de » ou « d' »,
- en faisant suivre le nom obtenu par celui du groupement R' .

Exemples :

Formule semi-développée	$H-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix}-O-CH_2-CH_3$	$H_3C-CH \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \\ CH_3 \end{matrix}-O-CH_3$	$H_3C-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix}-O-CH_2-CH \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \\ CH_3 \end{matrix}-CH_3$
Nom	méthanoate d'éthyle	2-méthylpropanoate de méthyle	éthanoate de 2-méthylpropyle

2.4) Les amides

La formule générale d'un amide est $C_nH_{2n+1}ON$ (brute) ou $R_1-CONR_2R_3$.

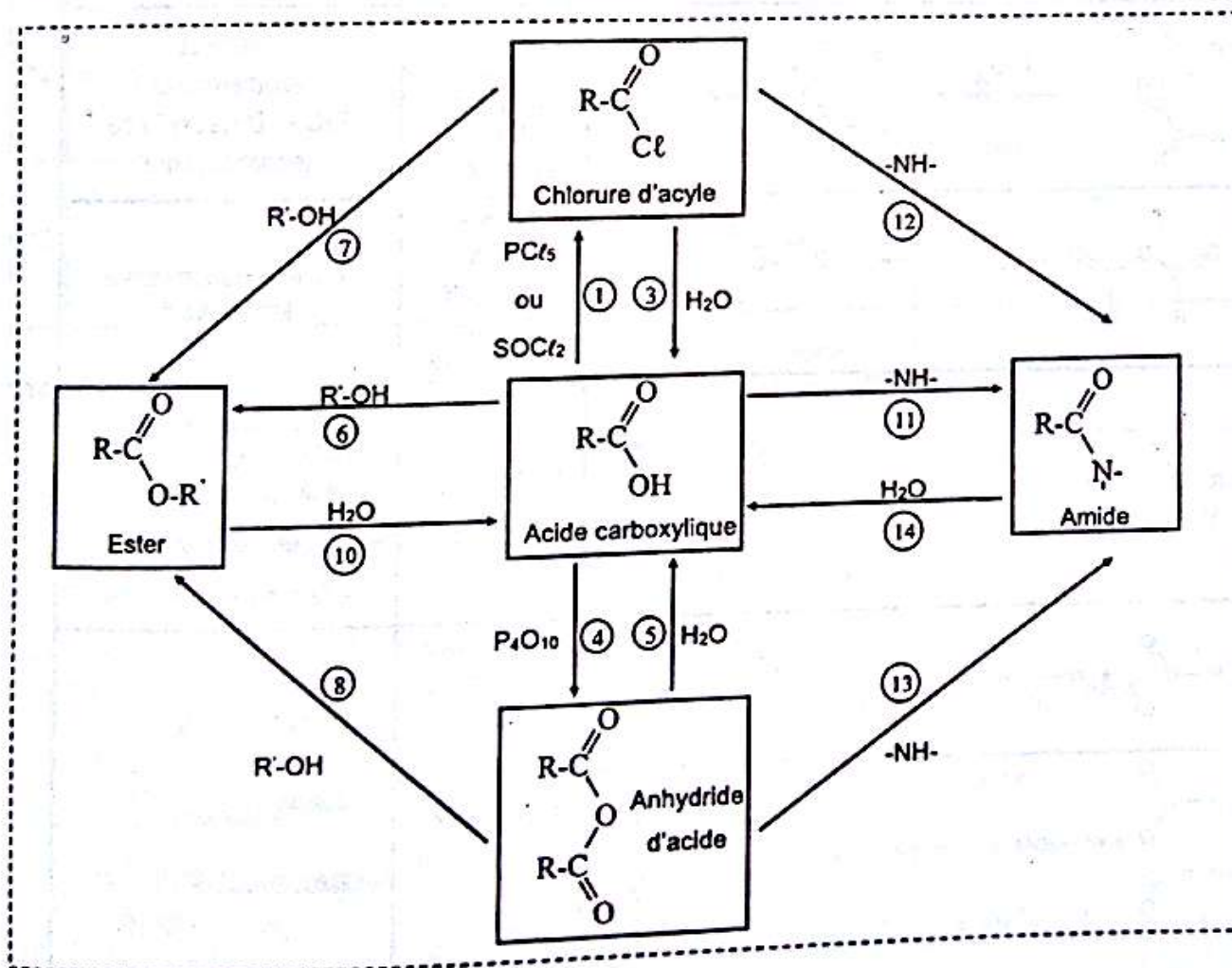
Le nom d'un amide est obtenu à partir du nom de l'acide dont il dérive en supprimant le mot « acide » et en remplaçant la terminaison « oïque » par « amide ».

Les noms des groupes carbonés rattachés à l'atome d'azote N, sont précédés de la lettre « N » dans le nom de l'amide.

Exemples :

Formule semi-développée	$H-C(=O)-NH_2$	$H_3C-CH(CH_3)-C(=O)-NH_2$	$H_3C-C(=O)-N(CH_3)_2$
Nom	méthanamide	2-méthylpropanamide	N,N-diméthyléthanamide

3.) PRINCIPALES REACTIONS AVEC UN ACIDE CARBOXYLIQUE



NB : -NH- correspond à l'ammoniac, une amine primaire (I) ou une amine secondaire (II).

4.) EQUATION-BILANS DES PRINCIPALES REACTIONS

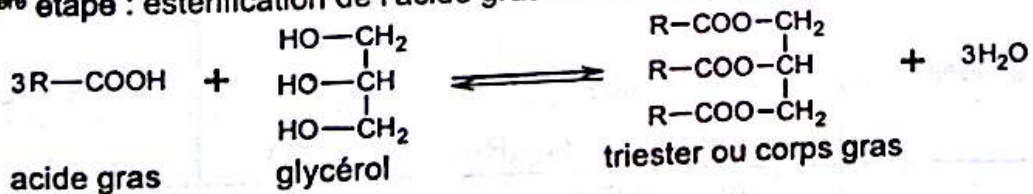
N°	Equation-bilan de la réaction	Nom	Caractéristiques et autres notes
1a	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{PCl}_5 \longrightarrow \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl} + \overset{\uparrow}{\text{HCl}} + \text{POCl}_3$	Synthèse d'un chlorure d'acyle	Totale et exothermique PCl ₅ : pentachlorure de phosphore SOCl ₂ : chlorure de thionyle
1b	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{SOCl}_2 \longrightarrow \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl} + \overset{\uparrow}{\text{HCl}} + \overset{\uparrow}{\text{SO}_2}$		
2	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}^- + \overset{\uparrow}{\text{H}_3\text{O}^+}$	Hydrolyse d'un acide carboxylique	Lente et réversible
3	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \overset{\uparrow}{\text{HCl}}$	Hydrolyse d'un chlorure d'acyle	Violente, totale et exothermique
4	$2 \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} \xrightarrow{\text{P}_4\text{O}_{10}} \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R} + \text{H}_2\text{O}$	Synthèse d'un anhydride d'acide symétrique	Totale et exothermique P ₄ O ₁₀ : Décaoxyde de tétraphosphore
5	$\text{O}=\overset{\text{R}}{\text{C}}-\text{O}-\overset{\text{R}}{\text{C}}=\text{O} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	Hydrolyse d'un anhydride d'acide symétrique	Totale, exothermique et lente à froid
6	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{R}'-\text{OH} \rightleftharpoons \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}' + \text{H}_2\text{O}$	Estérification directe	- Lente (catalysée par H ₂ SO ₄ et une élévation de la température) - Limitée (réversible) - Athermique
7	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl} + \text{R}'-\text{OH} \longrightarrow \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}' + \overset{\uparrow}{\text{HCl}}$	Estérification via chlorure d'acyle (indirecte)	- Rapide
8	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R} + \text{R}'-\text{OH} \longrightarrow \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}' + \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	Estérification via anhydride d'acide (indirecte)	- Totale - Exothermique
9	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}' + \text{OH}^- \longrightarrow \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}^- + \text{R}'-\text{OH}$	Saponification	Totale mais lente

N°	Equation-bilan de la réaction	Nom	Caractéristiques et autres notes
10	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{O}-\text{R}' \end{array} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array} + \text{R}'-\text{OH} $	Hydrolyse d'un ester	<ul style="list-style-type: none"> - Lente (catalysée par H₂SO₄ et une élévation de la température) - Limitée (réversible) - Athermique
11	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array} + -\text{NH}- \rightleftharpoons \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{N}- \\ \end{array} + \text{H}_2\text{O} $	Synthèse directe d'un amide	<ul style="list-style-type: none"> - Limitée et lente - La réaction passe par un carboxylate d'ammonium $ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{O}^- \end{array} \text{NH}_2^+ $
12	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{Cl} \end{array} + -\text{NH}- \longrightarrow \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{N}- \\ \end{array} + \text{HCl} $	Synthèse d'un amide via chlorure d'acyle	<ul style="list-style-type: none"> - Rapide - Totale - Exothermique
13	$ \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{R} \\ \quad \\ \text{R} \quad \text{R} \end{array} + -\text{NH}- \longrightarrow \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{N}- \\ \end{array} + \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array} $	Synthèse d'un amide via anhydride d'acide	<ul style="list-style-type: none"> - Exothermique
14	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{N}- \\ \end{array} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array} + -\text{NH}- $	Hydrolyse d'un amide	Lente et limitée

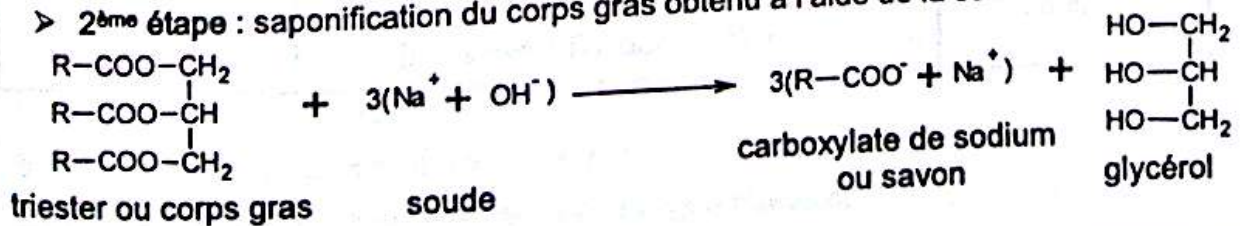
Remarque :

- NH- correspond à l'ammoniac, une amine primaire (I) ou une amine secondaire (II).
- Saponification d'un triester ou corps gras (fabrication du savon)

> 1^{ère} étape : estérification de l'acide gras à l'aide du glycérol.



> 2^{ème} étape : saponification du corps gras obtenu à l'aide de la soude.



5.) **TABEAU RECAPITULATIF DE QUELQUES COMPOSES ORGANIQUES**

Famille ou fonction chimique	Groupe caractéristique	Formule brute générale
alcools	(R)-OH groupe hydroxyle OH.	$C_nH_{2n+2}O$
éthers oxydes	(R)-O-(R') groupe oxyde O.	
aldéhydes	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{(R)-C} \\ \\ \text{H} \end{array}$ ou (R)-CHO groupe carbonyle CO en bout de chaîne.	$C_nH_{2n}O$
cétones	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{(R)-C-(R')} \\ \\ \text{O} \end{array}$ ou (R)-CO-(R') groupe carbonyle CO en milieu de chaîne.	
acides carboxyliques	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{(R)-C} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ ou (R)-CO ₂ H groupe carboxyle CO ₂ H	$C_nH_{2n}O_2$
esters	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{(R)-C} \\ \\ \text{O-(R')} \end{array}$ ou (R)-CO ₂ -(R')	
chlorures d'acyle	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{(R)-C} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ ou (R)-COCl	$C_nH_{2n-1}OCl$
anhydrides d'acides	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \text{O} \\ \parallel \quad \quad \parallel \\ \text{(R)-C-O-C-(R)} \end{array}$ ou $\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \text{O} \\ \parallel \quad \quad \parallel \\ \text{(R)-C-O-C-(R')} \end{array}$ (R)-COOOC-(R) ou bien (R)-COOOC-(R')	$C_nH_{2n-2}O_3$
amides	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{(R}_1\text{)-C} \\ \\ \text{N-(R}_2\text{)(R}_3\text{)} \end{array}$ ou (R ₁)-CON(R ₂)(R ₃)	$C_nH_{2n+1}ON$
amines	$\begin{array}{c} \text{(R}_1\text{)-N-(R}_3\text{)} \\ \\ \text{(R}_2\text{)} \end{array}$ ou (R ₁)-N(R ₂)(R ₃)	$C_nH_{2n+3}N$

EXERCICES RESOLUS

Remarque : dans tous les exercices on prendra comme masses molaires atomiques en g/mol : H : 1 ; C : 12 ; N : 14 ; O : 16 ; Cl : 35,5 ; K = 39 ; Na : 23

Exercice 1

1. On fait réagir l'acide éthanóique avec un alcool saturé A. On obtient un ester B de masse molaire $M = 102 \text{ g/mol}$.
 - 1.1 Déterminer la formule brute de l'ester B.
 - 1.2 Donner la formule brute de l'alcool A.
2. L'oxydation ménagée de l'alcool A en présence de dichromate de potassium acidifié donne un corps C qui ne colore pas le réactif de Schiff.
 - 2.1 Ecrire la formule semi-développée de l'alcool A. Le nommer.
 - 2.2 Ecrire la formule semi-développée de l'ester B. Le nommer.
3. Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'acide éthanóique sur A. Nommer la réaction et donner ses caractéristiques.
4. On veut obtenir l'ester B à partir de A d'un chlorure d'acyle D.
 - 4.1 Donner la formule semi-développée et le nom de D.
 - 4.2 Ecrire l'équation-bilan de la réaction.

Exercice 2

On dissout $m = 3,145 \text{ g}$ d'un acide carboxylique A à chaîne carbonée saturée dans de l'eau pure. La solution obtenue a un volume $V = 1 \text{ L}$. On prélève un volume $V_A = 10 \text{ cm}^3$ que l'on dose à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. L'équivalence est atteinte quand on a versé un volume $V_B = 8,5 \text{ cm}^3$ de la solution d'hydroxyde de sodium.

1. Calculer la concentration C_A de la solution d'acide.
2. En déduire la formule brute de l'acide A, sa formule semi développée et son nom.
3. On fait réagir sur A le pentachlorure de phosphore. On obtient un corps B.
 - 3.1. Donner l'équation bilan de la réaction et le nom du composé obtenu.
 - 3.2. Donner une autre méthode de préparation de ce composé.
4. On chauffe un mélange équimolaire de A avec de l'oxyde de phosphore P_4O_{10} . Donner l'équation bilan de la réaction et le nom du composé obtenu.
5. On fait réagir sur B le butan-2-ol.
 - 5.1. Donner la formule semi développée et le nom du composé obtenu.
 - 5.2. Donner le nom et les caractéristiques de cette réaction.

Exercice 3

De nombreux lipides sont des glycérides ; c'est-à-dire des triesters du glycérol et des acides gras.

1. Ecrire la formule semi-développée du glycérol ou propan-1,2,3-triol.
2. Ecrire l'équation générale d'estérification par le glycérol d'un acide gras RCOOH .
3. On fait agir sur le lipide (triestre) obtenu un excès d'une solution d'hydroxyde de sodium à chaud. Il se forme du glycérol et un produit S.
 - a) Ecrire l'équation générale de cette réaction.
 - b) Quel est le nom général donné au produit S ?
 - c) Comment nomme-t-on ce type de réaction ?
4. Dans le cas où le corps gras utilisé dérive de l'acide oléique ($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{-CO}_2\text{H}$) et où l'on fait agir l'hydroxyde de sodium sur $m = 2.10^3$ kg de ce corps gras, écrire l'équation de la réaction et calculer la masse du produit S obtenu.

Exercice 4 (extrait Bac Blanc 2013 Lycée Municipal 1 Attécoubé Côte d'Ivoire)

On désire faire la synthèse d'un ester E de formule $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$ en utilisant un acide carboxylique A et un alcool B ou un dérivée d'acide et l'alcool B. On note que la chaîne carbonée de l'alcool B est ramifiée.

1) Utilisation de l'acide carboxylique et l'alcool

1.1. Identification de l'acide carboxylique A

La densité de vapeur de l'acide A est $d = 2,06$.

1.1.1. Montrer que l'acide carboxylique a pour formule $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

1.1.2. Déduire sa formule semi-développée et son nom.

1.2. Identification de l'alcool B

1.2.1. Donner en justifiant la formule brute de B.

1.2.2. Ecrire les formules semi-développées possibles de B.

1.2.3. B est l'alcool minoritaire obtenu par hydratation du 3-méthylbut-1-ène.

a) Ecrire la formule semi-développée du 3-méthylbut-1-ène.

b) Déduire la formule semi-développée de l'alcool B.

1.3. Synthèse de l'ester E

1.3.1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction de formation de l'ester E.

1.3.2. On mélange 0,6 mol de chaque réactif. Calculer la masse de chacun des produits lorsque la réaction n'évolue plus.

2) Utilisation d'un dérivé d'acide et l'alcool

La synthèse de E peut utiliser un anhydride d'acide D et l'alcool B.

2.1. Ecrire la formule semi-développée de cet anhydride d'acide.

2.2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction entre l'anhydride d'acide et l'alcool B.

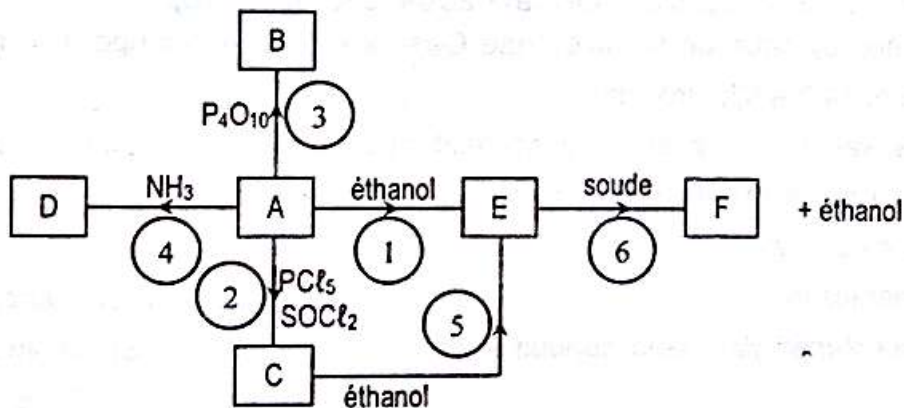
Exercice 5

On fait réagir un acide organique X sur un alcool primaire A. On obtient un produit E de formule brute $C_4H_8O_2$.

- Quelles sont les formules semi-développées possibles de ce produit E ?
Donner les noms correspondants.
- En faisant réagir l'ammoniac sur l'acide organique X, on obtient un carboxylate d'ammonium Y. Celui-ci par chauffage, se déshydrate. On obtient un corps Z de formule C_3H_7ON .
Ecrire les formules semi-développées et donner les noms de A, E X, Y et Z.
- Ecrire l'équation-bilan de la transformation de l'acide organique en carboxylate d'ammonium, puis celle correspondante à la formation de Z.
- On a obtenu 14,6 g du composé Z de formule C_3H_7ON . Sachant que le rendement de la réaction de déshydratation est de 85%, déterminer la masse de carboxylate d'ammonium utilisée.

Exercice 6 (extrait Bac séries C & E Session Normale 2001 Côte d'Ivoire)

On considère le schéma ci-dessous où (A), (B), (C), (D), (E) et (F) sont des composés organiques. Les réactions chimiques sont représentées par des flèches numérotées de 1 à 6.



- (A) est un monoacide carboxylique à chaîne carbonée saturée.
Sa masse molaire moléculaire est 60 g/mol.
 - Déterminer sa formule brute.
 - Donner sa formule semi-développée et son nom.
- Après l'analyse du schéma réactionnel,
 - Déterminer la formule semi-développée et le nom de chacun des composés organiques (B), (C), (D), (E) et (F).
 - Écrire l'équation-bilan de chacune des réactions 1 et 5.
 - Donner le nom et les caractéristiques des réactions 1 et 5.

On donne les masses molaires atomiques en $g \cdot mol^{-1}$: H : 1 ; O : 16 ; C : 12.

Exercice 7 (extrait Bac D session normale 2009 côte d'Ivoire)

On veut établir la carte d'identité (nom, formule semi-développée, fonction chimique) d'un composé D de formule brute $C_6H_{12}O_2$. Pour cela, on réalise une série d'expériences.

1. Le corps D est obtenu par action d'un chlorure d'acyle A sur un alcool B.
 - 1.1. Donner la formule et le nom de l'autre corps obtenu au cours de cette réaction.
 - 1.2. Donner les caractéristiques de cette réaction chimique.
2. Le corps D subit ensuite une hydrolyse qui donne deux composés E et F. E est un acide carboxylique contenant en élément oxygène 53,3% de sa masse molaire.
 - 2.1. Déterminer la formule semi-développée de E.
 - 2.2. Donner le nom de E.
 - 2.3. En déduire la formule brute de F.
3. On obtient un corps G par action de l'ion permanganate en milieu acide sur F. La solution de nitrate d'argent ammoniacal est sans action sur G.
 - 3.1. Donner la formule semi-développée, le nom et la famille de F.
 - 3.2. En déduire la formule semi-développée et le nom de G.
 - 3.3. Écrire l'équation de la réaction de l'ion permanganate sur le corps F.
 - 3.4. Donner la formule semi-développée, la fonction chimique et le nom du composé D.

Exercice 8 (extrait Bac D session normale 2004 Côte d'Ivoire)

Un hydrocarbure non cyclique de formule brute C_xH_y possède une composition massique de 85,7% de carbone et 14,3% d'hydrogène.

1. Déterminer les valeurs de x et de y sachant que la masse molaire du composé est $M = 56 \text{ g.mol}^{-1}$. A quelle famille d'hydrocarbure appartient-il ?
 2. On suppose que cet hydrocarbure a pour formule brute C_4H_8 .
Ecrire et nommer les formules semi-développées possibles de cet hydrocarbure.
 3. L'hydratation du 2-méthylpropène conduit à deux produits (A) et (B). Le produit (A) est majoritaire.
 - 3.1. Écrire les deux équations bilans de cette réaction d'hydratation.
 - 3.2. Nommer les produits (A) et (B).
 - 3.3. Par oxydation ménagée de (B) avec une solution de dichromate de potassium en milieu acide, on obtient un composé (B') qui réagit positivement avec la liqueur de Fehling. Donner la famille, la formule semi-développée et le nom de (B').
 - 3.4. On fait réagir le 2-méthylpropan-1-ol et le chlorure de propanoyle pour obtenir un produit (C) et du chlorure d'hydrogène.
 - 3.4.1. Écrire l'équation bilan de cette réaction.
 - 3.4.2. Donner le nom de cette réaction et préciser ses caractéristiques.
- On donne les masses molaires atomiques en g/mol : C : 12 ; H : 1.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** (extrait Bac C & E session normale 2009 Côte d'Ivoire)

Un composé C a pour formule brute $C_5H_{10}O_2$.

Il réagit avec l'eau pour donner un acide carboxylique A et un alcool B.

1. De quelle réaction s'agit-il ?
2. La molécule de B comporte trois atomes de carbone.
Écrire les formules semi-développées des isomères possibles de l'alcool B.
3. L'alcool B par oxydation ménagée donne un composé E.
E donne un test positif avec la 2,4-D.N.P.H mais pas avec la liqueur de Fehling.
 - 3.1. Donner la fonction chimique de E, sa formule et son nom.
 - 3.2. En déduire le nom et la formule semi-développée de B, A et C.
4. L'acide A réagit avec le pentachlorure de phosphore PCl_5 pour donner un composé X.
Donner la formule semi-développée et le nom de X.
5. Par action de X sur l'ammoniac, on obtient un composé D.
Écrire la formule semi-développée de D. Donner son nom.

Exercice 2 (extrait Bac C & E Session Normale 2011 Côte d'Ivoire)

1. On considère un hydrocarbure gazeux A de densité 1,45.
La molécule de A ne comporte pas de cycle. Elle contient 14,3% en masse d'hydrogène.
 - 1-1. Déterminer la formule brute de A.
 - 1-2. Donner sa formule semi-développée et son nom.
 - 1-3. La réaction d'hydratation du composé A produit deux (02) composés B_1 et B_2 (B_2 est majoritaire).
Donner la formule semi-développée et le nom des composés B_1 et B_2 .
2. Le composé B_1 donne deux (02) composés C et D en présence de dichromate de potassium en milieu acide. Le composé C donne un test positif avec le réactif de Schiff. Une solution aqueuse du composé D est colorée en jaune par quelques gouttes de bleu de bromothymol (BBT).
 - 2-1. Donner la fonction chimique des composés C et D.
 - 2-2. Donner les formules semi-développées et le nom des composés C et D.
3. Le composé D réagit avec le propan-2-ol pour donner un composé E.
 - 3-1. Donner le nom de cette réaction et ses caractéristiques.
 - 3-2. Écrire la formule semi-développée et le nom du composé E.
 - 3-3. Écrire l'équation-bilan de cette réaction.
4. Le composé D réagit sur le chlorure de thionyle ($SOCl_2$) pour donner un composé F.
Le composé F réagit sur le propan-2-ol pour donner le composé E.
 - 4-1. Donner la fonction chimique, la formule semi-développée et le nom du composé F.
 - 4-2. Donner le nom de la réaction qui produit le composé E et ses caractéristiques.
 - 4-3. Écrire l'équation-bilan de cette réaction.

Exercice 3 (extrait Bac séries S1 & S3 session 2005 Sénégal)

Une solution aqueuse d'amine aliphatique saturée B de concentration molaire C_B a un pH = 11,9 à 25°C. On donne : masses molaires en g/mol : H : 1 ; C : 12 ; N : 14 ; O : 16.

- 1) On dose un volume $V_B = 250$ mL d'une solution de l'amine B par une solution d'acide sulfurique de concentration molaire $C_A = 0,1$ mol/L. Le volume d'acide versé pour atteindre la demi-équivalence est de : $V_A = 62,5$ mL. Montrer à l'aide de ces données que la concentration molaire de l'amine B vaut $C_B = 0,1$ mol/L.
- 2) Après avoir précisé la force de l'amine B, calculer le pK_A du couple acide-base.
- 3) Pour préparer 250 mL de cette solution, il a fallu dissoudre 1,125 g d'amine B. Déterminer la formule brute de l'amine.
Ecrire les formules semi-développées des isomères et les nommer.
- 4) On fait réagir l'amine secondaire B avec un acide carboxylique A. On obtient après chauffage un composé C de formule brute C_xH_yON dont l'analyse de 0,645 g montre qu'il contient 0,07 g d'azote.
 - 4.1. Déterminer la formule brute précise du composé C.
 - 4.2. Ecrire la formule semi-développée du composé C sachant que la molécule d'acide possède une chaîne carbonée linéaire et le nommer.
 - 4.3. Ecrire l'équation-bilan de formation du composé C.

Exercice 4 (extrait Bac série D 1^{er} groupe session 2014 NIGER)

- 1) Donner le nom et la fonction chimique de chacun des composés suivants :
A. $CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-OH$; B. $CH_3-CH(CH_3)-CH(OH)-CH_3$; C. CH_3-COOH ;
D. CH_3-COCl ; E. $CH_3-CH_2-CO-O-CO-CH_2-CH_3$
- 2) L'éthanoate d'amyle, arôme artificiel entrant dans la composition des bonbons est en fait un mélange de deux esters qu'on notera respectivement E_1 et E_2 . Pour les obtenir, on réalise les deux réactions suivantes :
Réaction 1 : A + C donne E_1 + eau
Réaction 2 : B + C donne E_2 + eau
On rappelle que les formules semi-développées des composés A, B, C sont celles de la question 1.
 - a) Ecrire l'équation bilan de chacune des réactions 1 et 2.
 - b) Comment pourrait-on accélérer chacune de ces deux réactions ?
- 3) Au laboratoire du lycée, lors de la synthèse d'un arôme artificiel, on procède comme suit :
 - a) Pour la réaction 1, on part de 0,6 g du corps C et 8,8 g de corps A.
A l'équilibre, il se forme 8,67 g de E_1 . Quel est le rendement de la réaction 1 ?
 - b) Pour la réaction 2, on part de 6,0 g de C et 8,8 g de B. En utilisant les informations ci-dessous, calculer la masse de E_2 formée à l'équilibre.

Classe de l'alcool	Primaire	Secondaire	Tertiaire
Limite d'estérification	66,7%	60%	5%

- 4) En examinant la liste des composés A, B, C, D et E. Il est possible d'obtenir E₁ autrement.
- Ecrire l'équation de la réaction permettant d'obtenir E₁.
 - Quel avantage tirerait-on en procédant de la sorte ?

Données en g.mol⁻¹ : M(C) = 12 ; M(O) = 16 ; M(H) = 1

Exercice 5 (extrait Bac C & E Session Normale 2006 Côte d'Ivoire)

La synthèse d'un composé organique de formule brute C₆H₁₂O₂ est schématisée sur l'organigramme suivant.

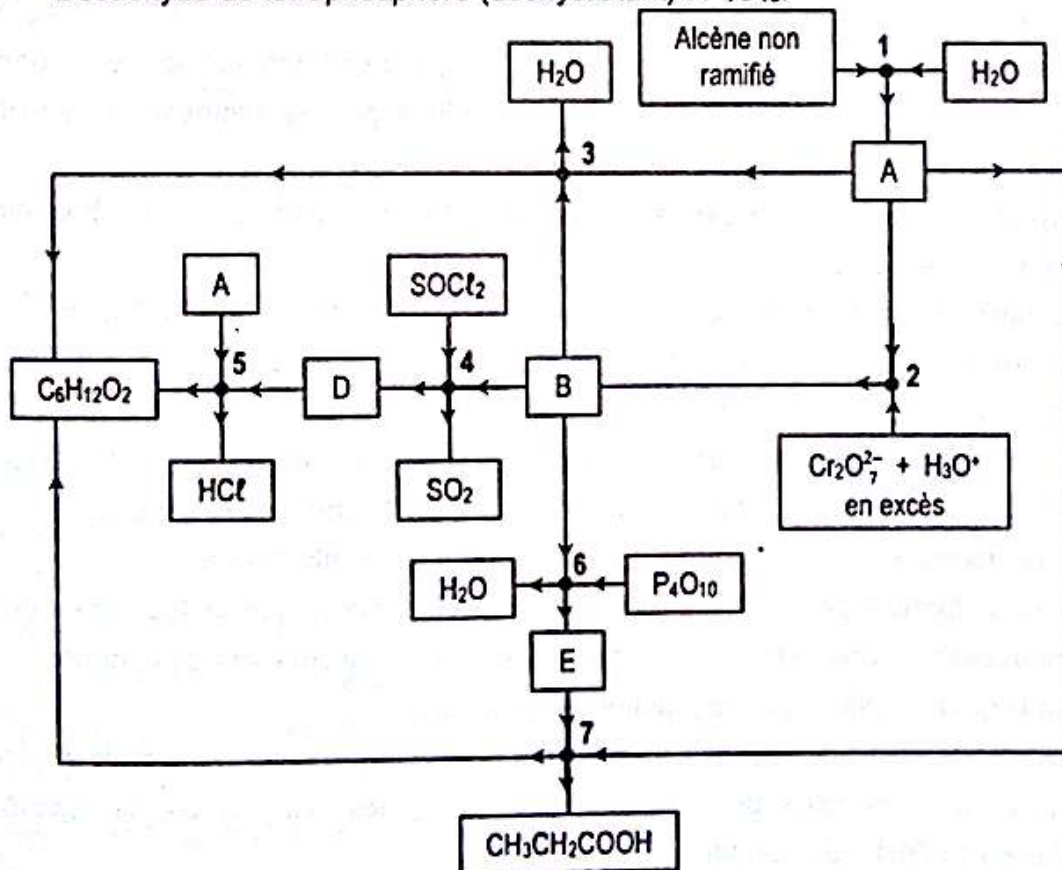
Les flèches qui arrivent en un point renforcé (→●) indiquent les réactifs qui participent à la réaction considérée ; celles qui en partent (●→) donnent les produits formés.

La réaction 1 donne deux produits A et A'. Ici on considère le produit A obtenu en minorité.

On veut déterminer les composés notés A, B, D, E et l'alcène non ramifié.

Données :

- Ion dichromate en milieu acide (Cr₂O₇²⁻ + H₃O⁺)
- Chlorure de thionyle, chlorurant puissant : SOCl₂
- Décaoxyde de tétraphosphore (déshydratant) : P₄O₁₀.



- Donner :
 - le nom de chacune des réactions : 3, 4, 5 et 6.
 - les caractéristiques des réactions 3 et 5.

2. Reproduire et remplir le tableau ci-dessous.

Composés	Formule semi-développée	Fonction chimique	Nom officiel
A			
B			
D			
E			

3. Donner le nom et la formule semi-développée de :

3.1. l'alcène utilisé,

3.2. la molécule organique synthétisée de formule brute $C_6H_{12}O_2$.

4. Écrire les équations-bilan des réactions 4 et 5.

Exercice 6 (extrait Bac séries : S2-S2A-S4-S5 session 2016 Sénégal)

On donne :

Densité de l'anhydride éthanoïque : $d = 1,082$;

Masses molaires atomiques en $g \cdot mol^{-1}$: $M(C) = 12$; $M(O) = 16$; $M(H) = 1$.

La chimie organique de synthèse est utilisée comme palliatif à celle de l'extraction des composés naturels qui est souvent plus onéreuse. L'anhydride éthanoïque, composé organique de formule semi-développée $CH_3-CO-O-CO-CH_3$, est utilisé pour la synthèse de l'aspirine, du paracétamol et des esters.

1. Cet anhydride peut se préparer par déshydratation intermoléculaire de l'acide éthanoïque en présence d'un déshydratant.

Écrire l'équation bilan de la réaction de déshydratation et préciser le déshydratant.

2. Proposer une autre méthode de synthèse de l'anhydride éthanoïque.

Écrire l'équation bilan de cette réaction de synthèse.

3. Un technicien d'une industrie agroalimentaire se propose de préparer l'éthanoate de 3-méthylbutyle, appelé aussi ester de banane, à partir de l'anhydride éthanoïque.

3.1. Écrire la formule semi-développée de l'éthanoate de 3-méthylbutyle.

3.2. Donner la formule semi-développée et le nom de l'alcool que le technicien doit faire réagir avec l'anhydride éthanoïque pour la préparation de cet ester de banane.

3.3. Écrire l'équation bilan de cette réaction de synthèse.

3.4. Le technicien aurait pu utiliser l'acide éthanoïque à la place de l'anhydride éthanoïque. Indiquer les différences de caractéristiques entre les deux types de réactions de synthèses de l'ester de banane.

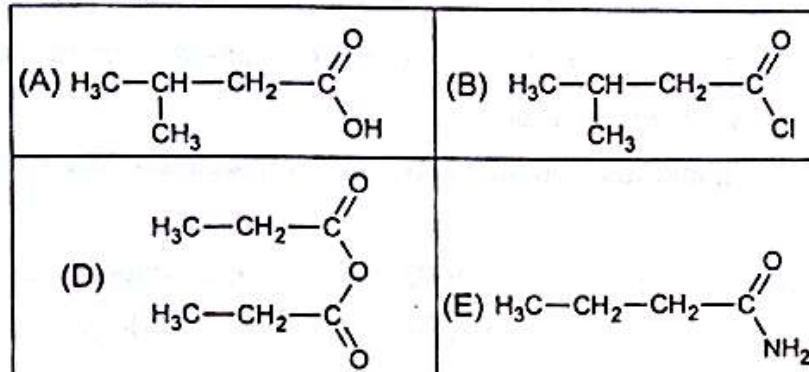
3.5. Pour la préparation de l'ester de banane, le technicien a introduit dans un erlenmeyer, 5,0 mL d'anhydride éthanoïque et une masse $m_A = 3,0$ g d'alcool. La réaction terminée, il a obtenu une masse $m_E = 3,3$ g d'éthanoate de 3-méthylbutyle après séparation et purification. Déterminer le rendement de la réaction de synthèse de l'ester de banane.

Exercice 7 (extrait Bac séries S2, S2A, S4 & S5 session 2013 Sénégal)

Les parties A et B sont indépendantes.

PARTIE A

- 1) Nommer les composés organiques A, B, D, E dont les formules suivent et préciser la famille chimique de chaque composé.



- 2) Ecrire l'équation-bilan d'une réaction qui permet d'obtenir :

- le composé B à partir du corps A ;
- le composé D à partir de l'acide propanoïque ;
- le composé E par une réaction rapide et totale.

PARTIE B

Traditionnellement, dans nos campagnes africaines les femmes recyclaient les graisses et les huiles d'origine animale ou végétale pour en faire du savon. Le savon est également fabriqué en usine. On donne en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: $M(\text{C}) = 12$; $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{Na}) = 23$.

- Les graisses et les huiles sont des corps gras. Les corps gras sont pour la plupart des triglycérides. Rappeler ce qu'est un triglycéride.
- Rappeler la formule semi-développée du propan-1,2,3-triol ou glycérol.
- L'acide palmitique ou acide hexadécanoïque a pour formule :

En faisant réagir le glycérol sur l'acide hexadécanoïque on obtient un composé organique nommé palmitine.

5.1. Ecrire, à l'aide de formules semi-développées, l'équation-bilan de la réaction du glycérol sur l'acide hexadécanoïque. Donner les caractéristiques de cette réaction.

5.2. La palmitine est aussi présente dans l'huile de palme. Dans une usine de la place on fabrique du savon à partir de la palmitine provenant d'huile de palme. Pour cela, on y réalise la saponification de la palmitine contenue dans 1500 kg d'huile de palme renfermant, en masse, 47% de palmitine. La base forte utilisée est une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.

5.2.1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction de saponification de la palmitine par l'hydroxyde de sodium et entourer la formule du produit qui correspond au savon.

5.2.2. Calculer la masse de savon obtenue si le rendement de la réaction est de 80%.

Exercice 8 (extrait Bac C & E Session Normale 2013 Côte d'Ivoire)

Dans le laboratoire de chimie d'un lycée, un professeur découvre un flacon sans étiquette contenant un composé organique liquide. On désigne par A le composé organique contenu dans le flacon. Le professeur décide d'identifier le composé A afin de l'utiliser éventuellement avec ses élèves en travaux pratiques. Pour cela, il réalise une série d'expériences.

Expérience 1 : Le professeur réalise l'hydrolyse du composé A. Il obtient deux composés B et C qu'il sépare par une technique appropriée.

Expérience 2 : Il verse quelques gouttes d'une solution aqueuse de B sur du papier pH, celui-ci vire au rouge.

Expérience 3 : Il prélève 1,85 g du composé C qu'il fait réagir avec un excès de sodium. À la fin de la réaction, il a recueilli un volume $V = 0,28$ L de dihydrogène. Il verse quelques gouttes de la solution obtenue dans de l'eau contenant de la phénolphthaléine. L'indicateur coloré vire au rose.

Expérience 4 : Il réalise enfin l'oxydation ménagée du composé C par une solution de dichromate de potassium ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$; 2K^+) acidifiée. Il obtient un composé D. Le composé D donne un précipité jaune avec la 2,4-dinitro-phénylhydrazine (DNPH) et est sans action sur la liqueur de Fehling.

1. Déterminer la nature des composés A, B, C et D.
2. Le composé A contient en masse 27,58 % d'oxygène. Déterminer:
 - 2.1. la masse molaire M_A du composé A ;
 - 2.2. la formule brute du composé A.
3.
 - 3.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction qui a lieu dans l'expérience n°3 en utilisant la formule générale de C.
 - 3.2. Montrer que le composé C a pour formule brute $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.
4.
 - 4.1. Écrire la formule semi-développée des composés A, B, C, D et les nommer.
 - 4.2. Écrire l'équation-bilan de la réaction d'hydrolyse du composé A.
Donner les caractéristiques de cette réaction.
 - 4.3. Le composé A peut être obtenu par l'action d'un composé E (contenant un atome de chlore) sur le composé C.
 - 4.3.1. Écrire la formule semi-développée du composé E.
 - 4.3.2. Écrire l'équation-bilan de la réaction qui a eu lieu.
 - 4.3.3. Donner le nom de cette réaction.

On donne : (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) : $M(\text{C}) = 12$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{H}) = 1$; Volume molaire : $V_m = 22,4$ $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

1. On fait réagir l'acide éthanoïque avec un alcool A. On a un ester B de $M = 102 \text{ g/mol}$.

1.1 Déterminons la formule brute de l'ester B.

La masse molaire M_B de l'ester B de formule générale $C_nH_{2n}O_2$ est :

$$M_B = 12n + 2n + 2 \times 16 = 14n + 32 \Rightarrow n = \frac{M_B - 32}{14} = \frac{102 - 32}{14} = 5$$

La formule brute de l'ester B est : $C_5H_{10}O_2$.

1.2 Donnons la formule brute de l'alcool A.

Pour avoir le nombre d'atomes de carbone n_A de l'alcool A, il faut retrancher le nombre d'atomes de carbone de l'acide éthanoïque (2) à celui de l'ester B (5). Ainsi on a :

$$n_A = 5 - 2 = 3. \text{ Or la formule générale de l'alcool saturé est } C_nH_{2n+2}O.$$

Donc la formule brute de l'alcool A est : C_3H_8O .

2. L'oxydation ménagée de A en présence de dichromate de potassium acidifié donne C.

2.1 Formule semi-développée et nom de l'alcool A.

Le produit d'oxydation C de l'alcool A ne colore pas le réactif de Schiff en rose donc C est une cétone. De plus seul un alcool secondaire peut donner une cétone par oxydation ménagée d'où A est l'alcool secondaire de formule C_3H_8O : le propan-2-ol.

2.2 Formule semi-développée et nom de l'ester B.

L'ester obtenu à partir de l'acide éthanoïque et du propan-2-ol est l'éthanoate de 1-méthyléthyle ou éthanoate de méthyléthyle ou encore éthanoate d'isopropyle.

Composé	Formule semi-développée	Nom
acide carboxylique	CH_3-COOH	acide éthanoïque
alcool A	$\begin{array}{c} H_3C-CH-CH_3 \\ \\ OH \end{array}$	propan-2-ol
ester B	$\begin{array}{c} H_3C-C-O-CH-CH_3 \\ \quad \\ O \quad CH_3 \end{array}$	éthanoate de méthyléthyle
cétone C	$\begin{array}{c} H_3C-C-CH_3 \\ \\ O \end{array}$	propanone

3. Equation-bilan de la réaction de l'acide éthanoïque sur A.

La réaction entre un acide carboxylique et un alcool est limitée donc double flèche.



Nom et caractéristiques de la réaction.

C'est une réaction d'estérification directe ; elle est lente, limitée et athermique.

Edition 2017

4. On veut obtenir l'ester B à partir de A d'un chlorure d'acyle D.

4.1 Donnons la formule semi-développée et le nom de D.

Le chlorure d'acyle D doit être un dérivé de l'acide éthanoïque : c'est le chlorure d'éthanoyle $\text{CH}_3\text{-COCl}$.

4.2 Equation-bilan de la réaction.

La réaction entre un acide carboxylique et un dérivé d'acide est totale (une flèche).



Exercice 2

1. Calculons la concentration C_A de la solution d'acide.

$$\text{A l'équivalence, } C_B V_B = C_A V_A \Rightarrow C_A = \frac{C_B V_B}{V_A} \quad \text{A.N : } C_A = \frac{5 \cdot 10^{-2} \times 8,5}{10} = \underline{4,25 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}}$$

2. Formule brute, formule semi-développée et son nom de l'acide A.

$$M_A = \frac{m_A}{n_A} = \frac{m_A}{C_A V} = \frac{3,145}{4,25 \cdot 10^{-2} \times 1} = \underline{74 \text{ g/mol}}$$

Remarque : pour le calcul de M_A , il faut plutôt utiliser $V = 1 \text{ L}$ car la masse $m = 3,145 \text{ g}$ d'acide carboxylique a été dissoute dans 1 L d'eau.

La masse molaire M_A de l'acide carboxylique A de formule générale $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ est :

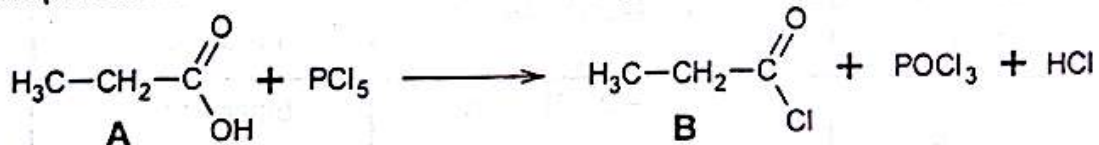
$$M_A = 12n + 2n + 2 \times 16 = 14n + 32 \Rightarrow n = \frac{M_A - 32}{14} = \frac{74 - 32}{14} = 3$$

La formule brute de l'acide carboxylique A est : $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$.

C'est l'acide propanoïque de formule $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$.

3. On fait réagir sur A le pentachlorure de phosphore. On obtient un corps B.

3.1. Equation bilan de la réaction et nom du composé obtenu.



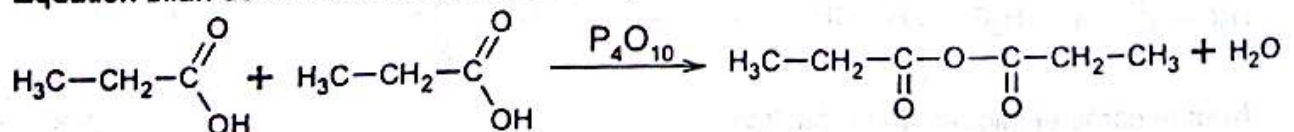
Le composé B obtenu est le chlorure de propanoyle.

3.2. Donnons une autre méthode de préparation de ce composé.

Pour avoir B, on pouvait aussi fait réagir sur A, le chlorure de thionyle SOCl_2 .

4. On chauffe un mélange équimolaire de A avec de l'oxyde de phosphore P_4O_{10} .

Equation bilan de la réaction et nom du composé obtenu.

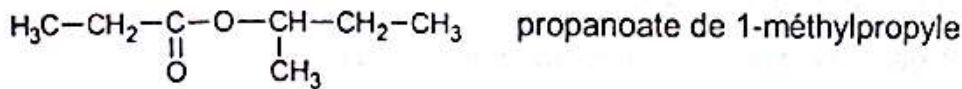


Le composé obtenu est l'anhydride propanoïque.

5. On fait réagir sur B le butan-2-ol.

5.1. Donnons la formule semi-développée et le nom du composé obtenu.

L'ester obtenu à partir du chlorure de propanoyle et du butan-2-ol est le propanoate de 1-méthylpropyle.

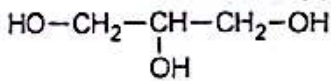


5.2. Nom et caractéristiques de cette réaction

C'est une réaction d'estérification indirecte ; elle est rapide, totale et exothermique.

Exercice 3

1. Formule semi-développée du glycérol ou propan-1,2,3-triol.



2. Equation générale d'estérification par le glycérol d'un acide gras RCOOH.

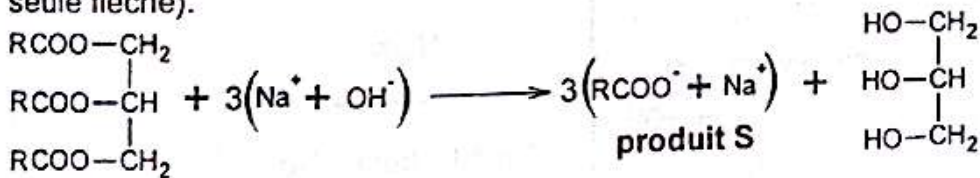
La réaction entre un acide carboxylique et un alcool est limitée donc double flèche.



3. On fait agir sur le triester un excès d'une solution d'hydroxyde de sodium à chaud.

a) Equation générale de cette réaction.

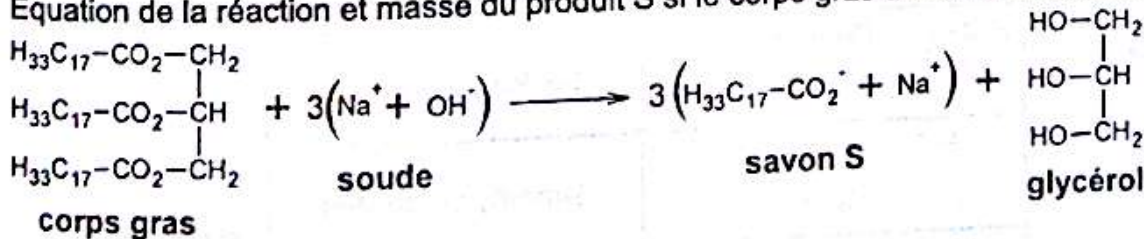
L'action du triester sur l'hydroxyde de sodium est une réaction lente mais totale (une seule flèche).



b) Nom général donné au produit S : c'est le carboxylate de sodium ou savon.

c) Nom de ce type de réaction : c'est une réaction de saponification.

4. Equation de la réaction et masse du produit S si le corps gras dérive de l'acide oléique.



D'après le bilan molaire de cette équation on a :

$$\frac{n_{\text{corps gras}}}{1} = \frac{n_S}{3} \Rightarrow n_S = 3n_{\text{corps gras}} \Rightarrow \frac{m_S}{M_S} = 3 \frac{m_{\text{corps gras}}}{M_{\text{corps gras}}} \Rightarrow m_S = \frac{3M_S m_{\text{corps gras}}}{M_{\text{corps gras}}}$$

$$\text{Application numérique : } m_S = \frac{3 \times (17 \times 12 + 33 + 12 + 2 \times 16) \times 2 \cdot 10^3}{3 \times (17 \times 12 + 33 + 12 + 2 \times 16) + 12 \times 3 + 5} = 1,9 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

Exercice 4 (extrait Bac Blanc Lycée Municipal 1 Attécoubé 2013)

1) Utilisation de l'acide carboxylique et l'alcool

1.1. Identification de l'acide carboxylique A

1.1.1. Montrons que l'acide carboxylique a pour formule $C_2H_4O_2$.

$$M_A = 29 \times d = 29 \times 2,06 = 60 \text{ g/mol}$$

La formule générale d'un acide carboxylique est $C_nH_{2n}O_2$.

$$M_A = M(C_nH_{2n}O_2) = 12n + 2n + 2 \times 16 = 14n + 32$$

$$\Rightarrow 14n + 32 = 60 \Rightarrow n = \frac{60 - 32}{14} = 2. \text{ Donc la formule brute de A est : } C_2H_4O_2.$$

1.1.2. Déduisons sa formule semi-développée et son nom.

Sa formule semi-développée est : CH_3-COOH ; c'est l'acide éthanoïque.

1.2. Identification de l'alcool B

1.2.1. Donnons en justifiant la formule brute de B.

L'ester ayant 7 atomes de carbone et l'acide carboxylique ayant 2 atomes donc l'alcool B a : $7 - 2 = 5$ atomes. Or la formule générale d'un alcool est $C_nH_{2n+2}O$ d'où la formule brute de B est $C_5H_{12}O$.

1.2.2. Ecrivons les formules semi-développées possibles de B.

N.B. : la chaîne carbonée de l'alcool B est ramifiée donc les chaînes linéaires ne sont pas admises ici.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom	Classe
$C_5H_{12}O$	$H_3C-CH_2-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH}-CH_2-OH$	2-méthylbutan-1-ol	alcool primaire
	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C-C-CH_2-CH_3 \\ \\ OH \end{array}$	2-méthylbutan-2-ol	alcool tertiaire
	$H_3C-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH}-CH_2-CH_2-OH$	3-méthylbutan-1-ol	alcool primaire
	$\begin{array}{c} H_3C-CH-CH-CH_3 \\ \quad \\ CH_3 \quad OH \end{array}$	3-méthylbutan-2-ol	alcool secondaire
	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C-C-CH_2-OH \\ \\ CH_3 \end{array}$	2,2-diméthylpropan-1-ol	alcool primaire

Exercice 5

1. Formules semi-développées possibles et noms correspondant à ce produit.

La réaction d'un acide carboxylique sur un alcool conduit à un ester (E).

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
ester E $C_4H_8O_2$	$H_3C-CH_2-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-CH_3$	propanoate de méthyle
	$H_3C-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-CH_2-CH_3$	éthanoate d'éthyle
	$H-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-CH_2-CH_2-CH_3$	méthanoate de butyle
	$H-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-\underset{\underset{CH_3}{ }}{CH}-CH_3$	méthanoate de méthyléthyle

2. Formules semi-développées et noms de A, E, X, Y et Z.

En faisant réagir l'ammoniac sur l'acide organique X, on obtient un carboxylate d'ammonium Y. Celui-ci par chauffage, se déshydrate. On obtient un composé Z de formule C_3H_7ON . Donc Z est un amide. De plus Z dérive de l'acide carboxylique X d'où X a aussi trois atomes de carbone : c'est l'acide propanoïque. Ainsi d'après le tableau ci-dessus, l'ester E qu'on peut obtenir à partir de l'acide propanoïque est le propanoate de méthyle. Donc l'alcool A est le méthanol.

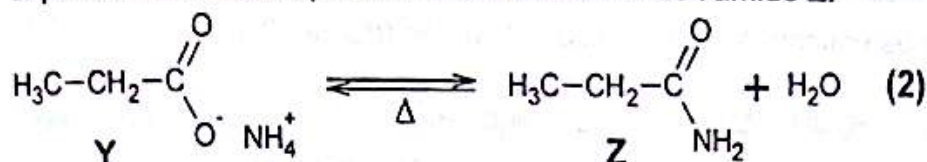
Composé	Formule semi-développée	Nom	Famille
A	CH_3-OH	méthanol	alcool
E	$H_3C-CH_2-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-CH_3$	propanoate de méthyle	ester
X	$H_3C-CH_2-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH$	acide propanoïque	acide carboxylique
Y	$H_3C-CH_2-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O^- NH_4^+$	propanoate d'ammonium	carboxylate d'ammonium
Z	$H_3C-CH_2-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-NH_2$	propanamide	amide

3. Equation-bilan de la transformation de l'acide organique en carboxylate d'ammonium.

La réaction entre un acide carboxylique et l'ammoniac est une réaction lente et limitée (double flèche) qui se déroule en deux étapes (1) et (2).



Equation-bilan correspondante à la formation de l'amide Z.



4. Déterminons la masse de carboxylate d'ammonium utilisée.

Soit r le rendement de la réaction 2. D'après l'équation-bilan de cette réaction on a :

$$r = \frac{n_z}{n_y} \Rightarrow n_y = \frac{n_z}{r} \Rightarrow \frac{m_y}{M_y} = \frac{m_z}{r \times M_z} \Rightarrow m_y = \frac{m_z \times M_y}{r \times M_z}$$

$$\text{Application numérique : } m_y = \frac{14,6 \times (3 \times 12 + 9 + 2 \times 16 + 14)}{0,85 \times (3 \times 12 + 7 + 16 + 14)} = \underline{21,41 \text{ g}}$$

Exercice 6 (extrait Bac C & E Session Normale 2001 Côte d'Ivoire)

1. (A) est un monoacide carboxylique de masse molaire moléculaire 60 g/mol.

1.1. Détermination de la formule brute de (A).

La formule brute d'un monoacide carboxylique à chaîne carbonée saturée est $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$.

$$\Rightarrow M_A = M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2) = 12n + 2n + 2 \times 16 = 14n + 32.$$

$$\Rightarrow 14n + 32 = 60 \Rightarrow n = \frac{60 - 32}{14} = 2$$

donc la formule brute de A est $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$

1.2. Donnons sa formule semi-développée et son nom.

Composé	Formule brute	Formule semi-développée	Nom
A	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{O}}{\overset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OH}$	acide éthanoïque

2. Après l'analyse du schéma réactionnel, déterminons :

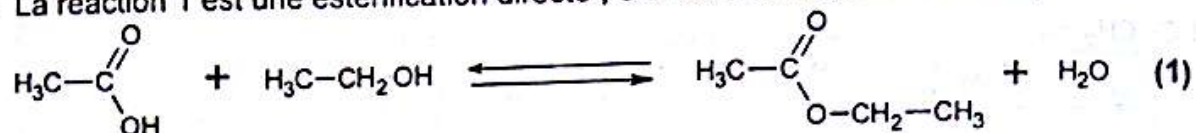
2.1. la formule semi-développée et le nom des composées (B), (C), (D), (E) et (F).

- L'acide éthanoïque (A) réagit avec l'agent déshydratant P_4O_{10} (réaction 3) pour donner un anhydride : l'anhydride éthanoïque (B).
- L'acide éthanoïque (A) réagit avec les agents chlorurants PCl_5 ou SOCl_2 (réaction 2) pour donner un chlorure d'acyle : le chlorure d'éthanoyle (C).
- L'acide éthanoïque (A) réagit avec l'ammoniac NH_3 (réaction 4) pour donner un amide : l'éthanoamide (D).
- L'acide éthanoïque (A) réagit avec l'éthanol (réaction 1) pour donner un ester : l'éthanoate d'éthyle (E). Ce dernier peut aussi être obtenu en faisant agir le chlorure d'éthanoyle (C) sur l'éthanol (réaction 5).
- L'éthanoate d'éthyle (E) réagit avec la soude (réaction 6) pour donner l'éthanol et un carboxylate de sodium : l'éthanoate de sodium (F).

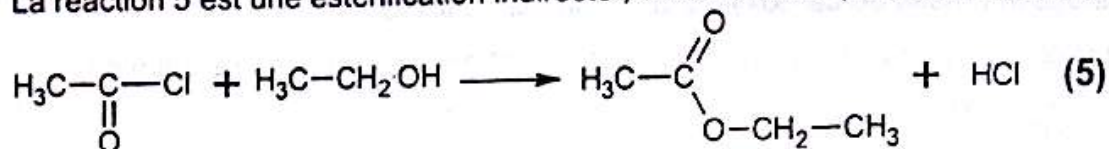
Voir tableau ci-après pour les formules semi-développées des composées.

2.2. Équation-bilan de chacune des réactions 1 et 5.

➤ La réaction 1 est une estérification directe ; elle est limitée (double flèche).



➤ La réaction 5 est une estérification indirecte ; elle est totale (une seule flèche).

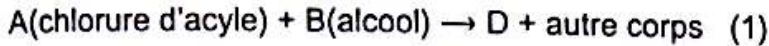


2.3. Donnons le nom et les caractéristiques des réactions 1 et 5.

- La réaction 1 est une estérification directe ; elle est lente, limitée et athermique.
- La réaction 5 est une estérification indirecte ; elle est rapide, totale et exothermique.

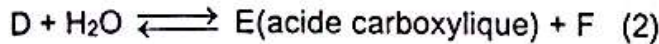
Tableau récapitulatif des formules semi-développées des composés.

Composé	Nom	Formule semi-développée	Fonction chimique
B	anhydride éthanoïque	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	Anhydride d'acide
C	chlorure d'éthanoyle	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl}$	Chlorure d'acyle
D	éthanamide	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$	Amide
E	éthanoate d'éthyle	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Ester
F	éthanoate de sodium	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}^- \text{Na}^+$	Carboxylate de sodium

Exercice 7 (extrait Bac D session normale 2009 Côte d'Ivoire)**1. Détermination de l'autre corps****1.1. Nom et formule**

Il s'agit de la réaction d'estérification à partir d'un chlorure d'acyle. Les produits obtenus sont un ester et un chlorure d'hydrogène. L'autre corps est donc le chlorure d'hydrogène HCl.

1.2. Caractéristiques de cette réaction chimique : totale, rapide et exothermique.

2. Détermination du composé E**2.1. Formule semi-développée**

E est un acide carboxylique de formule générale $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2 \Rightarrow M_E = M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2) = 14n + 32$

$$\text{Par ailleurs, } M_E = \frac{1600z}{\%O} = \frac{1600 \times 2}{53,3} = 60 \text{ g/mol} \Rightarrow 14n + 32 = 60 \Rightarrow n = \frac{60 - 32}{14} = 2$$

La formule brute de E est donc $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$. Sa formule semi-développée est $\text{CH}_3\text{-COOH}$.

2.2. Nom de E : c'est l'acide éthanoïque (ou acide acétique).

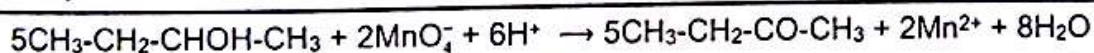
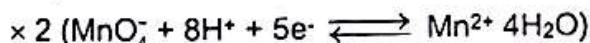
2.3. Formule brute de F : d'après (2), F est un alcool de formule générale $\text{C}_{n'}\text{H}_{2n'+2}\text{O}$;

n' = nombre d'atome de carbone de D - $n = 6 - 2 = 4$. Donc sa formule brute est $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$

3. Détermination de F, G et D**3.1. Formule semi-développée, nom et famille de F (Voir tableau ci-dessous)**

➤ Le produit d'oxydation G de F ne réagit pas avec la solution de nitrate d'argent ammoniacal donc G est une cétone. Donc sa formule brute $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$.

➤ L'oxydation ménagée de F donne une cétone donc F est un alcool secondaire.

3.2. Formule semi-développée et nom de G : c'est la butanone ou butan-2-one.**3.3. Équation de la réaction de l'ion permanganate sur le corps F.****3.4. Formule semi-développée, fonction chimique et nom de D**

D'après les équations-bilan (1) et (2), D est un ester : l'éthanoate de 1-méthylpropyle.

Tableau récapitulatif des formules semi-développées et noms

Composé	Formule semi-développée	Nom	Famille
F	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	butan-2-ol	Alcool
G	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	butanone	Cétone
D	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	éthanoate de 1-méthylpropyle	Ester

Exercice 8 (extrait Bac D session normale 2004)

1. Valeurs de x et de y, puis famille de l'hydrocarbure

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\%C \times M}{1200} = \frac{85,7 \times 56}{1200} = 4 \\ y &= \frac{\%H \times M}{100} = \frac{14,3 \times 56}{1200} = 8 \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_4H_8$$

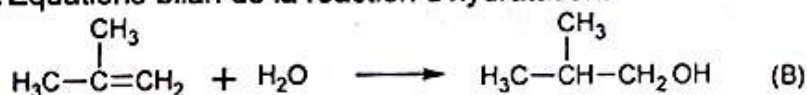
L'hydrocarbure étudié appartient à la famille des alcènes car sa formule brute respecte la formule générale des alcènes C_nH_{2n} .

2. Formules semi-développées possibles et noms : recenser les alcènes de formule brute C_4H_8

Formule semi-développée	$CH_3-CH_2-CH=CH_2$	$CH_3-CH=CH-CH_3$	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C-C=CH_2 \end{array}$
Nom	but-1-ène	but-2-ène	2-méthylpropène ou méthylpropène

3.

3.1. Equations-bilan de la réaction d'hydratation.



On obtient un alcool primaire et un alcool tertiaire. Le produit majoritaire est l'alcool tertiaire car cette classe est supérieure à la classe primaire. Par conséquent le produit (A) (qui est majoritaire) est l'alcool tertiaire et (B) est l'alcool primaire.

3.2. Nom des produits (A) et (B)

(A) : 2-méthylpropan-2-ol ou méthylpropan-2-ol ;

(B) : 2-méthylpropan-1-ol ou méthylpropan-1-ol.

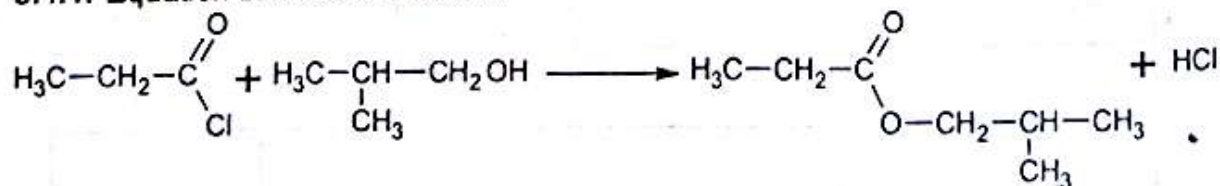
3.3. Donnons la famille, la formule semi-développée et le nom de (B').

(B') réagit positivement avec la liqueur de Fehling donc c'est un aldéhyde.

Famille de B'	Formule semi-développée de B'	Nom de B'
Aldéhyde	$\begin{array}{c} O \\ \\ H_3C-CH-C \\ \quad \\ CH_3 \quad H \end{array}$	2-méthylpropanal ou méthylpropanal

3.4. On fait réagir le 2-méthylpropan-1-ol et le chlorure de propanoyle

3.4.1. Equation bilan de la réaction



3.4.2. Nom et caractéristiques de la réaction.

C'est une estérification indirecte. Elle est rapide, totale et exothermique.



Pierre Jean Robiquet
(né à Rennes le 14 janvier 1780 et mort à Paris le 29 avril 1840)
Chimiste Français

Il est l'auteur d'avancées fondatrices dans l'identification des acides aminés, avec la reconnaissance du premier d'entre eux l'asparagine, dans l'émergence de l'industrie des colorants industriels, avec l'identification de l'alizarine, et de l'élaboration des médicaments de synthèse, avec l'identification de la codéine.

Collaborateur de Louis-Nicolas Vauquelin, en 1805, il participe à l'obtention, à partir des asperges, dont les propriétés diurétiques sont connues depuis longtemps, de l'asparagine, substance qui en est le principe actif et le tout premier des acides aminés identifiés dans les tissus vivants, dont l'obtention fixa l'attention des chimistes par la limpidité et la beauté de ses cristaux.

ACIDES α -AMINÉS ET PROTEINES

Objectif spécifique

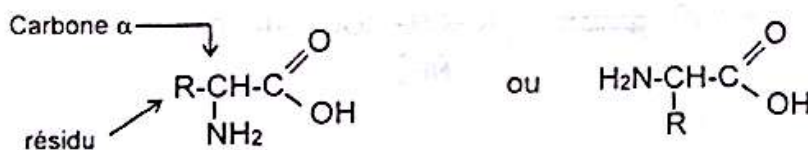
- Connaître la formule générale des acides α -aminés (nomenclature et nom usuel).

RAPPEL DE COURS

1.) PRESENTATION

1.1) Définition

Un acide aminé (ou aminoacide) est un composé comportant à la fois une fonction acide carboxylique (-COOH) et une fonction amine (-NH₂). L'acide est dit α -aminé lorsque la fonction amine est portée par l'atome C lié à la fonction acide carboxylique. Sa formule est :



1.2) Différents acides α -amines

Certains acides α -amines (Gly, Ala, ...) sont synthétisés par l'organisme ; d'autres (Phe, ...) doivent être apportés par l'alimentation : ils sont dits essentiels.

Il existe vingt principaux acides α -amines.

1.3) Nomenclature

Deux types de nomenclature sont utilisés :

- la nomenclature systématique en considérant que le groupe -NH₂ est un substituant appelé groupe amino ;
- la nomenclature avec les noms courants ou usuels.

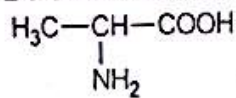
EXERCICES RESOLUS**Exercice 1**

Un acide α -aminé A a pour formule moléculaire brute $C_3H_7O_2N$.

- Donner sa formule développée et son nom.
- On élimine une molécule de dioxyde de carbone de A par chauffage.
On obtient alors une amine B.
 - Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
 - Préciser la formule semi-développée de l'amine B obtenue, sa classe et son nom.

Exercice 2

1) L'alanine est un acide α -aminé de formule :

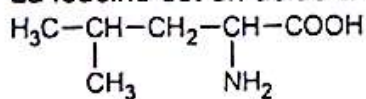


Donner le nom de l'alanine en nomenclature officielle.

- Une solution d'alanine contient 3 espèces chimiques en équilibre, provenant de l'alanine.
 - Ecrire les formules semi-développées de chacune d'elles et préciser le couple acide/base introduit.
 - Les « pKa de l'alanine » sont $pK_{a1} = 2,3$ et $pK_{a2} = 9,9$.
Attribuer ces valeurs aux couples acide/base de l'alanine. Justifier votre réponse.
 - Quelle est l'espèce prépondérante à $\text{pH} = 2$ et à $\text{pH} = 11$?
- La condensation d'une molécule d'alanine et d'une molécule de glycine (acide 2-amino-éthanoïque) conduit à un dipeptide.
 - Ecrire l'équation de la condensation qui conduit au dipeptide dont le groupement carboxyle libre est celui de l'alanine.
 - Quel est le type particulier de liaison dans ce dipeptide ?

Exercice 3 (extrait Bac séries S2, S2A, S4 et S5 2010 Sénégal)

1. La leucine est un acide α -aminé de formule semi-développée :

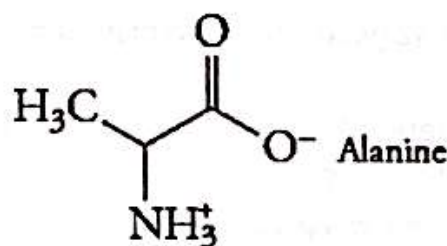
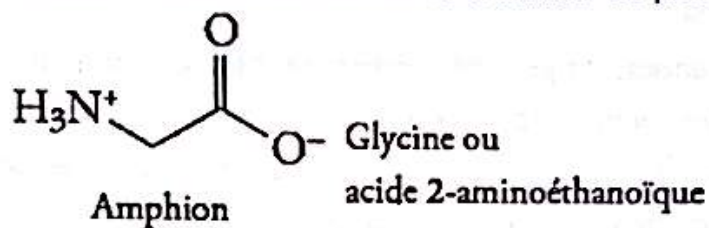
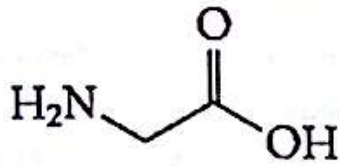


- Donner, en nomenclature systématique, le nom de la leucine.
 - Ecrire la formule semi-développée de l'amphion correspondant à la molécule de la leucine.
- On fait réagir la leucine avec un acide α -aminé A de formule :

$$\begin{array}{c} \text{R}-\text{CH}-\text{CO}_2\text{H} \\ | \\ \text{NH}_2 \end{array}$$
 où R est un radical alkyle ou un atome d'hydrogène.
 Dans cette réaction la leucine est N-terminale (son groupement amine est bloqué).
 On obtient un dipeptide P dont la masse molaire est égale à $188 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
 - Ecrire l'équation-bilan de la réaction de condensation qui se produit.
 - Déterminer R puis la formule semi-développée et le nom de l'acide α -aminé A.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT**Exercice 1** : Étude d'acides aminés

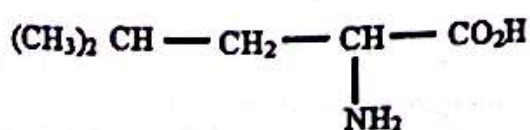
La glycine, ou acide 2-amino éthanoïque, et l'alanine sont les acides α -aminés les plus simples.



1. Identifier les groupes caractéristiques présents sur ces deux molécules.
2. En solution aqueuse, il se forme presque exclusivement un ion dipolaire, appelé amphion ou zwitterion (représenté dans le tableau précédent).
 - 2.1. Définir un acide et une base selon Brønsted.
 - 2.2. Quel est l'acide conjugué de cet amphion (on donne $\text{pK}_{\text{A}1} = 9,9$) ?
Écrire alors l'équation de la réaction de cet amphion avec l'eau.
Quel est ici le rôle de l'eau ? Celui de l'amphion ?
 - 2.3. Quelle est la base conjuguée de cet amphion (on donne $\text{pK}_{\text{A}2} = 2,3$) ?
Écrire alors l'équation de la réaction de cet amphion avec l'eau.
Quel est ici le rôle de l'eau et celui de l'amphion ?
 - 2.4. Comment peut-on qualifier cet amphion ?
3. Les valeurs des pK_{A} des couples acido-basiques sont $\text{pK}_{\text{A}1} = 2,3$ et $\text{pK}_{\text{A}2} = 9,9$.
 - 3.1. Sur un axe, indiquer les domaines de prédominance de chaque couple de l'alanine.
 - 3.2. On acidifie la solution aqueuse de l'alanine, on obtient un pH de 2. Quelle est l'espèce majoritaire ? Que se passe-t-il si la solution a un pH = 6, un pH = 11 ?

Exercice 2 (extrait Bac séries S1 et S3 session 2002 Sénégal)

1) La leucine est un composé organique de formule semi-développée :



Préciser la nature de ce composé et donner son nom en nomenclature systématique.

2) On fait réagir la leucine avec un acide α -aminé

On obtient un dipeptide dont la masse molaire est égale à 202 g/mol.

2.1. Déterminer la formule semi-développée et donner le nom systématique de cet acide α -aminé.

2.2. Préciser, en justifiant, le nombre de dipeptides que le mélange des acides, ci-dessus cités, permet d'obtenir (les formules ne sont pas demandées).

3) On veut synthétiser uniquement le dipeptide pour lequel la leucine est l'acide N-terminal (son groupement amine est bloqué).

Préciser les différentes étapes de cette synthèse et nommer le dipeptide obtenu.

On donne : H = 1 g/mol ; C = 12 g/mol ; N = 14 g/mol ; O = 16 g/mol.

Exercice 3 (extrait Bac séries S2, S2A, S4 et S5 2012 Sénégal)

Les acides α -aminés jouent un rôle important dans la vie, en particulier en biochimie. Ce sont les éléments constitutifs des protéines.

1) L'acide α -aminé A, de formule semi-développée $\text{CH}_3\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}(\text{NH}_2)\text{-CO}_2\text{H}$ fait partie des vingt principaux acides α -aminés des organismes vivants.

Donner, dans la nomenclature officielle, le nom de l'acide α -aminé A.

2) On réalise la réaction de condensation d'un acide α -aminé B de formule semi-développée $\text{R-CH}(\text{NH}_2)\text{-CO}_2\text{H}$ sur l'acide α -aminé A (R est un radical alkyl ou un atome d'hydrogène). On ne tiendra pas compte, dans cette question, de l'isomérisation optique et on ne considèrera que les réactions possibles entre A et B.

2.1. Combien de dipeptides peut-on alors obtenir ?

Ecrire les équations des réactions mises en jeu.

2.2. Encadrer la liaison peptidique pour chaque dipeptide obtenu.

2.3. Sachant que chaque dipeptide a une masse molaire $M = 174 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, déterminer la formule semi-développée et le nom de l'acide α -aminé B.

3) L'acide α -aminé B ressemble beaucoup, quand il est pur, à un corps à structure ionique. Il se présente en effet sous la forme d'un ion bipolaire (amphion ou zwitterion).

3.1. Ecrire la formule semi développée de cet ion bipolaire.

3.2. Justifier son caractère amphotère.

3.3. En déduire les couples acide/base qui lui sont associés.

3.4. Les pK_a de ces couples acide/base ont pour valeur $\text{pK}_{a1} = 2,3$ et $\text{pK}_{a2} = 9,8$.

a) Associer à chaque couple acide/base un pK_a .

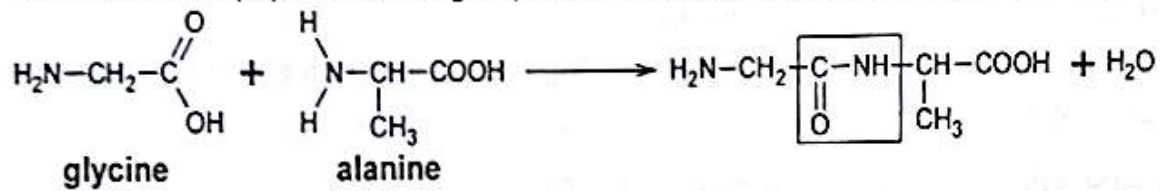
b) Compléter le diagramme ci-dessous en y indiquant les espèces acido-basiques majoritaires de l'acide α -aminé B pour chaque domaine de pH.



3) La condensation d'une molécule d'alanine et de celle de glycine conduit à un dipeptide.

3.1. Equation de la condensation.

On obtient un dipeptide dont le groupement carboxyle libre est celui de l'alanine.



3.2. Type particulier de liaison dans ce dipeptide.

C'est la liaison peptidique (liaison encadrée).

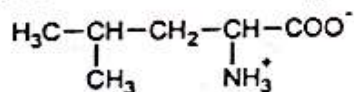
Exercice 3 (extrait Bac séries S2, S2A, S4 et S5 2010 Sénégal)

1. La leucine est un acide α -aminé

1.1. Donnons, en nomenclature systématique, le nom de la leucine.

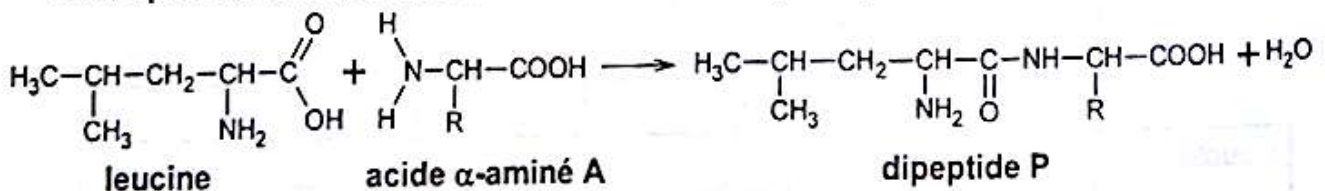
Formule semi-développée	Nom
$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \qquad \\ \text{CH}_3 \qquad \text{NH}_2 \end{array} $	acide 2-amino-4-méthylpentanoïque

1.2. Formule semi-développée de l'amphion correspondant à la molécule de la leucine.



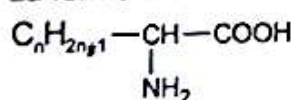
2. On fait réagir la leucine avec un acide α -aminé A.

2.1. Equation-bilan de la réaction de condensation qui se produit.



2.2. Déterminons R puis la formule semi-développée et le nom de l'acide α -aminé A.

La formule de l'acide α -aminé inconnu est la suivante :



$M_{\text{dipeptide}} = M(\text{leucine}) + M(\text{acide } \alpha\text{-aminé A}) - M(\text{H}_2\text{O})$; avec :

- $M(\text{leucine}) = 2 \times 15 + 13 + 14 + 13 + 16 + 12 + 2 \times 16 + 1 = 131 \text{ g/mol}$
- $M(\text{acide } \alpha\text{-aminé A}) = 14n + 1 + 13 + 16 + 12 + 2 \times 16 + 1 = 14n + 75$
- $M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times 1 + 16 = 18 \text{ g/mol}$

$$\Rightarrow M_{\text{dipeptide}} = 131 + 14n + 75 - 18 = 14n - 188 = 188 \text{ g/mol}$$

$$\Rightarrow 14n + 188 = 188 \Rightarrow n = 0 \text{ donc } \text{R} = \text{H} \text{ (atome d'hydrogène).}$$

L'acide α -aminé A est donc $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$: acide 2-aminoéthanoïque ou glycine.

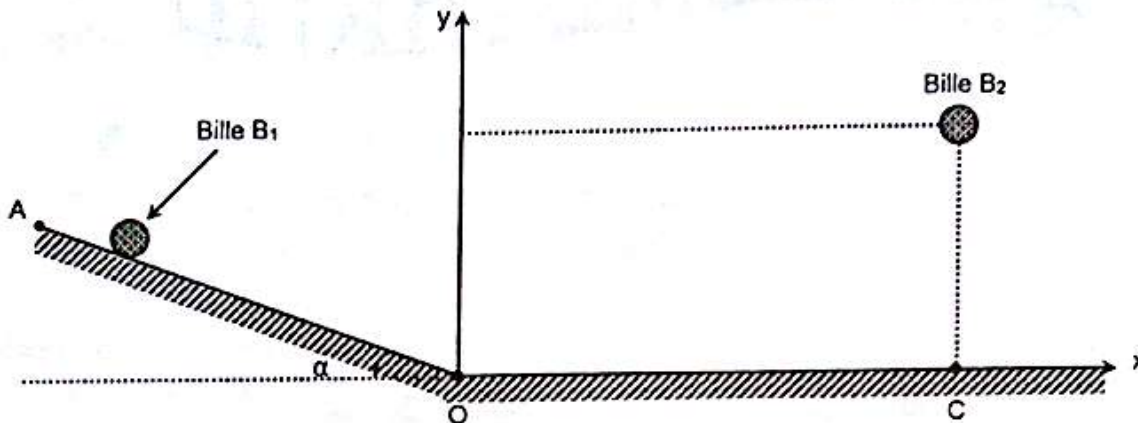
DEUXIEME PARTIE

Le top 10 : 10 sujets de Bac entièrement résolus

Numéro de l'épreuve	Année de l'épreuve	Enoncé	Correction
Sujet 1	Bac D 2010	378 à 381	422 à 428
Sujet 2	Bac D 2011	382 à 385	429 à 437
Sujet 3	Bac D 2012	386 à 389	438 à 444
Sujet 4	Bac D 2013	390 à 393	445 à 450
Sujet 5	Bac D 2014	394 à 399	451 à 458
Sujet 6	Bac D 2015	399 à 403	459 à 465
Sujet 7	Bac D 2016	404 à 407	466 à 472
Sujet 8	Bac C & E 2014	408 à 412	473 à 479
Sujet 9	Bac C & E 2015	413 à 417	480 à 487
Sujet 10	Bac C & E 2016	418 à 421	488 à 495

SUJET 1 : BAC SERIE D SESSION NORMALE 2010

Exercice 1



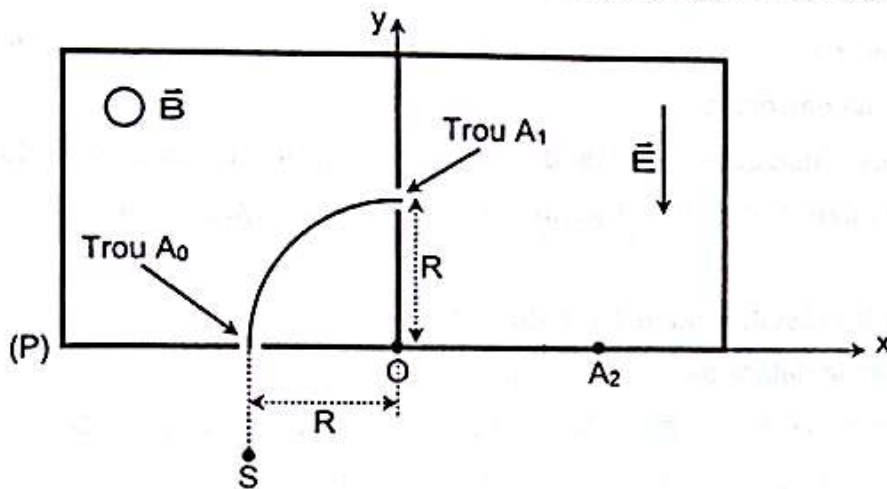
Une bille B_1 supposée ponctuelle, de masse m_1 , est abandonnée sans vitesse initiale en A. Elle glisse alors sur la piste AOC représentée par la figure ci-dessus.

On donne : $m_1 = 100 \text{ g}$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; $\alpha = 30^\circ$; $OA = 1 \text{ m}$; $f = 0,3 \text{ N}$.

- 1- Lors du parcours AO, la bille B_1 est soumise à une force de frottement \vec{f} .
 - 1.1. Faire l'inventaire des forces qui agissent sur la bille B_1 .
 - 1.2. Représenter ces forces sur un schéma.
 - 1.3. Déterminer l'accélération a_1 de la bille B_1 .
 - 1.4. En déduire la nature du mouvement de la bille B_1 .
 - 1.5. Déterminer la valeur de la vitesse v_0 de la bille B_1 à son arrivée au point O.
- 2- Lors du parcours OC, les forces de frottements sont supposées négligeables.
 - 2.1. Faire l'inventaire des forces appliquées sur la bille B_1 .
 - 2.2. Déterminer l'accélération a_1' de la bille B_1 .
 - 2.3. En déduire la nature du mouvement de la bille B_1 .
 - 2.4. Donner la valeur v_C de la vitesse en C.
- 3- A la verticale passant par le point C, à une hauteur $h = 2 \text{ m}$, on accroche une bille B_2 de masse $m_2 = m_1$.
 Au passage de B_1 en O, on lâche sans vitesse initiale la bille B_2 .
 On choisit comme origine des espaces le point O et origine des dates l'instant t où la bille B_1 arrive au point O.
 - 3.1. Déterminer les équations horaires du mouvement de la bille B_1 .
 - 3.2. Déterminer les équations horaires du mouvement de la bille B_2 .
 - 3.3. Déterminer la distance OC pour que les billes B_1 et B_2 se croisent en C.

Exercice 2

Un faisceau de protons est émis en un point S avec une vitesse suffisamment faible pour être négligée. A une certaine distance de S, est disposée une plaque métallique horizontale (P) percée d'un petit trou A_0 , tel que la droite SA_0 soit verticale. (Voir figure ci-dessous).



On établit entre S et P une différence de potentiel $U_0 = V_S - V_P = 250 \text{ V}$.

Le faisceau se déplace dans le vide et on néglige le poids des protons devant les autres forces.

On donne : charge du proton $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; Masse du proton $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

1- Exprimer la vitesse v_0 des protons lorsqu'ils traversent le trou A_0 en fonction de m , e et U_0 .
Calculer sa valeur.

2- Le faisceau pénètre ensuite dans une région où règne un champ magnétique \vec{B} .
Les protons décrivent un quart de cercle de rayon $R = 12 \text{ cm}$ et sortent par le trou A_1 .

2.1. Indiquer sur un schéma le sens du vecteur champ magnétique \vec{B} .

2.2. Exprimer B en fonction de R , m , U_0 et e . Calculer sa valeur.

2.3. Donner les caractéristiques du vecteur vitesse \vec{v}_1 des protons à la traversée du trou A_1 .

3- Le faisceau de protons pénètre en A_1 dans une région où règne un champ électrostatique uniforme \vec{E} parallèle à l'axe Oy . (Voir figure ci-dessus).

3.1. Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées à un proton et les représenter sur un schéma.

3.2. Etablir les équations horaires du mouvement d'un proton. L'origine des espaces est le point O. L'origine des dates est l'instant où le proton arrive en A_1 .

3.3. En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire du proton.

3.4. Donner la nature de la trajectoire des protons.

3.5. Le proton vient frapper enfin la plaque (P) au point A_2 .

Déterminer les coordonnées du point A_2 .

On donne : $E = 5 \cdot 10^3 \text{ V.m}^{-1}$.

Exercice 3

Sali, une élève de terminale D reçoit un flacon contenant une solution limpide S_0 . Son professeur de sciences physiques lui demande d'identifier cette solution. Elle procède aux tests suivants :

Test 1 : elle fait tomber une goutte de solution S_0 sur une flamme de bec bunsen : la flamme devient jaune.

Test 2 : elle verse quelques gouttes de sulfate de cuivre II dans un échantillon de S_0 ; elle observe la formation d'un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II.

1-

1.1. Analyser les résultats du test 1 et du test 2.

1.2. En déduire la nature de la solution S_0 .

2- Koffi, un autre élève de la même classe prélève $v_0 = 5$ mL de solution S_0 . Il la dilue cent(100) fois pour obtenir une solution S_1 de concentration molaire volumique C_1 . Il mesure le pH de S_1 et trouve la valeur 12.

2.1. A partir de la liste de matériel ci-dessous, indiquer la liste des matériels nécessaires à Koffi pour préparer la solution S_1 .

Matériel mis à la disposition de Koffi	
Agitateur magnétique	Eprouvettes graduées
Béchers : 100 mL ; 200 mL	Pipettes : 5 mL ; 10 mL ; 20 mL
Verres à pied	Pissette + eau distillée
Fioles jaugées : 100 mL ; 250 mL ; 500 mL	

2.2. Proposer un mode opératoire à Koffi lui permettant de préparer la solution S_1 .

2.3. S_1 est une solution de base forte.

2.3.1. Calculer la concentration molaire volumique C_1 de S_1 .

2.3.2. En déduire la concentration molaire volumique C_0 de S_0 .

3- Dans le but de déterminer la concentration C_2 d'une solution S_2 d'acide méthanoïque, Koffi dose un volume $v_2 = 10$ mL de S_2 , additionnée de quelques gouttes de phénolphaléine, par une solution S de soude de concentration $C = 10^{-2}$ mol.L⁻¹.

Quand l'indicateur coloré vire au rose, Koffi a versé un volume $v_B = 20$ mL de soude S.

3.1. La valeur du pH à l'équivalence montre que le mélange est basique.

Expliquer pourquoi le mélange est basique.

3.2. Déterminer la concentration molaire volumique C_2 .

4- Sali propose d'étudier la solution d'acide méthanoïque avant le dosage.

Soit la solution initiale constituée uniquement d'acide méthanoïque de concentration $C' = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et de $\text{pH} = 2,9$.

4.1. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans cette solution.

4.2. Calculer la concentration molaire volumique de chaque espèce.

4.3. Déterminer le pK_a du couple acide/base $\text{HCO}_2\text{H}/\text{HCO}_2^-$.

Exercice 4

Un alcool saturé A a pour densité de vapeur par rapport à l'air $d = 2,07$.

1- On désire déterminer sa formule semi-développée.

1.1. Donner la formule générale d'un alcool saturé dont la molécule renferme n atomes de carbone.

1.2. Déterminer la masse molaire moléculaire M_A de l'alcool A.

1.3. Montrer que la formule brute de l'alcool A est $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$.

1.4. Ecrire les formules semi-développées possibles de l'alcool A et les nommer.

2- L'oxydation ménagée de l'alcool A en milieu acide par les ions dichromates $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en défaut donne un composé B. Le composé B donne un précipité jaune avec la 2,4-D.N.P.H. et possède des propriétés réductrices.

2.1. Donner la fonction chimique du composé B.

2.2. En déduire les formules semi-développées et les noms des composés B et A.

2.3. Etablir l'équation-bilan de l'oxydation de A par les ions dichromates $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en milieu acide pour donner le composé B. On donne le couple $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$.

3- L'oxydation ménagée du composé B donne un composé C. Le composé C réagit avec l'éthanol pour donner un ester E.

3.1. Donner la formule semi-développée et le nom du composé C.

3.2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction entre le composé C et l'éthanol.

3.3. Donner les caractéristiques de cette réaction.

3.4. Donner le nom de l'ester E.

On donne : - C : 12 g/mol ;

- H : 1 g/mol ;

- O : 16 g/mol.

SUJET 2 : BAC SERIE D SESSION NORMALE 2011**Exercice 1**

Un circuit électrique comporte en série un générateur basse fréquence (GBF), un résistor de résistance R , un condensateur de capacité C et une bobine d'inductance L et de résistance interne r . On donne $L = 0,1 \text{ H}$.

1- On se propose de mesurer les tensions efficaces U et U_R respectivement aux bornes du dipôle (RLC) et aux bornes du résistor ainsi que l'intensité I du courant dans le circuit.

Faire le schéma du montage avec les différents branchements.

2- Le montage étant fait, on règle le GBF sur la fréquence $N = 159 \text{ Hz}$.

Les mesures effectuées donnent les résultats suivants :

$$U = 4,5 \text{ V} ; U_R = 3,5 \text{ V} \text{ et } I = 0,1 \text{ A.}$$

2.1. Déterminer :

2.1.1. La résistance R du résistor.

2.1.2. L'impédance Z du circuit.

2.2. Sans changer le montage, on se propose de visualiser, à l'aide d'un oscilloscope bicourbe, la tension $u(t)$ aux bornes du circuit RLC sur la voie Y_1 et le courant $i(t)$ dans le circuit sur la voie Y_2 .

2.2.1. Refaire le schéma du montage en indiquant le branchement de l'oscilloscope.

2.2.2. L'oscillogramme obtenu montre que $u(t)$ et $i(t)$ sont en phase.

a) Donner le nom du phénomène observé.

b) Déterminer la résistance r de la bobine et la capacité C du condensateur.

3- La tension U est toujours fixée à $4,5 \text{ V}$ et on impose cette fois la fréquence $N_1 = 100 \text{ Hz}$ au circuit. Pour la suite de l'exercice, on prendra $R = 35 \Omega$ et $r = 10 \Omega$.

3.1. Déterminer :

3.1.1. L'impédance Z_1 du circuit.

$$\text{On donne : } 2\pi L N_1 = 63 \Omega \text{ et } \frac{1}{2\pi C N_1} = 159 \Omega$$

3.1.2. L'intensité I_1 du courant dans le circuit.

3.2. Faire la construction de FRESNEL en utilisant les impédances.

Echelle : $1 \text{ cm} \leftrightarrow 10 \Omega$

3.3. Déterminer :

3.3.1. La phase $\varphi_{u/i}$ de la tension $u(t)$ par rapport à l'intensité $i(t)$.

3.3.2. Le circuit est-il inductif ou capacitif ?

Justifier la réponse.

Exercice 2

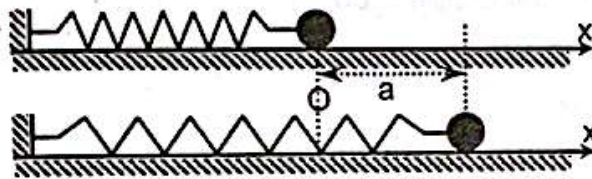
Pour pallier le manque de matériel, le garçon de laboratoire de ton lycée décide de fabriquer sur une table un dispositif d'étude de la chute parabolique. Pour ce faire, il utilise un ressort à spires non jointives, de raideur $k = 25 \text{ N/m}$ et de masse négligeable et une bille B de masse $m = 5 \text{ g}$. Pour tout l'exercice, on prendra le niveau de la table comme niveau de référence des énergies potentielles de pesanteur.

PHASE I : Etude des oscillations

Le garçon de laboratoire accroche la bille B à l'extrémité libre du ressort.

Il l'écarte de sa position d'équilibre de $a = 2 \text{ cm}$ et l'abandonne sans vitesse initiale.

Le système (ressort-bille) se met à osciller.



1-

1.1. Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées à la bille et les représenter sur un schéma

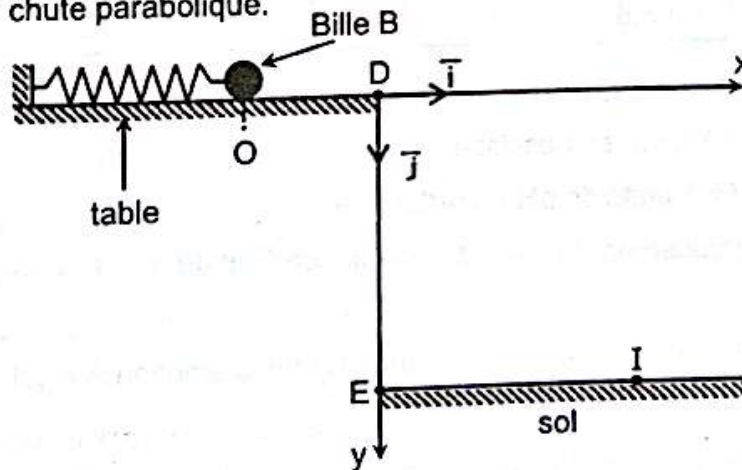
1.2. Etablir l'équation différentielle du mouvement du centre d'inertie de la bille B.

2- Etablir l'équation horaire du mouvement de la bille B.

On prendra l'instant du lâcher comme origine des dates.

3- Calculer l'énergie mécanique du système (Terre-bille B-ressort).

PHASE II : Etude de la chute parabolique.



L'expérience consiste à lancer la bille B posée sur la table à l'aide du ressort précédent et à déterminer son point d'impact I sur le sol. Le garçon de laboratoire met la bille B en contact avec l'extrémité libre du ressort. Le ressort est comprimé de 2 cm et l'ensemble (bille B-ressort) est abandonné sans vitesse initiale. La bille B quitte le ressort au point O et arrive au point D. On négligera tous les frottements.

- 1- Etablir l'expression de la vitesse V_D de la bille B au point D en utilisant la conservation de l'énergie mécanique du système (Terre-bille-ressort).
 - 2- Calculer la valeur de cette vitesse V_D .
 - 3- La bille B quitte le point D avec la vitesse \vec{V}_D horizontale de valeur $V_D = 1,4$ m/s.
 - 3.1. Faire le bilan des forces extérieures appliquées à la bille et les représenter sur un schéma.
 - 3.2. Etablir les équations horaires du mouvement de la bille B dans le repère (D, \vec{i}, \vec{j}) .
 - 3.3. Déduire l'équation cartésienne de la trajectoire et donner sa nature.
 - 3.4.
 - 3.4.1. Déterminer le temps t_I mis par la bille B pour atteindre le sol au point I.
 - 3.4.2. Déterminer les coordonnées du point d'impact I de la bille sur le sol.
- On donne $DE = 1$ m ; $g = 10$ m/s².

Exercice 3

Afin d'identifier un acide carboxylique A, on le dose par une solution aqueuse B d'hydroxyde de sodium (soude) de concentration molaire $C_B = 0,1$ mol/L. On prépare 1 L de solution de A en introduisant une masse $m_A = 4,6$ g dans une fiole jaugée. On prélève dans un bécher un volume $V_A = 30$ mL de solution A que l'on dose par la solution de soude B. Les variations du pH en fonction du volume V_B de soude versée sont données dans le tableau ci-dessous.

$V_B(\text{mL})$	0	5	10	15	20	24	28	30	32	34	36	40
pH	2,4	3,4	3,6	3,7	3,9	4,3	5	5,5	10,9	11,4	11,5	11,6

- 1- Tracer la courbe $\text{pH} = f(V_B)$
Echelles : 1 cm \leftrightarrow 5 mL en abscisse
1 cm \leftrightarrow 1 unité de pH en ordonnée
- 2- Déterminer graphiquement le point d'équivalence E et donner ses coordonnées.
- 3-
 - 3.1. Déterminer la valeur de la concentration C_A de la solution A d'acide.
 - 3.2.
 - 3.2.1. La formule générale brute de l'acide carboxylique A en fonction du nombre n d'atomes de carbone est $C_nH_{2n}O_2$.
Déterminer la masse molaire et la formule brute de l'acide carboxylique.
 - 3.2.2. Donner la formule semi-développée et le nom de l'acide.
 - 3.3. Déterminer graphiquement le pK_a du couple acide carboxylique/ion carboxylate considéré.

4- On considère le mélange pour lequel $V_B = 15 \text{ mL}$ et $\text{pH} = 3,7$.

4.1. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange et calculer leurs concentrations.

4.2. En déduire le pK_a du couple acide carboxylique/ion carboxylate.

4.3. Donner :

4.3.1. La nature du mélange.

4.3.2. Les propriétés du mélange.

Données : C : 12 g/mol

H : 1 g/mol

O : 16 g/mol

Exercice 4

Le propanoate d'éthyle et l'éthanoate de propyle sont deux (02) isomères d'un ester G de formule brute $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$. En séance de travaux pratiques, le professeur de sciences physiques se propose de préparer avec ses élèves, l'un de ces deux isomères.

1- Le professeur met à leur disposition trois (03) flacons ①, ②, ③ contenant respectivement :

- ① Alcool A, le propan-2-ol
- ② Alcool B, le propan-1-ol
- ③ Une solution aqueuse de dichromate de potassium acidifiée.

1.1. Ecrire les formules semi-développées des alcools A et B.

1.2. Les élèves font réagir en excès du dichromate de potassium sur les composés A et B.

Ils obtiennent les composés C et C'.

- Le composé C réagit positivement au test de la DNPH.
- Le composé C' réagit avec le bleu de Bromothymol (BBT) pour donner une coloration jaune.

1.2.1. Donner la famille des composés C et C'

1.2.2. Donner les formules semi-développées des composés C et C'.

2- En plus des composés C et C' précédents, le professeur leur donne deux (02) autres flacons contenant l'un de l'éthanol (E) et l'autre du chlorure de propanoyle (F). Une bonne combinaison des composés C, C', E et F permet de préparer l'ester G.

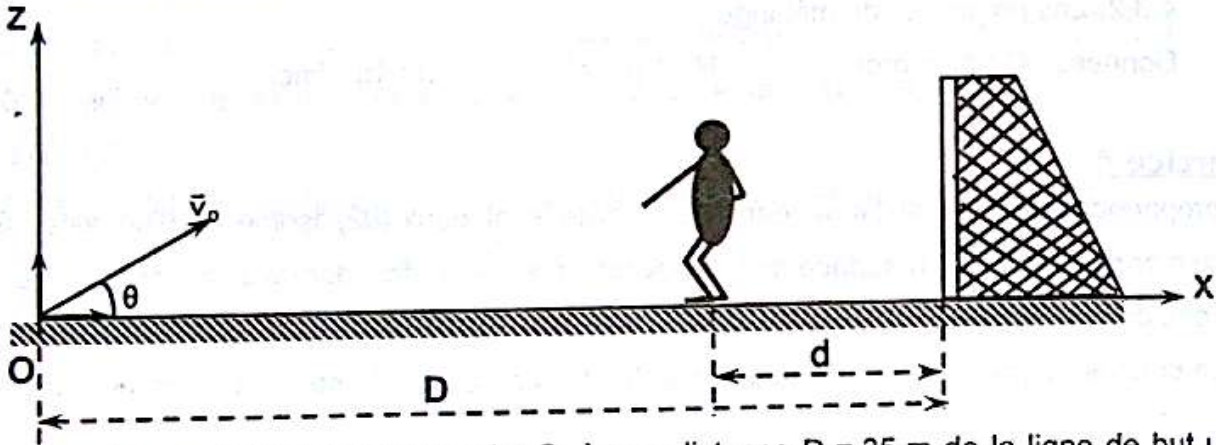
2.1. Ecrire les formules semi-développées des composés E et F.

2.2. Donner les noms des composés que les élèves peuvent utiliser pour préparer l'ester G.

2.3. Ecrire les équations bilans des réactions qui donnent l'ester G, à partir des composés de la question 2.2.

SUJET 3 : BAC SERIE D SESSION NORMALE 2012**Exercice 1**

Les forces de frottement dues à l'air sont négligées et le ballon est assimilé à un point matériel de masse m . Au cours d'une phase de jeu de football, Bilé, un attaquant, voyant la position avancée du gardien de but adverse, tente de marquer le but en lobant ce dernier. Le gardien de but se trouve à une distance $d = 5$ m de la ligne de but.



Bilé communique au ballon placé au point O , à une distance $D = 35$ m de la ligne de but une vitesse dont la direction fait un angle θ avec le plan horizontal. On prendra comme origine des dates l'instant où Bilé frappe le ballon et comme origine des espaces le point O .

1. Etablir les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ en fonction de v_0 , g et θ du mouvement du centre d'inertie G du ballon dans le repère (O, \vec{i}, \vec{k}) .
2. Faire l'application numérique.
3. En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire et donner sa nature.
4. Déterminer :
 - 4.1. la date t_1 à laquelle le ballon arrive sur la ligne de but.
 - 4.2. la hauteur h par rapport au sol à cette date t_1 .
5. A la date $t = 0$ où Bilé frappe le ballon, un défenseur de l'équipe du gardien qui se trouvait sur la même ligne que lui à la distance d de la ligne de but, s'élance sans vitesse initiale vers les buts avec une accélération $a = 3$ m/s². Il voudrait empêcher le but. Pour cela, il faut qu'il arrive avant le ballon sur la ligne de but. Son mouvement est rectiligne suivant l'axe (Ox) .
 - 5.1. Montrer que l'équation horaire du mouvement du centre d'inertie du défenseur selon l'axe (Ox) est : $x(t) = 1,5t^2 + 30$.
 - 5.2. Déterminer la date t_2 à laquelle le défenseur arrive sur la ligne de but.
 - 5.3. Le but est-il marqué ? Justifier votre réponse.

Données : $g = 10$ m.s⁻² ; $\theta = 30^\circ$; $v_0 = 21$ m.s⁻¹ ; $D = 35$ m ; $d = 5$ m.

Exercice 2

Des élèves d'une classe de terminale scientifique désirent déterminer l'inductance L et la résistance r d'une bobine. Pour ce faire, ils appliquent aux bornes de la bobine une tension alternative sinusoïdale $u = 12\sqrt{2}\cos(100\pi.t + 0,92)$, délivrée par un générateur basses fréquences (GBF). Un ampèremètre branché dans un circuit électrique indique la valeur efficace $I = 1,2$ A de l'intensité du courant électrique.

1. Donner les valeurs de :
 - 1.1. la tension efficace U du GBF ;
 - 1.2. la pulsation ω du GBF ;
 - 1.3. la phase $\varphi_{u/i}$ de la tension par rapport à l'intensité i du courant électrique.
2. Calculer l'impédance Z du dipôle.
3.
 - 3.1. Rappeler les expressions de $\cos\varphi$ (facteur de puissance) et de $\tan\varphi$.
 - 3.2. Déterminer les valeurs de :
 - 3.2.1. la résistance r de la bobine ;
 - 3.2.2. l'inductance L_{exp} de la bobine.
(On prendra $\varphi = 52,7^\circ$).
4. Ils veulent obtenir le phénomène de la résonance d'intensité du courant électrique en insérant dans le circuit électrique un condensateur de capacité C afin de déterminer la valeur du facteur de qualité Q du circuit rLC ainsi constitué.
 - 4.1. Déterminer la valeur de la capacité C du condensateur.
 - 4.2. Pour la suite de l'exercice, on prendra $C = 400 \mu\text{F}$; $r = 6,0 \Omega$.
 - 4.2.1. Déterminer la valeur maximale I_0 de l'intensité efficace dans le circuit.
 - 4.2.2. En déduire la valeur efficace U_C de la tension aux bornes du condensateur.
 - 4.2.3. Calculer le facteur de qualité Q .
5. Le groupe d'élève désire de vérifier par calcul la valeur de l'inductance L de la bobine. Sur la bobine de longueur $\ell = 40$ cm et de section $s = 3,18 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$, ils lisent $N = 500$ spires.
 - 5.1. Donner l'expression de l'inductance L de la bobine en fonction de N , μ_0 , ℓ et s .
 - 5.2. Calculer la valeur de l'inductance L_{th} de la bobine.
 - 5.3. Comparer les deux valeurs de L .

Donnée : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI.

Exercice 3

Dans cet exercice, toutes les solutions sont prises à 25°C.

Dans le laboratoire de chimie du lycée, votre professeur constate qu'une bouteille contenant une solution aqueuse d'une base B, a perdu son étiquette. Afin de ranger la bouteille dans le bon casier, le professeur vous demande de déterminer le nom et la concentration de cette base. Pour cela, il réalise un dosage pH-métrique d'un volume $V_b = 10$ mL de la solution précédente, par une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire volumique $C_a = 10^{-1}$ mol/L. Les résultats obtenus lors du dosage figurent dans le tableau :

V_a (mL)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	11,9	11,5	11,2	11,0	10,9	10,8	10,7	10,5	10,3	10,1

V_a (mL)	10	11	11,5	12	12,5	13	14	15	18	20
pH	9,9	9,5	9,2	5,9	2,7	2,3	2,1	1,9	1,6	1,5

1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction entre la base et l'acide chlorhydrique (le candidat notera l'acide conjugué de la base B : BH^+).
2. Tracer, sur le papier millimétré, la courbe $pH = f(V_a)$.
Echelles : 1 cm pour 2 mL et 1 cm pour 1 unité de pH.
3. Déterminer graphiquement le point d'équivalence E (V_{aE} ; pH_E).
4. En déduire que B est une base faible en justifiant votre réponse.
5. Calculer la concentration molaire volumique C_b de la solution aqueuse basique.
6.
 - 6.1. Déterminer graphiquement le pK_a du couple acide-base BH^+/H .
 - 6.2. En déduire le K_a .
 - 6.3. Identifier la base B en utilisant le tableau suivant :

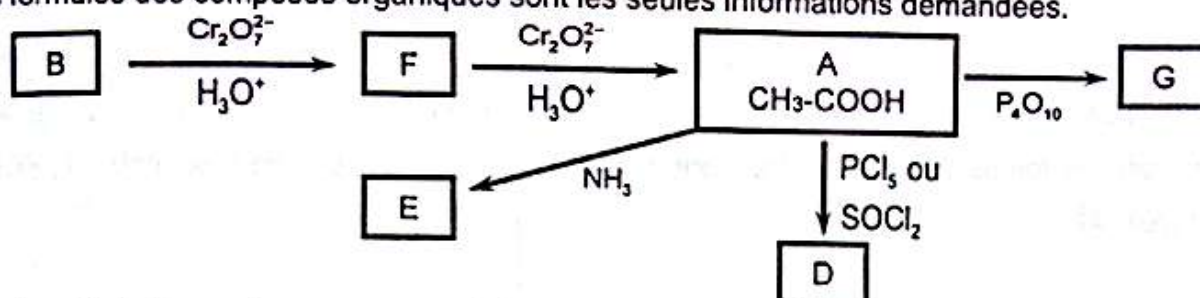
Base	Diméthylamine	Ethylamine	Méthylamine
K_a	10^{-11}	$1,6 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-11}$

- 6.4. Quelles indications doit-on porter sur l'étiquette de la solution de base B ?
- 6.5. Donner le nom et la formule de l'acide conjugué de la base B.
- 6.6. Pour $V_a = 5$ mL d'acide versé :
 - 6.6.1. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange ;
 - 6.6.2. Calculer les concentrations molaires volumiques de ces espèces chimiques et retrouver la valeur du pK_a déterminé graphiquement.

Exercice 4

Cet exercice comporte deux parties indépendantes.

1^{ère} partie : Dans cet organigramme, les réactifs utilisés sont notés sur les flèches. Les noms et les formules des composés organiques sont les seules informations demandées.



1. A partir de l'organigramme, reproduire le tableau suivant et le compléter.

Composés	Formule semi-développée	Nom	Groupe fonctionnel
B			
F			
G			
D			
E			

2. Pour obtenir le produit (B), il faut ajouter de l'eau à un alcène en milieu acide sulfurique.

2.1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction et nommer l'alcène.

2.2. Comment appelle-t-on la réaction chimique entre l'alcène et l'eau ?

3. L'oxydation ménagée du composé B par une solution de dichromate de potassium en milieu acide conduit au composé F.

3.1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction chimique entre le composé B et l'ion dichromate ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$).

3.2. Déterminer le volume V_0 de la solution oxydante de dichromate de potassium de concentration molaire volumique $C_0 = 1 \text{ mol.L}^{-1}$ nécessaire pour oxyder une masse $m = 0,20 \text{ g}$ de B. Données : $M_C = 12 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_O = 16 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_H = 1 \text{ g.mol}^{-1}$.

2^{ème} Partie :

Un chimiste obtient un composé organique unique à partir de deux (2) réactions chimiques :

- l'acide éthanoïque sur l'éthanol ;
- le chlorure d'éthanoyle sur l'éthanol.

1. Ecrire les deux équations-bilans et nommer le composé organique obtenu.

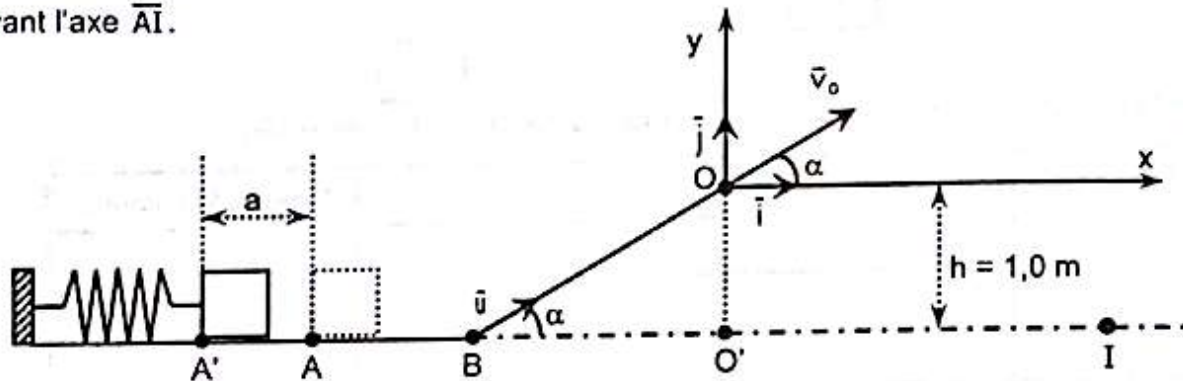
2. Donner le nom de la réaction chimique de l'acide éthanoïque sur l'éthanol et préciser ses caractéristiques.

3. Répondre aux mêmes questions pour la réaction du chlorure d'éthanoyle sur l'éthanol.

SUJET 4 : BAC SERIE D SESSION NORMALE 2013**Exercice 1**

Un jeu d'enfant consiste à lancer un palet d'un lanceur. Le Palet doit atterrir dans un réceptacle placé sur le sol horizontal en un point I tel que $O'I = 1,10$ m.

Le lanceur constitué d'un ressort à spires non jointives et de constante de raideur $k = 125 \text{ N.m}^{-1}$ permet de communiquer au palet de masse $m = 50 \text{ g}$, une vitesse v_A au point A. (Voir figure). On négligera les forces de frottements. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est prise suivant l'axe \overline{AI} .

**1- Etude énergétique**

Le chef de groupe comprime le ressort d'une distance $a = 10 \text{ cm}$ de sa position initiale A (ressort au repos) et place le palet juste à l'extrémité libre A' du ressort puis le relâche.

1-1. Nommer la forme d'énergie que possède l'ensemble {palet-ressort} au point A' juste avant le relâchement. Donner l'expression de cette énergie.

1-2. Nommer la forme d'énergie que possède le palet au point A lorsque le ressort reprend sa position initiale. Donner l'expression de cette énergie.

1-3. Déterminer alors la vitesse du palet en A.

2- Etude du mouvement du centre d'inertie du palet sur BO.

Le palet aborde en B, la partie inclinée de la piste de lancement avec la vitesse $v_B = 5,0 \text{ m/s}$.

2-1. Faire le bilan des forces appliquées au palet. Les représenter sur un schéma.

2-2. On note $\vec{a} = a \cdot \vec{u}$ le vecteur accélération du centre d'inertie du palet.

Etablir l'expression de l'accélération a .

2-3. En déduire la nature du mouvement du palet sur ce trajet.

3- Etude du mouvement du centre d'inertie G du palet dans le champ de pesanteur uniforme \vec{g}

Le palet arrive au point O, avec une vitesse $v_0 = 2,2 \text{ m.s}^{-1}$. (Voir figure)

3-1. Déterminer les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement du centre d'inertie G du palet dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) .

3-2. En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire.

3-3. Montrer que le palet atterrit dans le réceptacle.

Donnée : $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$; $h = 1,0 \text{ m}$; $\alpha = 30^\circ$.

Exercice 2

Dans le laboratoire de Physique-Chimie, un groupe d'élèves de terminale D découvre une bobine, à section circulaire ayant les caractéristiques suivantes :

- Rayon $R = 2 \text{ cm}$;
- Nombre total de spires $N = 500$ spires;
- Résistance de la bobine $r = 10 \Omega$;
- Longueur de la bobine $\ell = 40 \text{ cm}$;
- Inductance L inconnue.
- On prendra $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$ et $\pi^2 = 10$.

Le groupe désire vérifier la valeur de la résistance interne de la bobine et déterminer son inductance L .

A- Etude théorique

Une bobine peut être considérée comme un solénoïde si $\ell > 10 R$.

1- Justifier que cette bobine est un solénoïde.

2- Ce solénoïde est traversé par un courant électrique d'intensité constante $I = 5 \text{ A}$.

2-1. Donner l'expression de l'intensité du champ magnétique \vec{B} créé au centre du solénoïde en fonction de μ_0 , N , ℓ et I . Calculer sa valeur B .

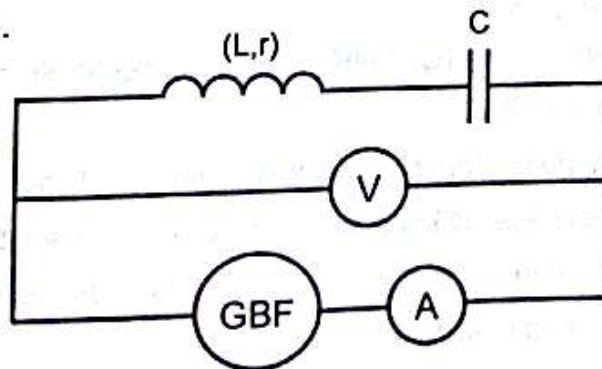
2-2. Sachant que l'inductance théorique de la bobine est $L_{th} = 4\pi^2 \cdot 10^{-7} \frac{N^2 R^2}{\ell}$, calculer la valeur de L_{th} .

B- Etude expérimentale

Afin de confirmer la valeur de la résistance interne r de ce solénoïde, le chef du groupe le monte en série avec un condensateur de capacité $C = 100 \mu\text{F}$.

Le circuit rLC ainsi constitué est alimenté par un générateur de basses fréquences.

(Voir schéma ci-dessous).



Pour une fréquence $f = 500$ Hz, le circuit rLC entre en résonance d'intensité.

Les appareils de mesures indiquent alors : $I_0 = 0,2$ A et $U_0 = 2$ V.

- 1- Citer deux caractéristiques du circuit à la résonance d'intensité.
- 2- Déterminer les valeurs de r et L_{exp} .
- 3- Conclure.

Exercice 3

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques, un professeur de Physique-Chimie demande à un groupe d'élève de déterminer :

- La concentration molaire volumique C_B d'une solution aqueuse d'éthylamine ;
- Le pKa du couple acide/base, $C_2H_5NH_3^+ / C_2H_5NH_2$, par deux méthodes différentes.

1- Détermination expérimentale de la concentration molaire volumique C_B et du pKa

Dans un bêcher, le groupe introduit un volume $V_B = 30$ cm³ d'une solution aqueuse d'éthylamine de concentration molaire C_B inconnue dans laquelle il verse progressivement une solution aqueuse d'acide chlorhydrique de concentration $C_A = 0,10$ mol.L⁻¹ contenue dans une burette.

Les résultats du dosage pH-métrique obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous.

V_A (cm ³)	0	5	9	15	16	17	18	19	20	21	25	30
pH	11,8	11,2	10,8	10,1	9,9	9,5	6,1	2,7	2,4	2,1	1,9	1,7

- 1-1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction de dosage.
- 1-2. Tracer la courbe de variation du pH en fonction du volume V_A d'acide versé ($pH = f(V_A)$).
Echelles : 1 cm pour 2 cm³ et 1 cm pour 1 unité de pH.
- 1-3. Déterminer graphiquement les coordonnées du point d'équivalence E.
- 1-4. En déduire la concentration molaire C_B de la base.
- 1-5. Déterminer graphiquement les coordonnées du point de demi-équivalence F.
- 1-6. Donner le nom de la solution obtenue en ce point et préciser ses propriétés.
- 1-7. En déduire le pKa du couple acide/base $C_2H_5NH_3^+ / C_2H_5NH_2$.

2- Détermination théorique du pKa

La solution initiale d'éthylamine ($C_2H_5NH_2$) de concentration molaire volumique $C_B = 6 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹ a pour $pH = 11,8$.

- 2-1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'éthylamine avec l'eau.
- 2-2. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution.
- 2-3. Calculer la concentration molaire volumique de chacune des espèces.
- 2-4. En déduire le pKa du couple acide/base.

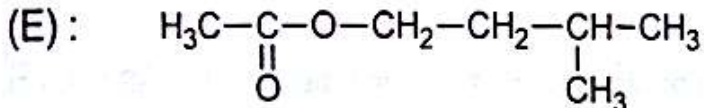
3- Comparaison des deux valeurs de pKa

- 3-1. Comparer la valeur expérimentale du pKa et la valeur théorique calculée.
3-2. Conclure

Exercice 4

La molécule E, représentée ci-après, possède une forte odeur de banane mûre.

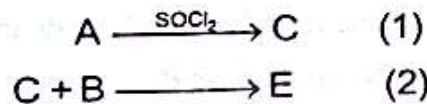
Un groupe d'élèves de la classe de terminale D dans un lycée de la place, se propose d'étudier la synthèse de ce composé organique.

**1- Etude de l'estérification directe**

- 1-1. Donner la fonction chimique et le nom de E.
1-2. Ecrire les formules semi-développées et les noms de l'acide carboxylique A et de l'alcool B qui permettent de synthétiser E.
1-3. Ecrire l'équation-bilan de cette réaction.
1-4. Donner les caractéristiques de cette réaction.

2- Amélioration du rendement de la réaction

En vue d'améliorer le rendement de la réaction précédente, le groupe d'élèves se propose de réaliser la suite de réactions suivantes :



- 2-1. Préciser la formule semi-développée de C. Donner son nom.
2-2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction (2).
2-3. Nommer cette réaction. Préciser ses caractéristiques.
2-4. Pour le mélange initial, constitué de $n_C = 1$ mol de C et $n_B = 1$ mol de B, déterminer la composition du mélange en fin de réaction.

SUJET 5 : BAC SERIE D SESSION NORMALE 2014**Exercice 1**

Dans tout l'exercice, on suppose que les frottements sont négligeables.

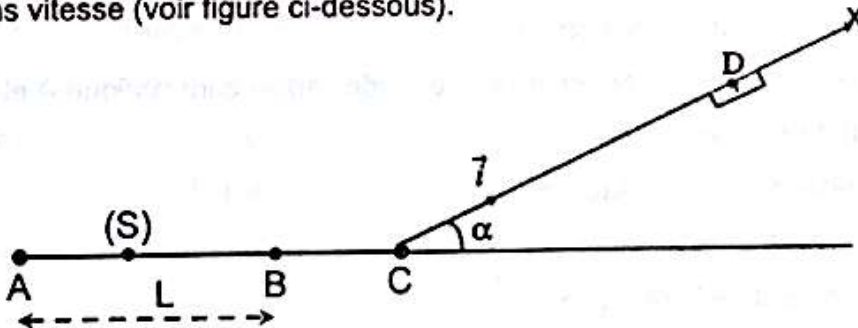
On donne $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Une piste de jeu de kermesse est constituée de deux parties :

- la partie AC est horizontale ;
- la partie CD de longueur $\ell = 1 \text{ m}$, fait un angle $\alpha = 30^\circ$ avec l'horizontale.

Pour gagner, le joueur doit faire arriver le solide (S) de masse $m = 5 \text{ kg}$ dans le réceptacle en D en partant du point A.

Un élève de Terminale pousse le solide (S) à partir du point A sur une distance $L = AB = 4,5 \text{ m}$, en exerçant une force \vec{F} constante et horizontale pendant une durée $\Delta t = 3 \text{ s}$. Le solide part du point A sans vitesse (voir figure ci-dessous).



1. Étude du mouvement du solide sur le trajet AB.

Le mouvement du solide sur le trajet AB est uniformément accéléré.

1.1. Déterminer la valeur algébrique a de l'accélération du mouvement du solide (S).

1.2. Calculer la valeur v_B de la vitesse au point B.

1.3. Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au solide (S) et les représenter sur un schéma.

1.4. Déterminer la valeur de la force \vec{F} .

2. Étude du mouvement du solide (S) sur le trajet BC.

Au point B, l'action de la force \vec{F} cesse, le solide poursuit son mouvement rectiligne.

2.1 Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au solide et les représenter sur un schéma.

2.2 Déterminer la nature du mouvement de (S) en appliquant le théorème du centre d'inertie

2.3 En déduire la vitesse v_C du mouvement du solide au point C.

3. Étude du mouvement du solide (S) sur le trajet CD.

Le solide (S) aborde le trajet CD avec la vitesse de valeur $v_C = 3 \text{ m/s}$ et s'arrête en

un point D'. L'accélération du mouvement est notée $\vec{a}' = a'_x \cdot \vec{i}$

- 3.1 Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au solide et les représenter sur un schéma.
- 3.2 Déterminer :
- 3.2.1. la valeur algébrique a_x' de l'accélération du mouvement en fonction de α et g ;
 - 3.2.2. la nature du mouvement.
- 3.3 Déterminer la longueur $\ell' = CD'$.
- 3.4 Dire si l'élève a gagné à ce jeu. Justifier la réponse.

Exercice 2

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques, un groupe d'élèves d'un établissement de la place décide de vérifier expérimentalement les valeurs de l'inductance L et de la résistance r d'une bobine, de deux façons différentes.

1- Première expérience

• Montage 1

Le groupe alimente d'abord la bobine à l'aide d'un générateur délivrant une tension continue. Le circuit est constitué du générateur de tension continue, de la bobine, d'un ampèremètre et d'un voltmètre. Le voltmètre mesure la tension $U_1 = 12 \text{ V}$ aux bornes du générateur. L'ampèremètre indique une intensité $I_1 = 0,24 \text{ A}$ dans le circuit.

• Montage 2

La bobine est ensuite alimentée par un générateur de basses fréquences (GBF) délivrant une tension alternative sinusoïdale de fréquence $f = 200 \text{ Hz}$, de valeur efficace $U_2 = 5 \text{ V}$, mesurée par un voltmètre. L'ampèremètre mesure une intensité efficace $I_2 = 10 \text{ mA}$.

- 1.1. Faire les schémas des deux montages en y faisant figurer le voltmètre et l'ampèremètre.
- 1.2. Déterminer la valeur de r .
- 1.3. Déterminer l'impédance Z_b de la bobine.
- 1.4. En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine.

2- Deuxième expérience.

Le groupe réalise un dipôle constitué par l'association en série de la bobine, d'un condensateur de capacité $C = 1 \mu\text{F}$, d'un générateur de basses fréquences (GBF) et d'un ampèremètre. Le groupe dispose aussi d'un voltmètre qu'il branche aux bornes du GBF. La valeur efficace U de la tension aux bornes du générateur est maintenue constante et égale à 5 V .

- 2.1 Faire le schéma du montage.
- 2.2 Donner l'expression littérale de l'impédance totale du circuit.

2.3 Pour une fréquence $f = f_0 = 252 \text{ Hz}$, la valeur de l'intensité efficace passe par une valeur maximale $I_0 = 0,1 \text{ A}$.

2.3.1. Nommer ce phénomène.

2.3.2. Déterminer l'impédance totale du circuit à la fréquence f_0 .

2.3.3. Déterminer les valeurs de r et de L .

2.3.4. Comparer les valeurs de r et de L trouvées au cours des deux expériences.

2.3.5. Déterminer la valeur de la tension efficace U_c aux bornes du condensateur dans ces conditions.

2.3.6. Comparer les valeurs efficaces de la tension d'alimentation U et de la tension U_c .

Conclure.

Exercice 3

Toutes les solutions sont à 25°C et le produit ionique de l'eau est $K_e = 10^{-14}$.

Un groupe d'élèves de Terminale D désire préparer puis doser une solution d'acide éthanoïque.

1- Préparation de la solution d'acide éthanoïque.

Le groupe d'élèves dispose d'une solution mère (S_1) d'acide éthanoïque de concentration $C_1 = 0,1 \text{ mol/L}$ et d'eau distillée.

À partir de la solution mère, le groupe souhaite préparer un volume $V_2 = 100 \text{ mL}$ d'une solution (S_2) de cet acide de concentration $C_2 = 10^{-2} \text{ mol/L}$. Pour cela il dispose :

- de deux pipettes (10 mL et 5 mL) ;
- d'une fiole jaugée de 100 mL ;
- d'un bécher ;
- d'une pissette contenant de l'eau distillée.

1.1. Vérifier que le volume de (S_1) à prélever est $V_0 = 10 \text{ mL}$.

1.2. Décrire le mode opératoire de la préparation de la solution (S_2).

1.3. Le pH de la solution (S_2) est $\text{pH} = 3,4$.

1.3.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau.

1.3.2. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans cette solution.

1.3.3. Déterminer la concentration molaire volumique de chaque espèce chimique.

1.3.4. Calculer la constante d'acidité K_A du couple acide éthanoïque / ion éthanoate.

1.3.5. Vérifier que le $\text{p}K_A$ du couple est égal à 4,8.

2- Dosage de la solution (S₂) d'acide éthanoïque.

Le groupe dose un volume V_A = 20 mL de solution (S₂) par une solution B d'hydroxyde de sodium de concentration C_B = 10⁻² mol/L.

Le pH du mélange est mesuré au fur et à mesure que l'on verse la solution de soude. Le graphe pH = f(V_B) est donné sur la *feuille annexe*.

2.1 Déterminer graphiquement les coordonnées du point d'équivalence E.

2.2 Retrouver la valeur de C₂.

2.3 Donner la nature (acide ou basique) du mélange obtenu à l'équivalence.

Justifier la réponse.

2.4 Retrouver graphiquement la valeur du pK_A.

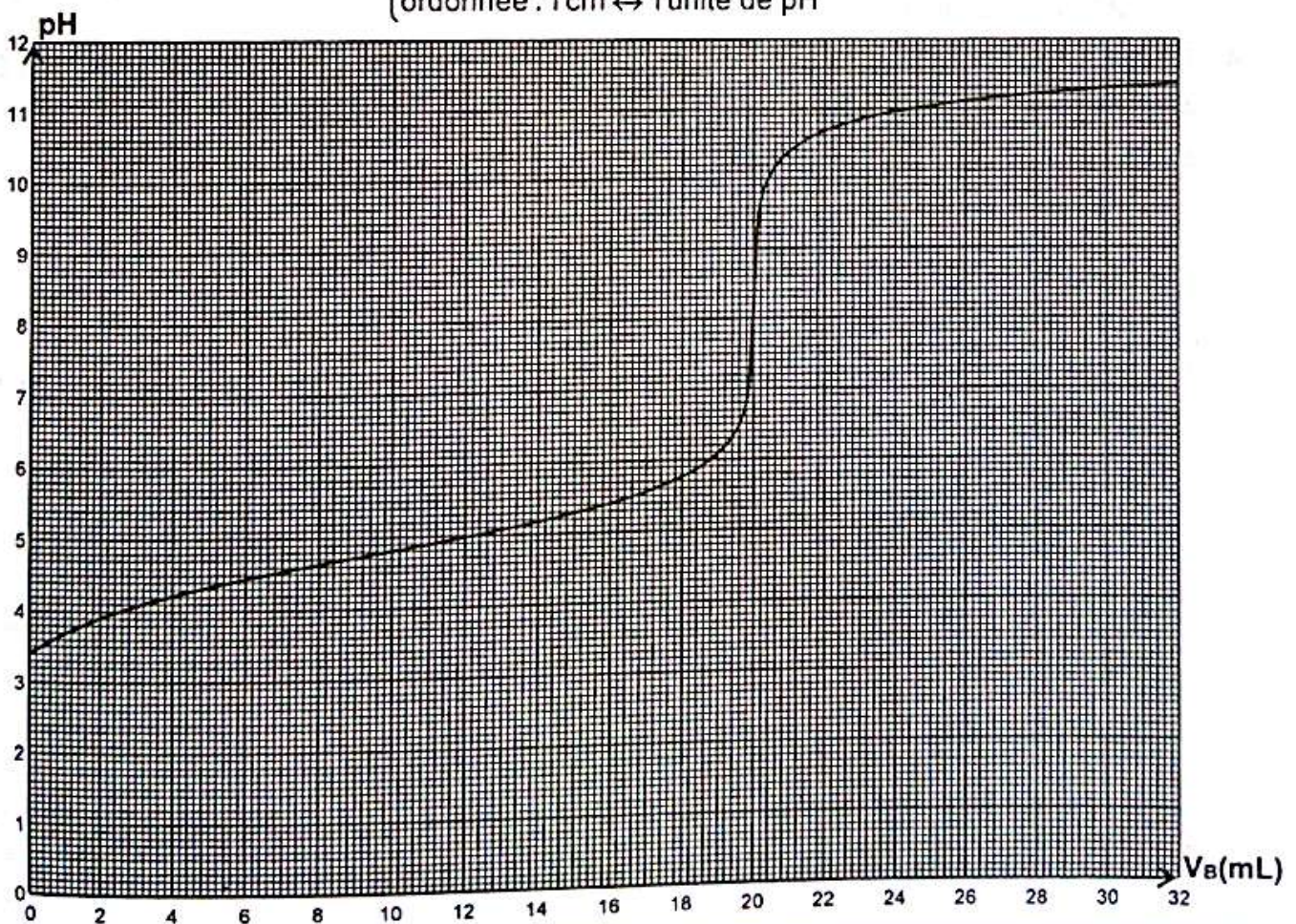
2.5 Choisir parmi les indicateurs colorés ci-dessous celui qui convient à ce dosage.

Justifier la réponse.

Indicateurs colorés	Hélianthine	Bleu de bromothymol (BBT)	Phénolphtaléine
Zone de virage	3,1 – 4,4	6,0 – 7,6	8,2 – 10

Feuille annexe à rendre avec la copie

Echelle { abscisse : 1 cm ↔ 2 mL
 ordonnée : 1 cm ↔ 1 unité de pH

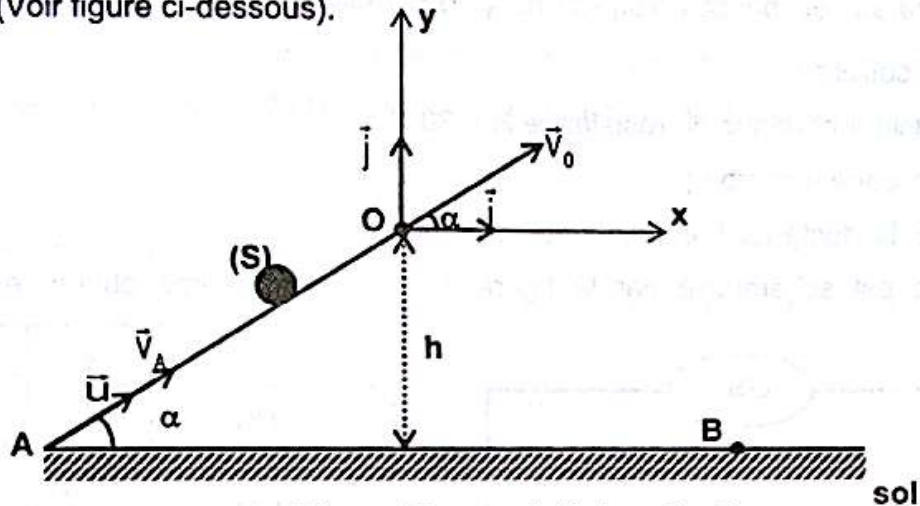


Exercice 4

- 1- La combustion complète d'une mole d'un composé organique A, de formule brute C_xH_yO fournit quatre moles de molécules de dioxyde de carbone et quatre moles de molécules d'eau. La molécule de A renferme un seul atome d'oxygène.
 - 1.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction.
 - 1.2. Montrer que la formule brute du composé A est C_4H_8O .
 - 1.3. Donner les formules semi-développées des différents isomères possibles de A.
- 2- Parmi ces différents isomères, un seul réagit avec la 2,4-D.N.P.H et donne un test négatif en présence de liqueur de Fehling.
 - 2.1 Préciser la fonction chimique de cet isomère.
 - 2.2 Donner la formule semi-développée et le nom de cet isomère.
- 3- L'un des isomères de A, le butanal, est traité par une solution de permanganate de potassium acidifiée. Il donne un composé B.
 - 3.1 Écrire la formule semi-développée et donner le nom du composé B.
 - 3.2 Le produit B réagit avec le pentachlorure de phosphore (PCl_5) pour donner un composé organique C.
 - 3.2.1 Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
 - 3.2.2 Donner le nom du composé C.
- 4- On fait réagir l'éthanol sur le composé C. On obtient entre autres un composé organique D.
 - 4.1 Écrire l'équation-bilan de la réaction.
 - 4.2 Donner :
 - 4.2.1 le nom de cette réaction chimique.
 - 4.2.2 les caractéristiques de cette réaction chimique.
 - 4.2.3 le nom du composé organique D.
 - 4.3 On fait réagir également l'éthanol sur le composé B. On obtient entre autres le même composé organique D.
 - 4.3.1 Écrire l'équation-bilan de la réaction.
 - 4.3.2 Donner le nom et les caractéristiques de cette réaction.

SUJET 6 : BAC SERIE D SESSION NORMALE 2015**Exercice 1**

Un mobile (S) de masse m assimilable à un point matériel se déplace sans frottement sur la piste AO située dans un plan vertical. La piste AO est rectiligne et fait un angle α avec le plan horizontal. (Voir figure ci-dessous).



Des élèves étudient le mouvement de (S) sur AO et au-delà du point O.

1- Étude du mouvement du centre d'inertie du mobile sur la partie AO de la piste.

Le mobile est lancé à partir du point A avec une vitesse \vec{V}_A et arrive en O avec une vitesse \vec{V}_0 ; de valeur $v_0 = 1 \text{ m.s}^{-1}$. Il est animé d'un mouvement dont l'accélération est $\vec{a} = a_u \vec{u}$ (\vec{u} est le vecteur unitaire colinéaire à \overline{OA}).

- 1.1. Faire l'inventaire des forces extérieures agissant sur le mobile et les représenter sur un schéma.
- 1.2. Déterminer :
 - 1.2.1. la valeur algébrique a_u de l'accélération du mobile ;
 - 1.2.2. la nature du mouvement du mobile ;
 - 1.2.3. la valeur v_A de la vitesse communiquée au mobile au point A en appliquant le théorème de l'énergie cinétique.

2- Étude du mouvement du mobile dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) .

Après le point O, le mobile est soumis au champ de pesanteur uniforme \vec{g} .

- 2.1. Déterminer les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$.
- 2.2. Montrer que l'équation cartésienne de la trajectoire est : $y = -6,67x^2 + 0,577x$.
- 2.3. En déduire la nature de cette trajectoire.
- 2.4. Déterminer :
 - 2.4.1. les coordonnées x_B et y_B du point de chute B du mobile sur le sol ;
 - 2.4.2. la vitesse v_B du mobile au moment où il entre en contact avec le sol.

On donne : $m = 0,250 \text{ kg}$; $\alpha = 30^\circ$; $h = 0,75 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Exercice 2

Un groupe d'élèves se propose de déterminer, au cours d'une séance de travaux pratiques, les valeurs de la résistance interne r et de l'inductance L d'une bobine.

Il réalise un montage qui comporte :

- un générateur de basses fréquences (GBF) délivrant une tension alternative sinusoïdale $u = U\sqrt{2} \cos \omega t$;
- un conducteur ohmique de résistance $R = 20 \Omega$;
- un oscilloscope bicourbe ;
- la bobine d'inductance L et de résistance r .

Ce montage est schématisé par la figure 1 et l'oscillogramme obtenu est représenté par la figure 2.

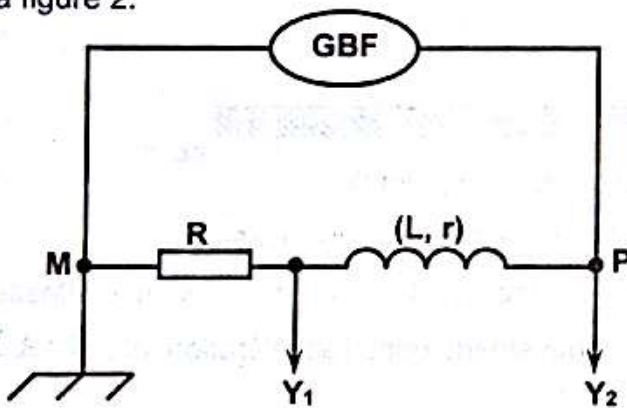


Figure 1

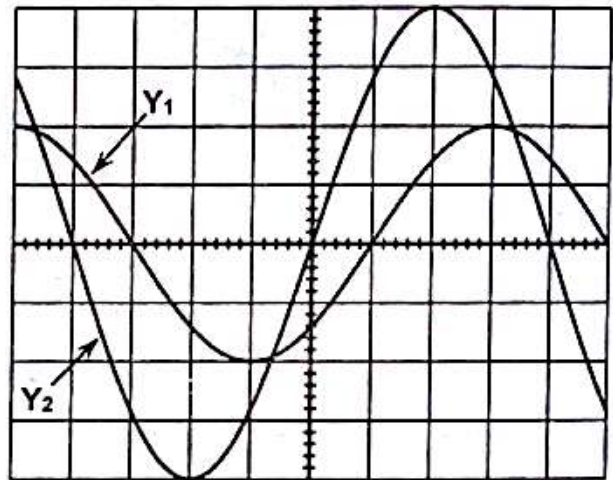


Figure 2

Sur les deux voies Y_1 et Y_2 de l'oscilloscope, le balayage horizontal a pour valeur $S_h = 2,5 \text{ ms.div}^{-1}$ et la sensibilité verticale est $S_v = 1 \text{ V.div}^{-1}$.

- 1- Donner les noms des deux grandeurs physiques visualisées à l'écran de l'oscilloscope.
- 2- Préciser la grandeur physique qui est en avance sur l'autre. Justifier la réponse.
- 3- Déterminer à partir de l'oscillogramme obtenu (figure 2) :
 - 3.1. la période T et la pulsation ω de la tension délivrée par le GBF ;
 - 3.2. la phase $\varphi_{u/i}$ de la tension u délivrée par le générateur par rapport à l'intensité i du courant ;
 - 3.3. les valeurs efficaces U de la tension u et I de l'intensité i du courant électrique.
- 4- De tout ce qui précède :
 - 4.1. établir l'expression $i = f(t)$ de l'intensité du courant qui traverse le circuit ;
 - 4.2. calculer l'impédance Z du dipôle (PM) ;
 - 4.3. déterminer la valeur de la résistance interne r et celle de l'inductance L de la bobine.

On prendra $\cos \varphi_{u/i} = 0,707$.

5- Dans la suite de l'exercice, on prendra : $r = 8,3 \Omega$, $L = 0,09 \text{ H}$ et $u(t) = 4\cos(\omega t)$ avec $\omega = 100\pi \text{ rad.s}^{-1}$, $u(t)$ étant exprimée en volt (V).

Le groupe d'élèves insère dans le circuit, en série avec le conducteur ohmique et la bobine, un condensateur de capacité C telle que $LC\omega^2 = 1$.

5.1. Nommer le phénomène observé dans le circuit.

5.2. En déduire la nouvelle valeur de la phase de la tension par rapport à l'intensité.

5.3. Déterminer la valeur efficace de l'intensité du courant qui traverse le circuit.

Exercice 3

Un groupe d'élèves en classe de terminale scientifique dispose d'une solution aqueuse S_a d'un acide AH. AH est un acide faible dont la base conjuguée est notée A^- . Le groupe se propose d'identifier l'acide AH et de déterminer le pK_a du couple AH/ A^- auquel il appartient.

1- Préparation de la solution S_b d'hydroxyde de potassium

Le groupe prépare une solution S_b d'hydroxyde de potassium, en dissolvant une masse $m_1 = 56 \text{ mg}$ d'hydroxyde de potassium (KOH) solide dans un volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ d'eau pure à 25°C .

1.1. Vérifier que la concentration molaire C_b de la solution S_b vaut $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

1.2. Le pH de la solution S_b vaut 12.

Montrer que l'hydroxyde de potassium est une base forte.

2- Dosage de la solution d'acide AH

Le groupe prélève un volume $V_a = 20 \text{ mL}$ de la solution S_a qu'il dose avec la solution S_b d'hydroxyde de potassium préparée ci-dessus. La courbe de variation du pH des différents mélanges effectués est donnée sur papier millimétré en annexe.

2.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction acido-basique qui a eu lieu entre l'acide faible AH et la base forte (KOH).

2.2. Déterminer graphiquement les coordonnées du point E à l'équivalence.

2.3. Calculer la concentration molaire volumique C_a de la solution S_a .

2.4. Déterminer à partir de la courbe $\text{pH} = f(V_b)$, la valeur du pK_a du couple AH/ A^- .

3- Identification de l'acide AH

La solution S_a de concentration $C = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ a été préparée en dissolvant une masse $m = 0,6 \text{ g}$ de l'acide AH dans un volume $V = 1 \text{ L}$ d'eau pure. L'acide AH est un acide carboxylique de formule générale $C_nH_{2n}O_2$.

3.1. Déterminer la formule brute de l'acide AH.

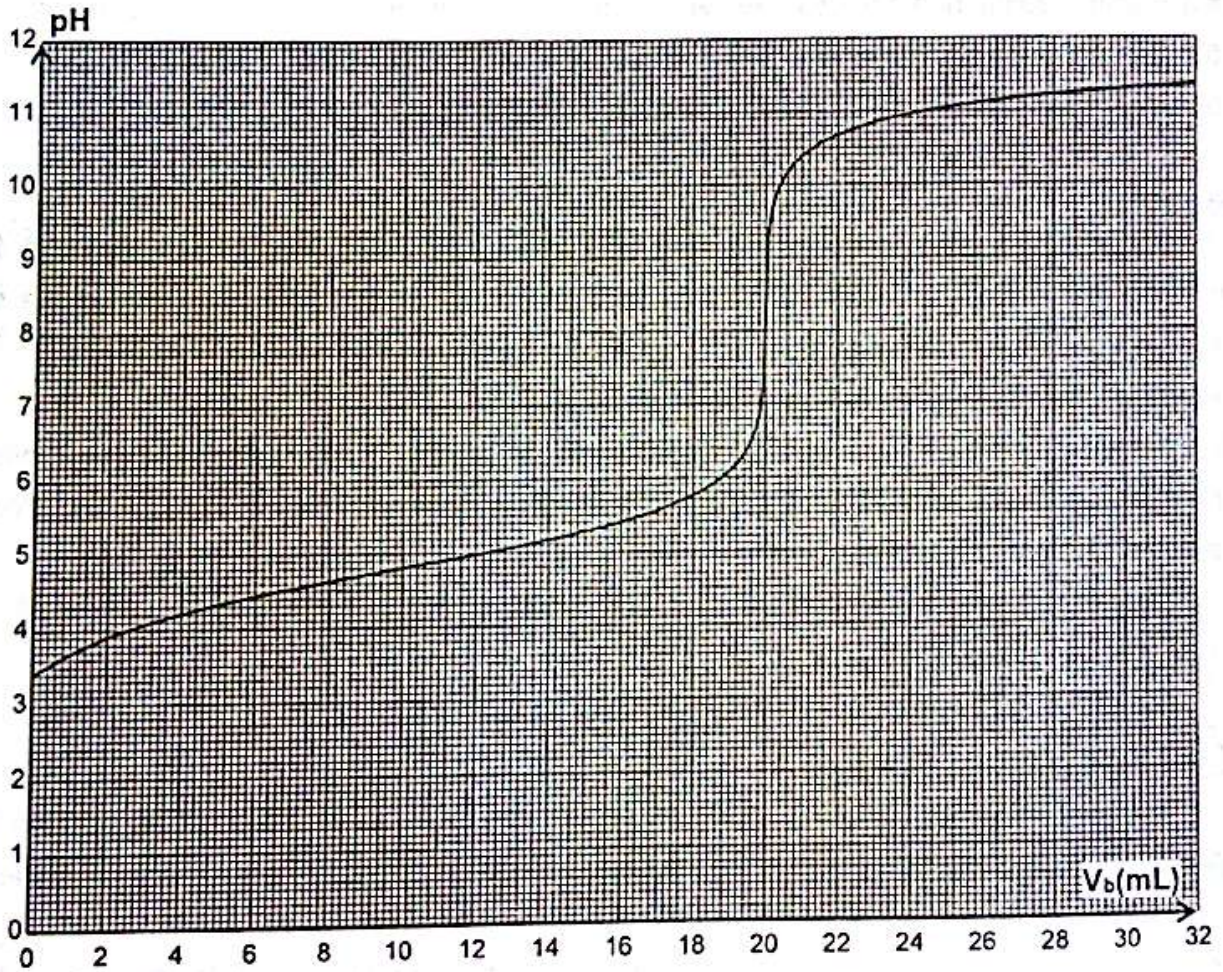
3.2. Donner la formule semi-développée et le nom de l'acide AH.

3.3. Préciser le couple acide-base correspondant.

On donne en g.mol^{-1} : C = 12 ; H = 1 ; O = 16 ; K = 39.

Exercice 3 : Feuille annexe à rendre avec la copie

Echelle : $\begin{cases} \text{abscisse : } 1\text{cm} \leftrightarrow 2\text{ mL} \\ \text{ordonnée : } 1\text{cm} \leftrightarrow 1\text{ unité de pH} \end{cases}$



Exercice 4

Le propanoate d'éthyle et l'éthanoate de propyle sont deux (02) isomères d'un ester G de formule brute $C_5H_{10}O_2$. En séance de travaux pratiques, le professeur de physique-chimie se propose de préparer avec ses élèves, l'un de ces deux isomères.

1- Le professeur met à leur disposition trois (03) flacons ①, ②, ③ contenant respectivement :

- ① alcool A, le propan-2-ol ;
- ② alcool B, le propan-1-ol ;
- ③ une solution aqueuse de dichromate de potassium acidifiée.

1.1. Écrire les formules semi-développées des alcools A et B.

1.2. Les élèves font réagir en excès du dichromate de potassium sur les composés A et B.

Ils obtiennent les composés C et C'.

- Le composé C réagit positivement au test de la 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNPH).
- Le composé C' réagit avec le bleu de Bromothymol (BBT) pour donner une coloration Jaune.

1.2.1. Donner la famille chimique de chacun des composés C et C'.

1.2.2. Donner les formules semi-développées et les noms des composés C et C'.

2- En plus des composés C et C' précédents, le professeur leur donne deux (02) autres flacons contenant l'un de l'éthanol (E) et l'autre du chlorure de propanoyle (F). L'ester G peut être préparé à partir des composés C, C', E et F.

2.1. Écrire les formules semi-développées des composés E et F.

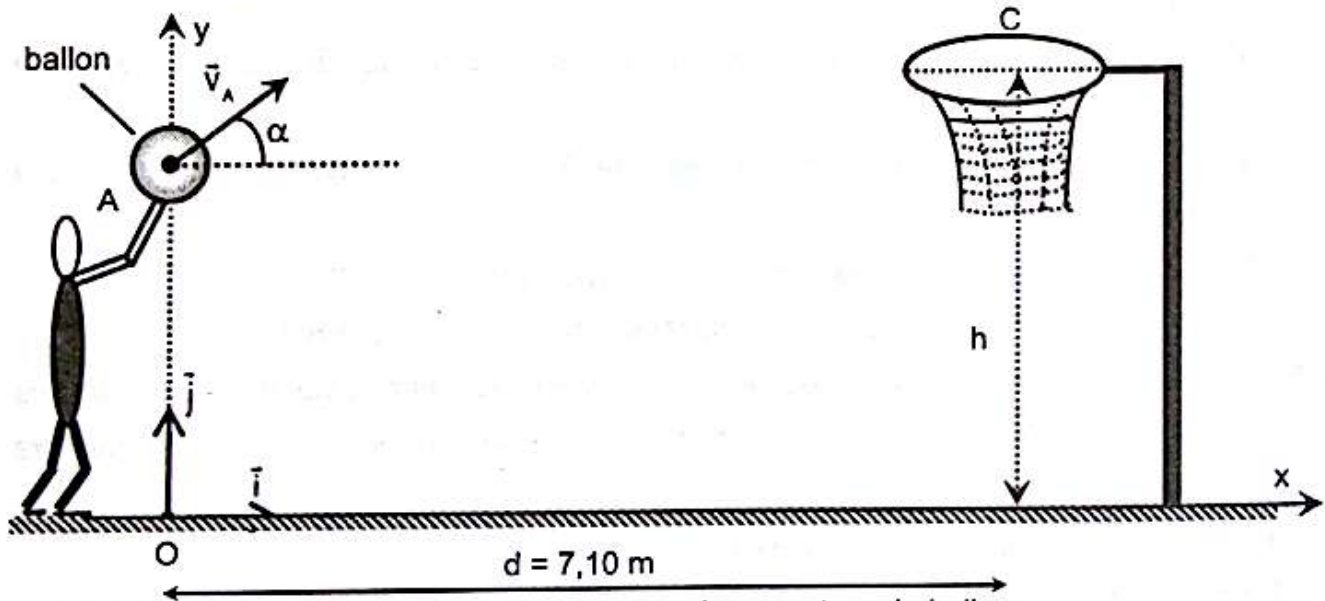
2.2. Donner les noms des composés que les élèves peuvent utiliser pour préparer l'ester G.

2.3. Écrire les équations-bilans des réactions qui donnent l'ester G, à partir des composés de la question 2.2.

SUJET 7 : BAC SERIE D SESSION NORMALE 2016**Exercice 1**

Dans tout l'exercice, on néglige les frottements dus à l'air et on considère le ballon comme un point matériel de masse m . Lors d'un match de basket-ball, pour marquer un panier, il faut que le ballon passe dans un anneau (ou arceau) métallique. L'anneau métallique de centre C est situé dans un plan horizontal, à une hauteur $h = 3,05$ m du sol. Le centre d'inertie A du ballon et le point central C de l'anneau sont dans le plan vertical (OX, OY) .

1. Un basketteur lance le ballon à partir d'un point A , avec une vitesse \vec{v}_A faisant un angle $\alpha = 45^\circ$ avec le plan horizontal. Le point A est situé à une hauteur $OA = 2$ m du sol (voir figure ci-dessous). L'origine du temps sera l'instant du lancé du ballon à partir du point A . On donne : $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.



- 1.1. Faire l'inventaire des forces extérieures s'exerçant sur le ballon.
- 1.2. Établir dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement du centre d'inertie du ballon.
- 1.3. Montrer que l'équation cartésienne de la trajectoire s'écrit : $y = -\frac{10}{v_A^2}x^2 + x + 2$.
- 1.4. Les verticales passant par les points A et C sont distantes de $d = 7,10$ m.
- 1.4.1. Vérifier que la valeur que doit avoir \vec{v}_A pour que le panier soit réussi est de $9,1 \text{ m.s}^{-1}$.
- 1.4.2. Déterminer le temps t mis par le ballon pour aller du point A au point C .
2. Un adversaire situé à une distance $d_1 = 4,1$ m du tireur veut arrêter le ballon.
- 2.1. Montrer que cet adversaire se trouve dans la position la plus défavorable pour intercepter le ballon, c'est-à-dire celle qui correspond à l'abscisse du sommet de la trajectoire.
- 2.2. L'adversaire saute verticalement en levant les bras. La hauteur atteinte par ses mains est $h_1 = 3$ m. Les valeurs de \vec{v}_A et de α restent inchangées. Dire si l'adversaire peut intercepter le ballon. Justifier la réponse.

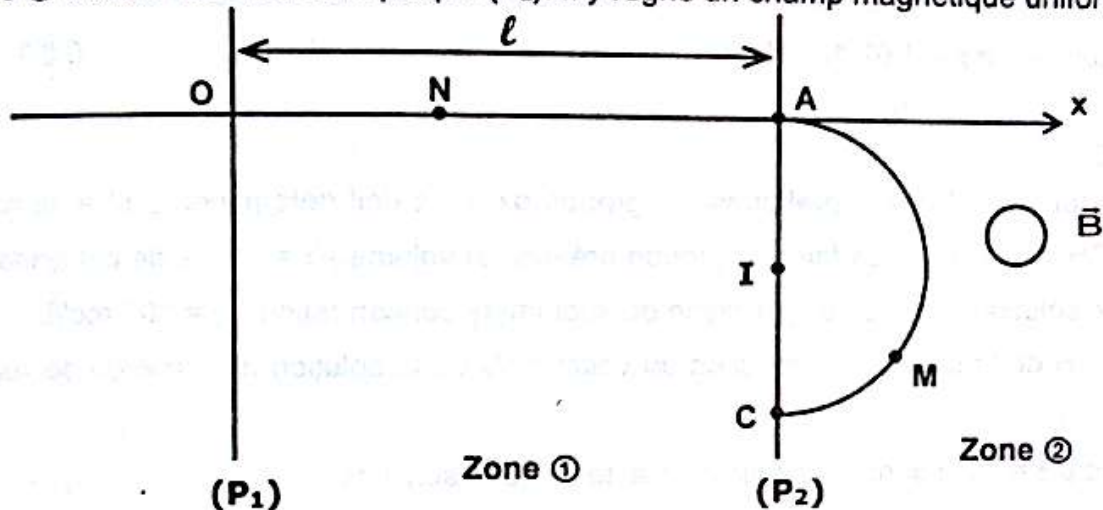
Exercice 2

Dans tout l'exercice on négligera le poids du proton devant les autres forces.

Dans un laboratoire, un professeur de Physique-Chimie étudie le mouvement d'un proton dans un dispositif comportant deux zones notées ① et ② (voir figure).

La zone ① est délimitée par deux plaques verticales et parallèles (P_1) et (P_2) distantes d'une longueur ℓ .

La zone ② s'étend au-delà de la plaque (P_2). Il y règne un champ magnétique uniforme \vec{B} .



1. Étude du mouvement du proton entre les plaques (P_1) et (P_2).

Le professeur applique une différence de potentiel positive $V_{P_1} - V_{P_2} = U$ entre les deux plaques. Un proton de masse m_p part du point O sans vitesse initiale et arrive au point A avec une vitesse \vec{v}_A .

1.1. Représenter qualitativement au point N, le champ électrique \vec{E} et la force électrique \vec{F} s'exerçant sur le proton. Justifier la réponse.

1.2. Établir l'expression de l'énergie cinétique E_{CA} du proton au point A en fonction de e et U .

1.3. Vérifier que la valeur de la vitesse du proton au point A de la plaque (P_2) vaut $v_A = 3,71 \cdot 10^5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.4. Déterminer la nature du mouvement du proton dans la zone ①.

1.5. En déduire le rôle du champ \vec{E} dans cette zone.

2. Étude du mouvement du proton au-delà de la plaque (P_2).

Au-delà de la plaque (P_2), le proton entre dans la zone ②. Il est alors soumis au champ magnétique uniforme \vec{B} orthogonal à la vitesse \vec{v}_A .

2.1. Donner l'expression de la force magnétique \vec{f} s'exerçant sur le proton.

2.2. Représenter sur un schéma :

2.2.1. la force magnétique \vec{f} au point M ;

2.2.2. le vecteur champ magnétique \vec{B} .

2.3. Déterminer la puissance de cette force magnétique.

2.4.

2.4.1. Montrer que la force magnétique \vec{f} ne modifie pas l'énergie cinétique du proton.

2.4.2. En déduire la valeur V_C de la vitesse du proton au point C.

2.5. En déduire que le mouvement circulaire du proton est uniforme.

2.6. Le proton traverse à nouveau la plaque (P_2) en un point C. (Voir figure ci-dessus).

Donner l'expression du rayon R de la trajectoire. Calculer la distance AC.

On donne : $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg ; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C ; $U = 720$ V ; $B = 0,6$ T.

Exercice 3

Lors d'une séance de travaux pratiques, un groupe d'élèves doit déterminer le pK_a du couple CH_3COOH/CH_3COO^- . Pour ce faire, le groupe prélève un volume $V_A = 10$ mL de cet acide qu'il dose par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 10^{-2}$ mol/L.

Il mesure le pH de la solution en fonction du volume V_B de la solution d'hydroxyde de sodium versée.

1. La courbe $pH = f(V_B)$ donne les points caractéristiques suivants :

$$\text{Demi-équivalence } E' \quad \begin{cases} V_{E'} = 5 \text{ mL} \\ pH_{E'} = 4,8 \end{cases}$$

$$\text{Équivalence } E \quad \begin{cases} V_E = 10 \text{ mL} \\ pH_E = 8,6 \end{cases}$$

1.1. Donner l'allure de la courbe $pH = f(V_B)$ en indiquant les points caractéristiques E' et E .

On donne : pour $V_B = 0$, $pH = 3,4$.

1.2. Montrer que l'acide éthanoïque est un acide faible.

1.3. Écrire l'équation-bilan de la réaction du dosage.

1.4. Calculer la concentration molaire C_A de la solution AH.

1.5. Nommer le mélange obtenu à la demi-équivalence et donner ses caractéristiques.

1.6. Donner le pK_a du couple acide-base considéré.

2. On dispose de trois indicateurs colorés.

	Zone de virage
Hélianthine	3,1 – 4,4
Bleu de bromothymol	6 – 7,6
Phénolphtaléine	8,2 – 10

Pour le dosage, le groupe a utilisé la phénolphtaléine. Justifier ce choix.

3. Par ailleurs à partir de la solution initiale d'acide éthanoïque de $\text{pH} = 3,4$ et de concentration molaire volumique $C_A = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$; le groupe désire retrouver la valeur du pK_A .
- 3.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction chimique entre l'acide éthanoïque et l'eau.
 - 3.2. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution.
 - 3.3. Calculer la concentration molaire volumique de chacune des espèces chimiques.
 - 3.4. Retrouver la valeur du pK_A .

Exercice 4

1. Un chimiste veut déterminer la formule brute d'un alcool A de formule générale $C_nH_{2n+2}O$. Pour cela il réalise la combustion complète d'une masse $m = 6 \text{ g}$ de cet alcool dans le dioxygène. Il recueille $6,72 \text{ L}$ de dioxyde de carbone (volume mesuré dans les conditions normales de température et de pression).
 - 1.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction.
 - 1.2. Montrer que la formule brute de l'alcool A est C_3H_8O .
 - 1.3. Donner les formules semi-développées des isomères possibles de l'alcool A et les nommer.
2. Pour identifier le composé A, il réalise son oxydation ménagée par un oxydant en excès en milieu acide. Il obtient un composé B.
 - 2.1. Donner les formules semi-développées possibles de B et les familles chimiques correspondantes.
 - 2.2. Le composé B fait virer le bleu de bromothymol au jaune.
 - 2.2.1. Identifier le composé B.
 - 2.2.2. En déduire la formule semi-développée et le nom de l'alcool A.
3. L'action du chlorure de thionyle sur l'acide propanoïque donne un composé C.
 - 3.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction.
 - 3.2. Donner la formule semi-développée et le nom de C.
4. On fait réagir de l'ammoniac (NH_3) sur le composé C et on obtient un composé D.
 - 4.1. Donner la formule semi-développée et le nom de D.
 - 4.2. L'action du composé C sur l'alcool A conduit à un produit E.
 - 4.2.1. Écrire l'équation-bilan de cette réaction.
 - 4.2.2. Donner la formule semi-développée et le nom de E.
 - 4.2.3. Donner les caractéristiques de cette réaction.

On donne : volume molaire $V_0 = 22,4 \text{ L/mol}$; $M_C = 12 \text{ g/mol}$; $M_H = 1 \text{ g/mol}$; $M_O = 16 \text{ g/mol}$.

SUJET 8 : BAC SERIES C & E SESSION NORMALE 2014**Exercice 1**

En bombardant des noyaux de curium ${}_{98}^{246}\text{Cm}$ par des noyaux d'un nucléide ${}_{Z}^AX$, on produit l'isotope 254 de l'élément nobélium ${}_{102}^{254}\text{No}$. La réaction nucléaire libère en outre 4 neutrons.

- 1- Ecrire l'équation de la réaction nucléaire conduisant au nobélium.
- 2- Identifier le nucléide ${}_{Z}^AX$
- 3- L'isotope 254 ainsi formé est très instable. C'est un émetteur de particules α de période radioactive T . La loi de décroissance radioactive est donnée par la relation $A = A_0 e^{-\lambda t}$ ou A_0 représente l'activité de la source à la date $t = 0$ et A , l'activité des noyaux restants à la date t .

3.1. Définir la période radioactive d'un nucléide.

3.2. Démontrer que :

3.2.1 la constante radioactive λ et la période T sont liées par la relation $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$;

3.2.2 l'activité initiale et l'activité à la date $t = nT$ sont liées par la relation $A = \frac{A_0}{2^n}$.

n représentant le nombre de période T .

- 4- Des mesures expérimentales ont permis de déterminer à différentes dates, l'activité A des noyaux du nobélium restant. On désigne par $q = \frac{A}{A_0}$, le rapport entre les deux activités.

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

t(s)	0	2	5	8	10	14
A(10 ¹⁶ Bq)	5,550	3,470	1,850	0,874	0,550	0,218
q						
- lnq						

4.1. Reproduire le tableau ci-dessus et le compléter.

4.2. Tracer la courbe représentant $(-\ln q) = f(t)$.

Echelle : en abscisse : 1cm pour 1 s ; en ordonnée : 2 cm pour 1 unité de $(-\ln q)$.

4.3.

4.3.1 Calculer l'activité A_1 de la source radioactive à la date $t = T$.

4.3.2 Déterminer graphiquement la constante radioactive λ et la période T .

4.3.3 Calculer le nombre de noyaux N_0 de la source à la date $t = 0$.

Données : $\ln 2 = 0,693$; becquerel (Bq).

Exercice 2

(Certaines questions de cet exercice seront traitées sur la feuille annexe à rendre avec la copie).

On étudie la charge et la décharge d'un condensateur non polarisé.

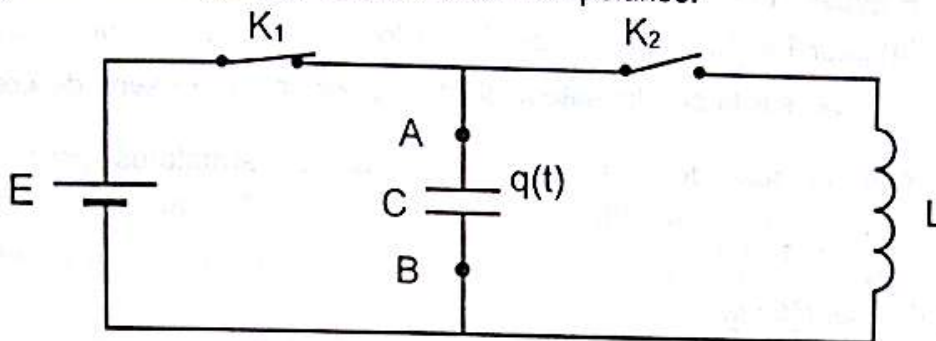


Figure 1

1. Charge du condensateur

L'interrupteur K_1 est fermé et K_2 ouvert (figure). On charge le condensateur de capacité $C = 1,5 \mu\text{F}$, grâce à une pile de f.é.m. $E = 12 \text{ V}$. Déterminer en fin de charge :

- 1.1 la tension U_0 aux bornes du condensateur ;
- 1.2 l'énergie E_0 emmagasinée par le condensateur.

2. Décharge du condensateur

Ce condensateur peut se décharger dans une bobine d'inductance $L = 0,55 \text{ H}$ et de résistance négligeable. Pour cela, on ouvre K_1 puis à la date $t = 0$, on ferme K_2 (figure 2).

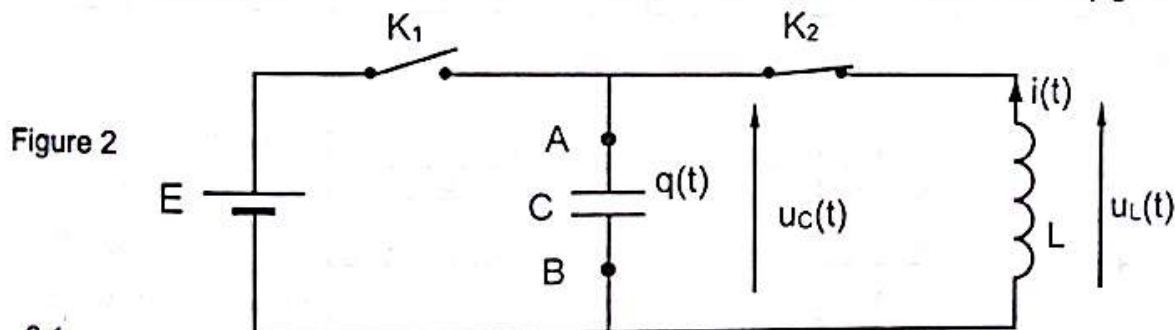


Figure 2

2.1.

- 2.1.1 Exprimer la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur. On notera que $q_A(t) = q(t)$.
- 2.1.2 Exprimer la tension $u_L(t)$ aux bornes de la bobine.
- 2.1.3 Dédire des expressions précédentes l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_C(t)$ au cours du temps.

2.2. La tension aux bornes du condensateur peut s'écrire sous la forme

$$u_C(t) = U_m \cos\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) \text{ où } U_m \text{ et } T_0 \text{ sont des constantes.}$$

Montrer que l'intensité du courant dans le circuit peut s'écrire sous la forme

$$i(t) = -I_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) \text{ avec } I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}$$

2.3. Variation de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur et de l'intensité $i(t)$ du courant dans le circuit.

2.3.1 Compléter le tableau figurant sur la feuille annexe.

2.3.2 Représenter sur un même graphique (voir feuille annexe), les variations de $u_C(t)$ et $i(t)$ pour $t \in [0, T_0]$. Les axes des ordonnées sont confondus.

2.3.3 Indiquer sur le condensateur de la feuille annexe, le sens du courant et le signe des porteurs de charges portés par les armatures pour $\frac{T_0}{4} < t < \frac{T_0}{2}$ et $\frac{3T_0}{4} < t < T_0$.

2.4. Etude énergétique

2.4.1 Déterminer à chaque instant les expressions des énergies $E_C(t)$ et $E_L(t)$ emmagasinées respectivement dans le condensateur et dans la bobine.

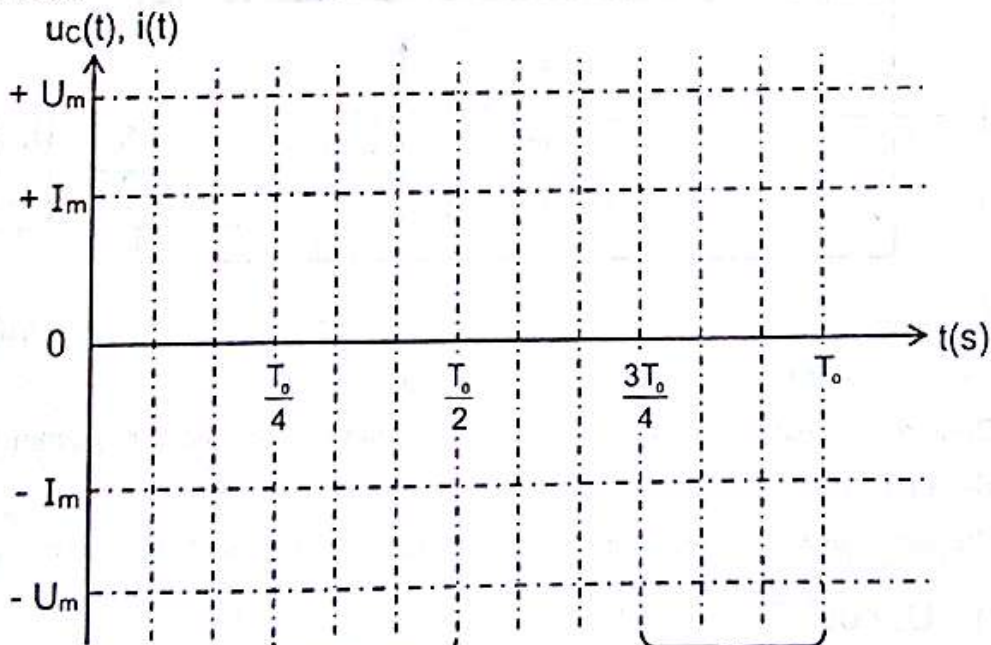
2.4.2 Montrer qu'à chaque instant, l'énergie totale se conserve.

FEUILLE ANNEXE (EXERCICE 2) à rendre avec la copie

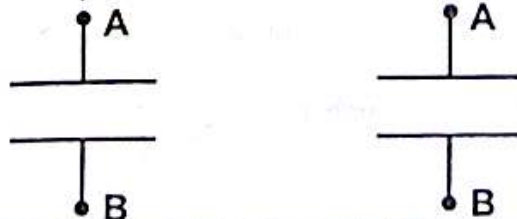
Question 2.3.1

$t(s)$	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
$u_C(t)$ (V)					
$i(t)$ (A)					

Question 2.3.2



Question 2.3.3



Exercice 3

On se propose de réaliser un dosage acido-basique pour déterminer la concentration C_B d'une solution aqueuse d'ammoniac. Pour cela, on prépare deux solutions S_1 et S_2 .

1. S_1 est une solution aqueuse de chlorure d'hydrogène de concentration molaire $C_A = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$.

Elle est obtenue à partir d'une solution S_0 de chlorure d'hydrogène de concentration $C_0 = 1 \text{ mol.L}^{-1}$.

1.1 Donner le nom de l'opération à effectuer pour préparer la solution S_1 à partir de S_0 .

1.2 Déterminer le volume V_0 de la solution S_0 à prélever pour obtenir un volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ de la solution.

1.3 Décrire la préparation de la solution S_1

2. S_2 est une solution d'ammoniac. Elle est préparée en faisant dissoudre une masse m d'ammoniac dans de l'eau distillée pour obtenir 1 L de solution.

On dose un volume $V_B = 20 \text{ mL}$ de la solution de la solution S_2 par la solution S_1 . Le virage de l'indicateur coloré est obtenu lorsqu'on a versé un volume de 18,5 mL de solution S_1 .

2.1 Ecrire l'équation-bilan de la réaction du dosage.

2.2 Déterminer la concentration molaire volumique C_B de S_2 .

2.3 Calculer la masse m d'ammoniac dissoute.

2.4 Une solution particulière est obtenue au cours du dosage quand on a versé 9,25 mL de solution acide.

2.4.1 Donner le nom de cette solution

2.4.2 Donner la relation liant le pH au pKa pour cette solution.

3. On veut déterminer la valeur du pKa du couple ion ammonium/ammoniac. Pour cela, on étudie la solution S_2 de concentration $C_B = 9,25 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et $\text{pH} = 11,1$ à 25°C .

3.1 Ecrire l'équation-bilan de la mise en solution de l'ammoniac dans l'eau.

3.2 Recenser les espèces chimiques présentes dans la solution S_2 .

3.3 Calculer :

3.3.1 les concentrations molaires volumiques de ces espèces.

3.3.2 Le pKa du couple ammonium/ammoniac.

Données : masses molaires atomiques en g.mol^{-1} C : 12 ; O : 16 ; H : 1 ; N : 14

Exercice 4

On considère un alcool primaire à chaîne carbonée saturée non ramifiée A de formule $R-CH_2OH$. Par oxydation ménagée de A on obtient un composé organique B qui rosit le réactif de Schiff.

1.

1.1 Déterminer la fonction chimique de B et donner son groupe fonctionnel.

1.2 Le composé B est transformé à son tour en un produit D dont la solution aqueuse prend une coloration jaune en présence de bleu de bromothymol.

Donner la fonction et le groupe fonctionnel de D.

2. On fait dissoudre 0,37 g de D dans un litre d'eau. On prélève $V_a = 50$ mL de cette solution que l'on dose avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_B = 10^{-2}$ mol.L⁻¹. L'équivalence acido-basique a lieu quand on a ajouté $V_b = 25$ mL de la solution d'hydroxyde de sodium.

2.1 Ecrire l'équation-bilan de la réaction acido-basique.

2.2 Déterminer la formule brute du composé D.

2.3 Donner le nom et la formule semi-développée du composé D.

3. Déduire de ces expériences la formule semi-développée et le nom de A.

4. On fait agir du pentachlorure de phosphore (PCl_5) sur le composé D. On obtient un composé organique E.

4.1 Ecrire l'équation-bilan de la réaction.

4.2 Le composé E réagit avec l'ammoniac pour donner un composé organique F et du chlorure d'ammonium.

Ecrire l'équation-bilan de la réaction chimique de E sur l'ammoniac.

4.3 Nommer le composé F et préciser sa famille chimique.

$M_C = 12$ g.mol⁻¹; $M_O = 16$ g.mol⁻¹; $M_H = 1$ g.mol⁻¹

SUJET 9 : BAC SERIES C & E SESSION NORMALE 2015**Exercice 1**

Le mouvement d'un satellite (S) de masse m_s est étudié dans le référentiel géocentrique considéré galiléen. La Terre est assimilée à une sphère homogène de masse M_T , de rayon R_T et de centre O. La période de rotation de la Terre autour de l'axe des pôles est notée T_T . Le satellite (S) est assimilable à un point matériel O' se déplaçant d'un mouvement uniforme sur une trajectoire circulaire de rayon $r = R_T + h$, h étant l'altitude du satellite.

On donne : $M_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg ; $R_T = 6380$ km ; $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI ; $T_T = 86164$ s.



Figure 1

1-

1.1. Donner l'expression de la valeur F de la force gravitationnelle \vec{F} exercée par la Terre sur le satellite en fonction de m_s , M_T , R_T , h et G (constante universelle de gravitation).

1.2. Exprimer le vecteur force \vec{F} en fonction du vecteur unitaire \vec{u} .

2- Reproduire la figure 2 et représenter qualitativement :

2.1. le vecteur force \vec{F} au point O' ;

2.2. les vecteurs vitesses et accélérations aux points A et B de la trajectoire (figure 2).

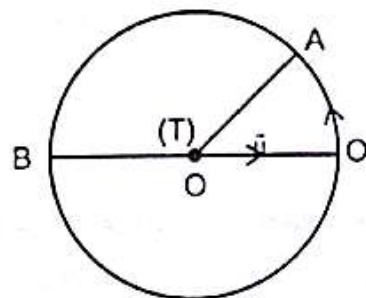


Figure 2

3-

3.1. Établir l'expression de la vitesse v_s du satellite en fonction de M_T , R_T , h et G .

3.2. Exprimer la vitesse du satellite en fonction de sa période de révolution T et montrer que

le rapport $\frac{T^2}{(R_T + h)^3}$ est constant.

4- Le satellite est géostationnaire.

4.1. Donner le nom du plan dans lequel se trouve la trajectoire de ce satellite.

4.2. Calculer son altitude h et la vitesse v avec laquelle il parcourt sa trajectoire.

4.3. La Lune est un satellite de la Terre. Soit O'' son centre d'inertie. Sa période de révolution autour de la Terre est : $T_L = 27$ j 07 h 43 min.

Calculer la distance D séparant les centres d'inertie de la Terre et de la Lune, en utilisant le résultat de la question 3.2.

5- On admet que $D = 3,84 \cdot 10^5$ km et on donne $M_L = 7,34 \cdot 10^{22}$ kg.

On place entre ces deux astres à une distance d par rapport au centre de la Terre, un satellite S' de masse m' au point I (figure 3).

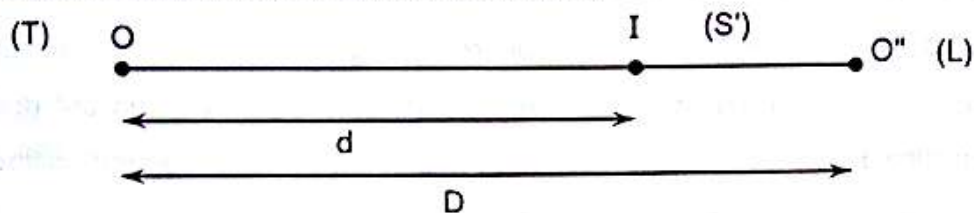


Figure 3

On supposera que les centres d'inertie de la Terre, de la Lune et du satellite S' sont alignés.

5.1. Exprimer les valeurs F_1 et F_2 des forces respectivement exercées par la Terre et par la Lune sur S' , en fonction de G , M_T , M_L , m' , d et D .

5.2. Calculer d si $F_2 = F_1$.

Exercice 2

1^{ère} partie :

Un circuit électrique fermé est constitué des dipôles suivants :

- un générateur de tension constante et de résistance interne négligeable ;
- un interrupteur K ;
- des fils de connexion ;
- un solénoïde b_1 , de longueur $\ell_1 = 0,9$ m, formé de $N_1 = 2000$ spires de section $S_1 = 200$ cm².

À l'intérieur de b_1 se trouve un autre solénoïde b_2 dont les bornes A et B sont reliées à un galvanomètre G.

Les solénoïdes b_1 et b_2 sont en position horizontale et coaxiaux. Leurs centres coïncident au point O de l'axe $x'x$.

Pour plus de clarté, certaines spires ne sont pas représentées sur la figure 1.

L'intensité du courant qui circule dans b_1 est $I_1 = 0,12$ A. On donne : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI.

1- Déterminer l'inductance L_1 du solénoïde b_1 .

2- Déterminer la valeur B du vecteur champ magnétique \vec{B} créé à l'intérieur de b_1 .

3- On ouvre l'interrupteur K , le galvanomètre détecte un bref courant qui circule dans le solénoïde b_2 .

3.1. Représenter qualitativement, l'allure de la variation de l'intensité du courant en fonction du temps dans le solénoïde b_1 .

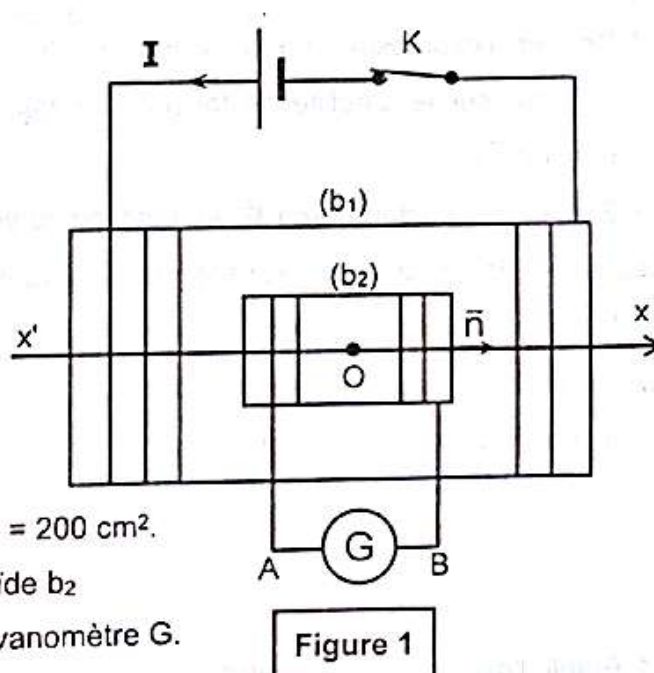


Figure 1

3.2. Donner le nom du phénomène physique qui justifie cette allure.

3.3. Donner le nom du phénomène physique qui crée le courant i_2 dans le solénoïde b_2 .

3.4. Reproduire le schéma de la figure 1 et représenter :

3.4.1. les sens des courants i_1 et i_2 circulant dans les solénoïdes b_1 et b_2 ;

3.4.2. les vecteurs champs magnétiques \vec{B}_1 et \vec{B}_2 respectivement dans b_1 et b_2 au point O.

2^{ème} partie :

4- Dans la suite de l'exercice, on prendra $L_1 = 0,11$ H.

Le générateur de tension constante est remplacé par un générateur de basses fréquences délivrant une tension triangulaire. La courbe représentative du courant variable $i(t)$, dans le solénoïde b_1 est donnée à la figure 2.

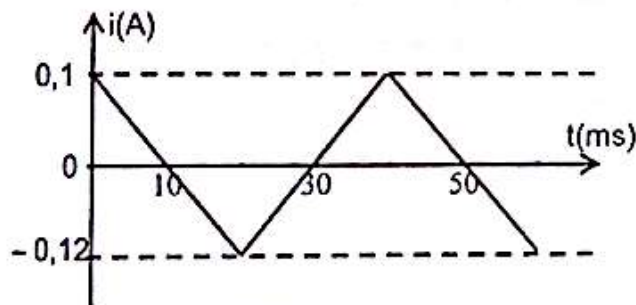


Figure 2

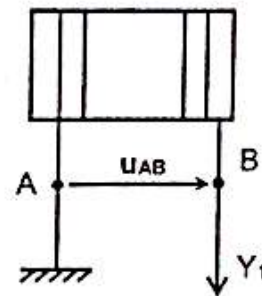


Figure 3

Les bornes de A et B de b_2 sont maintenant connectées sur les voies d'un oscilloscope, en remplacement du galvanomètre.

L'intensité du courant dans le solénoïde b_1 a pour expression :

$$i(t) = -12t + 0,12 \text{ sur l'intervalle } [0 ; 20 \text{ ms}] \text{ et}$$

$$i(t) = 12t - 0,36 \text{ sur l'intervalle }]20 \text{ ms} ; 40 \text{ ms}].$$

4-1. Établir l'expression du champ B_1 en fonction du temps sur chacun de ces intervalles.

4-2. Le solénoïde b_2 est formé de $N_2 = 500$ spires de section $S_2 = 100 \text{ cm}^2$. Le vecteur normal \vec{n} est orienté comme indiqué sur la figure 1.

Établir l'expression du flux φ_2 dans b_2 en fonction du temps sur chacun de ces intervalles.

4-3. Déterminer la tension $u_{BA}(t)$ aux bornes de l'oscilloscope sur chacun de ces intervalles.

4-4. Reproduire la figure 2 et représenter qualitativement l'allure de $u_{BA}(t)$ sur l'intervalle $[0 ; 40 \text{ ms}]$.

Exercice 3

Au cours d'une séance de TP, un groupe d'élèves dose 10 cm^3 d'une solution d'un acide carboxylique de formule AH de concentration inconnue C_A par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration C_B égale à 10^{-1} mol/L .

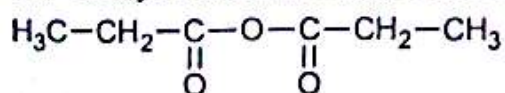
Le groupe mesure le pH du mélange en fonction du volume V_B de solution de base versée. La courbe $\text{pH} = f(V_B)$ est représentée sur la feuille annexe.

- 1- Écrire l'équation-bilan de la réaction du dosage.
 - 2- Déterminer graphiquement :
 - 2.1. les coordonnées (V_E ; pH_E) du point d'équivalence E.
 - 2.2. le pK_A du couple acide/base.
 - 3- Déterminer la concentration C_A de la solution dosée.
 - 4- La masse m d'acide carboxylique dissoute dans les 10 cm^3 est 122 mg .
 - 4.1. Déterminer la masse molaire moléculaire de l'acide. On prendra $C_A = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.
 - 4.2. En déduire la formule semi-développée et le nom de l'acide sachant que sa molécule comporte un noyau benzénique.
 - 5-
 - 5.1. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange lorsque le volume de base versé est $V_B = 9,5 \text{ cm}^3$.
 - 5.2. Vérifier que le rapport $\frac{[A^-]}{[AH]}$ est égal à 20.
 - 5.3. Calculer les concentrations molaires volumiques des espèces chimiques présentes dans le mélange.
 - 5.4. Calculer le pK_A du couple et le comparer avec la valeur obtenue graphiquement.
- Données : masses molaires atomiques en g.mol^{-1} ; C : 12; H : 1; O : 16

Exercice 4

Dans tout l'exercice, l'acide propanoïque de formule $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ est noté A et l'éthanol de formule $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ est noté B.

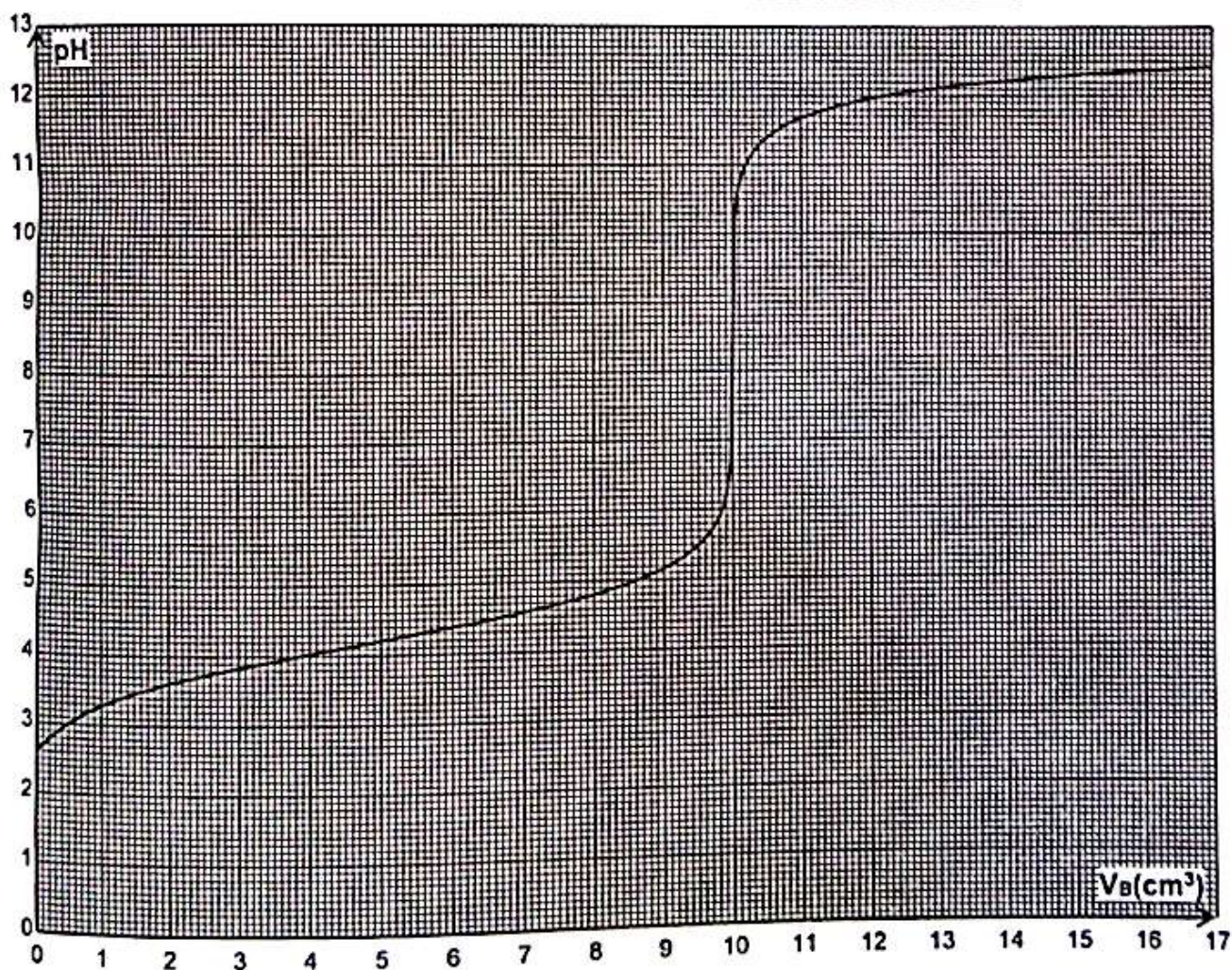
- 1- On fait agir A sur B et on obtient un composé organique C.
 - 1.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction chimique entre A et B.
 - 1.2. Donner le nom et les caractéristiques de cette réaction.
 - 1.3. Donner la formule semi-développée et le nom de C.
- 2- Par déshydratation intermoléculaire de A on obtient le composé D de formule.



- 2.1. Donner le nom du composé D et la famille chimique à laquelle il appartient.

- 2.2. Le composé C peut être obtenu en faisant réagir D et B ;
- 2.2.1. Écrire l'équation-bilan de la réaction chimique.
- 2.2.2. Donner les caractéristiques de cette réaction chimique.
- 3- On a utilisé 10 g d'anhydride d'acide pour préparer C. Déterminer la masse de B utilisée.
- 4- Par action de l'ammoniac sur le composé A on obtient un carboxylate d'ammonium qui par déshydratation donne un composé organique E.
- 4.1. Écrire l'équation-bilan de :
- 4.1.1. la réaction chimique entre A et l'ammoniac;
- 4.1.2. la déshydratation du carboxylate d'ammonium.
- 4.2. Donner la formule semi-développée et le nom de E.

Exercice 3 : Feuille annexe à rendre avec la copie



SUJET 10 : BAC SERIES C & E SESSION NORMALE 2016**Exercice 1****Première partie**

L'évolution du nombre, N à la date, t d'un échantillon radioactif est donnée par la relation

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

1. Dire ce que signifie N_0 et λ .
2.
 - 2.1. Définir la période T d'un échantillon radioactif.
 - 2.2. Etablir l'expression de la période T en fonction de λ .
3. Représenter qualitativement la courbe $N = f(t)$ d'évolution du nombre de noyaux en fonction du temps. On placera sur cette courbe les points remarquables suivants :
A (0, $N(0)$) ; B (T , $N(T)$) ; C ($2T$, $N(2T)$) et D ($3T$, $N(3T)$).

Deuxième partie

Le radium, ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ au repos émet au cours d'une désintégration un noyau fils ${}_{82}^{\text{A}}\text{Rn}$ et une particule α (${}_{2}^4\text{He}$).

1. Déterminer :
 - 1.1. L'énergie de liaison E_1 du noyau de radium en MeV,
 - 1.2. L'énergie de liaison par nucléon E_a du radium.

On donne : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$; $m_{\text{Ra}} = 225,9770 \text{ u}$
 m_p (Masse d'un proton) = $1,007276 \text{ u}$; m_n (Masse d'un neutron) = $1,008665 \text{ u}$
2. On considère que le nucléide fils est produit dans son état fondamental.
L'équation de la désintégration s'écrit : ${}_{88}^{226}\text{Ra} \longrightarrow {}_{82}^{\text{A}}\text{Rn} + {}_{2}^4\text{He}$
 - 2.1. Calculer A et Z à partir des lois de conservation des nombres de masse et de charge.
 - 2.2. Déterminer l'énergie totale E_1 libérée en mégaelectronvolts (MeV) lors de cette désintégration. Données : $m_{\text{Rn}} = 221,9703 \text{ u}$; $m_{\alpha} = 4,00150 \text{ u}$.
3. Soient S et S' deux sources de radium.
 - 3.1. A la date initiale ($t = 0 \text{ s}$), la masse S est $m_0 = 5,65 \text{ mg}$.
 - 3.1.1. Etablir l'expression du nombre de noyaux N_0 contenu dans S, en fonction de m_0 , \mathcal{N} et du nombre de nucléons $A = 226$.
 - 3.1.2. Calculer N_0 . Donnée : $\mathcal{N} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
 - 3.2. A la même date initiale ($t = 0 \text{ s}$), la source S' a une activité $A_0' = 1,96 \cdot 10^{30} \text{ Bq}$.
La période radioactive du radium est $T = 1600 \text{ ans}$.
Calculer le nombre de noyaux N_0' de S'.
 - 3.3. Comparer les nombres n et n' de particules α émises respectivement par les sources S et S' pendant la même durée. Justifier votre réponse.
Données : la durée d'une année est de 365,25 jours.

Exercice 2

Au cours d'une journée dénommée « la journée de la physique », un groupe d'élèves se propose de déterminer par deux méthodes différentes, les caractéristiques d'une bobine de résistance r et d'inductance L et d'observer le phénomène de la résonance d'intensité du courant électrique.

Le groupe dispose en plus de la bobine, du matériel suivant :

- un conducteur ohmique de résistance $R = 20 \Omega$;
- un voltmètre de grande impédance ;
- un générateur délivrant une tension alternative sinusoïdale de fréquence $f = 50 \text{ Hz}$; U_{AM} , U_{BA} , U_{BM} .
- un oscilloscope bicourbe ;
- des fils de connexion.

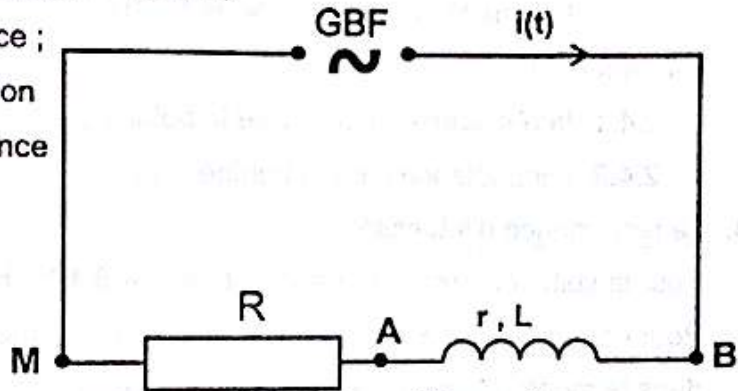


Figure 1

1. Première méthode

Les élèves réalisent le montage schématisé ci-dessus.

A l'aide d'un voltmètre de grande impédance, ils mesurent les tensions U_{AM} , U_{BA} , U_{BM} . Ils obtiennent les résultats suivants : $U_{AM} = 1,41 \text{ V}$; $U_{BA} = 2,06 \text{ V}$ et $U_{BM} = 2,83 \text{ V}$.

- 1.1. Déterminer la valeur efficace I de l'intensité du courant électrique qui traverse le circuit.
- 1.2. Représenter le diagramme de Fresnel à partir des tensions U_{AM} , U_{BA} , U_{BM} , l'origine des phases étant celle de l'intensité du courant dans le circuit. Echelle : 5 cm pour 1 V.
- 1.3. Déterminer à partir du diagramme de Fresnel :

- 1.3.1. La résistance r de la bobine ;
- 1.3.2. L'inductance L de la bobine.

2. Deuxième méthode

Les élèves visualisent à l'oscilloscope la tension U_{BM} sur la voie 1 et sur la tension U_{AM} sur la voie 2.

L'oscillogramme obtenu est représenté sur la figure 2.

Sensibilité verticale : voie 1 : 1 V/div ;
Voie 2 : 1 V/div ;

Sensibilité horizontale : 2,5 ms/div.

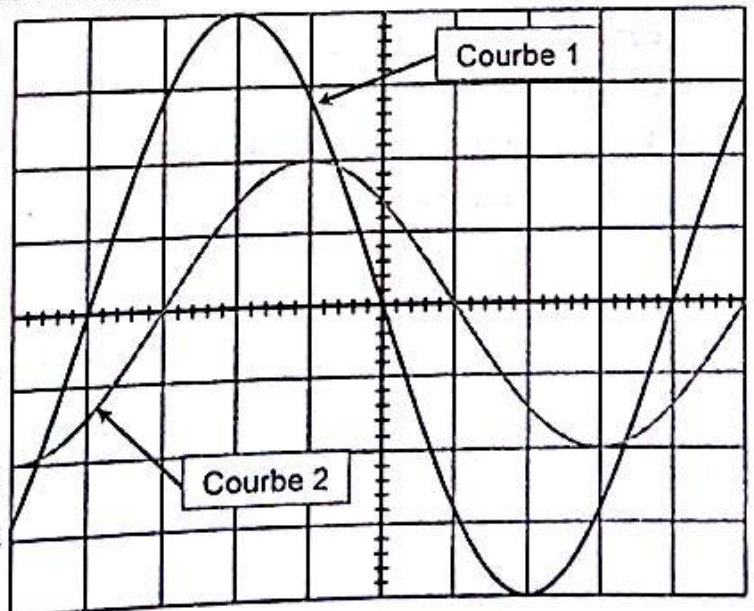


Figure 2

- 2.1. Reproduire la figure 1 et représenter les branchements effectués à l'oscilloscope.

2.2. Indiquer la courbe représentant les variations de la tension U_{AM} et justifier votre réponse.

2.3. Déterminer à partir de la figure 2 :

2.3.1. La fréquence de la tension délivrée par le générateur ;

2.3.2. La valeur maximale U_{AMmax} de la tension aux bornes du conducteur ohmique R ;

2.3.3. La valeur maximale I_{max} de l'intensité du courant qui traverse le circuit électrique ;

2.3.4. La valeur de la phase φ_{u_i} de la tension $u(t)$ aux bornes du générateur par rapport à l'intensité $i(t)$ qui traverse le circuit.

2.4. Déterminer :

2.4.1. la résistance interne r de la bobine ;

2.4.2. L'inductance L de la bobine.

3. La résonance d'intensité

Pour la suite, on prendra : $r = 8,3 \Omega$ et $L = 9 \cdot 10^{-2} \text{ H}$.

Pour observer le phénomène de la résonance d'intensité, le groupe d'élèves insère en série, dans le montage précédent, un condensateur.

La tension délivrée par le générateur est $u = 2,83\sqrt{2} \cos(100\pi t)$.

Déterminer :

3.1. La valeur de la capacité C du condensateur ;

3.2. La valeur efficace I de l'intensité du courant dans le circuit.

Exercice 3

1. On veut préparer un volume $V = 1 \text{ L}$ d'une solution S d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ à partir d'une solution mère S_0 de concentration molaire $C_0 = 1 \text{ mol.L}^{-1}$.

1.1. Déterminer le volume V_0 de la solution S_0 à prélever.

1.2. Décrire le mode opératoire pour la préparation de la solution S sachant que l'on dispose du matériel suivant :

- fiole jaugée de 1000 mL.
- pipette jaugée munie d'une poire à pipeter de 10 mL ;
- bécher ;
- pissette ;
- eau distillée.

2. On procède au dosage de $V_A = 20$ mL d'une solution d'acide lactique avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 10^{-2}$ mol.L⁻¹. L'acide lactique est un monoacide faible que l'on note AH. Le volume de soude versé à l'équivalence est $V_{bE} = 20$ mL.

2.1. Ecrire l'équation bilan de la réaction entre l'acide lactique et l'hydroxyde de sodium.

2.2. Calculer la concentration C_a de l'acide lactique.

2.3. On réalise un mélange avec un volume $V_a = 20$ mL d'acide lactique de concentration $C_a = 10^{-2}$ mol.L⁻¹ et un volume $V_b = 16$ mL de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 10^{-2}$ mol.L⁻¹. Le pH du mélange vaut 4,5.

2.3.1. Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange et calculer leurs concentrations molaires.

2.3.2. Calculer le pKa du couple acide lactique/ion lactate (AH/A⁻).

Exercice 4

1. Un acide carboxylique saturé est noté A. La molécule de A comporte n atomes de carbone.

1.1. Exprimer la formule générale de A en fonction du nombre n d'atomes de carbone.

1.2. La combustion complète de 0,05 mol de l'acide carboxylique A donne 0,2 mol de dioxyde de carbone et 0,2 mol d'eau.

1.2.1. Ecrire l'équation bilan de la réaction de la combustion complète de A.

1.2.2. Montrer que la formule brute de A est C₄H₈O₂.

1.2.3. Donner la formule semi-développée et le nom de A sachant que celle-ci comporte une ramification.

2. On se propose de préparer un ester E : le 2-méthylpropanoate d'éthyle.

On dispose de l'acide 2-méthanoïque, de l'éthanol et du décaoxyde de tétraphosphore (P₄O₁₀)

2.1. Ecrire la formule semi développée de l'ester E.

2.2. Donner la formule semi développée et le nom du composé B que l'on peut préparer à partir de l'acide fourni du décaoxyde de tétraphosphore.

2.3.

2.3.1. Ecrire l'équation bilan de la réaction de préparation de l'ester E en utilisant la formule semi développée de B.

2.3.2. Donner le nom et les caractéristiques de cette réaction chimique.

2.3.3. Calculer la masse m_E de l'ester formé sachant qu'on a utilisé 4,6 g d'éthanol.

On donne : $M_C = 12$ g.mol⁻¹ ; $M_O = 16$ g.mol⁻¹ ; $M_H = 1$ g.mol⁻¹.

CORRECTION DU SUJET 1 : BAC SERIE D 2010

Exercice 1

1- Lors du parcours AO, la bille B₁ est soumise à une force de frottement \vec{f} .

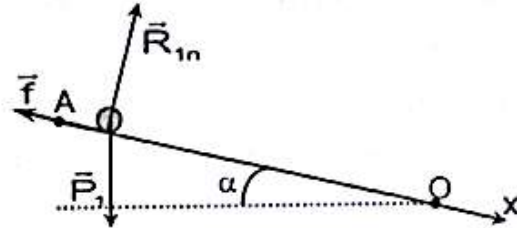
1.1. Inventaire des forces qui agissent sur la bille B₁.

système : bille B₁ de masse m₁

référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces :

- le poids \vec{P}_1 de la bille B₁,
- la réaction normale \vec{R}_{1n} de la piste,
- les forces de frottement \vec{f}



1.2. Représentation des forces sur un schéma : (voir schéma ci-dessus)

1.3. Déterminons l'accélération a₁ de la bille B₁.

théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m_1 \vec{a}_1 \Rightarrow \vec{P}_1 + \vec{R}_{1n} + \vec{f} = m_1 \vec{a}_1$

projection sur l'axe (Ax) : $m_1 g \sin \alpha + 0 - f = m_1 a_1$

$$\Rightarrow m_1 g \sin \alpha - f = m_1 a_1 \Rightarrow a_1 = \frac{m_1 g \sin \alpha - f}{m_1} \Rightarrow a_1 = g \sin \alpha - \frac{f}{m_1}$$

$$\text{Application numérique : } a_1 = 9,8 \times \sin 30^\circ - \frac{0,3}{0,100} \Rightarrow a_1 = 1,9 \text{ m/s}^2$$

1.4. Dédution de la nature du mouvement de la bille B₁.

L'accélération est une constante et la trajectoire est une droite donc le mouvement de la bille B₁ est rectiligne uniformément varié (accélééré car $\vec{a}_1 \cdot \vec{v}_1 = 0$).

1.5. Déterminons la valeur de la vitesse v₀ de la bille B₁ à son arrivée au point O.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et O.

$$\Delta E_{c_{A \rightarrow O}} = \Sigma W(\vec{F}_{\text{ext}})_{A \rightarrow O} \Rightarrow E_{cO} - E_{cA} = W(\vec{P}_1)_{A \rightarrow O} + W(\vec{R}_{1n})_{A \rightarrow O} + W(\vec{f})_{A \rightarrow O}$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 - 0 = m_1 g O A \sin \alpha + 0 - f O A \Rightarrow v_0^2 = 2 O A \left(g \sin \alpha - \frac{f}{m_1} \right) = 2 O A a_1$$

$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{2 O A \left(g \sin \alpha - \frac{f}{m_1} \right)} = \sqrt{2 O A a_1} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2 \times 1 \times 1,9} = 1,95 \text{ m/s}$$

Autre méthode (plus simple)

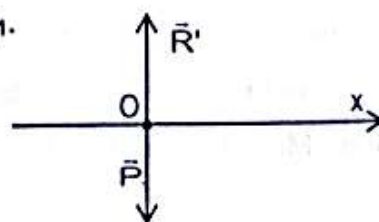
$$v_0^2 - v_A^2 = 2 a_1 (x_0 - x_A) \Rightarrow v_0^2 - 0 = 2 a_1 O A \Rightarrow v_0^2 = 2 a_1 O A \Rightarrow v_0 = \sqrt{2 a_1 O A}$$

2- Lors du parcours OC, les forces de frottements sont supposées négligeables.

2.1. Inventaire des forces appliquées sur la bille B₁.

bilan des forces :

- le poids \vec{P}_1 de la bille B₁,
- la réaction \vec{R}' de la piste (OC).



2.2. Déterminons l'accélération \vec{a}_1 de la bille B_1 .

théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m_1 \vec{a}_1 \Rightarrow \vec{P}_1 + \vec{R}' = m_1 \vec{a}_1$

projection sur l'axe (Ox) : $0 + 0 = m_1 a_1$ or $m_1 \neq 0 \Rightarrow a_1 = 0 \text{ m/s}^2$.

2.3. Dédudition de la nature du mouvement de la bille B_1 .

L'accélération est nulle et la trajectoire est une droite donc le mouvement de la bille B_1 est rectiligne uniforme.

2.4. Donnons la valeur v_C de la vitesse en C.

Le mouvement de la bille B_1 étant uniforme sur cette partie alors $v_C = v_0 = 1,95 \text{ m/s}$.

3- Au passage de B_1 en O, on lâche sans vitesse initiale la bille B_2 .3.1. Déterminons les équations horaires du mouvement de la bille B_1 .

Le mouvement de la bille B_1 étant rectiligne uniforme l'équation horaire est de la forme :

$x_1 = v_0 t + x_0$; où $v_0 = 1,95 \text{ m/s}$ et $x_0 = x_O = 0$.

On obtient alors comme équations horaires :

$$\vec{a}_1 \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \end{cases} ; \quad \vec{v}_1 \begin{cases} v_{1x} = v_0 = 1,95 \text{ m/s} \\ v_{1y} = 0 \end{cases} ; \quad \overline{OM}_1 \begin{cases} x_1 = v_0 t = 1,95t \\ y_1 = 0 \end{cases}$$

3.2. Déterminons les équations horaires du mouvement de la bille B_2 .

système : bille B_2 de masse m_2

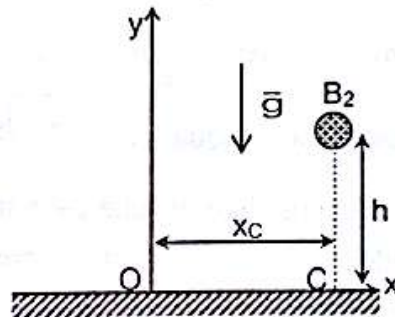
référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces : le poids \vec{P}_2 de la bille B_2

Appliquons le théorème du centre d'inertie :

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m_2 \vec{a}_2 \Rightarrow \vec{P}_2 = m_2 \vec{g} = m_2 \vec{a}_2 \Leftrightarrow \vec{a}_2 = \vec{g} = \text{cste}$$

Donc le mouvement de la bille B_2



est uniformément varié ainsi on a : $\vec{v}_2 = \vec{a}_2 t + \vec{v}_{02}$ et $\overline{OM}_2 = \frac{1}{2} \vec{a}_2 t^2 + \vec{v}_{02} t + \overline{OM}_{02}$

B_2 est lâchée sans vitesse initiale à une hauteur h donc à $t = 0$, $v_{02} = 0$, $y_{02} = h$.

$$\vec{a}_2 \begin{cases} a_{2x} = 0 \\ a_{2y} = -g = -9,8 \text{ m/s}^2 \end{cases} ; \quad \vec{v}_2 \begin{cases} v_{2x} = 0 \\ v_{2y} = -gt = -9,8t \end{cases} ; \quad \overline{OM}_2 \begin{cases} x_2 = x_C \\ y_2 = -\frac{1}{2}gt^2 + h = -4,9t^2 + 2 \end{cases}$$

3.3. Déterminons la distance OC pour que les billes B_1 et B_2 se croisent en C.

Calculons d'abord le temps t_C de la rencontre au point C.

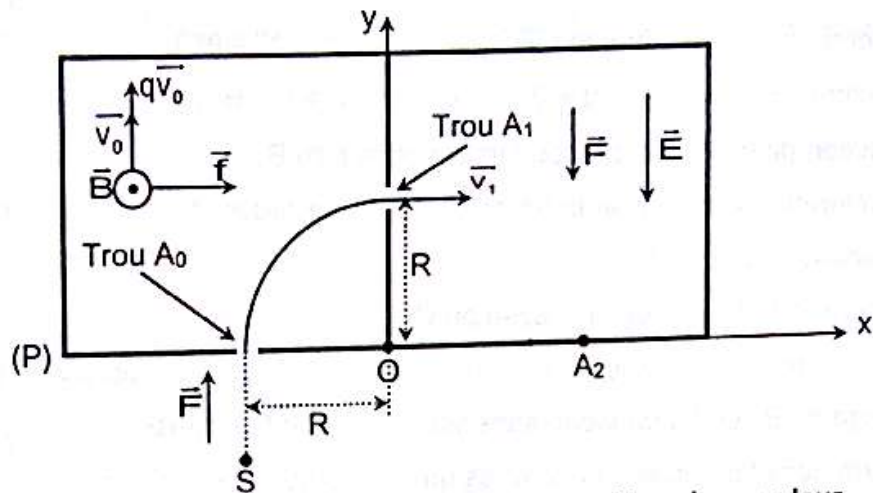
Pour que les billes B_1 et B_2 se croisent en C, il faut que $y_2 = y_C$.

$$\Rightarrow -4,9t_C^2 + 2 = 0 \Rightarrow t_C^2 = \frac{2}{4,9} \Rightarrow t_C = \sqrt{\frac{2}{4,9}} \approx 0,64 \text{ s}$$

Donc les billes B_1 et B_2 se croisent en C à la date $t_C = 0,64 \text{ s}$.

La distance OC est alors : $x_C = 1,95t_C = 1,95 \times 0,64 = 1,25 \text{ m}$.

Exercice 2



1- Expression de la vitesse v_0 des protons en fonction de m , e U_0 , puis sa valeur.

système : protons de masse m

référentiel de laboratoire supposé galiléen

bilan des forces : force électrostatique \vec{F}

théorème de l'énergie cinétique entre S et P :

$$\Delta E_{C_{S \rightarrow P}} = \Sigma W(\vec{F}_{ext})_{S \rightarrow P} \Rightarrow E_{C_P} - E_{C_S} = W(\vec{F})_{S \rightarrow P} \Rightarrow \frac{1}{2}mv_P^2 - \frac{1}{2}mv_S^2 = q(V_S - V_P)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv_0^2 - 0 = eU_0 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_0^2 = eU_0 \Rightarrow v_0^2 = \frac{2eU_0}{m} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$$

$$\text{Application numérique : } v_0 = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 250}{1,67 \cdot 10^{-27}}} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ m/s.}$$

2- Le faisceau pénètre ensuite dans une région où règne un champ magnétique \vec{B} .

2.1. Indiquons sur un schéma le sens du vecteur champ magnétique \vec{B} .

Tout proton qui pénètre dans le champ magnétique est soumis à la force de Lorentz.

La charge des protons est positive donc \vec{v}_0 et $q\vec{v}_0$ ont le même sens.

Pour que les protons sortent par le trou A_1 , il faudrait que la force de Lorentz soit orientée vers la droite (de A_0 vers O). De plus pour que le trièdre $(q\vec{v}_0, \vec{B}, \vec{i})$ soit direct, le champ \vec{B} doit être orienté vers l'avant (sortant). Voir schéma ci-dessus.

2.2. Exprimons B en fonction de R , m , U_0 et e . Puis calculons sa valeur.

bilan des forces : force de Lorentz \vec{f}

Appliquons le théorème du centre d'inertie aux protons

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{f} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}}{m} \Rightarrow a = \frac{ev_0 B}{m}$$

Pour un mouvement curviligne on a :

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_r = a_n \vec{n} + a_r \vec{r} = \frac{v_0^2}{R} \vec{n} + \frac{dv_0}{dt} \vec{r} \text{ or } v_0 = \text{constante donc } \frac{dv_0}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow \vec{a} = \frac{v_0^2}{R} \vec{n} = \frac{q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}}{m} \Leftrightarrow \frac{v_0^2}{R} = \frac{ev_0 B}{m} \Rightarrow \frac{v_0}{R} = \frac{eB}{m} \Rightarrow B = \frac{mv_0}{eR} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2mU_0}{e}}$$

Application numérique : $B = \frac{1}{0,12} \times \sqrt{\frac{2 \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times 250}{1,6 \cdot 10^{-19}}} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T} = 19 \text{ mT}$

2.3. Caractéristiques du vecteur vitesse \vec{v}_1 des protons à la traversée du trou A_1 .

Le mouvement dans le champ \vec{B} est uniforme donc $v_1 = v_0$.

Les protons arrivent au trou A_1 avec une vitesse \vec{v}_1 horizontale orientée vers la droite (de A_0 vers O) et de valeur $v_1 = v_0 = 2,2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ dont l'origine est le point A_1 .

3- Le faisceau de protons pénètre en A_1 dans une région où règne un champ uniforme \vec{E} .

3.1. Inventaire et représentation des forces extérieures appliquées à un proton.

bilan des forces : force électrostatique $\vec{F} = e\vec{E}$ (le poids des protons est négligeable devant cette force).

La charge des protons est positive donc le champ \vec{E} et la force \vec{F} ont le même sens.

Pour la représentation voir schéma ci-dessus.

3.2. Etablissons les équations horaires du mouvement d'un proton.

D'après le théorème du centre d'inertie,

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} = \frac{e\vec{E}}{m}$$

L'accélération est constante donc le mouvement est uniformément varié.

$$\vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 = \frac{e\vec{E}}{m}t + \vec{v}_0 \quad \text{et} \quad \vec{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{OG}_0 = \frac{e\vec{E}}{2m}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{OG}_0$$

$$\text{À } t = 0 \text{ s, } \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -\frac{eE}{m} \end{pmatrix}; \vec{v}_0 \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_1 = v_0 \\ \dot{y}_0 = 0 \end{pmatrix}; \vec{OG}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = R \end{pmatrix}$$

$$\text{À } t \neq 0 \text{ s, } \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = v_0 \\ \dot{y} = -\frac{eE}{m}t \end{pmatrix}; \vec{OG} \begin{pmatrix} x = v_0t \\ y = -\frac{eE}{2m}t^2 + R \end{pmatrix}$$

3.3. Déduction de l'équation cartésienne de la trajectoire du proton.

$$x = v_0t \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_0} \Rightarrow y = -\frac{eE}{2m} \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 + R = -\frac{eE}{2mv_0^2} x^2 + R.$$

3.4. Donnons la nature de la trajectoire des protons.

L'équation cartésienne nous indique que les protons ont une trajectoire parabolique.

3.5. Déterminons les coordonnées du point A_2 .

En A_2 , $y = 0$ puisque A_2 se trouve sur l'axe des abscisses (Ox).

$$\Rightarrow 0 = -\frac{eE}{2mv_0^2} x_{A_2}^2 + R \Rightarrow \frac{eE}{2mv_0^2} x_{A_2}^2 = R \Rightarrow x_{A_2}^2 = \frac{2mv_0^2 R}{eE} \Rightarrow x_{A_2} = \sqrt{\frac{2mv_0^2 R}{eE}}$$

$$\Rightarrow x_{A_2} = v_0 \sqrt{\frac{2mR}{eE}} = 2,2 \cdot 10^5 \times \sqrt{\frac{2 \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times 12 \cdot 10^{-2}}{1,6 \cdot 10^{-19} \times 5 \cdot 10^3}} = 0,156 \text{ m} = 15,6 \text{ cm}$$

Les coordonnées du point A_2 sont : $A_2 \begin{pmatrix} x_{A_2} = 0,156 \text{ m} \\ y_{A_2} = 0 \end{pmatrix}$

Exercice 3

1-

1.1. Analysons les résultats du test 1 et du test 2.

La flamme jaune nous indique que la solution S_0 contient des ions sodium Na^+ .

Le précipité d'hydroxyde de cuivre révèle la présence d'ions hydroxydes OH^- dans S_0 .

1.2. Dédution la nature de la solution S_0 .

La solution S_0 contient à la fois les ions sodium Na^+ et hydroxyde OH^- : c'est une solution d'hydroxyde de sodium (ou soude) NaOH .

2- Koffi prélève $v_0 = 5 \text{ mL}$ de solution S_0 . Il la dilue cent fois pour obtenir une solution S_1 .**2.1. Indiquons la liste des matériels nécessaires à Koffi pour préparer la solution S_1 .**

La solution initiale S_0 est diluée 100 fois et on obtient la solution finale S_1 .

Donc le volume de S_1 est : $v_1 = v_0 \times 100 = 5 \times 100 = 500 \text{ mL}$.

D'où les matériels à utiliser sont :

Fiole jaugée de 500 mL ; Pipette de 5 mL ; Pissette + eau distillée.

2.2. Proposons un mode opératoire à Koffi lui permettant de préparer la solution S_1 .

- Verser une quantité de la solution S_0 dans un bécher ;
- Prélever dans ce bécher, 5 mL de solution S_0 à l'aide de la pipette de 5 mL ;
- Verser les 5 mL de solution prélevée dans une fiole jaugée de 500 mL ;
- Compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge à l'aide de la pissette préalablement remplie d'eau distillée ;
- Rendre homogène la solution obtenue.

2.3. S_1 est une solution de base forte.**2.3.1. Calculons la concentration molaire volumique C_1 de S_1 .**

S_1 est une solution de base forte donc sa concentration obéit à la relation :

$$\text{pH} = 14 + \log C_1 \Rightarrow \text{pH} - 14 = \log C_1 \Rightarrow C_1 = 10^{\text{pH} - 14} = 10^{-2} \text{ mol/L.}$$

2.3.2. Dédution de la concentration molaire volumique C_0 de S_0 .

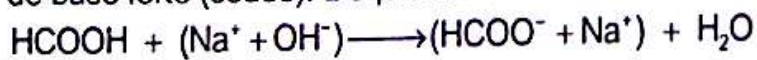
Lors de la dilution la quantité de matière se conserve donc $n_0 = n_1$.

$$C_0 v_0 = C_1 v_1 \Rightarrow C_0 = \frac{C_1 v_1}{v_0} = \frac{10^{-2} \times 500}{5} \Rightarrow C_0 = 1 \text{ mol/L ou } C_0 = 100 C_1$$

3- Dosage de l'acide méthanoïque par une solution de soude.

3.1. Expliquons pourquoi le mélange est basique.

Il s'agit d'une réaction de dosage d'un acide faible (acide méthanoïque) par une solution de base forte (soude). L'équation-bilan de la réaction est :



On obtient à l'équivalence une solution de méthanoate de sodium ($\text{HCOO}^- + \text{Na}^+$) qui est une base faible. Le mélange est donc basique.

3.2. Déterminons la concentration molaire volumique C_2 .

A l'équivalence, la quantité de matière de l'acide est égale à celle de la base :

$$n_2 = n_B \Rightarrow C_2 v_2 = C v_B \Rightarrow C_2 = \frac{C v_B}{v_2} = \frac{10^{-2} \times 20}{10} \Rightarrow C_2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

4- Solution initiale d'acide méthanoïque de concentration $C' = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et de $\text{pH} = 2,9$.

4.1. Inventaire des espèces chimiques présentes dans cette solution.

Ecrivons d'abord l'équation-bilan de la réaction de l'acide méthanoïque avec l'eau :



Bilan des espèces : H_3O^+ , OH^- , HCOOH , HCOO^- , (ou H_2O)

4.2. Calculons la concentration molaire volumique de chaque espèce.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2,9} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} ; [\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{2,9-14} = 7,94 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

$$\text{Electroneutralité : } [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HCOO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{HCOO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } C = [\text{HCOO}^-] + [\text{HCOOH}]$$

$$[\text{HCOOH}] = C - [\text{HCOO}^-] \Rightarrow [\text{HCOOH}] = 10^{-2} - 1,26 \cdot 10^{-3} = 8,74 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

4.3. Déterminons le pK_A du couple acide/base $\text{HCO}_2\text{H}/\text{HCO}_2^-$.

$$\text{pH} = \text{pK}_A + \log \frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} \Rightarrow \text{pK}_A = \text{pH} - \log \frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = 2,9 - \log \left(\frac{1,26 \cdot 10^{-3}}{8,74 \cdot 10^{-3}} \right) = 3,74$$

Exercice 41- Détermination de la formule semi-développée d'un alcool saturé A de densité $d = 2,07$.1.1. Formule générale d'un alcool saturé dont la molécule renferme n atomes de carbone.

La formule générale d'un alcool saturé est $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$ ou $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$.

1.2. Déterminons la masse molaire moléculaire M_A de l'alcool A.

$$d = \frac{M_A}{29} \Rightarrow M_A = 29d = 29 \times 2,07 \Rightarrow M_A = 60,03 \text{ g/mol}$$

1.3. Montrons que la formule brute de l'alcool A est $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$.

$$M_A = 12n + 2n + 2 + 16 = 14n + 18 \Rightarrow n = \frac{M_A - 18}{14} = \frac{60,03 - 18}{14} = 3$$

Conclusion : la formule brute de l'alcool A est $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$.

1.4. Formules semi-développées et noms possibles de l'alcool A.

Il faut citer tous les alcools ayant trois(3) atomes de carbone.

Ce sont : le propan-1-ol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$) et propan-2-ol ($\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_3$).

2- L'oxydation ménagée de l'alcool A en milieu acide par les ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en défaut donne B.

2.1. Donnons la fonction chimique du composé B.

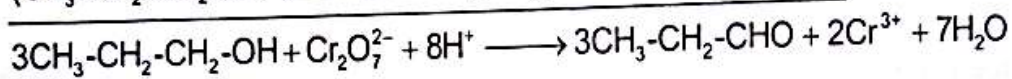
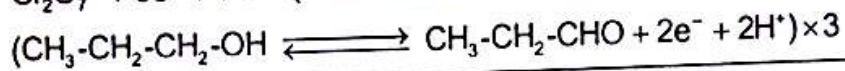
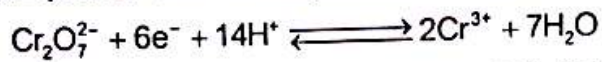
Le composé B donne un précipité jaune avec la 2,4-D.N.P.H. et possède des propriétés réductrices donc B est un aldéhyde.

2.2. Déduction des formules semi-développées et noms des composés B et A.

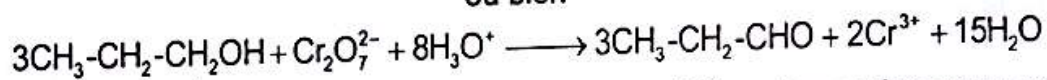
Le produit d'oxydation B de l'alcool A est un aldéhyde donc A est alcool primaire.
Des deux isomères de A cités précédemment, c'est le propan-1-ol.

B est l'aldéhyde obtenu à partir du propan-1-ol : c'est le propanal ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$)

2.3. Equation-bilan de l'oxydation de A par les ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en milieu acide pour donner B.



ou bien



3- L'oxydation ménagée de B donne C qui réagit avec l'éthanol pour donner un ester E.

3.1. Donnons la formule semi-développée et le nom du composé C.

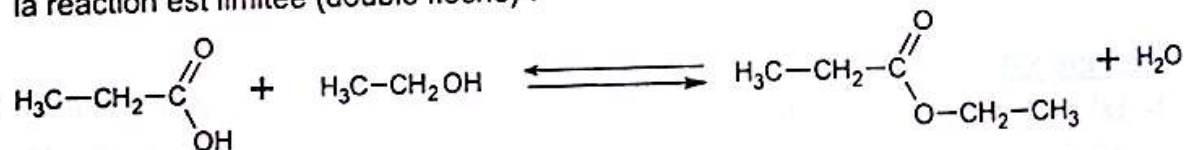
L'oxydation ménagée d'un aldéhyde donne un acide carboxylique.

On obtient ici l'acide propanoïque ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$).

3.2. Equation-bilan de la réaction entre le composé C et l'éthanol.

Il s'agit d'une estérification directe entre l'acide propanoïque et l'éthanol ;

la réaction est limitée (double flèche) :



3.3. Donnons les caractéristiques de cette réaction.

C'est une réaction lente, limitée (ou réversible) et athermique.

3.4. Donnons le nom de l'ester E.

On obtient l'ester dérivé de l'acide propanoïque : c'est le propanoate d'éthyle.

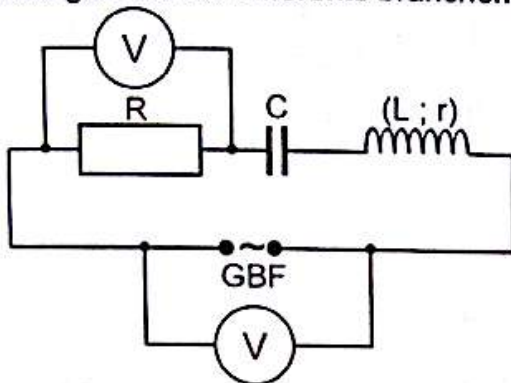
Tableau récapitulatif des formules semi-développées et noms

Composé	Formule semi-développée	Nom	Famille
A	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	propan-1-ol	Alcool
B	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	propanal	Aldéhyde
C	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	acide propanoïque	Acide carboxylique
E	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	propanoate d'éthyle	Ester

CORRECTION DU SUJET 2 : BAC SERIE D 2011

Exercice 1

1. Schéma du montage avec les différents branchements



2. On règle le GBF sur la fréquence $N = 159 \text{ Hz}$; $U = 4,5 \text{ V}$; $U_R = 3,5 \text{ V}$ et $I = 0,1 \text{ A}$.

2.1. Déterminons :

2.1.1. La résistance R du résistor

$$U_R = RI \Rightarrow R = \frac{U_R}{I} = \frac{3,5}{0,1} = 35 \Omega$$

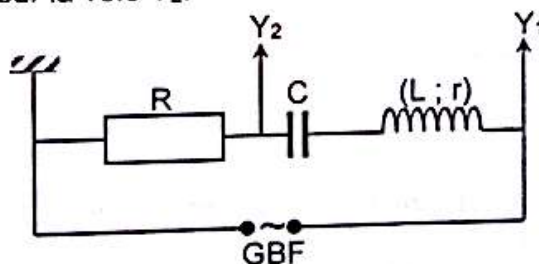
2.1.2. L'impédance Z du circuit

$$U = ZI \Rightarrow Z = \frac{U}{I} = \frac{4,5}{0,1} = 45 \Omega$$

2.2. Sans changer le montage, on se propose de visualiser la tension $u(t)$ et l'intensité $i(t)$

2.2.1. Schéma du montage avec le branchement de l'oscilloscope

- la tension $u(t)$ aux bornes du circuit RLC est visualisée sur la voie Y_1
- le courant $i(t)$ dans le circuit (ou la tension aux bornes du dipôle R) est visualisée sur la voie Y_2 .



2.2.2. L'oscillogramme obtenu montre que $u(t)$ et $i(t)$ sont en phase.

a) Nom du phénomène observé

C'est la résonance d'intensité.

b) La résistance r de la bobine et la capacité C du condensateur.

➤ La résistance r de la bobine

A la résonance, l'impédance est minimale donc : $Z = R + r$

$$\Rightarrow r = Z - R = 45 - 35 = 10 \Omega$$

➤ La capacité C du condensateur

$$\text{A la résonance, } L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \Rightarrow LC\omega_0^2 = 1 \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2} \Rightarrow C = \frac{1}{L(2\pi N_0)^2}$$

$$\text{Application numérique : } C = \frac{1}{0,1 \times (2 \times \pi \times 159)^2} = 10^{-5} \text{ F}$$

3. La tension $U = 4,5 \text{ V}$ et $N_1 = 100 \text{ Hz}$; $R = 35 \Omega$; $r = 10 \Omega$.

3.1. Déterminons :

3.1.1. L'impédance Z_1 du circuit

$$Z_1 = \sqrt{(R+r)^2 + \left(L\omega_1 - \frac{1}{C\omega_1}\right)^2} = \sqrt{(R+r)^2 + \left(2\pi N_1 L - \frac{1}{2\pi N_1 C}\right)^2}$$

$$\text{Application numérique : } Z_1 = \sqrt{(35+10)^2 + (63-159)^2} = 106 \Omega$$

3.1.2. L'intensité I_1 du courant dans le circuit.

$$U = Z_1 I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{4,5}{106} = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ A}$$

3.2. Construction de FRESNEL en utilisant les impédances : voir papier millimétré

- $R + r = 35 + 10 = 45 \Omega$;
- $Z_L = L\omega = 2\pi N_1 L = 63 \Omega$;
- $Z_C = \frac{1}{2\pi N_1 C} = 159 \Omega$;
- $Z_1 = 106 \Omega$.

Echelle : 1 cm pour 10 Ω

Donc on a :

- $R + r$ correspond à 4,5 cm ;
- Z_L correspond à 6,3 cm ;
- Z_C correspond à 15,9 cm ;
- Z_1 correspond à 10,6 cm.

3.3. Déterminons :

3.3.1. La phase $\varphi_{u/i}$ de la tension $u(t)$ par rapport à l'intensité $i(t)$.

$$\tan \varphi_{u/i} = \frac{L\omega_1 - \frac{1}{C\omega_1}}{R+r} = \frac{2\pi N_1 L - \frac{1}{2\pi N_1 C}}{R+r}$$

$$\text{Application numérique : } \tan \varphi_{u/i} = \frac{63 - 159}{35 + 10} = -2,13$$

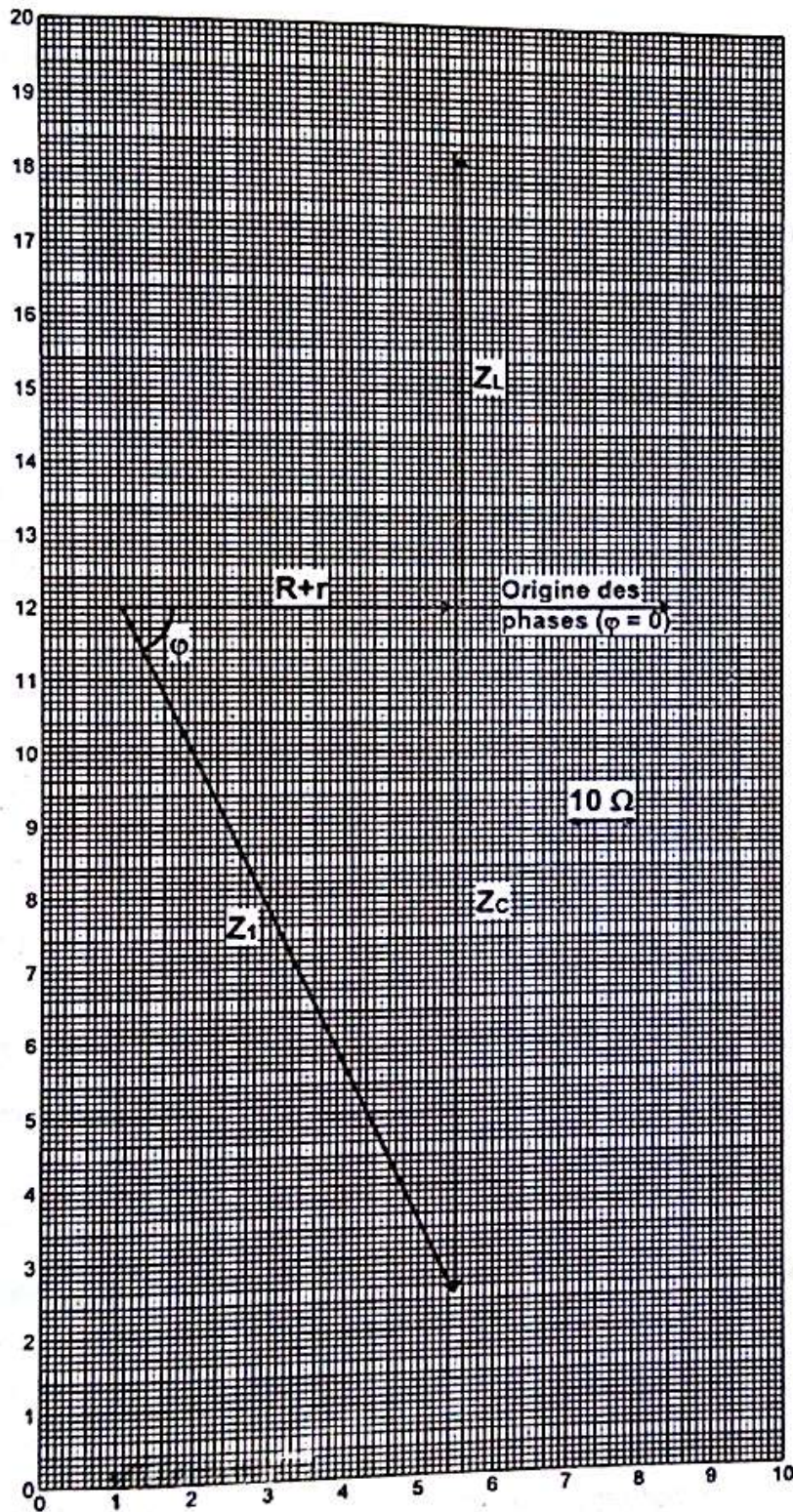
$$\Rightarrow \varphi_{u/i} = \tan^{-1}(-2,13) = -64,9^\circ \text{ ou } \varphi_{u/i} = -1,13 \text{ rad}$$

3.3.2. La nature du circuit

Le circuit est capacitif

Justification : $\varphi_{u/i} < 0$ ou bien $Z_L < Z_C$.

Construction de FRESNEL en utilisant les impédances



Exercice 2**PHASE I : Etude du mouvement.**

1-

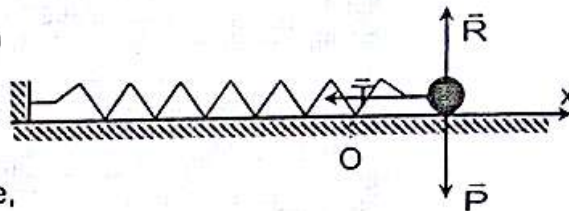
1.1. Inventaire des forces appliquées à la bille et représentons-les sur un schéma.

système : bille B de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces :

- le poids \vec{P} de la bille,
- la réaction normale \vec{R} de la table,
- la tension \vec{T} du ressort.



1.2. Etablissons l'équation différentielle du mouvement du centre d'inertie de la bille.

D'après le théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}_G \Rightarrow \vec{T} + \vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}_G$ Par projection sur l'axe(Ox) : $-T + 0 + 0 = ma_G \Rightarrow -kx = m\ddot{x} \Rightarrow \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$ L'équation différentielle du mouvement est donc : $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$

2- Etablissons l'équation horaire du mouvement de la bille B

- La solution de l'équation différentielle est de la forme : $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$.

De plus on a : $v(t) = \dot{x}(t) = -X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$ à $t = 0$, $x_0 = a = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ et $\dot{x}_0 = v_0 = 0 \text{ m/s}$.(1) à $t = 0$, $x(0) = X_m \cos(\omega_0 \cdot 0 + \varphi) \Rightarrow 2 \cdot 10^{-2} = X_m \cos(\varphi) \Rightarrow \cos(\varphi) > 0$.(2) à $t = 0$, $\dot{x}(0) = -X_m \omega_0 \sin(\varphi) = 0 \Rightarrow \sin(\varphi) = 0 \Rightarrow \varphi = \pi \text{ rad}$ ou $\varphi = 0$.si $\varphi = \pi$, l'équation (1) n'est pas vérifiée car $\cos(\pi) = -1 < 0$ donc $\varphi = 0 \text{ rad}$.

- d'après l'équation (1), $X_m = \frac{x_0}{\cos(0)} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{1} \Rightarrow X_m = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 2 \text{ cm}$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{25}{5 \cdot 10^{-3}}} = 70,71 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Autre méthode plus simple

- à $t = 0$, $x_0 = a$ et $v_0 = 0 \text{ m/s}$ donc $X_m = a = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

- à $t = 0$, $x(0) = X_m \cos(\omega_0 \cdot 0 + \varphi) \Rightarrow X_m = X_m \cos(\varphi) \Rightarrow \cos(\varphi) = \frac{X_m}{X_m} = 1 \Rightarrow \varphi = 0$.

Ce qui est confirmé par : à $t = 0$, $\dot{x}(0) = -X_m \omega_0 \sin(\varphi) = 0 \Rightarrow \sin(\varphi) = 0$.Donc l'équation horaire du mouvement de la bille B est : $x(t) = 2 \cdot 10^{-2} \cos(70,71t)$.

3- Calculons l'énergie mécanique du système (Terre-bille B-ressort)

$$E_M = \frac{1}{2} k X_m^2 = \frac{1}{2} k a^2$$

$$\text{Application numérique : } E_M = \frac{1}{2} \times 25 \times (2 \cdot 10^{-2})^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

PHASE II : Etude de la chute parabolique.

1. Etablissons l'expression de la vitesse V_D de la bille B au point D

$$E_{m0} = E_{mD} \Rightarrow E_{m0} = E_{cD} + E_{pD} \Rightarrow E_{m0} = E_{cD} \text{ car } E_{pD} = 0$$

$$\Rightarrow E_{m0} = \frac{1}{2} m V_D^2 \Rightarrow \frac{2E_{m0}}{m} = V_D^2 \Rightarrow V_D = \sqrt{\frac{2E_{m0}}{m}}$$

$$\text{Ou bien : } \frac{1}{2} k a^2 = \frac{1}{2} m V_D^2 \Rightarrow k a^2 = m V_D^2 \Rightarrow \frac{k a^2}{m} = V_D^2 \Rightarrow V_D = \sqrt{\frac{k a^2}{m}} = a \sqrt{\frac{k}{m}} = a \omega_0$$

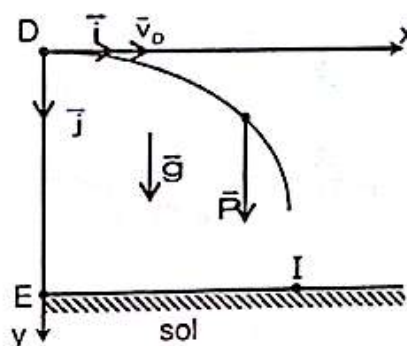
2. Calculons la valeur de cette vitesse D

$$\text{Application numérique : } V_D = \sqrt{\frac{2 \times 5.10^{-3}}{5.10^{-3}}} = 1,41 \text{ m/s} \text{ ou } V_D = 2.10^{-2} \times 70,71 = 1,41 \text{ m/s.}$$

3. La bille B quitte le point D avec la vitesse V_D horizontale de valeur $V_D = 1,4 \text{ m/s}$

3.1. Bilan des forces extérieures appliquées à la bille B représentons-les sur un schéma

La bille est dans le champ de pesanteur, il n'est donc soumis qu'à son poids \vec{P} .



3.2. Etablissons les équations horaires du mouvement de la bille dans le repère (D, \vec{i}, \vec{j})

Théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m \vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m \vec{a} \Leftrightarrow m \vec{g} = m \vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g} = \text{cste}$

L'accélération est constante donc le mouvement de la bille est uniformément varié :

$$\vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 \text{ et } \overline{DG} = \frac{1}{2} \vec{a}t^2 + \vec{v}_0 t + \overline{DG}_0$$

$$\text{À } t = 0 \text{ s, } \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = g \end{pmatrix} ; \vec{v}_0 \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_0 \\ \dot{y}_0 = 0 \end{pmatrix} ; \overline{DG}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{À } t \neq 0 \text{ s, } \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = v_0 \\ \dot{y} = gt \end{pmatrix} \text{ et } \overline{DG} \begin{pmatrix} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2} g t^2 \end{pmatrix} \Rightarrow \overline{DG} \begin{pmatrix} x = 1,4t \\ y = \frac{10}{2} t^2 = 5t^2 \end{pmatrix}$$

3.3. Déduisons l'équation cartésienne de la trajectoire et donnons sa nature

$$x = v_0 t \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_0} \Rightarrow y = \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0} \right)^2 = \frac{10}{2 \times 1,4^2} x^2 \Rightarrow y = 2,55 x^2$$

Nature : la trajectoire de la bille est parabolique (ou une parabole).

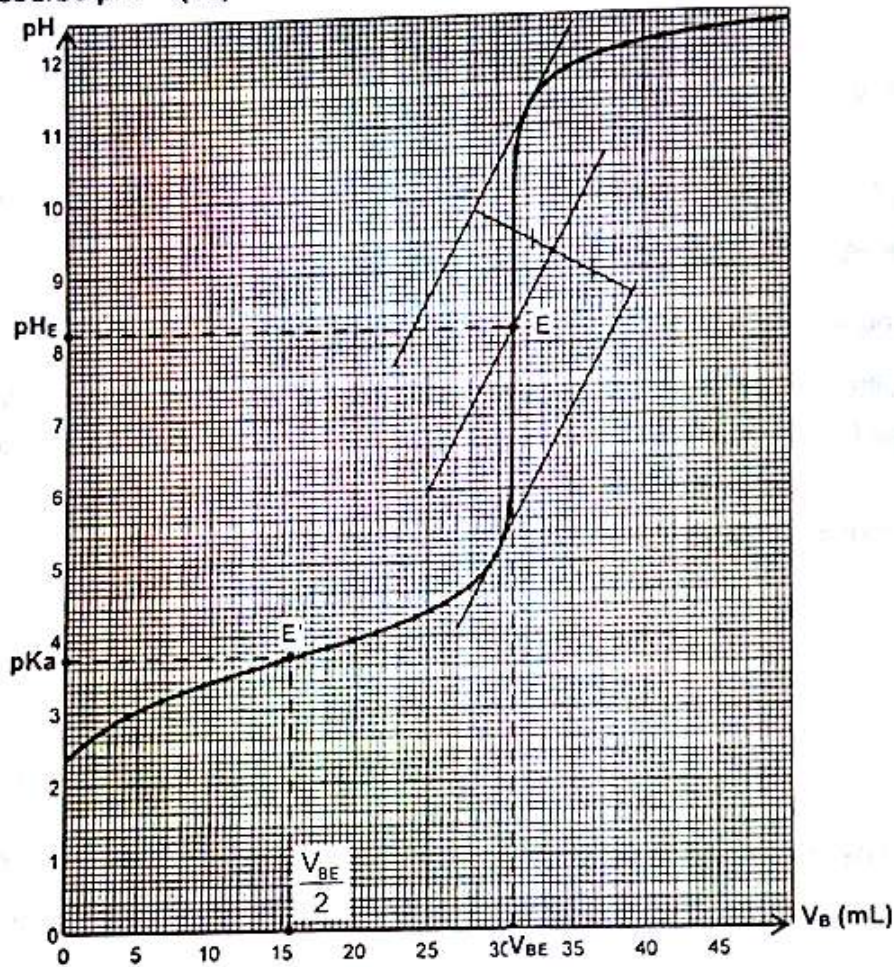
3.4.

3.4.1. Déterminons le temps t_1 mis par la bille B pour atteindre le sol au point I

$$\text{Au sol en I, } y_1 = DE = \frac{1}{2} g t_1^2 \Rightarrow t_1 = \sqrt{\frac{2DE}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 1}{10}} \Rightarrow t_1 \approx 0,45 \text{ s}$$

3.4.2. Déterminons les coordonnées du point d'impact I de la bille B sur le sol

$$x_1 = v_0 t_1 = 1,4 \times 0,45 = 0,63 \text{ m d'où } I(x_1 = 0,63 \text{ m ; } y_1 = 1 \text{ m)}$$

Exercice 31. Traçons la courbe $\text{pH} = f(V_B)$ 

2. Déterminons graphiquement le point d'équivalence E et donnons ses coordonnées
D'après la méthode des tangentes parallèles on a : E ($V_{BE} = 31 \text{ mL}$; $\text{pH}_E = 8,2$)

3.

3.1. Déterminons la valeur de la concentration C_A de la solution A.

$$\text{A l'équivalence, } C_A V_A = C_B V_{BE} \Rightarrow C_A = \frac{C_B V_{BE}}{V_A} = \frac{0,1 \times 31}{30} = 0,1 \text{ mol/L}$$

3.2.

3.2.1. Déterminons la masse molaire et la formule brute de l'acide carboxylique A

$$M_A = \frac{m_A}{n_A} = \frac{m_A}{C_A V} = \frac{4,6}{0,1 \times 1} = 46 \text{ g/mol}$$

$$M_A = 12n + 2n + 2 \times 16 = 14n + 32 \Rightarrow n = \frac{M_A - 32}{14} = \frac{46 - 32}{14} = 1$$

La formule brute de l'acide carboxylique A est donc : CH_2O_2 .

3.2.2. Donnons la formule semi-développée et le nom de l'acide A.

A est l'acide méthanoïque de formule HCOOH .

3.3. Déterminons graphiquement le pKa du couple acide carboxylique/ion carboxylate

A la demi-équivalence, $V_B = \frac{V_{BE}}{2} = \frac{31}{2} = 15,5 \text{ mL}$; ce qui correspond à $\text{pH} = 3,7$

Donc $\text{pKa} = \text{pH} = 3,7$

4. On considère un mélange pour lequel $V_B = 15 \text{ mL}$ et $\text{pH} = 3,7$

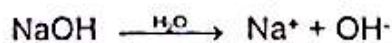
4.1. Faisons l'inventaire des espèces chimiques et calculons leurs concentrations

- Ecrivons les équation-bilans de réaction de l'acide et de la base avec l'eau.

➤ Dissociation de l'acide méthanoïque dans l'eau :



➤ Dissociation de l'hydroxyde de sodium dans l'eau :



- Bilan des espèces chimiques : HCOOH ; HCOO^- ; H_3O^+ ; Na^+ ; OH^-
- Calcul des concentrations molaires :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,7} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} ;$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{3,7-14} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L} ;$$

$$[\text{Na}^+] = \frac{C_B V_B}{V_A + V_B} = \frac{0,1 \times 15}{30 + 15} = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{Electroneutralité : } [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HCOO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{HCOO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{Na}^+] = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } \frac{C_A V_A}{V_A + V_B} = [\text{HCOO}^-] + [\text{HCOOH}]$$

$$\Rightarrow [\text{HCOOH}] = \frac{C_A V_A}{V_A + V_B} - [\text{HCOO}^-] = \frac{C_A V_A}{V_A + V_B} - \frac{C_B V_B}{V_A + V_B} = \frac{C_A V_A - C_B V_B}{V_A + V_B}$$

$$\Rightarrow [\text{HCOOH}] = \frac{0,1 \times 30 \cdot 10^{-3} - 0,1 \times 15 \cdot 10^{-3}}{(30 + 15) \cdot 10^{-3}} = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

4.2. Déduisons le pKa du couple acide carboxylique/ion carboxylique

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} \quad \text{Or } [\text{HCOOH}] = [\text{HCOO}^-] \text{ donc } \text{pKa} = \text{pH} = 3,7$$

4.3. Donnons :

4.3.1. La nature du mélange

$\text{pH} = \text{pKa}$ donc le mélange est une solution tampon.

4.3.2. Les propriétés du mélange

C'est une solution dont :

- le pH varie peu ou est insensible quand on lui ajoute des quantités modérées d'acide ou de base,
- le pH reste invariable ou est insensible sous l'effet d'une dilution modérée.

Exercice 4

1. Le professeur met à la disposition des élèves trois flacons

1.1. Formules semi-développées et des alcools A et B

Alcool	Nom	Formules semi-développées
A	propan-2-ol	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$
B	propan-1-ol	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$

1.2. Les élèves font réagir un excès de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sur les composés A et B

1.2.1. Donnons la famille des composés C et C'

L'oxydation d'un alcool par un excès d'oxydant ne peut donner qu'un acide carboxylique (si l'alcool est primaire) ou une cétone (si l'alcool est secondaire).

Ainsi :

- le composé C réagit positivement au test de la DNPH donc C est une cétone.
- Le composé C' réagit avec le bleu de Bromothymol (BBT) pour donner une coloration jaune donc C' est un acide carboxylique.

1.2.2. Formules semi-développées des composés C et C'

Composé	Formules semi-développées	Nom
C	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	propan-2-one ou propanone
C'	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	acide propanoïque

2. Une bonne combinaison des composés C, C', E et F permet de préparer l'ester G

2.1. Ecrivons les formules semi-développées et des composés E et F'

Composé	Nom	Formules semi-développées
E	éthanol	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$
F	chlorure de propanoyle	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{Cl} \end{array}$

2.2. Donnons les noms des composés que les élèves peuvent utiliser pour préparer G.

L'ester G peut être préparé par :

- action d'un acide sur un alcool : estérification directe ;
- action d'un dérivé d'acide sur un alcool : estérification indirecte.

Donc les composés que les élèves peuvent utiliser pour préparer G sont :

- l'acide propanoïque (C') ;
- l'éthanol (E) ;
- le chlorure de propanoyle (F).

2.3. Ecrivons les équations bilans des réactions qui donnent l'ester G

➤ Estérification directe



➤ Estérification indirecte ;



CORRECTION DU SUJET 3 : BAC SERIE D 2012**Exercice 1**

1. Equations horaires $x(t)$ et $z(t)$ en fonction de v_0 , g et θ de G du ballon dans (O, \vec{i}, \vec{k}) .

système : ballon de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

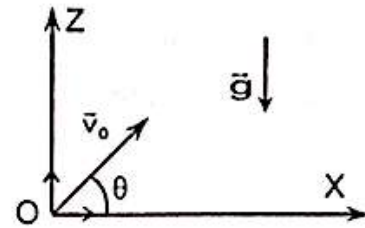
bilan des forces : le poids \vec{P} du ballon

théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m\vec{a} \Leftrightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g} = \text{cste}$

L'accélération est constante donc le mouvement du ballon est uniformément varié

$$\text{On a : } \begin{cases} \vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 = \vec{g}t + \vec{v}_0 \\ \vec{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{OG}_0 = \frac{1}{2}\vec{g}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{OG}_0 \end{cases}$$

$$\text{A } t = 0, \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{z} = -g \end{pmatrix}; \vec{OG}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{pmatrix}; \vec{v}_0 \begin{cases} \dot{x}_0 = v_0 \cos \theta \\ \dot{z}_0 = v_0 \sin \theta \end{cases}$$



$$\text{A } t \neq 0, \vec{v} \begin{pmatrix} v_x(t) = v_0 \cos \theta \\ v_z(t) = -gt + v_0 \sin \theta \end{pmatrix}; \vec{OG} \begin{pmatrix} x(t) = v_0 t \cos \theta \\ z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \theta \end{pmatrix}$$

2. Application numérique.

$$x(t) = 21t \cos 30^\circ = 18,186t \approx 18,2t$$

$$\vec{OG} \begin{cases} z(t) = -\frac{1}{2} \times 10t^2 + 21t \sin 30^\circ = -5t^2 + 10,5t \end{cases}$$

3. Déduisons l'équation cartésienne de la trajectoire et donnons sa nature.

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \theta} \Rightarrow z = -\frac{1}{2}g \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right)^2 + v_0 \sin \theta \times \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right)$$

$$z = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2 + x \tan \theta$$

$$\text{A.N. : } z = -\frac{10}{2 \times 21^2 \times \cos^2 30^\circ} x^2 + x \tan 30^\circ \Rightarrow z = -0,0151x^2 + 0,577x$$

L'équation de la trajectoire est de la forme $z = ax^2 + bx + c$ donc la trajectoire est parabolique (ou bien la trajectoire est une parabole).

4. Déterminons :

4.1. la date t_1 à laquelle le ballon arrive sur la ligne de but.

D'après la question 3°) on a : $t = \frac{x}{v_0 \cos \theta}$. Or sur la ligne de but, $x = D$.

$$\text{Donc on a : } t_1 = \frac{D}{v_0 \cos \theta} = \frac{35}{21 \times \cos 30^\circ} \Rightarrow t_1 = 1,92 \text{ s}$$

4.2. la hauteur h par rapport au sol à cette date t_1 .

La hauteur h est représentée par l'ordonnée $z(t)$ du centre d'inertie G du ballon.

$$\text{Donc on a : } h = z(t_1) = -5t_1^2 + 10,5t_1, h = -5 \times (1,92)^2 + 10,5 \times 1,92 \Rightarrow h = 1,72 \text{ m}$$

5. A $t = 0$, un défenseur s'élance sans vitesse initiale avec une accélération $a = 3 \text{ m/s}^2$.

5.1. Montrons que l'équation horaire du défenseur selon l'axe (Ox) est : $x(t) = 1,5t^2 + 30$.

L'accélération est constante et la trajectoire est une droite donc le mouvement du centre d'inertie du défenseur est rectiligne uniformément varié. D'où on a :

$$\overline{OM} = \frac{1}{2} \overline{at}^2 + \vec{v}_0 t + \overline{OM}_0$$

Selon l'axe (Ox) ; $x(t) = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$

à $t = 0$, $a_x = 3 \text{ m/s}^2$; $v_0 = 0$; $x_0 = x_{\text{défenseur}} = D - d = 35 - 5 = 30 \text{ m}$

Application numérique : $x(t) = \frac{1}{2} 3t^2 - 0xt + 30 \Rightarrow x(t) = 1,5t^2 + 30$.

5.2. Déterminons la date t_2 à laquelle le défenseur arrive sur la ligne de but.

Le défenseur arrive sur la ligne de but quand $x = D = 35 \text{ m}$. Donc on a :

$$D = 1,5t_2^2 + 30 \Rightarrow D - 30 = 1,5t_2^2 \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{D-30}{1,5}} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{35-30}{1,5}} \Rightarrow t_2 = 1,82 \text{ s}$$

5.3. Montrons, en justifiant notre réponse, si oui ou non le but est marqué.

$1,82 \text{ s} < 1,92 \text{ s} \Rightarrow t_2 < t_1$. Donc le défenseur arrive avant le ballon sur la ligne de but.

Le but n'est donc pas marqué.

Exercice 2

1. Donnons les valeurs de U , ω et $\varphi_{u/i}$

L'expression de la tension alternative est : $u = 12\sqrt{2}\cos(100\pi.t + 0,92)$. Or l'expression générale est : $u = U_m \cos(\omega t + \varphi) = u = U\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi)$. Donc par identification on a :

1.1. la tension efficace U du GBF ;

$$U = 12 \text{ V}$$

1.2. la pulsation ω du GBF ;

$$\omega = 100\pi \text{ rad/s} \text{ ou } \omega = 314,16 \text{ rad/s}$$

1.3. la phase $\varphi_{u/i}$ de la tension par rapport à l'intensité i du courant électrique.

$$\varphi_{u/i} = 0,92 \text{ rad} \text{ ou } \varphi_{u/i} = 52,7^\circ$$

2. Calculons l'impédance Z du dipôle.

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{12}{1,2} \Rightarrow Z = 10 \Omega$$

3.

3.1. Rappelons les expressions de $\cos\varphi$ (facteur de puissance) et de $\tan\varphi$.

$$\bullet \cos\varphi = \frac{r}{Z}$$

$$\bullet \tan\varphi = \frac{L\omega}{r}$$

3.2. Déterminons les valeurs de :

3.2.1. la résistance r de la bobine ;

$$\cos\varphi = \frac{r}{Z} \Rightarrow r = Z\cos\varphi = 10 \times \cos 52,7^\circ \Rightarrow r = 6 \Omega$$

3.2.2. l'inductance L_{exp} de la bobine.

$$\tan\varphi = \frac{L_{\text{exp}}\omega}{r} \Rightarrow L_{\text{exp}} = \frac{r\tan\varphi}{\omega} = \frac{6 \times \tan 52,7}{100 \times \pi} \Rightarrow L_{\text{exp}} = 0,025 \text{ H} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ H}$$

4. Ils veulent obtenir le phénomène de la résonance d'intensité du courant électrique .

4.1. Déterminons la valeur de la capacité C du condensateur.

$$\text{A la résonance, } L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \Rightarrow LC\omega_0^2 = 1 \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2}$$

$$\text{Application numérique : } C = \frac{1}{0,025 \times (100 \times \pi)^2} = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

4.2. Pour la suite de l'exercice, on prendra $C = 400 \mu\text{F}$; $r = 6,0 \Omega$.

4.2.1. Déterminons la valeur maximale I_0 de l'intensité efficace dans le circuit.

A la résonance, l'impédance est minimale donc : $Z_0 = r = 6,0 \Omega$

$$Z_0 = \frac{U}{I_0} \Rightarrow I_0 = \frac{U}{Z_0} = \frac{12}{6,0} \Rightarrow I_0 = 2 \text{ A}$$

4.2.2. Déduisons la valeur efficace U_c de la tension aux bornes du condensateur.

$$U_c = \frac{I_0}{C\omega_0} = \frac{2}{400 \cdot 10^{-6} \times 100 \times \pi} \Rightarrow U_c = 15,9 \text{ V}$$

4.2.3. Calculons le facteur de qualité Q .

$$Q = \frac{U_c}{U} = \frac{15,9}{12} \Rightarrow Q = 1,32$$

Autre méthode :

$$Q = \frac{L\omega_0}{r} = \frac{1}{rC\omega_0} = \frac{1}{6,0 \times 400 \cdot 10^{-6} \times 100 \times \pi} \Rightarrow Q = 1,32$$

5. On lit sur la bobine de longueur $\ell = 40 \text{ cm}$ et de section $s = 3,18 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$, $N = 500$ spires.

5.1. Donnons l'expression de l'inductance L de la bobine en fonction de N , μ_0 , ℓ et s .

$$L_{\text{th}} = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} s$$

5.2. Calculons la valeur de l'inductance L_{th} de la bobine.

$$L_{\text{th}} = 4 \times \pi \cdot 10^{-7} \times \frac{500^2}{40 \cdot 10^{-2}} \times 3,18 \cdot 10^{-2} \Rightarrow L = 0,02497 \text{ H} \approx 0,025 \text{ H}$$

5.3. Comparons les deux valeurs de L .

Les deux valeurs de L sont les mêmes ($L_{\text{th}} = L_{\text{exp}}$).

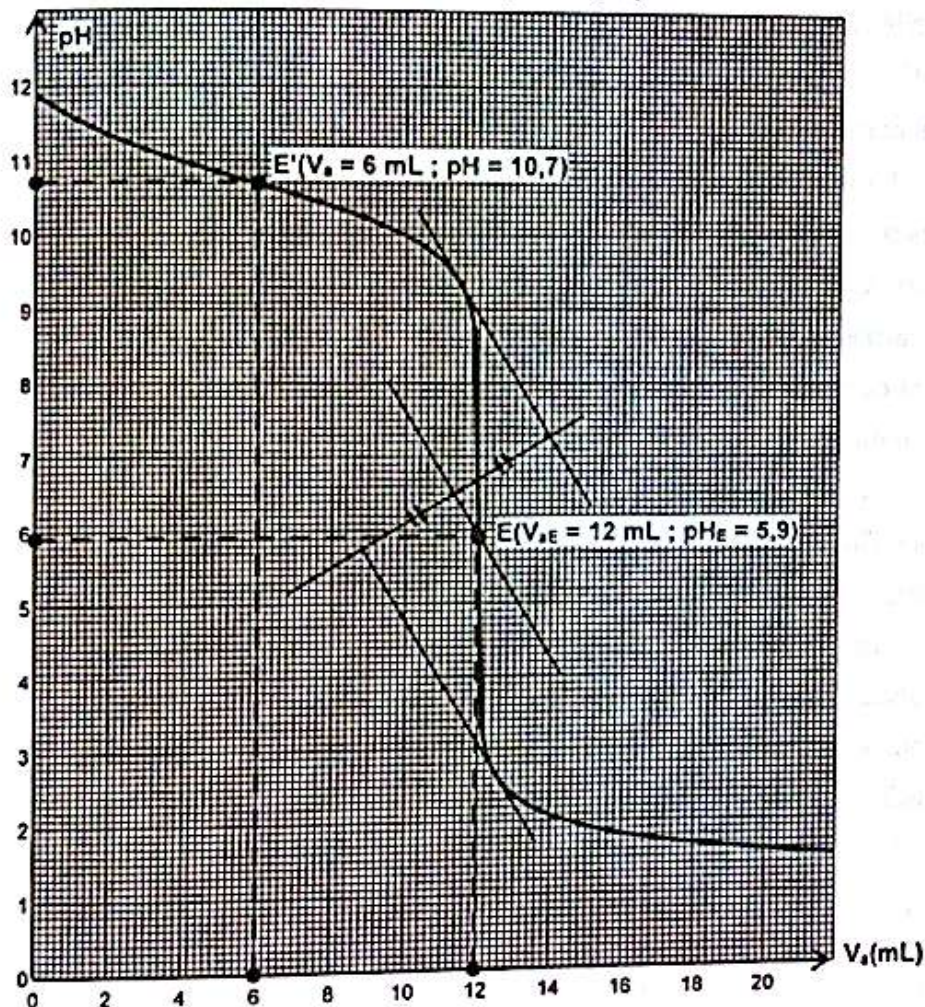
Exercice 3

1. Écrivons l'équation-bilan de la réaction entre la base et l'acide chlorhydrique.

Il s'agit d'une réaction de dosage donc totale (une seule flèche).



2. Traçons, sur le papier millimétré, la courbe $pH = f(V_a)$.



3. Déterminons graphiquement le point d'équivalence E (V_{aE} ; pH_E).

D'après la méthode des tangentes parallèles on a : E ($V_{aE} = 12 \text{ mL}$; $pH_E = 5,9$).

4. Déduisons que B est une base faible en justifiant notre réponse.

B est une base faible car le pH à l'équivalence est inférieur à 7.

Ou bien

B est une base faible car la courbe de $pH = f(V_a)$ comporte deux points d'inflexion.

5. Calculons la concentration molaire volumique C_b de la solution aqueuse basique.

$$\text{A l'équivalence, } C_b V_b = C_a V_{aE} \Rightarrow C_b = \frac{C_a V_{aE}}{V_b}$$

$$\text{Application numérique : } C_b = \frac{10^{-1} \times 12}{10} = 0,12 \text{ mol/L}$$

6.

6.1. Déterminons graphiquement le pKa du couple acide-base BH⁺/H.

A la demi-équivalence, $V_a = \frac{V_{aE}}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ mL}$; ce qui correspond à pH = 10,7

Donc pKa = pH = 10,7

6.2. Déduisons le Ka.

$$K_a = 10^{-10,7} \approx 2 \cdot 10^{-11}$$

6.3. Identifions la base B en utilisant le tableau

$K_a = 2 \cdot 10^{-11}$ donc la base B étudiée est la méthylamine.

6.4. Indications à porter sur l'étiquette de la solution de base B

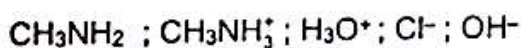
- Solution de méthylamine CH₃NH₂
- Concentration C_b = 0,12 mol/L.

6.5. Donnons le nom et la formule de l'acide conjugué de la base B.

C'est l'ion méthylammonium de formule CH₃NH₃⁺

6.6. Pour V_a = 5 mL d'acide versé :

6.6.1. Faisons l'inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange ;



6.6.2. Concentrations molaires des espèces chimiques et retrouvons la valeur du pKa

- Concentrations molaires des espèces chimiques

Pour V_a = 5 mL d'acide versé, pH = 10,8

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-10,8} = 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L} ;$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{10,8-14} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} ;$$

$$[\text{Cl}^-] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = \frac{10^{-1} \times 5}{5 + 10} = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{Electroneutralité : } [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] = [\text{OH}^-] + [\text{Cl}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] \approx [\text{Na}^+] = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] + [\text{CH}_3\text{NH}_2]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{NH}_2] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} - [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} - \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = \frac{C_b V_b - C_a V_a}{V_a + V_b}$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{NH}_2] = \frac{0,12 \times 10 \cdot 10^{-3} - 10^{-1} \times 5 \cdot 10^{-3}}{(10 + 5) \cdot 10^{-3}} \approx 4,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

- Valeur du pKa du couple

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+]} \Rightarrow \text{pKa} = \text{pH} - \log \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+]}$$

$$\text{Application numérique : } \text{pKa} = 10,8 - \log \left(\frac{4,7 \cdot 10^{-2}}{3,33 \cdot 10^{-2}} \right) = 10,65 \approx 10,7$$

3.2. Déterminons le volume V_0 de la solution oxydante de dichromate de potassium.

Le bilan molaire de la réaction d'oxydation donne :

$$\frac{n_B}{3} = \frac{n_O}{1} \Rightarrow \frac{m_B}{3M_B} = C_O V_O \Rightarrow V_O = \frac{m_B}{3M_B C_O}$$

$$\text{Application numérique : } V_O = \frac{0,20}{3 \times (12 \times 2 + 6 + 16) \times 1} = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 1,45 \text{ mL}$$

2^{ème} Partie :

1. Ecrivons les deux équations-bilans et nommons le composé organique obtenu.

- Réaction de l'acide éthanoïque sur l'éthanol



- Réaction du chlorure d'éthanoyle sur l'éthanol.



- Le composé organique obtenu est l'éthanoate d'éthyle.

2. Nom et caractéristiques de la réaction chimique de l'acide éthanoïque sur l'éthanol.

C'est une réaction d'estérification directe. Elle est lente, limitée (ou réversible) et athermique.

3. Répondons aux mêmes questions pour la réaction du chlorure d'éthanoyle sur l'éthanol.

C'est une réaction d'estérification indirecte. Elle est rapide, totale et exothermique.

CORRECTION DU SUJET 4 : BAC SERIE D 2013

Exercice 1

1- Etude énergétique

1-1. Nom et expression de l'énergie que possède l'ensemble (palet-ressort) au point A'.

Juste avant le relâchement en A', le ressort est raccourci donc l'ensemble (palet-ressort) possède une énergie potentielle élastique ; son expression est : $E_{pe} = \frac{1}{2}ka^2$

1-2. Nom et expression de l'énergie que possède le palet au point A.

Lorsque le ressort reprend sa position initiale au point A, le palet a une vitesse donc il possède une énergie cinétique ; son expression est : $E_{c_A} = \frac{1}{2}mv_A^2$

1-3. Déterminons alors la vitesse du palet en A.

En l'absence de frottements, l'énergie mécanique se conserve. Donc on a :

$$E_{c_A} = E_{pe} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}ka^2 \Rightarrow v_A^2 = \frac{ka^2}{m} \Rightarrow v_A = \sqrt{\frac{ka^2}{m}} \Rightarrow v_A = a\sqrt{\frac{k}{m}}$$

Application numérique : $v_A = 10 \cdot 10^{-2} \times \sqrt{\frac{125}{50 \cdot 10^{-3}}} = 5 \text{ m/s}$

2- Etude du mouvement du centre d'inertie du palet sur BO.

2-1. Bilan et représentation sur un schéma des forces appliquées au palet.

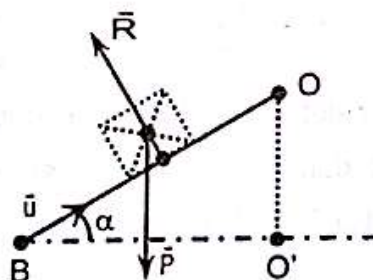
système : palet de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

muni du repère d'axe (B, \vec{u})

bilan des forces :

- le poids \vec{P} du palet
- la réaction \vec{R} de la piste BO



2-2. On note $\vec{a} = a \cdot \vec{u}$ le vecteur-accelération du centre d'inertie du palet.

Etablissons l'expression de l'accélération a.

D'après le théorème du centre d'inertie, $\Sigma \vec{F}_{ext} = ma \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} = ma\vec{u}$

Projection suivant le repère d'axe (B, \vec{u}) : $-mgsin\alpha + 0 = ma \Rightarrow a = -gsin\alpha$.

2-3. En déduire la nature du mouvement du palet sur ce trajet.

La trajectoire du palet est une droite et $\vec{a} \cdot \vec{v} = -gvsin\alpha < 0$ donc le mouvement du palet est rectiligne uniformément retardé (ou décéléré).

N.B. : on peut aussi dire que la trajectoire du palet est une droite et l'accélération est constante donc le mouvement du palet est rectiligne uniformément varié.

3- Etude du mouvement du centre d'inertie G du palet dans le champ de pesanteur \vec{g}

3-1. Equations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de G du palet dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) .

système : palet de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

muni du repère (O, \vec{i}, \vec{j})

bilan des forces : le poids \vec{P} du palet

théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}$

$$\Rightarrow \vec{P} = m\vec{a} \Leftrightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g}$$

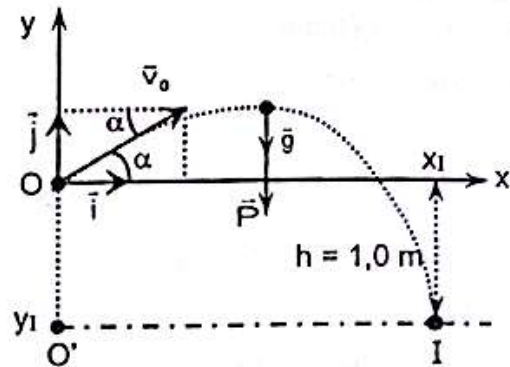
L'accélération est constante donc

le mouvement du skieur est uniformément varié

$$\vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 \quad \text{et} \quad \vec{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{OG}_0$$

$$\text{A } t = 0 \text{ s, } \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{pmatrix} ; \vec{v}_0 \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y}_0 = v_0 \sin \alpha \end{pmatrix} ; \vec{OG}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{A } t \neq 0 \text{ s, } \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x}(t) = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y}(t) = -gt + v_0 \sin \alpha \end{pmatrix} ; \vec{OG} \begin{pmatrix} x(t) = v_0 t \cos \alpha \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \alpha \end{pmatrix}$$



3-2. Déduction de l'équation cartésienne de la trajectoire.

$$x = v_0 t \cos \alpha \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha.$$

3-3. Montrons que le palet atterrit dans le réceptacle.

Le palet atterrit dans le réceptacle si et seulement si les coordonnées du point I ($x_I = O'I = 1,10 \text{ m}$; $y_I = -h = -1,0 \text{ m}$) vérifient l'équation cartésienne de la trajectoire.

$$y_I = -\frac{1}{2}g \frac{x_I^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x_I \tan \alpha$$

$$\text{A.N. : } y_I = -\frac{1}{2} \times 10 \times \frac{(1,10)^2}{(2,2)^2 \times \cos^2 30^\circ} + 1,10 \times \tan 30^\circ = -1,03 \text{ m} \approx -1,0 \text{ m}$$

$y_I \approx -h$ donc le palet atterrit bel et bien dans le réceptacle.

Exercice 2**A- Etude théorique**

1- Justifions que cette bobine est un solénoïde.

$$10 R = 10 \times 2 = 20 \text{ cm or } \ell = 40 \text{ cm donc } \ell > 10 R$$

$$\text{Autre méthode : } \frac{\ell}{R} = \frac{40}{2} = 20 \Rightarrow \frac{\ell}{R} > 10 \Rightarrow \ell > 10 R$$

Donc cette bobine est un solénoïde.

2- Ce solénoïde est traversé par un courant électrique d'intensité constante $I = 5 \text{ A}$.

2-1. Expression de l'intensité du champ magnétique \vec{B} en fonction de μ_0 , N , ℓ et I .

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

Calculons sa valeur B .

$$B = 4 \times \pi \times 10^{-7} \times \frac{500}{40 \cdot 10^{-2}} \times 5 = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

2-2. Sachant que l'inductance théorique est $L_{th} = 4\pi^2 \cdot 10^{-7} \frac{N^2 R^2}{\ell}$, calculons sa valeur.

$$L_{th} = 4 \times 10 \cdot 10^{-7} \times \frac{500^2 \times (2 \cdot 10^{-2})^2}{40 \cdot 10^{-2}} = 0,001 \text{ H} = 10^{-3} \text{ H}$$

B- Etude expérimentale

1- Citons deux caractéristiques du circuit à la résonance d'intensité.

A la résonance d'intensité on a :

- $Z = Z_0 = r$;
- $LC\omega_0^2 = 1$;
- $N = N_0$;
- u et i sont en phase...

2- Déterminons les valeurs de r et L_{exp} .

$$\bullet \quad r = Z_0 = \frac{U_0}{I_0} = \frac{2}{0,2} = 10 \Omega \Rightarrow r = 10 \Omega$$

$$\bullet \quad L_{exp} C \omega_0^2 = 1 \Rightarrow L_{exp} = \frac{1}{C \omega_0^2} = \frac{1}{C(2\pi f)^2}$$

$$L_{exp} = \frac{1}{100 \cdot 10^{-6} \times (2 \times \pi \times 500)^2} = 0,00101 \text{ H} = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

3- Conclusion.

$$L_{exp} \approx L_{th}$$

Les deux valeurs de l'inductance sont identiques.

L'expérience a été bien menée.

Exercice 3**1- Détermination expérimentale de la concentration molaire volumique C_B et du pK_a**

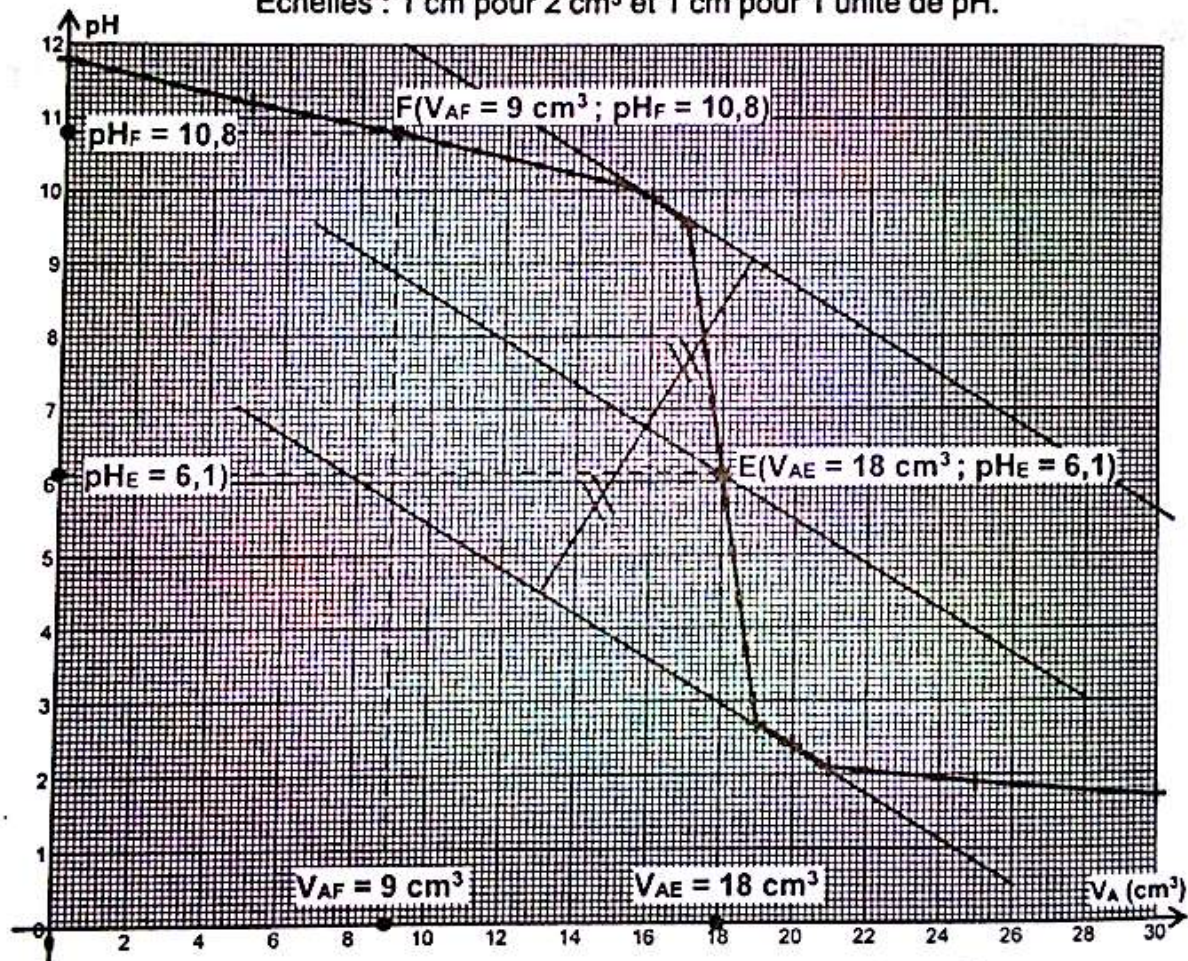
1-1. Ecrivons l'équation-bilan de la réaction de dosage.

Il s'agit d'une réaction de dosage donc la réaction est totale (une seule flèche).



1-2. Traçons la courbe de variation du pH en fonction de V_A d'acide versé ($pH = f(V_A)$).

Echelles : 1 cm pour 2 cm^3 et 1 cm pour 1 unité de pH.



1-3. Déterminons graphiquement les coordonnées du point d'équivalence E.

En utilisant la méthode des tangentes parallèles (voir courbe ci-dessus) on obtient :

$E(V_{AE} = 18 \text{ cm}^3 ; pH_E = 6,1)$.

1-4. En déduire la concentration molaire C_B de la base.

$$\text{A l'équivalence on a : } C_B V_B = C_A V_{AE} \Rightarrow C_B = \frac{C_A V_{AE}}{V_B}$$

$$\text{Application numérique : } C_B = \frac{0,1 \times 18}{30} = 0,06 \text{ mol/L} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

1-5. Déterminons graphiquement les coordonnées du point de demi-équivalence F.

$$V_{AE} = 18 \text{ mL donc } \frac{V_{AE}}{2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ cm}^3.$$

Pour $V_A = 9 \text{ cm}^3 ; pH = 10,8$ donc on a : $F(V_{AF} = 9 \text{ cm}^3 ; pH_F = 10,8)$.

1-6. Donnons le nom de la solution obtenue en ce point et précisons ses propriétés.

A la demi-équivalence du dosage d'un acide faible par une base forte la solution obtenue est une solution tampon dont :

- le pH varie peu quand on lui ajoute des quantités modérées d'acide ou de base ;
- le pH reste invariable sous l'effet d'une dilution modérée.

1-7. Dédution du pKa du couple acide/base $C_2H_5NH_3^+ / C_2H_5NH_2$.

A la demi-équivalence, $pH = pKa$ donc $pKa = 10,8$.

2- Détermination théorique du pKa

2-1. Ecrivons l'équation-bilan de la réaction de l'éthylamine avec l'eau.

Il s'agit de la réaction d'une base faible avec l'eau donc la réaction est limitée (double flèche) : $C_2H_5NH_2 + H_2O \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+ + OH^-$

2-2. Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution.

H_3O^+ ; OH^- ; $C_2H_5NH_3^+$; $C_2H_5NH_2$; H_2O .

2-3. Calcul de la concentration molaire volumique de chacune des espèces.

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-11,8} = 1,58 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L} \approx 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L} ;$$

$$[OH^-] = 10^{pH-14} = 10^{11,8-14} = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}.$$

$$\text{Electroneutralité : } [H_3O^+] + [C_2H_5NH_3^+] = [OH^-]$$

$$\Rightarrow [C_2H_5NH_3^+] = [OH^-] - [H_3O^+] \approx [OH^-] = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } C_B = [C_2H_5NH_3^+] + [C_2H_5NH_2]$$

$$\Rightarrow [C_2H_5NH_2] = C_B - [C_2H_5NH_3^+] = 6 \cdot 10^{-2} - 6,3 \cdot 10^{-3} = 5,37 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

2-4. Déduisons le pKa du couple acide/base.

$$K_a = \frac{[H_3O^+] \times [C_2H_5NH_2]}{[C_2H_5NH_3^+]} = \frac{1,6 \cdot 10^{-12} \times 5,37 \cdot 10^{-2}}{6,3 \cdot 10^{-3}} = 1,36 \cdot 10^{-11}$$

$$pKa = -\log K_a = -\log(1,36 \cdot 10^{-11}) = 10,86.$$

$$\text{Autre méthode : } pH = pKa + \log \frac{[C_2H_5NH_2]}{[C_2H_5NH_3^+]} \Rightarrow pKa = pH - \log \frac{[C_2H_5NH_2]}{[C_2H_5NH_3^+]}$$

$$pKa = 11,8 - \log \left(\frac{5,37 \cdot 10^{-2}}{6,3 \cdot 10^{-3}} \right) = 10,86$$

3- Comparaison des deux valeurs de pKa

3-1. Comparisons de la valeur expérimentale du pKa et de la valeur théorique calculée.

$$10,86 \approx 10,8 \text{ donc } pKa_{exp} \approx pKa_{théo}$$

Les valeurs expérimentale et théorique calculée sont pratiquement les mêmes.

3-2. Conclusion

Les deux valeurs sont en accord donc l'expérience a été bien menée.

Exercice 4**1- Etude de l'estérification directe**

1-1. Donnons la fonction chimique et le nom de E.

(E) est un ester ; son nom est l'éthanoate de 3-méthylbutyle.

1-2. Formules semi-développées et noms de l'acide A et de l'alcool B qui donnent E.

Corps	Fonction chimique	Formule semi-développée	Nom
E	Ester	$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	éthanoate de 3-méthylbutyle
A	Acide carboxylique	$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OH}$	acide éthanoïque
B	Alcool	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	3-méthylbutan-1-ol

1-3. Ecrivons l'équation-bilan de cette réaction.

Il s'agit d'une réaction d'estérification directe ; elle est réversible (double flèche).



1-4. Donnons les caractéristiques de cette réaction.

Elle est lente, athermique et limitée (ou réversible).

2- Amélioration du rendement de la réaction

2-1. Précisons la formule semi-développée et le nom de C.

Corps	Fonction chimique	Formule semi-développée	Nom
C	Chlorure d'acyle	$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{Cl}$	Chlorure d'éthanoyle

2-2. Ecrivons l'équation-bilan de la réaction (2).

La réaction d'estérification avec un dérivé d'acide est totale (une seule flèche).



2-3. Nommons cette réaction et précisons ses caractéristiques.

C'est une réaction d'estérification indirecte ; elle est rapide, totale et exothermique.

2-4. Déterminons la composition du mélange en fin de réaction.

La réaction étant totale, il ne reste plus de réactifs dans le mélange en fin de réaction ; tous les réactifs s'étant entièrement transformés en produits.

Donc en fin de réaction, le mélange est composé de :

$n_{\text{C}} = 0$ mol de C ; $n_{\text{B}} = 0$ mol de B ; $n_{\text{E}} = 1$ mol de E et $n_{\text{HCl}} = 1$ mol de HCl.

CORRECTION DU SUJET 5 : BAC SERIE D 2014

Exercice 1

1. Étude du mouvement du solide sur le trajet AB.

1.1. Déterminons la valeur algébrique a de l'accélération du mouvement du solide (S).

Le mouvement du solide sur le trajet AB est rectiligne uniformément accéléré donc :

$$x_B = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \Rightarrow x_B - x_0 = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow AB = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow a = \frac{2AB}{\Delta t^2} = \frac{2L}{\Delta t^2}$$

Remarque : $t = \Delta t = 3$ s et $v_0 = 0$ car le solide part du point A sans vitesse.

$$\text{Application numérique : } a = \frac{2 \times 4,5}{3^2} = \underline{1 \text{ m/s}^2}$$

1.2. Calculons la valeur v_B de la vitesse au point B.

Le mouvement du solide sur le trajet AB est rectiligne uniformément varié donc :

$$v_B^2 - v_A^2 = 2a(x_B - x_A) \Rightarrow v_B^2 - 0 = 2aL \Rightarrow v_B = \sqrt{2aL}$$

$$\text{Application numérique : } v_B = \sqrt{2 \times 1 \times 4,5} = 3 \text{ m/s}$$

$$\text{Autre méthode : } v_B = at + v_0 = at \Rightarrow v_B = a\Delta t = 1 \times 3 = \underline{3 \text{ m/s}}$$

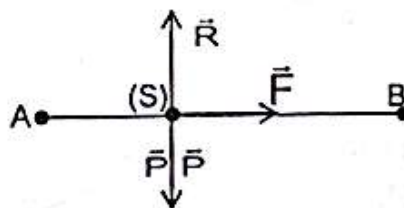
1.3. Inventaire des forces extérieures appliquées à (S) et représentation sur un schéma.

système : solide (S) de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces :

- > le poids \vec{P} du solide (S),
- > la réaction \vec{R} de la piste AB,
- > la force motrice \vec{F} ou force exercée par l'élève sur le solide.

1.4. Déterminons la valeur de la force \vec{F} .

Théorème du centre d'inertie appliqué au solide (S) entre A et B :

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\text{Projection selon } \overline{AB} : 0 + 0 + F = ma \Rightarrow F = ma$$

$$\text{Application numérique : } F = 5 \times 1 = \underline{5 \text{ N}}$$

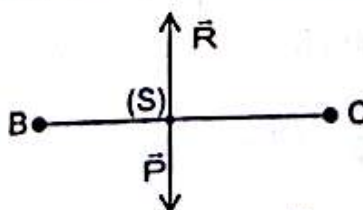
2. Étude du mouvement du solide (S) sur le trajet BC.

2.1 Inventaire des forces extérieures appliquées à (S) et représentation sur un schéma.

bilan des forces :

- > le poids \vec{P} du solide (S),
- > la réaction \vec{R} de la piste BC.

Remarque :

il n'y a plus la force motrice \vec{F} car au point B, l'action de la force \vec{F} cesse.

2.2 Nature du mouvement de (S) en appliquant le théorème du centre d'inertie.

Théorème du centre d'inertie appliqué au solide (S) entre B et C :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}$$

Projection selon \overline{BC} : $0 + 0 = ma \Rightarrow a = 0 \text{ m/s}^2$.

De plus la trajectoire est une droite donc le mouvement est rectiligne uniforme.

2.3 Déduisons la vitesse v_C du mouvement du solide au point C.

Le mouvement est uniforme entre B et C donc $v_C = v_B = 3 \text{ m/s}$.

3. Étude du mouvement du solide (S) sur le trajet CD.

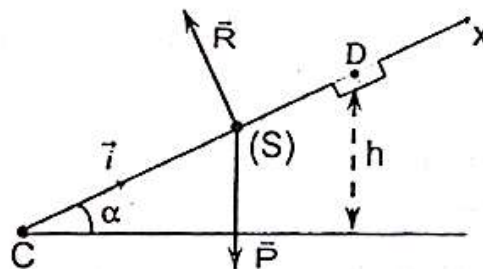
3.1 Inventaire des forces extérieures appliquées à (S) et représentation sur un schéma.

Référentiel terrestre supposé galiléen

muni du repère (O, \vec{i})

bilan des forces :

- > le poids \vec{P} du solide (S),
- > la réaction \vec{R} de la piste CD.



3.2 Déterminons :

3.2.1. la valeur algébrique a'_x de l'accélération du mouvement en fonction de α et g ;

Théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a}' \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}'$

Projection sur l'axe (O, \vec{i}) : $-mgsin\alpha + 0 = ma'_x \Rightarrow a'_x = -gsin\alpha$

Application numérique : $a'_x = -10 \times sin30^\circ = -5 \text{ m/s}^2$.

3.2.2. la nature du mouvement.

$$\vec{a}' \cdot \vec{v} = a'_x \times v_C = -5 \times 3 < 0$$

De plus la trajectoire est une droite donc le mouvement du solide sur le trajet CD est rectiligne uniformément retardé (varié).

3.3 Déterminons la longueur $\ell' = CD'$.

Le mouvement du solide sur le trajet CD' est rectiligne uniformément varié donc on a :

$$v_D^2 - v_C^2 = 2a'_x \ell' \Rightarrow 0 - v_C^2 = -2g\ell' \sin\alpha \Rightarrow \ell' = \frac{v_C^2}{2g \sin\alpha}$$

Application numérique : $\ell' = \frac{3^2}{2 \times 10 \times \sin 30^\circ} = 0,9 \text{ m}$

Autre méthode : Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre C et D'.

$$\Delta E_{C \rightarrow D'} = \Sigma W_{C \rightarrow D'}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow E_{C'} - E_C = W_{C \rightarrow D'}(\vec{P}) + W_{C \rightarrow D'}(\vec{R})$$

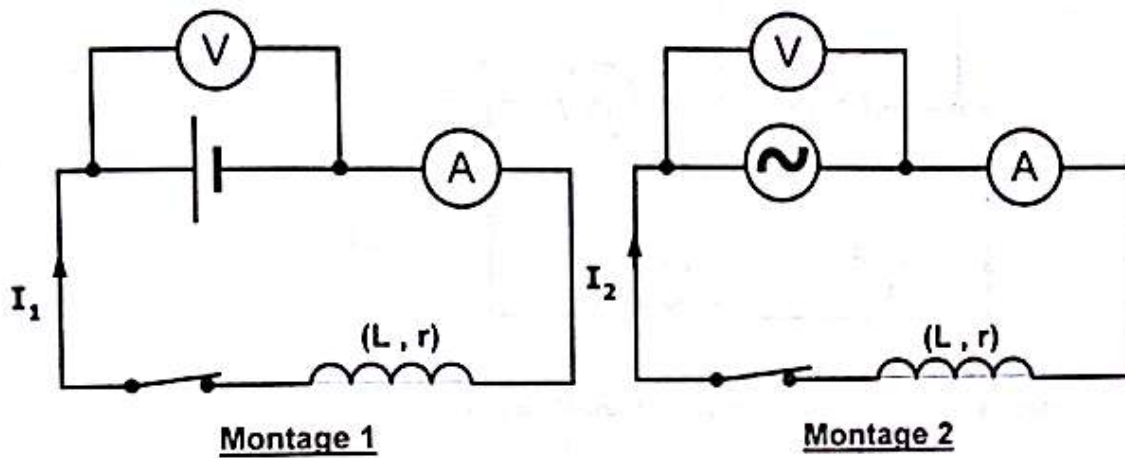
$$\left. \begin{aligned} 0 - \frac{1}{2}mv_C^2 &= -mgh + 0 \Rightarrow \frac{1}{2}v_C^2 = gh \Rightarrow v_C^2 = 2gh \\ \text{or } \sin\alpha &= \frac{h}{CD'} = \frac{h}{\ell'} \Rightarrow h = \ell' \sin\alpha \end{aligned} \right\} \Rightarrow v_C^2 = 2g\ell' \sin\alpha \Rightarrow \ell' = \frac{v_C^2}{2g \sin\alpha}$$

3.4 Voyons si l'élève a gagné à ce jeu et justifions la réponse.

L'élève n'a pas gagné à ce jeu car $0,9 \text{ m} < 1 \text{ m}$ ou $\ell' < \ell$.

Exercice 2**1- Première expérience**

1.1. Schémas des deux montages en y faisant figurer le voltmètre et l'ampèremètre.



1.2. Déterminons la valeur de r .

La tension aux bornes d'une bobine est donnée par : $U = ri + L \frac{di}{dt}$

Sous une tension continue, l'intensité du courant parcourue par la bobine est constante et vaut $I_1 = 0,24$ A. Donc $\frac{di}{dt} = \frac{dI_1}{dt} = 0$

$$\text{d'où : } U_1 = rI_1 + L \times 0 = rI_1 \Rightarrow r = \frac{U_1}{I_1} = \frac{12}{0,24} = \underline{50 \Omega}$$

1.3. Déterminons l'impédance Z_b de la bobine.

Dans le cas d'un courant alternatif, la valeur efficace de la tension alternative aux bornes de la bobine est donnée par : $U_2 = Z_b I_1 \Rightarrow Z_b = \frac{U_2}{I_2} = \frac{5}{10 \cdot 10^{-3}} = \underline{500 \Omega}$

1.4. Déduisons la valeur de l'inductance L de la bobine.

Par ailleurs on a : $Z_b = \sqrt{r^2 + (L\omega)^2}$ où $\omega = 2\pi f$

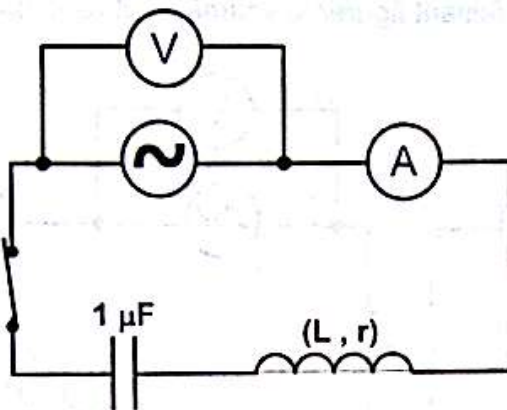
$$\Rightarrow Z_b = \sqrt{r^2 + (2\pi fL)^2} \Rightarrow Z_b^2 = r^2 + (2\pi fL)^2 \Rightarrow Z_b^2 - r^2 = (2\pi fL)^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{Z_b^2 - r^2} = 2\pi fL \Rightarrow L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z_b^2 - r^2}$$

$$\text{Application numérique : } L = \frac{1}{2 \times \pi \times 200} \times \sqrt{500^2 - 50^2} \approx \underline{0,40 \text{ H}}$$

2- Deuxième expérience.

2.1 Schéma du montage.



2.2 Donnons l'expression littérale de l'impédance totale du circuit.

$$Z = \frac{U}{I} \quad \text{ou} \quad Z = \sqrt{r^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = \sqrt{r^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$

2.3 Pour $f = f_0 = 252 \text{ Hz}$, l'intensité efficace passe par une valeur maximale $I_0 = 0,1 \text{ A}$.

2.3.1. Nommons ce phénomène.

C'est la résonance d'intensité.

2.3.2. Déterminons l'impédance totale du circuit à la fréquence f_0 .

$$Z_0 = \frac{U}{I_0} = \frac{5}{0,1} = \underline{50 \Omega}$$

2.3.3. Déterminons les valeurs de r et de L .

- A la résonance d'intensité, $Z_0 = r$ donc $r = 50 \Omega$
- A la résonance d'intensité, $LC\omega_0^2 = 1 \Rightarrow L = \frac{1}{C\omega_0^2} = \frac{1}{C(2\pi f_0)^2} = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C}$

$$\text{Application numérique : } L = \frac{1}{4 \times \pi^2 \times 252^2 \times 1.10^{-6}} \approx \underline{0,40 \text{ H}}$$

2.3.4. Comparons les valeurs de r et de L trouvées au cours des deux expériences.

Les valeurs de r et de L trouvées au cours des deux expériences sont identiques.

2.3.5. Tension efficace U_c aux bornes du condensateur dans ces conditions.

$$U_c = Z_c I_0 = \frac{I_0}{C\omega_0} = \frac{I_0}{C(2\pi f_0)} = \frac{I_0}{2\pi f_0 C}$$

$$\text{Application numérique : } U_c = \frac{0,1}{2 \times \pi \times 252 \times 1.10^{-6}} = \underline{63,16 \text{ V}}$$

2.3.6. Comparons les valeurs efficaces de la tension U et de la tension U_c .

$$\frac{U_c}{U} = \frac{63,16}{5} = 12,63 \Rightarrow U_c = 12,63 \times U \Rightarrow U_c \text{ est très supérieure à } U.$$

Conclusion : il y a surtension à la résonance aux bornes du condensateur.

Exercice 3**1- Préparation de la solution d'acide éthanóïque.**

1.1. Vérifions que le volume de (S₁) à prélever est V₀ = 10 mL.

Il s'agit ici d'une dilution au cours de laquelle la quantité de matière se conserve.

$$n_1 = n_2 \Rightarrow C_1 V_0 = C_2 V_2 \Rightarrow V_0 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Application numérique : $V_0 = \frac{10^{-2} \times 100}{0,1} = \underline{10 \text{ mL}}$

1.2. Décrivons le mode opératoire de la préparation de la solution (S₂).

- Verser une certaine quantité de la solution mère (S₁) d'acide éthanóïque dans le bécher ;
- Prélever dans ce bécher, 10 mL de la solution S₁ à l'aide de la pipette de 10 mL ;
- Verser les 10 mL de solution prélevée dans la fiole jaugée de 100 mL ;
- Compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge à l'aide de la pissette contenant de l'eau distillée ;
- Rendre homogène la solution obtenue.

1.3. Le pH de la solution (S₂) est pH = 3,4.

1.3.1. Équation-bilan de la réaction entre l'acide éthanóïque et l'eau.

Il s'agit de la réaction entre un acide faible et l'eau donc la réaction est partielle (double flèche) : $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$

1.3.2. Inventaire des espèces chimiques présentes dans cette solution.

H₃O⁺, OH⁻, CH₃COO⁻, CH₃COOH, (ou H₂O)

1.3.3. Déterminons la concentration molaire volumique de chaque espèce chimique.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,4} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L ;}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{3,4-14} = 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L.}$$

$$\text{Electroneutralité : } [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{CH}_3\text{COO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+] = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } C_2 = [\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = C_2 - [\text{CH}_3\text{COO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-4} = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

1.3.4. Calculons la constante d'acidité K_A du couple acide éthanóïque / ion éthanóate.

$$K_A = \frac{[\text{Base}] \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{Acide}]} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{4 \cdot 10^{-4} \times 4 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^{-3}} = \underline{1,67 \cdot 10^{-5}}$$

1.3.5. Vérifions que le pK_A du couple est égal à 4,8.

$$\text{pK}_A = -\log(K_A) = -\log(1,67 \cdot 10^{-5}) = 4,78 \approx 4,8$$

2- Dosage de la solution (S₂) d'acide éthanoïque.

2.1 Déterminons graphiquement les coordonnées du point d'équivalence E.

D'après la méthode des tangentes parallèles on a : E(V_{BE} = 20 mL ; pH_E = 8,3)

2.2 Retrouvons la valeur de C₂.

$$\text{A l'équivalence, } C_B V_{BE} = C_2 V_A \Rightarrow C_2 = \frac{C_B V_{BE}}{V_A} = \frac{10^{-2} \times 20}{20} \Rightarrow C_2 = 10^{-2} \text{ mol/L}$$

2.3 Donnons la nature (acide ou basique) du mélange obtenu à l'équivalence.

Le mélange obtenu à l'équivalence est basique.

Justifions la réponse.

Le pH à l'équivalence (pH_E = 8,3) est supérieure à 7 donc le mélange est basique.

Autre méthode : la réaction de dosage est une réaction totale d'équation-bilan :



On obtient une solution d'éthanoate de sodium (Na⁺ + CH₃COO⁻) qui est basique.

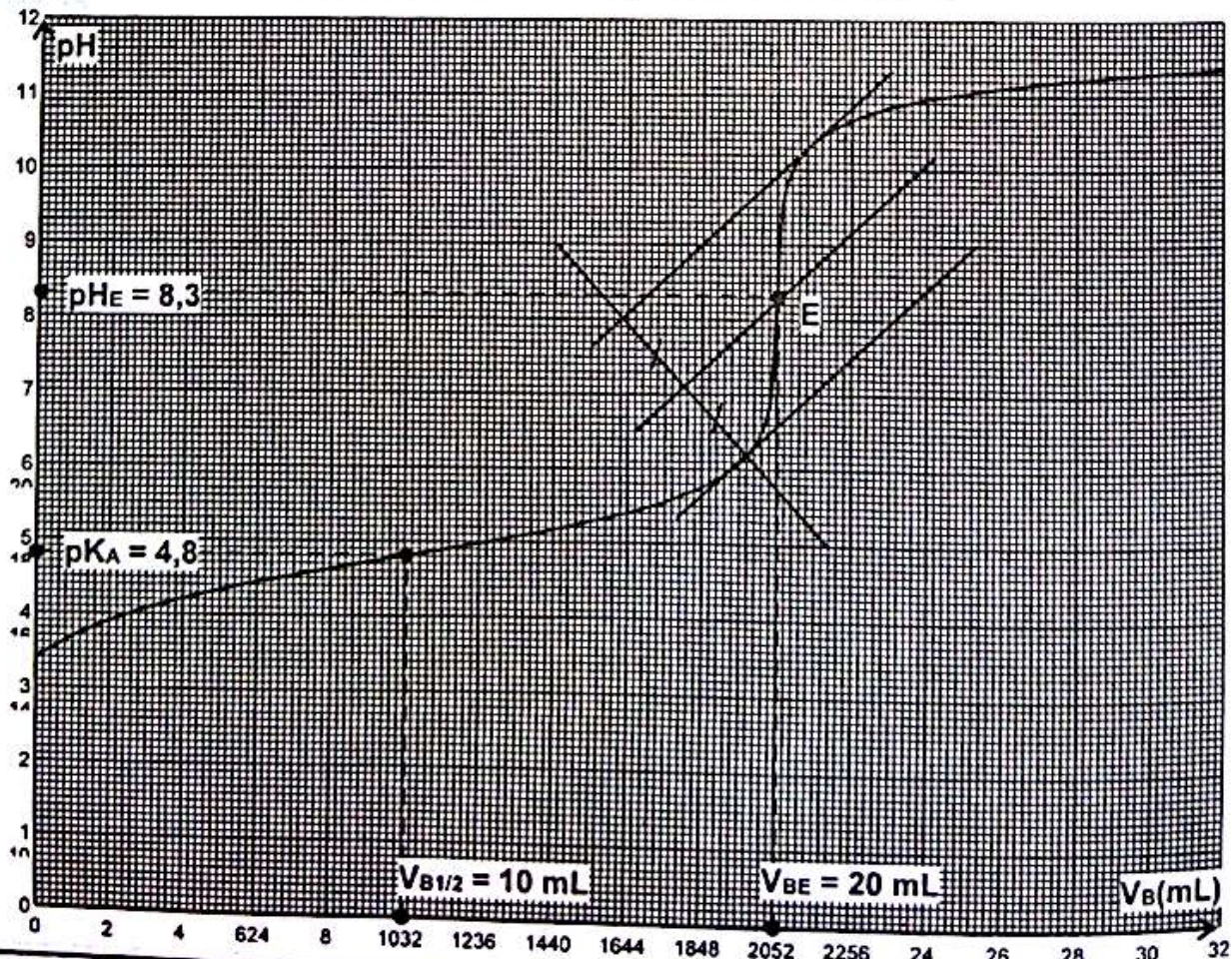
2.4 Retrouvons graphiquement la valeur du pK_A.

A la demi-équivalence, $V_{B1/2} = \frac{V_{BE}}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ mL}$ et pH = pK_A donc pK_A = 4,8.

2.5 Choix de l'indicateur coloré approprié et justification.

Parmi les indicateurs colorés celui qui convient à ce dosage est la phénolphtaléine car le pH à l'équivalence (pH_E) appartient à la zone de virage de la phénolphtaléine.

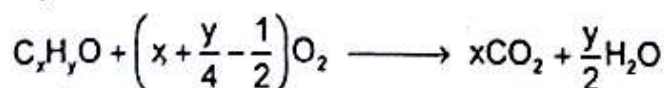
Feuille annexe à rendre avec la copie



Exercice 4

1- La combustion complète de 1 mola de A (C_xH_yO) fournit 4 mol de CO_2 et 4 mol de H_2O .

1.1. Équation-bilan de la réaction.



1.2. Montrons que la formule brute du composé A est C_4H_8O .

$$\text{Bilan molaire : } \frac{n_{C_xH_yO}}{1} = \frac{n_{O_2}}{x + \frac{y}{4} - \frac{1}{2}} = \frac{n_{CO_2}}{x} = \frac{n_{H_2O}}{\frac{y}{2}}$$

$$\text{Or } n_{C_xH_yO} = n_A = 1 \text{ mol ; } n_{O_2} = 4 \text{ mol ; } n_{H_2O} = 4 \text{ mol} \Rightarrow \begin{cases} \frac{1}{1} = \frac{4}{x} \Rightarrow \underline{x=4} \\ \frac{1}{1} = \frac{4}{\frac{y}{2}} \Rightarrow 1 = \frac{2 \times 4}{y} \Rightarrow \underline{y=8} \end{cases}$$

Donc la formule brute du composé A est C_4H_8O .

1.3. Donnons les formules semi-développées des différents isomères possibles de A.

La formule brute de A respecte la formule générale $C_nH_{2n}O$ donc le composé A peut être un aldéhyde ou une cétone.

Fonction	Formule semi-développée	Nom
aldéhyde	$H_3C-CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$	butanal
	$H_3C-\underset{\underset{CH_3}{ }}{CH}-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$	2-méthylpropanal
cétone	$H_3C-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-CH_2-CH_3$	butanone ou butan-2-one

2- Un isomère réagit avec la D.N.P.H et donne un test négatif avec la liqueur de Fehling.

2.1 Précisons la fonction chimique de cet isomère.

L'isomère qui réagit avec la 2,4-D.N.P.H et donne un test négatif en présence de liqueur de Fehling est une cétone.

2.2 Donnons la formule semi-développée et le nom de cet isomère.

Fonction	Formule semi-développée	Nom
cétone	$H_3C-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-CH_2-CH_3$	butanone ou butan-2-one

3- Le butanal, traité par une solution de permanganate de potassium acidifiée, donne B.

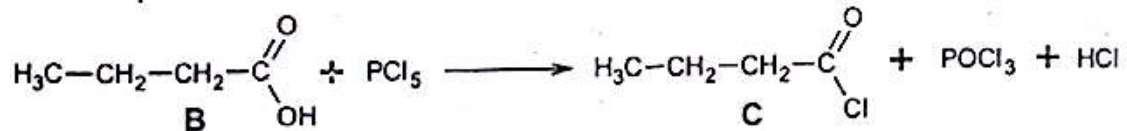
3.1 Formule semi-développée et nom du composé B.

L'oxydation ménagée d'un aldéhyde donne un acide carboxylique.

Donc B est l'acide butanoïque de formule : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$.

3.2 B réagit avec le pentachlorure de phosphore (PCl_5) pour donner un composé C.

3.2.1 Equation-bilan de la réaction.



3.2.2 Donnons le nom du composé C.

C'est le chlorure de butanyle.

4- On fait réagir l'éthanol sur le composé C. On obtient un composé organique D.

4.1 Équation-bilan de la réaction.

La réaction entre un acide carboxylique et un chlorure d'acyle est totale donc une seule flèche.



4.2 Donnons :

4.2.1 le nom de cette réaction chimique.

C'est une réaction d'estérification indirecte.

4.2.2 les caractéristiques de cette réaction chimique.

Elle est rapide, totale et exothermique.

4.2.3 le nom du composé organique D.

c'est le butanoate d'éthyle.

4.3 On fait réagir l'éthanol sur B. On obtient entre autres le même composé organique D.

4.3.1 Équation-bilan de la réaction.

La réaction entre un acide carboxylique et un alcool est limitée donc double flèche.



4.3.2 Donnons le nom et les caractéristiques de cette réaction.

C'est une réaction d'estérification directe.

Elle est lente, limitée (ou réversible) et athermique.

CORRECTION DU SUJET 6 : BAC SERIE D 2015

Exercice 1

1- Étude du mouvement du centre d'inertie du mobile sur la partie AO de la piste.

1.1. Inventaire des forces extérieures agissant sur

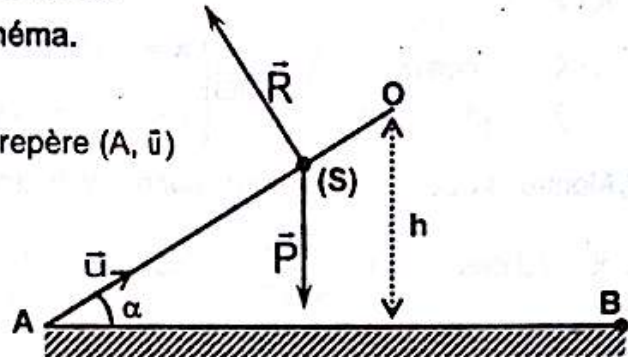
le mobile et représentation sur un schéma.

système : mobile (S) de masse m

Référentiel terrestre galiléen muni du repère (A, \vec{u})

bilan des forces :

- le poids \vec{P} du mobile (S) ;
- la réaction \vec{R} de la piste.



1.2. Déterminons :

1.2.1. la valeur algébrique a_u de l'accélération du mobile ;

$$\text{Théorème du centre d'inertie : } \Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}$$

$$\text{Projection sur l'axe (A, } \vec{u}\text{) : } -mg\sin\alpha + 0 = ma_u \Rightarrow a_u = -g\sin\alpha$$

$$\text{Application numérique : } a_u = -10 \times \sin 30^\circ = -5 \text{ m/s}^2.$$

1.2.2. la nature du mouvement du mobile ;

$$\vec{a} \cdot \vec{v}_A = a \cdot v_u \text{ or } a_u = -g\sin\alpha < 0 \text{ et } v_u > 0 \text{ donc } \vec{a} \cdot \vec{v}_A < 0$$

La trajectoire étant rectiligne, donc le mouvement du mobile est rectiligne uniformément retardé (ou varié).

1.2.3. la valeur v_A de la vitesse communiquée au mobile au point A

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et O.

$$\Delta E_{c_{A \rightarrow O}} = \Sigma W_{A \rightarrow O}(\vec{F}_{\text{ext}}) \Rightarrow E_{c_O} - E_{c_A} = W_{A \rightarrow O}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow O}(\vec{R})$$

$$\frac{1}{2}mv_O^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = -mgh + 0 \Rightarrow \frac{1}{2}m(v_O^2 - v_A^2) = -mgh \Rightarrow v_O^2 - v_A^2 = -2gh$$

$$\Rightarrow v_A^2 = v_O^2 + 2gh \Rightarrow v_A = \sqrt{v_O^2 + 2gh}$$

$$\text{Application numérique : } v_A = \sqrt{1^2 + 2 \times 10 \times 0,75} = 4 \text{ m/s}$$

2- Étude du mouvement du mobile dans le repère (O, \vec{i} , \vec{j}).2.1. Déterminons les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$.

système : le mobile de masse m

référentiel terrestre supposé galiléen

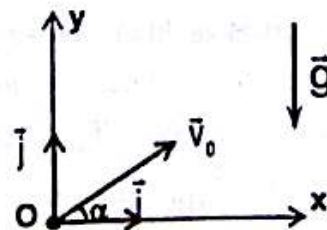
muni du repère (Ox ; Oy)

bilan des forces : le poids \vec{P} du mobile

Appliquons le théorème du centre d'inertie :

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m\vec{a} \Leftrightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g} = \text{cste}$$

L'accélération est constante donc le mouvement du chariot est uniformément varié.



$$\vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 \text{ et } \vec{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{OG}_0$$

$$\text{À } t=0 \text{ s, } \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x}=0 \\ \ddot{y}=-g \end{pmatrix} ; \vec{v}_0 \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y}_0 = v_0 \sin \alpha \end{pmatrix} ; \vec{OG}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{pmatrix}$$

À $t \neq 0$ s,

$$\vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x} = v_0 \cos \alpha \\ \dot{y} = -gt + v_0 \sin \alpha \end{pmatrix} ; \vec{OG} \begin{pmatrix} x = v_0 t \cos \alpha \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \alpha \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} x(t) = v_0 t \cos \alpha \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \alpha \end{cases}$$

2.2. Montrons que l'équation cartésienne de la trajectoire est : $y = -6,67x^2 + 0,577x$.

$$x = v_0 t \cos \alpha \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y = -\frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 + v_0 \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right) \sin \alpha$$

$$\Rightarrow y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + x \tan \alpha$$

$$\text{A.N. : } y = -\frac{10}{2 \times 1^2 \times \cos^2 30^\circ} x^2 + x \times \tan 30^\circ \Rightarrow \underline{y = -6,67x^2 + 0,577x}$$

2.3. Nature de la trajectoire du mobile.

L'équation de la trajectoire est de la forme $y = ax^2 + bx + c$ donc la trajectoire du mobile est parabolique.

2.4. Déterminons :

2.4.1. les coordonnées x_B et y_B du point de chute B du mobile sur le sol ;

$$\text{En B, on a : } y_B = -h = -0,75 \text{ m}$$

$$\Rightarrow -6,67x^2 + 0,577x = -0,75 \Rightarrow -6,67x^2 + 0,577x + 0,75 = 0$$

On a une équation du second degré ; on calcule alors le discriminant Δ :

$$\Delta = b^2 - 4ac = (0,577)^2 - 4 \times (-6,67 \times 0,75) = 20,34$$

$\Delta > 0$ donc l'équation admet deux solutions qui sont :

$$x_B = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-0,577 - \sqrt{20,34}}{2 \times (-6,67)} = \underline{0,38 \text{ m}} ;$$

$$\text{L'autre solution } x_B = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-0,577 + \sqrt{20,34}}{2 \times (-6,67)} < 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_B = \underline{0,38 \text{ m}} \\ y_B = -6,67 \times (0,38)^2 + 0,577 \times 0,38 = \underline{0,74 \text{ m}} \end{cases}$$

2.4.2. la vitesse v_B du mobile au moment où il entre en contact avec le sol.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre O et B.

$$\Delta E_{c_{B \rightarrow O}} = \Sigma W_{B \rightarrow O}(\vec{F}_{\text{ext}}) \Rightarrow E_{c_B} - E_{c_O} = W_{B \rightarrow O}(\vec{P}) + W_{B \rightarrow O}(\vec{R})$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh \Rightarrow \frac{1}{2}m(v_B^2 - v_0^2) = mgh \Rightarrow v_B^2 - v_0^2 = 2gh$$

$$\Rightarrow v_B^2 = v_0^2 + 2gh \Rightarrow v_B = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$$

$$\text{Application numérique : } v_A = \sqrt{1^2 + 2 \times 10 \times 0,75} = \underline{4 \text{ m/s}}$$

Exercice 2

1- Donnons les noms des deux grandeurs physiques visualisées à l'écran de l'oscilloscope.

- > La tension $u(t)$ délivrée par le générateur ;
- > L'intensité $i(t)$ du courant électrique dans le circuit.

2- Précisons, en justifiant la réponse, la grandeur physique qui est en avance sur l'autre.

La tension $u(t)$ est en avance sur l'intensité $i(t)$ car :

- > en considérant la figure 1, le circuit est purement inductif (pas de condensateur) ;
- > en considérant la figure 2, la courbe visualisée sur la voie Y_2 (c'est-à-dire $u(t)$) atteint son maximum avant celle visualisée sur la voie Y_1 (c'est-à-dire $i(t)$).

3- Déterminons à partir de l'oscillogramme obtenu (figure 2) :

3.1. la période T et la pulsation ω de la tension délivrée par le GBF ;

- > Sur l'oscillogramme, la période T correspond à 8 divisions. Or $S_h = 2,5 \text{ ms.div}^{-1}$;

Donc $T = 8 \text{ div} \times 2,5 \text{ ms.div}^{-1} = 20 \text{ ms}$ ou $2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ ou $0,02 \text{ s}$.

$$\text{> } \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2 \cdot 10^{-2}} = \underline{100\pi \text{ rad/s}} \text{ ou } \omega = \underline{314 \text{ rad/s}}$$

3.2. la phase $\varphi_{u/i}$ de la tension u par rapport à l'intensité i du courant ;

Sur l'oscillogramme, le décalage horaire τ correspond à une(1) division et la période T correspond à huit(8) divisions.

$$\text{Donc : } |\varphi_{u/i}| = \frac{2\pi\tau}{T} = \frac{2\pi \times 1}{8} = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$$

Or la tension $u(t)$ est en avance sur l'intensité $i(t)$ donc $\varphi_{u/i} > 0$

$$\text{D'où } \varphi_{u/i} = |\varphi_{u/i}| = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$$

3.3. les valeurs efficaces U de la tension u et I de l'intensité i du courant électrique.

- > Sur l'oscillogramme, la tension maximale U_m aux bornes du générateur (courbe de Y_2) correspond à quatre(4) divisions.

Or $S_v = 1 \text{ V.div}^{-1}$. Donc $U_m = 4 \text{ div} \times 1 \text{ V.div}^{-1} = 4 \text{ V}$.

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2,83 \text{ V}$$

- > Sur l'oscillogramme, la tension maximale U_{Rm} aux bornes de la résistance R (courbe de Y_1) correspond à deux (2) divisions. Or $S_v = 1 \text{ V.div}^{-1}$.

Donc $U_{Rm} = 2 \text{ div} \times 1 \text{ V.div}^{-1} = 2 \text{ V}$.

$$\left. \begin{array}{l} I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \\ U_{Rm} = RI_m \Rightarrow I_m = \frac{U_{Rm}}{R} \end{array} \right\} \Rightarrow I = \frac{U_{Rm}}{R\sqrt{2}} = \frac{2}{20 \times \sqrt{2}} = \underline{0,07 \text{ V}}$$

4- De tout ce qui précède :

4.1. établissons l'expression $i = f(t)$ de l'intensité du courant qui traverse le circuit ;

La tension $u(t)$ est en avance sur l'intensité $i(t)$ et on donne $u(t) = U\sqrt{2} \cos \omega t$.

Donc on aura : $i(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi_{u/i}) = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \varphi_{u/i})$ avec $I_m = I\sqrt{2}$

Application numérique : $i(t) = 0,07 \times \sqrt{2} \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right) = 0,1 \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$

4.2. calculons l'impédance Z du dipôle (PM) ;

$$U_m = ZI_m \Rightarrow Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{4}{0,1} = 40 \Omega$$

4.3. déterminons la valeur de la résistance interne r et celle de l'inductance L .

$$\text{> } \cos \varphi_{u/i} = \frac{R+r}{Z} \Rightarrow R+r = Z \cos \varphi_{u/i} \Rightarrow r = Z \cos \varphi_{u/i} - R$$

$$\text{Application numérique : } r = 40 \times 0,707 - 20 = 8,28 \Omega$$

$$\text{> } \tan \varphi_{u/i} = \frac{L\omega}{R+r} \Rightarrow L\omega = (R+r) \tan \varphi_{u/i} \Rightarrow L = \frac{1}{\omega} (R+r) \tan \varphi_{u/i}$$

$$\text{Application numérique : } L = \frac{1}{100 \times \pi} \times (20 + 8,28) \times \tan\left(\frac{\pi}{4}\right) = 0,09 \text{ H}$$

5- On prendra : $r = 8,3 \Omega$, $L = 0,09 \text{ H}$ et $u(t) = 4 \cos(\omega t)$ avec $\omega = 100\pi \text{ rad.s}^{-1}$, $u(t)$ en V.

5.1. Nommons le phénomène observé dans le circuit.

$LC\omega^2 = 1$ donc on est à la résonance d'intensité.

5.2. En déduisons la nouvelle valeur de la phase de la tension par rapport à l'intensité.

A la résonance d'intensité, $u(t)$ et $i(t)$ sont en phase donc $\varphi_{u/i} = 0$.

5.3. Déterminons la valeur efficace de l'intensité du courant qui traverse le circuit.

$$U = Z_0 I_0 \Rightarrow I_0 = \frac{U}{Z_0} = \frac{U}{R+r} = \frac{2,83}{20 + 8,3} = 0,1 \text{ A}$$

Remarque :

$$\text{> } u(t) = U_m \cos \omega t = 4 \cos \omega t \text{ donc } U_m = 4 \text{ V et } U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2,83 \text{ V}$$

$$\text{> à la résonance d'intensité, } Z = Z_0 = R + r$$

Exercice 3**1- Préparation de la solution S_b d'hydroxyde de potassium**

1.1. Vérifions que la concentration molaire C_b de la solution S_b vaut $10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

$$C_b = \frac{n_b}{V_1} = \frac{m_1}{MV_1} = \frac{56 \cdot 10^{-3}}{(39 + 16 + 1) \times 0,1} = 10^{-2} \text{ mol/L}$$

1.2. Le pH de la solution S_b vaut 12. Montrons que KOH est une base forte.

KOH est une base forte si et seulement si $\text{pH} = 14 + \log C_b$.

$$14 + \log C_b = 14 + \log(10^{-2}) = 12 = \text{pH} \text{ donc KOH est une base forte.}$$

2- Dosage de la solution d'acide AH

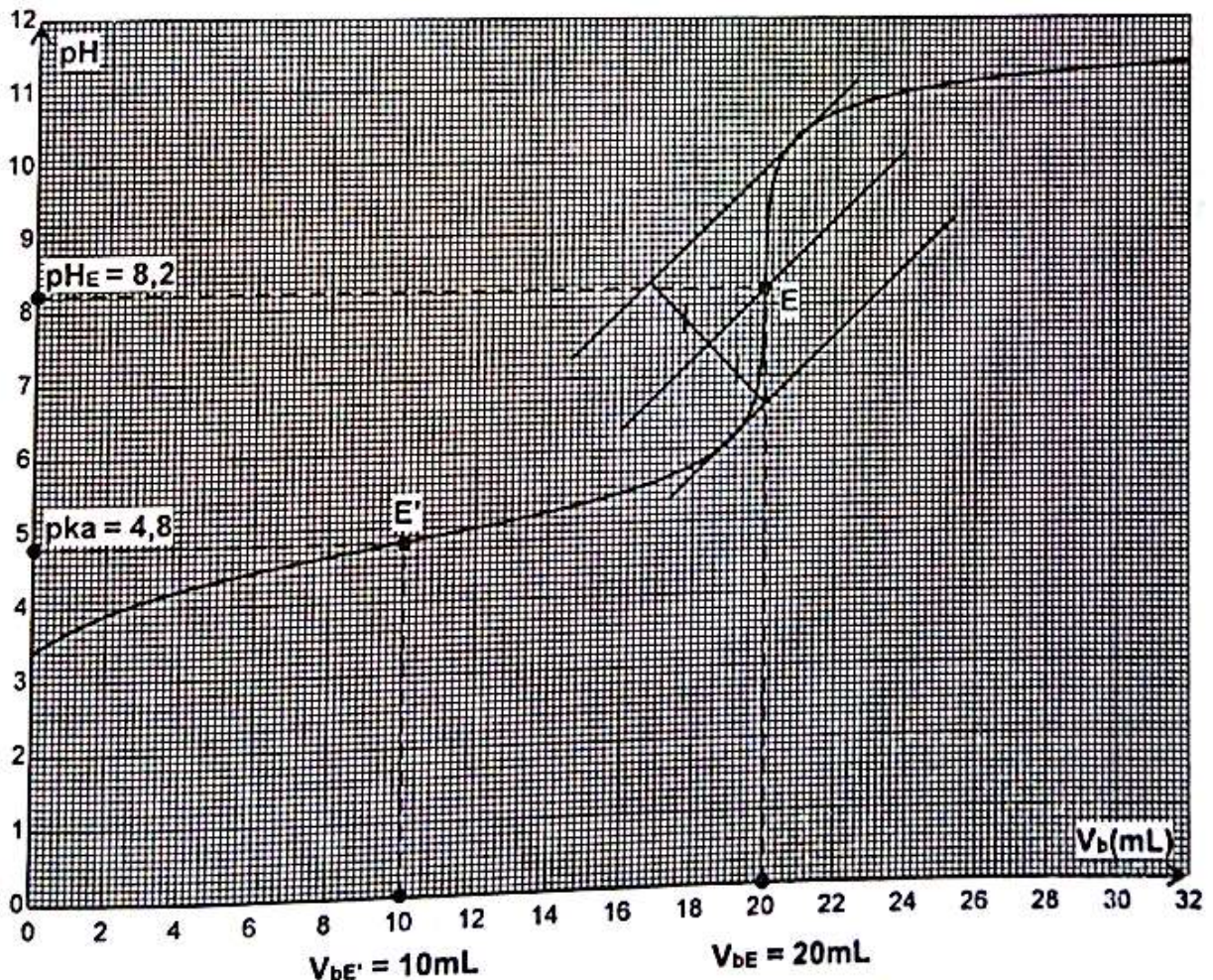
2.1. Équation-bilan de la réaction acido-basique qui a eu lieu entre AH et KOH.

Il s'agit d'une réaction de dosage donc la réaction est totale (une seule flèche) :



2.2. Déterminons graphiquement les coordonnées du point E à l'équivalence.

En utilisant la méthode des tangentes parallèles on a : $E(V_{bE} = 20 \text{ mL} ; \text{pH}_E = 8,2)$.



2.3. Calculons la concentration molaire volumique C_a de la solution S_a .

$$\text{À l'équivalence on a : } C_a V_a = C_b V_{bE} \Rightarrow C_a = \frac{C_b V_{bE}}{V_a} = \frac{10^{-2} \times 20}{20} = 10^{-2} \text{ mol/L}$$

2.4. Déterminons à partir de la courbe $\text{pH} = f(V_b)$, la valeur du pK_a du couple AH/A^- .

À la demi-équivalence E' , $V_{bE'} = \frac{V_{bE}}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ mL}$ et $\text{pK}_a = \text{pH} = 4,8$

3- Identification de l'acide AH

3.1. Déterminons la formule brute de l'acide AH.

$$C = \frac{n_{\text{AH}}}{V} = \frac{m}{MV} \Rightarrow M = \frac{m}{CV} = \frac{0,6}{10^{-2} \times 1} = 60 \text{ g/mol}$$

AH est un acide carboxylique de formule générale $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ donc $M = 14n + 32$

$$\Rightarrow 14n + 32 = 60 \Rightarrow n = \frac{60 - 32}{14} = 2$$

La formule brute de l'acide AH est : $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

3.2. Donnons la formule semi-développée et le nom de l'acide AH.

$\text{CH}_3\text{-COOH}$: acide éthanoïque.

3.3. Précisons le couple acide-base correspondant.

On a : $\text{CH}_3\text{-COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{-COO}^- + \text{H}^+$

Donc le couple acide/base est : $\text{CH}_3\text{-COOH} / \text{CH}_3\text{-COO}^-$

Exercice 4

1- Le professeur met trois (03) flacons ①, ②, ③ à la disposition des élèves.

1.1. Écrivons les formules semi-développées des alcools A et B.

Alcool A	propan-2-ol	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$
Alcool B	propan-1-ol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$

1.2. Les élèves font réagir en excès du dichromate de potassium sur A et B.

1.2.1. Donnons la famille chimique de chacun des composés C et C'.

➤ Le composé C réagit positivement au test de la 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNPH) donc C est une cétone.

Remarque : C ne peut pas être un aldéhyde car l'oxydant (le dichromate de potassium) a été pris en excès.

➤ Le composé C' réagit avec le bleu de Bromothymol (BBT) pour donner une coloration Jaune donc C' est un acide carboxylique.

1.2.2. Donnons les formules semi-développées et les noms des composés C et C'.

Composé C	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	propanone ou propan-2-one
Composé C'	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	acide propanoïque

2- L'ester G peut être préparé à partir des composés C, C', E et F.

2.1. Écrivons les formules semi-développées des composés E et F.

Composé E	éthanol	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$
Composé F	chlorure de propanoyle	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl}$

2.2. Donnons les noms des composés pouvant être utilisés pour préparer l'ester G.

- L'acide propanoïque C' ;
- L'éthanol E ;
- Le chlorure de propanoyle F.

2.3. Équations-bilans des réactions qui donnent l'ester G, à partir de la question 2.2.

- Réaction d'estérification directe entre l'acide propanoïque C' et l'éthanol E : c'est une réaction limitée (double flèche).



- Réaction d'estérification indirecte entre le chlorure de propanoyle F et l'éthanol E : c'est une réaction totale (une seule flèche).



CORRECTION DU SUJET 7 : BAC SERIE D 2016

Exercice 1

1. Le basketteur lance le ballon à partir de A, avec une vitesse \vec{v}_A faisant un angle $\alpha = 45^\circ$

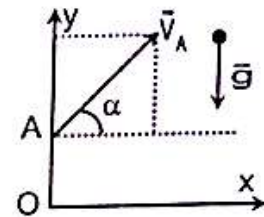
1.1. Inventaire des forces extérieures s'exerçant sur le ballon

système : le ballon

référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces : la seule force est le poids \vec{P} du ballon

car les forces de frottement dus à l'air sont négligés.



1.2. Equations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement du centre d'inertie du ballon.

théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m\vec{a} \Leftrightarrow m\vec{g} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g}$

L'accélération est constante donc le mouvement du ballon est uniformément varié.

$$\Rightarrow \vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 \quad \text{et} \quad \overline{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \overline{OG}_0$$

$$\text{À } t = 0 \text{ s, } \vec{a} \begin{pmatrix} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{pmatrix} ; \vec{v}_0 = v_A \begin{pmatrix} \dot{x}_0 = v_A \cos \alpha \\ \dot{y}_0 = v_A \sin \alpha \end{pmatrix} ; \overline{OG}_0 = \overline{OA} \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = OA \end{pmatrix}$$

$$\text{À } t \neq 0 \text{ s, } \vec{v} \begin{pmatrix} \dot{x}(t) = v_A \cos \alpha \\ \dot{y}(t) = -gt + v_A \sin \alpha \end{pmatrix} ; \overline{OG} \begin{pmatrix} x(t) = v_A t \cos \alpha \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_A t \sin \alpha + OA \end{pmatrix}$$

1.3. Montrons que l'équation cartésienne de la trajectoire s'écrit: $y = -\frac{10}{v_A^2}x^2 + x + 2$

$$x(t) = v_A t \cos \alpha \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_A \cos \alpha}$$

$$\Rightarrow y = -\frac{1}{2}g \left(\frac{x}{v_A \cos \alpha} \right)^2 + v_A \left(\frac{x}{v_A \cos \alpha} \right) \sin \alpha + OA = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{v_A^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha + OA$$

$$\text{A.N.: } y = -\frac{1}{2} \times 10 \times \frac{x^2}{v_A^2 \cos^2 45^\circ} + x \tan 45^\circ + 2 = -\frac{10}{2 \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 \times v_A^2} x^2 + x \times 1 + 2$$

$$\Rightarrow y = -\frac{10}{v_A^2} x^2 + x + 2$$

1.4. Les verticales passant par les points A et C sont distantes de $d = 7,10$ m.

1.4.1. Valeur initiale de la vitesse pour que le panier soit réussi.

Le panier est réussi lorsque le point C est appartient à la trajectoire.

On a : $x_C = d = 7,10$ m et $y_C = h = 3,05$ m.

$$h = -\frac{10}{v_A^2} d^2 + d + 2 \Rightarrow \frac{10d^2}{v_A^2} = d - h + 2 \Rightarrow \frac{10d^2}{d - h + 2} = v_A^2 \Rightarrow v_A = \sqrt{\frac{10d^2}{d - h + 2}}$$

$$\text{Application numérique : } v_A = \sqrt{\frac{10 \times (7,10)^2}{7,10 - 3,05 + 2}} = \underline{\underline{9,1 \text{ m.s}^{-1}}}$$

1.4.2. Déterminons le temps t mis par le ballon pour aller du point A au point C.

$$t = \frac{x_c}{v_A \cos \alpha} = \frac{d}{v_A \cos \alpha} = \frac{7,10}{9,1 \times \cos 45^\circ} = \underline{1,10 \text{ s}}$$

2. Un adversaire situé à une distance $d_1 = 4,1 \text{ m}$ du tireur veut arrêter le ballon.

2.1. Vérification de la position de l'adversaire.

Montrons que $d_1 = 4,1 \text{ m}$ correspond à l'abscisse du sommet de la trajectoire.

$$\text{Au sommet, } v_y = 0; -gt_s + v_A \sin \alpha = 0 \Rightarrow t_s = \frac{v_A \sin \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow x(t_s) = v_A \times \left(\frac{v_A \sin \alpha}{g} \right) \times \cos \alpha = \frac{v_A^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

$$\text{Application numérique : } x_s = \frac{(9,1)^2 \times \sin 45^\circ \times \cos 45^\circ}{10} = \underline{4,1 \text{ m}}$$

$d_1 = x_s$ donc l'adversaire est dans la position la plus défavorable pour intercepter le ballon

2.2. Détermination de l'ordonnée du point S

$$\text{Au sommet de la trajectoire, } y_s = -\frac{10}{v_A^2} x_s^2 + x_s + 2$$

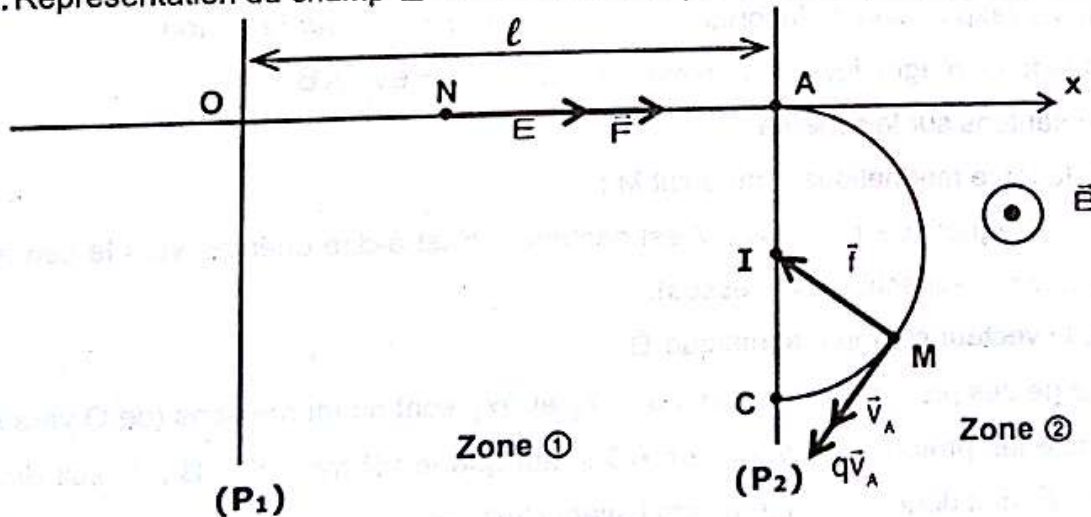
$$\text{Application numérique : } y_s = -\frac{10 \times (4,1)^2}{(9,1)^2} + 4,1 + 2 = \underline{4,07 \text{ m}}$$

Conclusion : $4,07 > 3 \text{ m} \Leftrightarrow y_s > h_1$ donc l'adversaire ne peut pas intercepter le ballon.

Exercice 2

1. Étude du mouvement du proton entre les plaques (P_1) et (P_2).

1.1. Représentation du champ \vec{E} et la force électrique \vec{F} s'exerçant sur le proton.



Justification de la réponse.

> $V_{P_1} - V_{P_2} = U = 720 \text{ V}$ donc $V_{P_1} - V_{P_2} > 0 \Leftrightarrow V_{P_1} > V_{P_2}$. Or le champ \vec{E} décroît les potentiels donc \vec{E} est orienté de la plaque P_1 vers la plaque P_2 ou bien de O vers A .

> La particule est un proton donc sa charge q est positive ($q > 0$) ; elle subit alors de la part du champ électrique \vec{E} une force électrique $\vec{F} = q\vec{E}$ de même direction, de même sens que \vec{E} c'est-à-dire de O vers A .

1.2. Expression de l'énergie cinétique E_{cA} du proton au point A en fonction de e et U .

système : proton de masse m_p

référentiel de laboratoire supposé galiléen

bilan des forces : force électrostatique \vec{F}

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre (O) et (A) :

$$\Delta E_{c_{O \rightarrow A}} = \Sigma W_{O \rightarrow A}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow E_{c_A} - E_{c_O} = W_{O \rightarrow A}(\vec{F}) \Rightarrow E_{c_A} - 0 = q\vec{E} \cdot \overline{OA}$$

$$\Rightarrow E_{c_A} = q(V_{P_1} - V_{P_2}) = qU \Rightarrow \underline{E_{c_A} = eU}$$

1.3. Vérifions que la valeur de la vitesse du proton au point A vaut $v_A = 3,71 \cdot 10^5 \text{ m.s}^{-1}$.

$$\Rightarrow E_{c_A} = eU \Rightarrow \frac{1}{2} m_p v_A^2 = eU \Rightarrow v_A^2 = \frac{2eU}{m_p} \Rightarrow v_A = \sqrt{\frac{2eU}{m_p}}$$

$$\text{Application numérique : } v_A = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 720}{1,67 \cdot 10^{-27}}} = \underline{3,71 \cdot 10^5 \text{ m/s}}$$

1.4. Déterminons la nature du mouvement du proton dans la zone ①.

théorème du centre d'inertie : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G \Rightarrow \vec{F} = m\vec{a}_G$

$$\Rightarrow q\vec{E} = m\vec{a}_G \Rightarrow \vec{a}_G = \frac{q\vec{E}}{m} = \overline{cste} \Rightarrow \vec{v} = \vec{a}t \Rightarrow \vec{v} \text{ et } \vec{a} \text{ ont le même sens (car } t > 0)$$

$\Rightarrow \vec{v} \cdot \vec{a} > 0$ donc le mouvement du proton est rectiligne uniformément accéléré.

1.5. Rôle du champ \vec{E} dans cette zone.

Le champ \vec{E} dans cette zone est un accélérateur de particules.

2. Étude du mouvement du proton au-delà de la plaque (P_2).

2.1. Donnons l'expression de la force magnétique \vec{f} s'exerçant sur le proton.

C'est la force magnétique de Laplace : $\vec{f} = q\vec{v}_A \wedge \vec{B} = e\vec{v}_A \wedge \vec{B}$

2.2. Représentons sur le schéma :

2.2.1. la force magnétique \vec{f} au point M ;

La force magnétique \vec{f} au point M est centripète c'est-à-dire orientée vers le centre I de la trajectoire (voir schéma ci-dessus).

2.2.2. le vecteur champ magnétique \vec{B} .

La charge des protons est positive donc \vec{v}_A et $q\vec{v}_A$ sont de même sens (de O vers A).

Pour que les protons décrivent l'arc AC il faut que le trièdre $(q\vec{v}_A, \vec{B}, \vec{f})$ soit direct. Le champ \vec{B} doit donc être orienté vers l'avant c'est-à-dire sortant (voir schéma ci-dessus).

2.3. Déterminons la puissance de cette force magnétique.

$$\mathcal{P} = \vec{f} \cdot \vec{v}_A = 0 \text{ car } \vec{f} \perp \vec{v}_A$$

2.4.

2.4.1. Montrons que la force magnétique \vec{f} ne modifie pas l'énergie cinétique du proton.

$$\mathcal{P} = \frac{W(\vec{f})}{\Delta t} = 0 \Rightarrow W(\vec{f}) = 0 \Rightarrow \Delta E_c = 0 \Rightarrow E_c = \text{cste}$$

2.4.2. Dédution de la valeur V_C de la vitesse du proton au point C.

E_c est une constante donc $V_C = V_A = 3,71 \cdot 10^5$ m/s.

2.5. Montrons que le mouvement circulaire du proton est uniforme.

La vitesse est constante et d'après le schéma le mouvement est circulaire donc le mouvement du proton est circulaire uniforme

2.6. Expression du rayon R de la trajectoire et calcul de la distance AC.

$$R = \frac{m_p v_A}{eB}$$

$$AC = 2R = \frac{2m_p v_A}{eB}$$

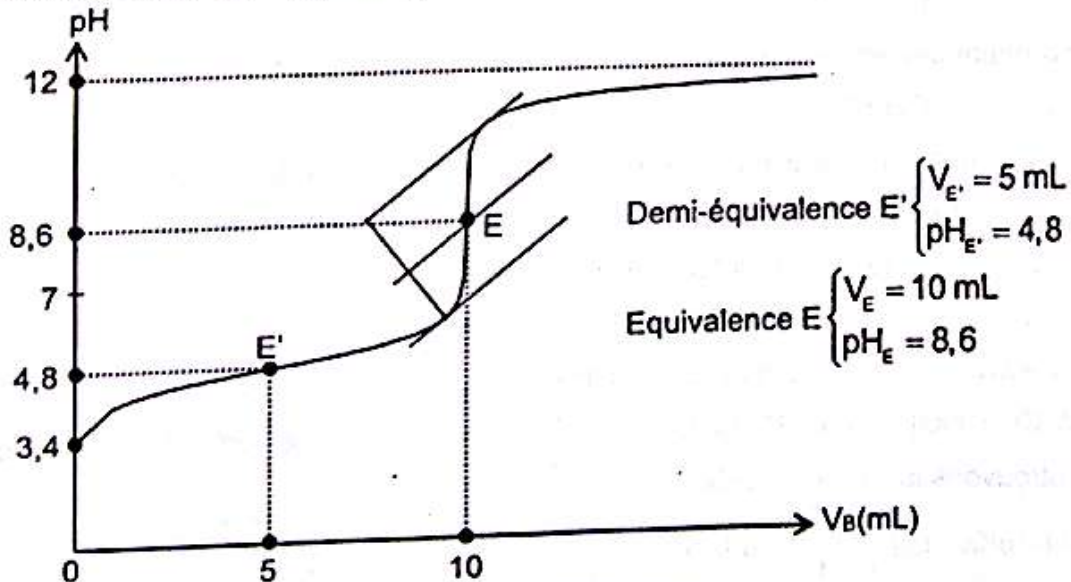
$$\text{Application numérique : } AC = \frac{2 \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times 3,71 \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^{-19} \times 0,6} = 12,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \underline{\underline{12,9 \text{ mm}}}$$

Exercice 3

1. La courbe $\text{pH} = f(V_B)$ donne les points d'équivalence E et de demi-équivalence E'

1.1. Donnons l'allure de la courbe $\text{pH} = f(V_B)$ en indiquant les points caractéristiques E' et E.

On donne : pour $V_B = 0$, $\text{pH} = 3,4$.



1.2. Montrons que l'acide éthanoïque est un acide faible.

La courbe $\text{pH} = f(V_B)$ présente deux points d'inflexion ou elle comporte quatre parties distinctes ou encore $\text{pH}_E > 7$.

1.3. Équation-bilan de la réaction du dosage.

C'est une réaction de dosage donc la réaction est totale (une seule flèche).

1.4. Calcul de la concentration molaire C_A de la solution AH.

A l'équivalence, on a : $C_A V_A = C_B V_E \Rightarrow C_A = \frac{C_B V_E}{V_A}$

Application numérique : $C_A = \frac{10^{-2} \times 10}{10} = \underline{10^{-2} \text{ mol/L}}$

1.5. Nom et caractéristiques du mélange obtenu à la demi-équivalence.

C'est une solution tampon dont :

- le pH varie peu quand on lui ajoute des quantités modérées d'acide ou de base ;
- le pH reste invariable sous l'effet d'une dilution modérée.

1.6. Donnons le pK_A du couple acide-base considéré.

A la demi-équivalence, $\text{pH} = \text{pK}_A$ donc $\text{pK}_A = \text{pH}_E = 4,8$

2. Pour le dosage, le groupe a utilisé la phénolphthaléine. Justifions ce choix.

La phénolphthaléine est l'indicateur coloré qui convient pour ce dosage car sa zone de virage contient le pH à l'équivalence ($\text{pH}_E = 8,6$ et $8,6 \in [8,2 - 10]$).

3. Retrouvons le pK_A de l'acide éthanoïque de $\text{pH} = 3,4$ et de concentration $C_A = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

3.1. Équation-bilan de la réaction chimique entre l'acide éthanoïque et l'eau.

C'est une réaction entre un acide faible et l'eau donc la réaction est limitée (double flèche) : $\text{CH}_3 - \text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3 - \text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$

3.2. Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution.

H_3O^+ , OH^- , CH_3COOH , CH_3COO^- , (ou H_2O)

3.3. Calcul de la concentration molaire volumique de chacune des espèces chimiques.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,4} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} ; [\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{3,4-14} = 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L.}$$

$$\text{Electroneutralité : } [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{CH}_3\text{COO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+] = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } C_A = [\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = C_A - [\text{CH}_3\text{COO}^-] \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-4} = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

3.4. Retrouvons la valeur du pK_A .

$$\text{pH} = \text{pK}_A + \log \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} = \text{pK}_A + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow \text{pK}_A = \text{pH} - \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\text{Application numérique : } \text{pK}_A = 3,4 - \log \left(\frac{4 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^{-3}} \right) = 4,78 \approx \underline{4,8}$$

Exercice 4

1. Un chimiste veut déterminer la formule brute d'un alcool A de formule générale $C_nH_{2n+2}O$.

1.1. Équation-bilan de la réaction.



1.2. Montrons que la formule brute de l'alcool A est C_3H_8O .

Soit n la quantité de matière.

$$\text{Bilan molaire de l'équation de la réaction : } \frac{n_A}{1} = \frac{n_{O_2}}{\frac{3n}{2}} = \frac{n_{CO_2}}{n} = \frac{n_{H_2O}}{n+1}$$

$$\Rightarrow \frac{m_A}{M_A} = \frac{V_{CO_2}}{V_m} \Rightarrow \frac{m_A}{M_A} = \frac{V_{CO_2}}{nV_m} \Rightarrow \frac{m_A}{14n+18} = \frac{V_{CO_2}}{nV_m} \Rightarrow \frac{n}{14n+18} = \frac{V_{CO_2}}{m_A V_m}$$

$$\Rightarrow \frac{n}{14n+18} = \frac{6,72}{6 \times 22,4} \Rightarrow \frac{n}{14n+18} = 0,05 \Rightarrow n = 0,05 \times (14n+18)$$

$$\Rightarrow n = 0,05 \times 14n + 0,05 \times 18 \Rightarrow n = 0,7n + 0,9 \Rightarrow n - 0,7n = 0,9 \Rightarrow (1 - 0,7)n = 0,9$$

$$\Rightarrow 0,3n = 0,9 \Rightarrow n = \frac{0,9}{0,3} = 3. \text{ Donc la formule brute de l'alcool A est } C_3H_8O.$$

1.3. Nom et formules semi-développées des isomères possibles de l'alcool A.

Composé	Formule brute	Formules semi-développées	Nom
A	C_3H_8O	$CH_3-CH_2-CH_2-OH$	propan-1-ol
		$H_3C-\underset{\substack{ \\ OH}}{CH}-CH_3$	propan-2-ol

2. Il réalise l'oxydation ménagée de A par un oxydant en excès en milieu acide. Il obtient B.

2.1. Formules semi-développées possibles de B et les familles chimiques correspondantes.

Composé	Famille chimique	Formules semi-développées	Nom
B	Acide carboxylique	CH_3-CH_2-COOH ou $H_3C-CH_2-\overset{\overset{O}{ }}{C}-OH$	acide propanoïque
	Cétone	$H_3C-\overset{\overset{O}{ }}{C}-CH_3$	propan-2-one ou propanone

2.2. Le composé B fait virer le bleu de bromothymol au jaune.

2.2.1. Identifions le composé B.

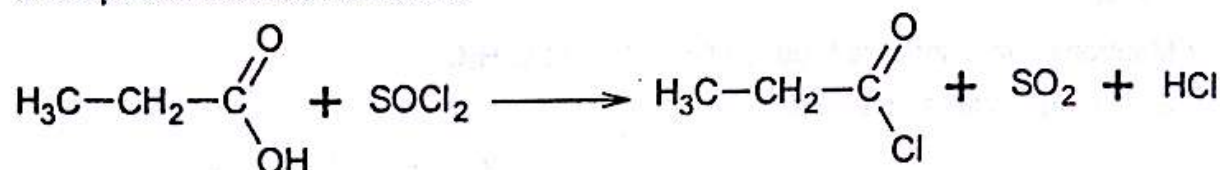
C'est l'acide propanoïque : CH_3-CH_2-COOH .

2.2.2. Formule semi-développée et le nom de l'alcool A.

L'alcool A est un alcool primaire donc c'est le propan-1-ol : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$.

3. L'action du chlorure de thionyle sur l'acide propanoïque donne un composé C.

3.1. Équation-bilan de la réaction.



3.2. Donnons la formule semi-développée et le nom de C.

Composé	Formules semi-développées	Nom
C	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl}$	Chlorure de propanoyle

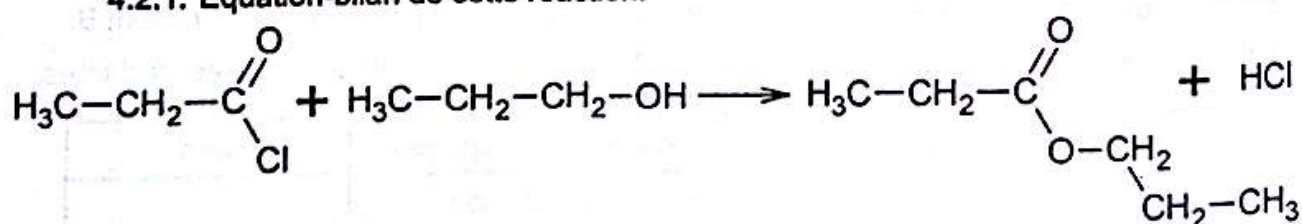
4. On fait réagir de l'ammoniac (NH_3) sur le composé C et on obtient un composé D.

4.1. Donnons la formule semi-développée et le nom de D.

Composé	Formules semi-développées	Nom
D	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$	propanamide

4.2. L'action du composé C sur l'alcool A conduit à un produit E.

4.2.1. Équation-bilan de cette réaction.



4.2.2. Donnons la formule semi-développée et le nom de E.

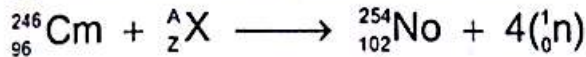
Composé	Formules semi-développées	Nom
E	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	propanoate de propyle

4.2.3. Donnons les caractéristiques de cette réaction.

C'est une estérification indirecte donc elle est rapide, totale et exothermique.

CORRECTION DU SUJET 8 : BAC SERIES C & E 2014**Exercice 1**

1- Equation bilan de la réaction nucléaire conduisant au nobelium

2- Identification du nucléide ${}_Z^AX$

Lois de conservation :

- $246 + A = 254 + 4 \Rightarrow A = 12$
- $96 + Z = 102 \Rightarrow Z = 6$

Conclusion : le nucléide X est le carbone ${}_6^{12}\text{C}$

3-

3.1. Définition de la période radioactive d'un nucléide

- La période T est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initiaux est désintégrée.
- T est aussi le temps au bout duquel l'activité diminue de moitié.

3.2. Démontrons que :

3.2.1 la constante radioactive λ et la période T sont liées par $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \text{ pour } t = T,$$

$$A = \frac{A_0}{2} \Rightarrow \frac{A_0}{2} = A_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \Rightarrow -\ln 2 = -\lambda T \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

3.2.2 l'activité initiale et l'activité à la date $t = nT$ sont liées par $A = \frac{A_0}{2^n}$

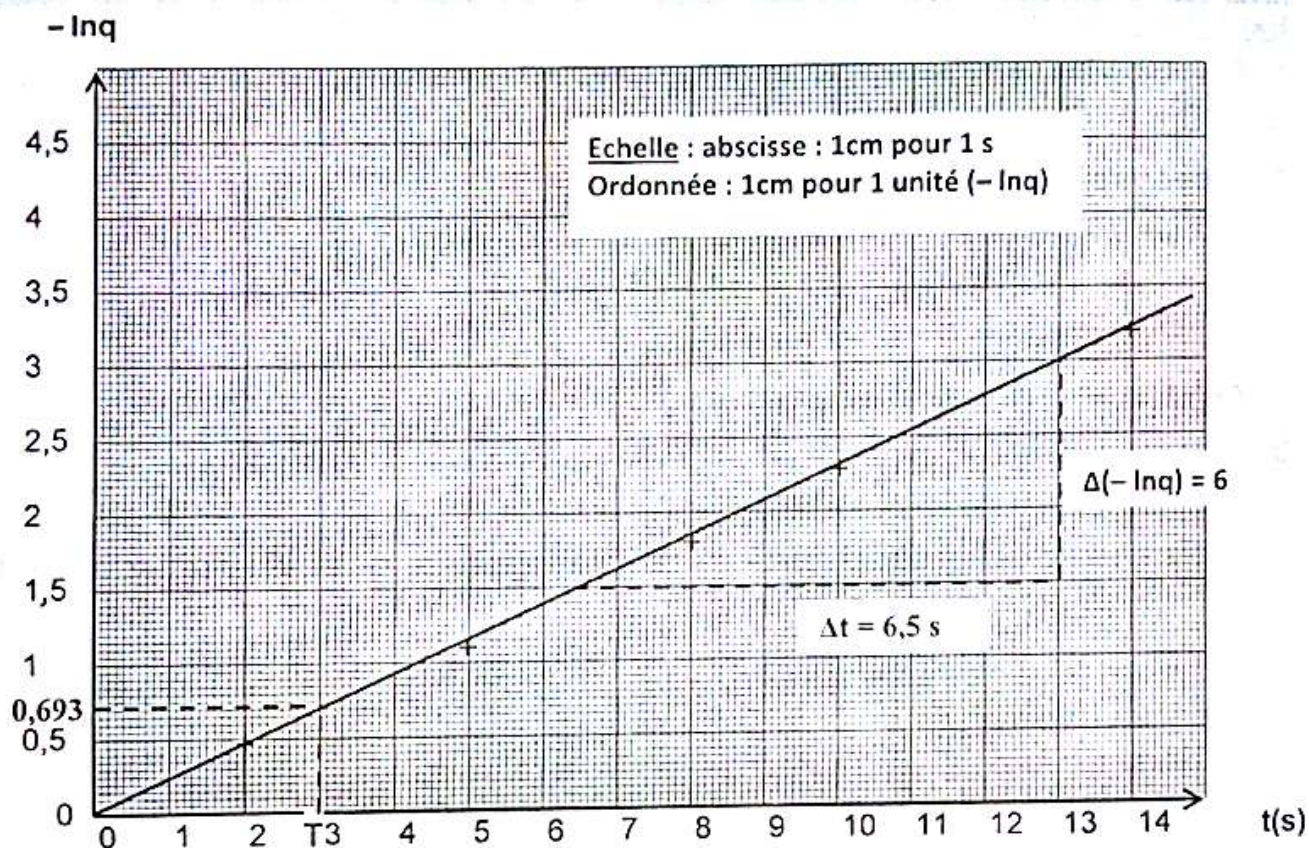
$$\text{à } t = nT \Rightarrow A = A_0 e^{-\lambda nT} \text{ or } \lambda T = \ln 2 \Rightarrow \lambda nT = n \ln 2 = \ln 2^n$$

$$\text{d'où } A = A_0 e^{-\ln 2^n} = \frac{A_0}{e^{\ln 2^n}} \text{ or } e^{\ln x} = x \text{ donc } A = \frac{A_0}{2^n}$$

4-

4.1. Reproduisons et complétons le tableau.

t(s)	0	2	5	8	10	14
A (10^{16}Bq)	5,550	3,470	1,850	0,874	0,550	0,218
Q	1	0,625	0,333	0,157	0,099	0,039
$-\ln q$	0	0,47	1,10	1,85	2,31	3,24

Tracé de la courbe : $(-\ln q) = f(t)$ 

4.2.

4.3.1 Calculons l'activité A_1 de la source radioactive à la date $t = T$.

$$A_1 = \frac{A_0}{2} = \frac{5,550 \cdot 10^{16}}{2} \Rightarrow A_1 = 2,775 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$$

4.3.2 Détermination graphique de la constante radioactive λ et la période T ➤ Détermination graphique de T .

$$\text{A } t = T, A = \frac{A_0}{2} \Rightarrow q = \frac{1}{2} \text{ donc } (-\ln q) = \ln 2 ;$$

Sur le graphique pour $(-\ln q) = 0,693$, on lit $T = 3 \text{ s}$ ➤ Détermination graphique de λ .

$$q = \frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln q = \ln(e^{-\lambda t}) \Rightarrow -\ln q = \lambda t.$$

Donc λ est la pente ou coefficient directeur de la courbe $-\ln q = f(t)$

$$\text{D'où : } \lambda = \frac{\Delta(-\ln q)}{\Delta t} \Rightarrow \lambda = \frac{3 - 1,5}{13 - 6,5} = 0,231 \text{ s}^{-1}$$

4.3.3 Calculons le nombre de noyaux N_0 de la source à la date $t = 0$.

$$A_0 = \lambda N_0 \Rightarrow N_0 = \frac{A_0}{\lambda} \Rightarrow N_0 = \frac{5,55 \cdot 10^{16}}{0,231} = 24,02 \cdot 10^{16} \text{ noyaux}$$

Exercice 2**1. Charge du condensateur ;**1.1 La tension U_0 aux bornes du condensateur

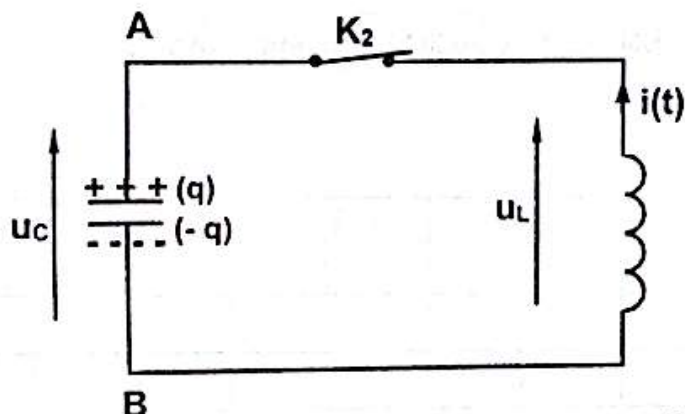
$$U_0 = E = 12 \text{ V}$$

1.2 L'énergie E_0 emmagasinée par le condensateur

$$E_0 = \frac{1}{2} C U_0^2 \Rightarrow E_0 = \frac{1}{2} \times 1,5 \cdot 10^{-6} \times (12)^2 = 1,08 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

2. Décharge du condensateur

2.1.

2.1.1 Tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur : $u_c(t) = \frac{q(t)}{C}$ 2.1.2 Tension $u_L(t)$ aux bornes de la bobine : $u_L(t) = -L \frac{di(t)}{dt}$

2.1.3 Equation différentielle

$$u_L(t) = -L \frac{di(t)}{dt} = -L \frac{d^2q(t)}{dt^2} \quad \text{car } i = \frac{dq}{dt}$$

$$u_L(t) = -LC \frac{d^2u_c(t)}{dt^2} \quad \text{car } q(t) = C u_c(t)$$

$$u_c(t) = -LC \frac{d^2u_c(t)}{dt^2} \quad \text{car } u_c(t) = u_L(t) \text{ d'où } u_c(t) + LC \frac{d^2u_c(t)}{dt^2} = 0$$

$$\frac{d^2u_c(t)}{dt^2} + \frac{1}{LC} u_c(t) = 0 \quad \text{ou encore : } \ddot{u}_c(t) + \frac{1}{LC} u_c(t) = 0$$

2.2. Expression de $i(t)$

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad \text{avec } q(t) = C U_m \cos\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) \quad \text{soit } i(t) = \frac{-2\pi}{T_0} C U_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right)$$

$$\text{or } T_0 = 2\pi\sqrt{LC} \quad \text{donc } i(t) = \frac{-2\pi}{2\pi\sqrt{LC}} C U_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) \Rightarrow i(t) = -U_m \sqrt{\frac{C}{L}} \sin\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right)$$

$$i(t) = -I_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) \quad \text{car } I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}$$

2.3. Variation de $u_c(t)$ et de $i(t)$

2.3.1 Complétons le tableau figurant sur la feuille annexe.

Voir feuille annexe.

2.3.2 Représentation des variations de $u_c(t)$ et $i(t)$ pour $t \in [0, T_0]$.

Voir feuille annexe.

2.3.3 Indication du sens du courant et du signe des porteurs de charges.

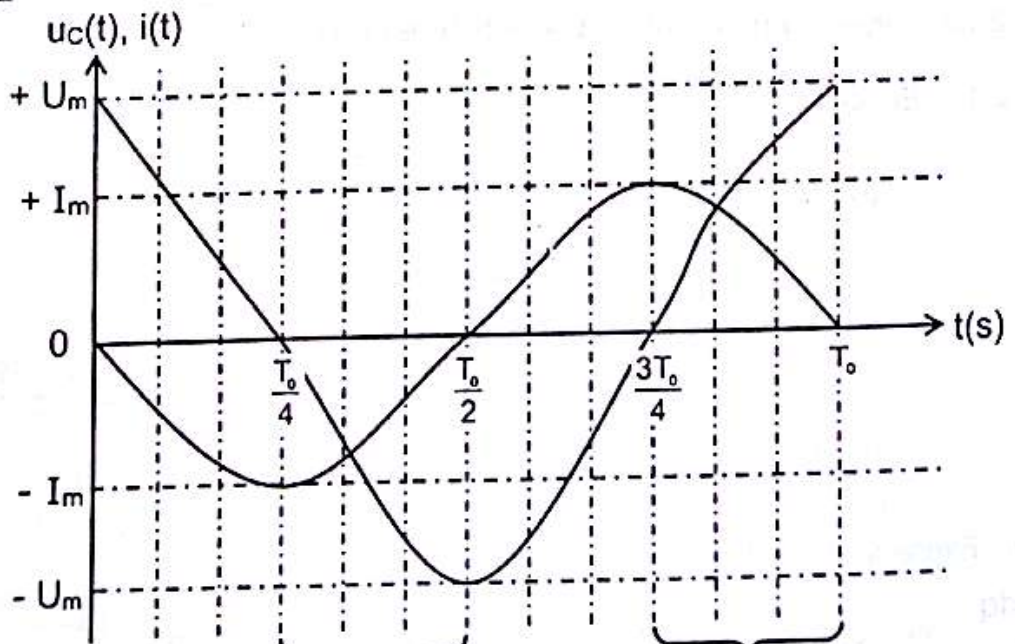
Voir feuille annexe.

FEUILLE ANNEXE (EXERCICE 2) à rendre avec la copie

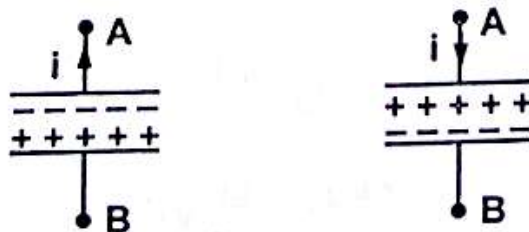
Question 2.3.1

$t(s)$	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
$u_c(t) (V)$	U_m	0	$-U_m$	0	U_m
$i(t) (A)$	0	$-I_m$	0	I_m	0

Question 2.3.2



Question 2.3.3



2.4. Etude énergétique

2.4.1 Les énergies emmagasinées dans le condensateur et dans la bobine

$$\triangleright \text{Condensateur : } E_c(t) = \frac{1}{2} C u^2(t) \Rightarrow E_c(t) = \frac{1}{2} C U_m^2 \cos^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right)$$

$$\triangleright \text{Bobine : } E_L(t) = \frac{1}{2} L i^2(t) \Rightarrow E_L(t) = \frac{1}{2} L I_m^2 \sin^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right)$$

2.4.2 Montrons qu'à chaque instant, l'énergie totale se conserve

$$E(t) = E_c(t) + E_L(t) = \frac{1}{2} C U_m^2 \cos^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) + \frac{1}{2} L I_m^2 \sin^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} C U_m^2 \cos^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) + \frac{1}{2} L U_m^2 \frac{C}{L} \sin^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) \text{ avec } I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$E(t) = \frac{1}{2} C U_m^2 \cos^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) + \frac{1}{2} C U_m^2 \sin^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} C U_m^2 \left[\cos^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) + \sin^2\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) \right] = \frac{1}{2} C U_m^2 \times 1$$

$$E(t) = \frac{1}{2} C U_m^2 = \text{constante car } C \text{ et } U_m \text{ sont des constantes.}$$

Donc l'énergie est conservative.

Exercice 3

1.

1.1 Le nom de l'opération est la dilution.

1.2 Volume V_0 de S_0 à prélever pour obtenir un volume $V_1 = 100$ mL.

- Avant la dilution : $n_0 = C_0 V_0$
- Après la dilution : $n_1 = C_A V_1$

$$\text{Donc } C_0 V_0 = C_A V_1 \Rightarrow V_0 = \frac{C_A V_1}{C_0} = \frac{0,1 \times 100}{1} \Rightarrow V_0 = 10 \text{ mL}$$

1.3 Description de la préparation de la solution S_1

- Verser un volume de S_0 légèrement supérieur à V_0 dans un bécher.
- Prélever $V_0 = 10$ mL de la solution contenue dans le bécher à l'aide d'une pipette jaugée de 10 mL munie d'une poire ou d'une pro pipette.
- Verser la solution prélevée dans une fiole jaugée de 100 mL contenant préalablement de l'eau distillée.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et homogénéiser la solution obtenue.

2.

2.1. Equation-bilan de la réaction du dosage

2.2. Détermination de C_B

Au virage de l'indicateur coloré $C_B V_B = C_A V_{AE} \Rightarrow C_B = C_A \frac{V_{AE}}{V_B}$

Application numérique : $C_B = 0,10 \times \frac{18,5}{20} = 9,25 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$

2.3. Détermination de m

Avant dissolution $n_1 = \frac{m}{M_B}$ et après dissolution $n_1 = C_B V_2$ donc $m = C_B V_2 M_B$

Application numérique : $m = 9,25 \cdot 10^{-2} \times 1 \times 17 \Rightarrow m = 1,57 \text{ g}$

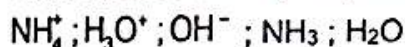
2.4.

2.4.1 Nom de cette solution particulière : c'est une solution tampon

2.4.2 Relation liant le pH au pKa pour cette solution : $\text{pH} = \text{pKa}$

3.

3.1. Equation-bilan de la mise en solution de l'ammoniac dans l'eau

3.2. Les espèces chimiques présentes dans la solution S_2 

3.3. Calculons :

3.3.1 les concentrations molaires volumiques de ces espèces.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-11,1} = 7,94 \cdot 10^{-12} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{10^{-14}}{7,94 \cdot 10^{-12}} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Electroneutralité de la solution : $[\text{NH}_4^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$

$$\Rightarrow [\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] \approx [\text{OH}^-] = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Conservation de la matière :

$$[\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3] = C_B \Rightarrow [\text{NH}_3] = C_B - [\text{NH}_4^+]$$

$$\Rightarrow [\text{NH}_3] = 9,25 \cdot 10^{-2} - 1,26 \cdot 10^{-3} = 9,12 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

3.3.2 le pKa du couple ammonium/ammoniac.

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} \Rightarrow \text{pKa} = \text{pH} - \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$\text{Application numérique : } \text{pKa} = 11,1 - \log \left(\frac{9,12 \cdot 10^{-2}}{1,26 \cdot 10^{-3}} \right) = 9,2$$

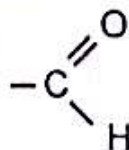
Exercice 4

1.

1.1 Fonction chimique et groupe fonctionnel de B.

- Fonction chimique de B : Aldéhyde

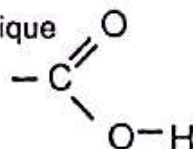
- Groupe fonctionnel : -CHO ou



1.2 Fonction et groupe fonctionnel de D

- Fonction chimique de D : Acide carboxylique

- Groupe fonctionnel : -COOH ou



2.

2.1. Equation-bilan de la réaction acido-basique



2.2. Déterminons la formule brute du composé D.

A l'équivalence $n_a = n_b$.

$$\text{Soit : } C_a V_a = C_b V_b \Rightarrow C_a = \frac{C_b V_b}{V_a} = \frac{10^{-2} \times 25}{50} \Rightarrow C_a = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

Dans un litre d'eau :

$$C_a \times 1 = \frac{m}{M_b} \Rightarrow M_b = \frac{m}{C_a \times 1} = \frac{0,37}{5 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow M_b = 74 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M_b = M_{\text{C}_n\text{H}_m\text{O}_2} = 14n + 32 = 74 \Rightarrow n = 3$$

Formule brute de D : $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$

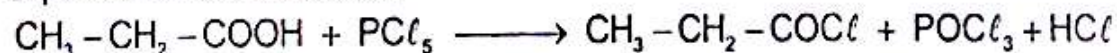
2.3. Nom et Formule semi-développée de D

 $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$: Acide propanoïque

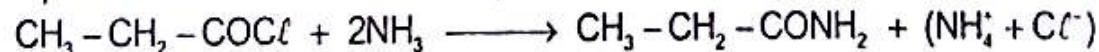
3. Formule semi-développée et nom de A

 $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$: Propan-1-ol4. On fait agir du PCl_5 sur le composé D. On obtient un composé organique E.

4.1. Equation-bilan de la réaction



4.2. Equation-bilan de la réaction chimique de E sur l'ammoniac.



4.3. Nom et famille chimique du composé F.

- Nom : Propanamide
- Fonction : amide

CORRECTION DU SUJET 9 : BAC SERIES C & E 2015**Exercice 1**

1- Soit \vec{F} la force gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite

1.1. Donnons l'expression de la valeur F de \vec{F} en fonction de m_s , M_T , R_T , h et G .

$$F = G \cdot \frac{M_T m_s}{(R_T + h)^2}$$

1.2. Exprimons le vecteur force \vec{F} en fonction du vecteur unitaire \vec{u} .

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{M_T m_s}{(R_T + h)^2} \vec{u}$$

Figure 1

2- Reproduisons la figure 2 et représentons qualitativement :

2.1. le vecteur force \vec{F} au point O' ;

Voir figure ci-contre.

2.2. les vecteurs vitesses et accélérations aux points A et B de la trajectoire (figure 2).

Voir figure ci-contre.

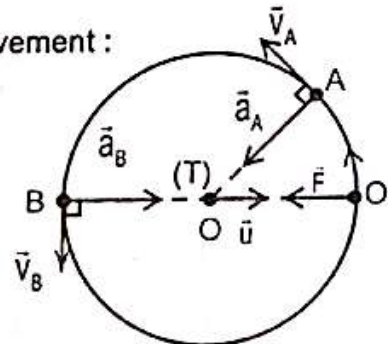


Figure 2

3-

3.1. Établissons l'expression de la vitesse v_s du satellite en fonction de M_T , R_T , h et G .

$$F = m_s a = m_s \cdot \frac{v_s^2}{R_T + h} = G \cdot \frac{M_T m_s}{(R_T + h)^2} \Rightarrow v_s^2 = \frac{GM_T}{R_T + h} \Rightarrow v_s = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$$

3.2. Exprimons la vitesse du satellite en fonction de sa période de révolution T et montrons

que le rapport $\frac{T^2}{(R_T + h)^3}$ est constant.

$$\text{Par définition, } T = \frac{2\pi(R_T + h)}{v_s} = \frac{2\pi(R_T + h)}{\sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2(R_T + h)^2}{\frac{GM_T}{R_T + h}}$$

$$\Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2(R_T + h)^3}{GM_T} \Rightarrow \frac{T^2}{(R_T + h)^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T} = \text{constante}$$

car G et M_T sont des constantes.

4- Le satellite est géostationnaire.

4.1. Donnons le nom du plan dans lequel se trouve la trajectoire de ce satellite.

C'est le plan équatorial.

4.2. Calculons son altitude h et la vitesse v avec laquelle il parcourt sa trajectoire.

$$\text{> Altitude } h : \frac{T^2}{(R_T + h)^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T} \Rightarrow \frac{(R_T + h)^3}{T^2} = \frac{GM_T}{4\pi^2} \Rightarrow (R_T + h)^3 = \frac{T^2 GM_T}{4\pi^2}$$

$$\Rightarrow R_T + h = \sqrt[3]{\frac{GM_T T^2}{4\pi^2}} \Rightarrow h = \sqrt[3]{\frac{GM_T T^2}{4\pi^2}} - R_T$$

$$\text{A.N. : } h = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 6 \cdot 10^{24} \times (86164)^2}{4 \times \pi^2}} - 6380 \cdot 10^3 = \underline{3,6 \cdot 10^4 \text{ km}}$$

$$\text{> Vitesse } v_s : T_T = \frac{2\pi(R_T + h)}{v_s} \Rightarrow v_s = \frac{2\pi(R_T + h)}{T_T}$$

$$\text{A.N. : } v_s = \frac{2\pi \times (6380 \cdot 10^3 + 3,6 \cdot 10^7)}{86164} = 3090,4 \text{ m/s} = \underline{859 \text{ km/h}}$$

4.3. Calculons la distance D séparant les centres d'inertie de la Terre et de la Lune.

En utilisant le résultat de la question 3.2 on a :

$$\frac{T_L^2}{D^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T} \Rightarrow \frac{D^3}{T_L^2} = \frac{GM_T}{4\pi^2} \Rightarrow D^3 = \frac{GM_T T_L^2}{4\pi^2} \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{GM_T T_L^2}{4\pi^2}}$$

Application numérique : $T_L = 27 \times 24 \times 3600 + 7 \times 3600 + 43 \times 60 = 2\,360\,580 \text{ s}$

$$\Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 6 \cdot 10^{24} \times (2\,360\,580)^2}{4 \times \pi^2}} = \underline{3,83 \cdot 10^5 \text{ km}}$$

5- On admet que $D = 3,84 \cdot 10^5 \text{ km}$ et on donne $M_L = 7,34 \cdot 10^{22} \text{ kg}$.

5.1. Exprimons les valeurs F_1 et F_2 en fonction de G , M_T , M_L , m' , d et D .

> \vec{F}_1 : force exercée par la Terre sur le satellite

$$F_1 = G \cdot \frac{M_T m'}{d^2}$$

> \vec{F}_2 : force exercée par la Lune sur le satellite

$$F_2 = G \cdot \frac{M_L m'}{(D-d)^2}$$

5.2. Calculons d si $F_2 = F_1$.

$$F_1 = F_2 \Rightarrow G \cdot \frac{M_L m'}{(D-d)^2} = G \cdot \frac{M_T m'}{d^2} \Rightarrow \frac{(D-d)^2}{M_L} = \frac{d^2}{M_T} \Rightarrow \left(\frac{D-d}{d}\right)^2 = \frac{M_L}{M_T}$$

$$\Rightarrow \frac{D-d}{d} = \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} \Rightarrow \frac{D}{d} - \frac{d}{d} = \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} \Rightarrow \frac{D}{d} - 1 = \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} \Rightarrow \frac{D}{d} = 1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}$$

$$\Rightarrow d = \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}} = \frac{3,84 \cdot 10^5}{1 + \sqrt{\frac{7,34 \cdot 10^{22}}{6 \cdot 10^{24}}}} = \underline{3,45 \cdot 10^5 \text{ km}}$$

Exercice 2**1^{ère} partie :**

1- Déterminons l'inductance L_1 du solénoïde b_1 .

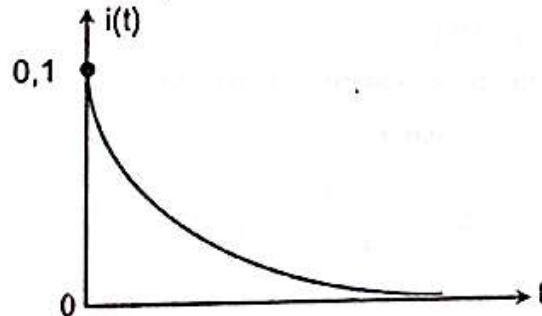
$$L_1 = \mu_0 \frac{N_1^2 S_1}{\ell_1} \Rightarrow L_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{(2000)^2 \times 200 \cdot 10^{-4}}{0,9} = \underline{0,11 \text{ H}}$$

2- Déterminons la valeur B du vecteur champ magnétique \vec{B} créé à l'intérieur de b_1 .

$$B = \mu_0 n_1 I_1 = \mu_0 \frac{N_1}{\ell_1} I_1 \Rightarrow B = 4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{2000 \times 0,12}{0,9} = \underline{3,35 \cdot 10^{-4} \text{ H}}$$

3- On ouvre K , le galvanomètre détecte un bref courant qui circule dans le solénoïde b_2 .

3.1. Représentons qualitativement, l'allure de la variation de $i = f(t)$ dans le solénoïde b_1 .



3.2. Donnons le nom du phénomène physique qui justifie cette allure.

C'est le phénomène d'auto-induction.

3.3. Donnons le nom du phénomène physique qui crée le courant i_2 dans le solénoïde b_2 .

C'est le phénomène d'induction magnétique.

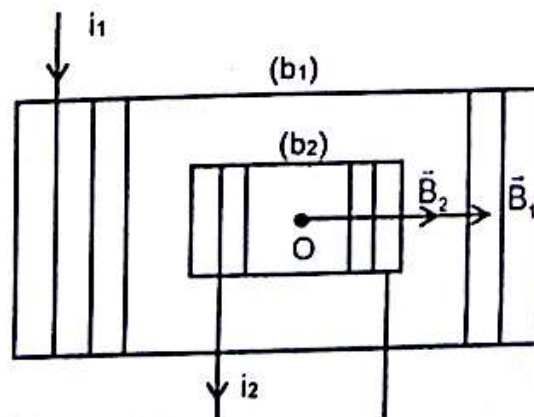
3.4. Reproduisons le schéma de la figure 1 et représentons :

3.4.1. les sens des courants i_1 et i_2 circulant dans les solénoïdes b_1 et b_2 ;

Voir figure ci-dessous.

3.4.2. les vecteurs champs magnétiques \vec{B}_1 et \vec{B}_2 respectivement dans b_1 et b_2 en O .

Voir figure ci-dessous.



2^{ème} partie :

4- Dans la suite de l'exercice, on prendra $L_1 = 0,11 \text{ H}$.

4-1. Établissons l'expression du champ B_1 en fonction du temps sur chaque intervalle.

➤ Pour $t \in [0; 20 \text{ ms}]$, $B_1 = \mu_0 \frac{N_1}{\ell_1} i$ et $i = -12t + 0,12$

$$\Rightarrow B_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{2000}{0,9} \times (-12t + 0,12) = \underline{-3,35 \cdot 10^{-2}t + 3,35 \cdot 10^{-4}}$$

➤ Pour $t \in]20 \text{ ms}; 40 \text{ ms}]$, $B_1 = \mu_0 \frac{N_1}{\ell_1} i$ et $i = 12t - 0,36$

$$\Rightarrow B_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{2000}{0,9} \times (12t - 0,36) = \underline{3,35 \cdot 10^{-2}t - 10^{-3}}$$

4-2. Expression du flux φ_2 dans b_2 en fonction du temps sur chaque intervalle.

➤ Pour $t \in [0; 20 \text{ ms}]$, $\varphi_2 = N_2 B_1 S_2 = 500 \times (-3,35 \cdot 10^{-2}t + 3,35 \cdot 10^{-4}) \times 100 \cdot 10^{-4}$

$$\Rightarrow \varphi_2 = \underline{-1,7 \cdot 10^{-1}t + 1,7 \cdot 10^{-3}}$$

➤ Pour $t \in]20 \text{ ms}; 40 \text{ ms}]$, $\varphi_2 = N_2 B_1 S_2 = 500 \times (3,35 \cdot 10^{-2}t - 10^{-3}) \times 100 \cdot 10^{-4}$

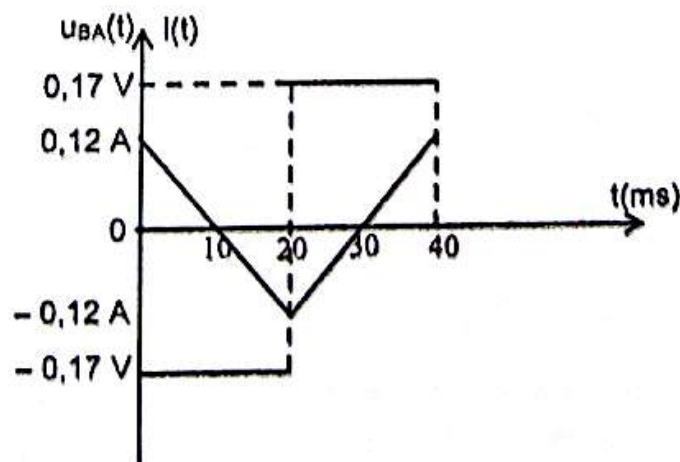
$$\Rightarrow \varphi_2 = \underline{1,7 \cdot 10^{-1}t - 5 \cdot 10^{-3}}$$

4-3. Déterminons la tension $u_{BA}(t)$ aux bornes de l'oscilloscope sur chaque intervalle.

• $t \in [0; 20 \text{ ms}]$, $u_{BA} = -e_2 = -\left(-\frac{d\varphi_2}{dt}\right) = \frac{d(-1,7 \cdot 10^{-1}t + 1,7 \cdot 10^{-3})}{dt} = \underline{-0,17 \text{ V}}$

• $t \in]20 \text{ ms}; 40 \text{ ms}]$, $u_{BA} = -e_2 = -\left(-\frac{d\varphi_2}{dt}\right) = \frac{d(1,7 \cdot 10^{-1}t - 5 \cdot 10^{-3})}{dt} = \underline{0,17 \text{ V}}$

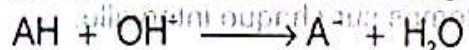
4-4. Reproduisons la figure 2 et représentons l'allure de $u_{BA}(t)$ sur $[0; 40 \text{ ms}]$.



Exercice 3

1- Écrivons l'équation-bilan de la réaction du dosage.

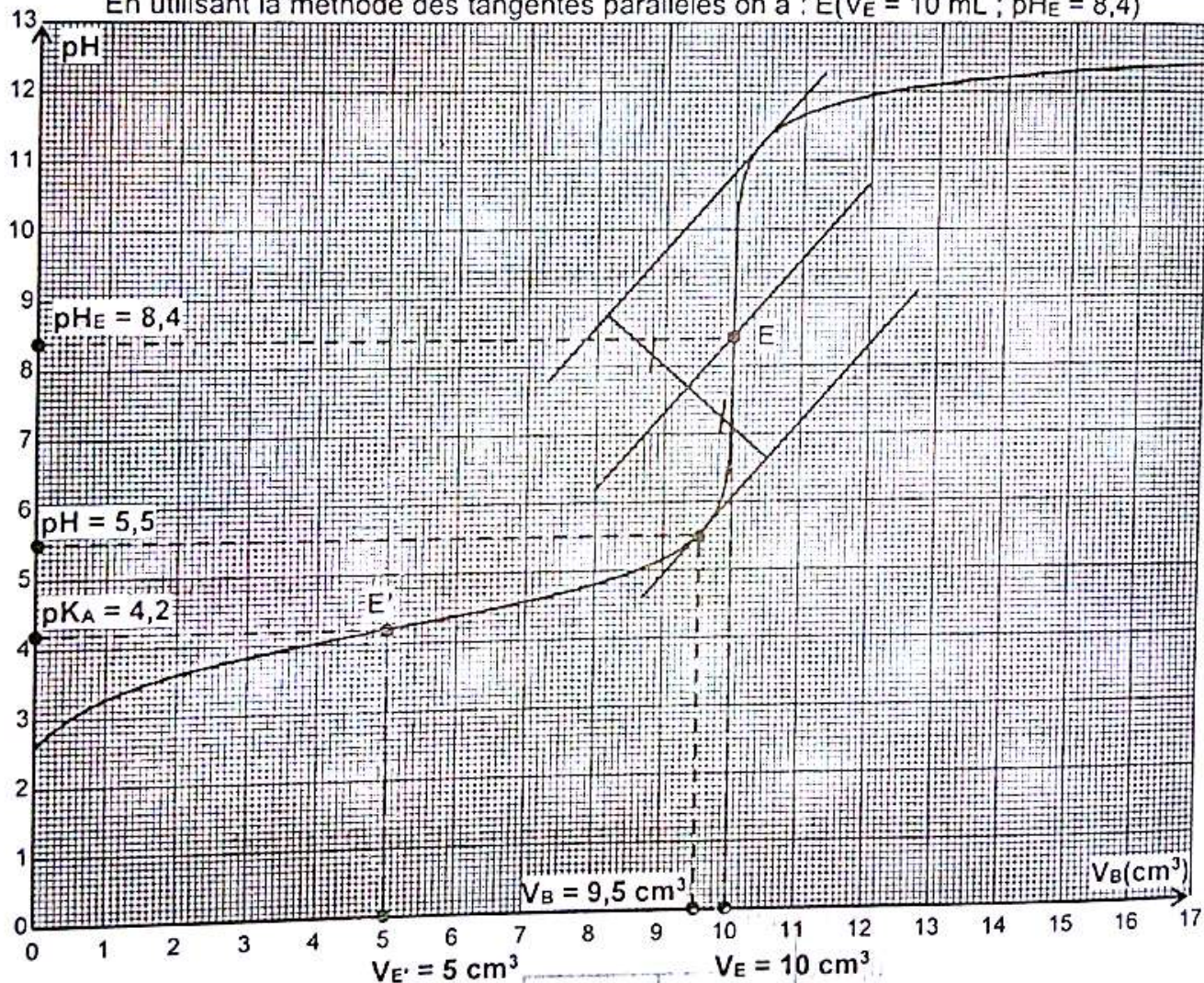
Il s'agit d'une réaction de dosage donc la réaction est totale (une seule flèche) :



2- Déterminons graphiquement :

2.1. les coordonnées (V_E ; pH_E) du point d'équivalence E.

En utilisant la méthode des tangentes parallèles on a : $E(V_E = 10 \text{ mL} ; \text{pH}_E = 8,4)$



2.2. le pK_A du couple acide/base.

À la demi-équivalence, $V_{E'} = \frac{V_E}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ mL}$ et $\text{pK}_A = \text{pH} = 4,2$

3- Déterminons la concentration C_A de la solution dosée.

À l'équivalence on a : $C_A V_A = C_B V_E \Rightarrow C_A = \frac{C_B V_E}{V_A} = \frac{10^{-1} \times 10}{10} = 10^{-1} \text{ mol/L}$

4- La masse m d'acide carboxylique dissoute dans les 10 cm^3 est 122 mg .

4.1. Déterminons la masse molaire moléculaire de l'acide. On prendra $C_A = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

$$C_A = \frac{n_A}{V} = \frac{m_A}{M V} \Rightarrow M = \frac{m_A}{C_A V} = \frac{122 \cdot 10^{-3}}{10^{-1} \times 10 \cdot 10^{-3}} = 122 \text{ g/mol}$$

4.2. Déduisons la formule semi-développée et le nom de l'acide AH.

La formule générale de l'acide carboxylique AH est $C_6H_5-C_nH_{2n}-COOH$.

Sa masse molaire est : $M = 6 \times 12 + 5 \times 1 + 14n + 12 + 2 \times 16 + 1 = 14n + 122$

Or $M = 122$ g/mol donc on a : $14n + 122 = 122 \Rightarrow n = 0$

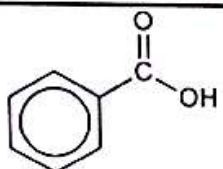
Donc la formule de l'acide AH est : C_6H_5-COOH . C'est l'acide benzoïque.

Autre méthode :

La molécule comporte un noyau benzénique de formule C_6H_5- dont la masse molaire fait $M_{(\text{noyau benzénique})} = 6 \times 12 + 5 \times 1 = 77$ g/mol.

La masse molaire du groupe restant est : $122 - 77 = 45$ g/mol.

Cette masse molaire (45 g/mol) est celle du groupe carboxyle $COOH$.

	Formule semi-développée	Nom
Acide AH		acide benzoïque

5-

5.1. Inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange lorsque $V_B = 9,5$ cm³.

Pour $V_B = 9,5$ cm³ la solution contient les deux solutions l'acide benzoïque AH et l'hydroxyde de sodium.

Bilan des espèces : H_3O^+ ; OH^- ; AH ; A^- ; Na^+ ; H_2O

5.2. Vérifions que le rapport $\frac{[A^-]}{[AH]}$ est égal à 20.

$$pH = pK_A + \log \frac{[A^-]}{[AH]} \Rightarrow \log \frac{[A^-]}{[AH]} = pH - pK_A \Rightarrow \frac{[A^-]}{[AH]} = 10^{pH - pK_A}$$

Pour $V_B = 9,5$ cm³, le pH du mélange vaut, d'après la courbe, $pH = 5,5$.

$$\text{Application numérique : } \frac{[A^-]}{[AH]} = 10^{5,5 - 4,2} = 10^{1,3} = 19,9526 \approx 20$$

5.3. Concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans le mélange.

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-5,5} = 3,16 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} ; [OH^-] = 10^{pH - 14} = 10^{5,5 - 14} = 3,16 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

$$[Na^+] = \frac{C_B \times V_B}{V_A + V_B} = \frac{10^{-1} \times 9,5 \cdot 10^{-3}}{(10 + 9,5) \cdot 10^{-3}} = 4,87 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

Electroneutralité :

$$[H_3O^+] + [Na^+] = [OH^-] + [A^-] \Rightarrow [A^-] = [H_3O^+] + [Na^+] - [OH^-] \approx [Na^+] = 4,87 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\frac{[A^-]}{[AH]} = 20 \Rightarrow [AH] = \frac{[A^-]}{20} = \frac{4,87 \cdot 10^{-2}}{20} = 2,435 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

5.4. Calculons le pK_A du couple et comparons-le avec la valeur obtenue graphiquement.

$$pH = pK_A + \log \frac{[A^-]}{[AH]} \Rightarrow pK_A = pH - \log \frac{[A^-]}{[AH]} \Rightarrow pK_A = 5,5 - \log 20 \approx 4,2$$

Autre méthode :

$$K_a = \frac{[A^-] \times [H_3O^+]}{[AH]} = \frac{[A^-]}{[AH]} \times [H_3O^+] = 20 \times 3,16 \cdot 10^{-6} = 6,32 \cdot 10^{-5}$$

$$pK_a = -\log K_a = -\log(6,32 \cdot 10^{-5}) \approx 4,2$$

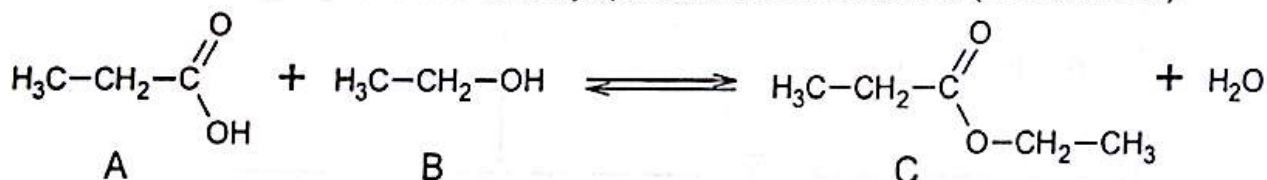
On constate que les valeurs de pK_A trouvées aux différentes questions sont les mêmes.

Exercice 4

1- On fait agir A sur B et on obtient un composé organique C.

1.1. Écrivons l'équation-bilan de la réaction chimique entre A et B.

La réaction entre un acide carboxylique et un alcool est limitée (double flèche).



1.2. Donnons le nom et les caractéristiques de cette réaction.

C'est une réaction d'estérification directe ; elle est lente, limitée et athermique.

1.3. Donnons la formule semi-développée et le nom de C.

	Formule semi-développée	Nom
Composé C	$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} \\ \text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array} $	propanoate d'éthyle

2- Par déshydratation intermoléculaire de A on obtient le composé D de formule.

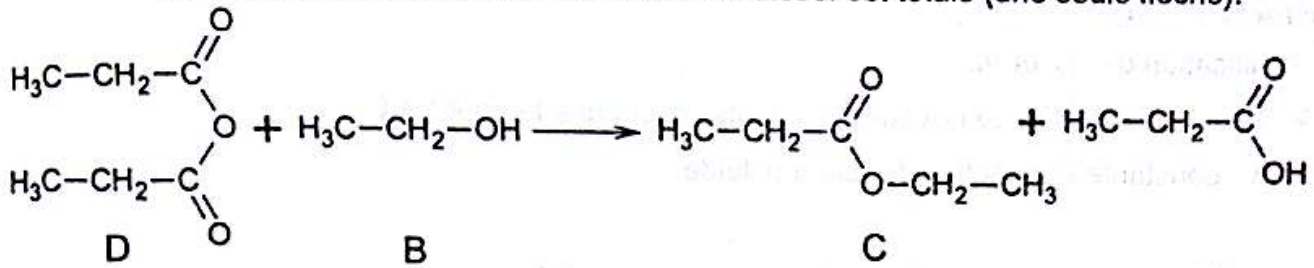
2.1. Donnons le nom du composé D et la famille chimique à laquelle il appartient.

Composé	Formule semi-développée	Nom	Famille chimique
D	$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \end{array} $	anhydride propanoïque	anhydride d'acide

2.2. Le composé C peut être obtenu en faisant réagir D et B ;

2.2.1. Écrivons l'équation-bilan de la réaction chimique.

La réaction entre un dérivé d'acide et un alcool est totale (une seule flèche).



2.2.2. Donnons les caractéristiques de cette réaction chimique.

C'est une réaction d'estérification indirecte ; elle est rapide, totale et exothermique.

3- On a utilisé 10 g de D pour préparer C. Déterminons la masse de B utilisée.

La réaction d'estérification indirecte est totale donc d'après le bilan molaire on a :

$$n_D = n_B = n_C \Rightarrow \frac{m_D}{M_D} = \frac{m_B}{M_B} \Rightarrow m_B = M_B \times \frac{m_D}{M_D}$$

Application numérique : $m_B = (12 \times 2 + 1 \times 6 + 16) \times \frac{10}{(12 \times 6 + 1 \times 10 + 16 \times 3)} = 3,54 \text{ g}$

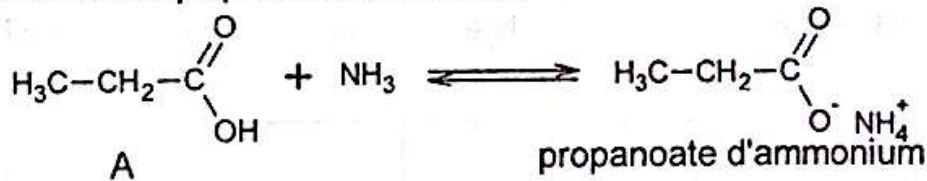
4- L'action de NH₃ sur A donne un carboxylate d'ammonium qui par déshydratation donne E

4.1. Écrivons l'équation-bilan de :

4.1.1. la réaction chimique entre A et l'ammoniac;

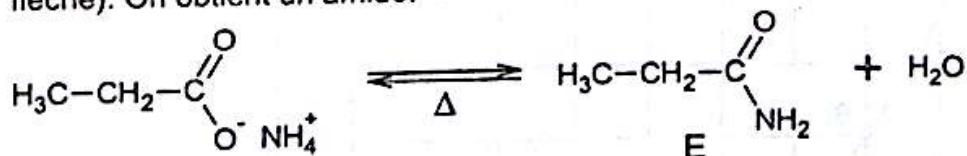
La réaction entre l'acide propanoïque et l'ammoniac est limitée (double flèche).

On obtient le propanoate d'ammonium.



4.1.2. la déshydratation du carboxylate d'ammonium.

La réaction de déshydratation du propanoate d'ammonium est limitée (double flèche). On obtient un amide.



4.2. Donnons la formule semi-développée et le nom de E.

	Formule semi-développée	Nom
Composé E	$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C} \\ \parallel \\ \text{O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $	propanamide

CORRECTION DU SUJET 10 : BAC SERIES C & E 2016**Exercice 1***Première partie*1. Signification de N_0 et λ .

- N_0 : nombre initial de noyaux radioactifs présents à la date $t = 0$.
- λ : constante radioactive du radionucléide.

2.

2.1. Définition de la période T d'un échantillon radioactif.

C'est le temps au bout duquel la moitié du nombre de noyaux d'un échantillon radioactif se désintègre.

2.2. Expression de la période T en fonction de λ .

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \left. \begin{array}{l} \\ \text{à } t = T, N = \frac{N_0}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \Rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda T \Rightarrow -\ln 2 = -\lambda T \Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

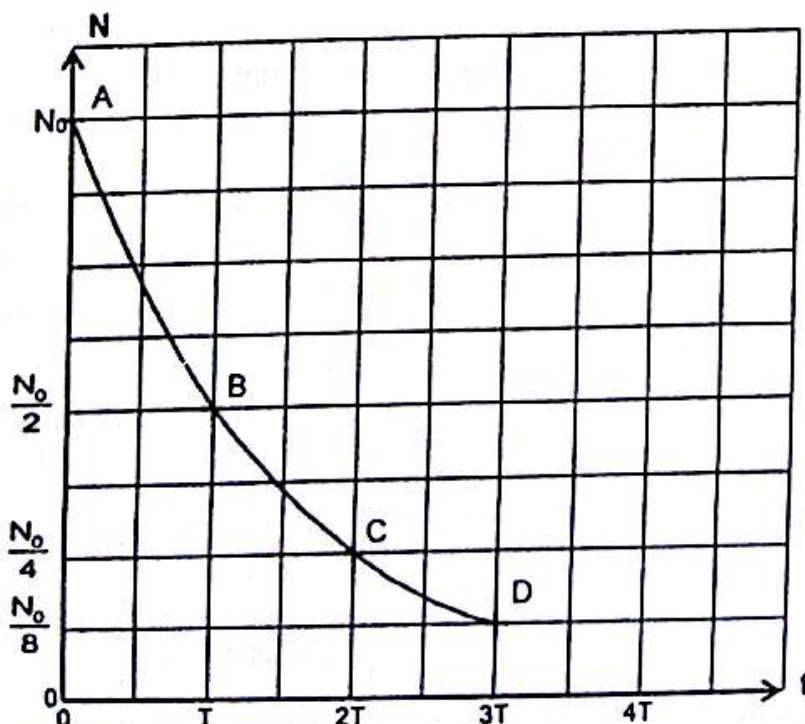
3. Représentation de la courbe $N = f(t)$ d'évolution du nombre de noyaux en fonction du temps.

- à $t = 0$, $N(0) = N_0$

- à $t = T$, $N(T) = \frac{N_0}{2}$

- à $t = 2T$, $N(2T) = N_0 e^{-2\lambda T} = N_0 e^{-2\lambda \frac{\ln 2}{\lambda}} = N_0 e^{-2\ln 2} = N_0 e^{\ln \frac{1}{2^2}} = N_0 \times \frac{1}{2^2} \Rightarrow N(2T) = \frac{N_0}{4}$

- à $t = 3T$, $N(3T) = N_0 e^{-3\lambda T} = N_0 e^{-3\lambda \frac{\ln 2}{\lambda}} = N_0 e^{-3\ln 2} = N_0 e^{\ln \frac{1}{2^3}} = N_0 \times \frac{1}{2^3} \Rightarrow N(3T) = \frac{N_0}{8}$



Points	A	B	C	D
Temps t	0	T	2T	3T
Nombre de noyaux N	N_0	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{4}$	$\frac{N_0}{8}$

Deuxième partie**1. Déterminons :**

1.1. L'énergie de liaison E_l du noyau de radium en MeV.

$$E_l = \Delta m \cdot c^2 = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{noyau}}) \cdot c^2 = (Zm_p + (A - Z)m_n - m({}_{88}^{226}\text{Ra})) \cdot c^2$$

$$\text{Application numérique : } E_l = (88 \times 1,007276 + (226 - 88) \times 1,008665 - 225,977) \cdot \text{uc}^2$$

$$\Rightarrow E_l = 1731,7 \text{ MeV}$$

1.2. L'énergie de liaison par nucléon E_a du radium.

$$E_a = \frac{E_l}{A} = \frac{1731,7}{226} = 7,66 \text{ MeV}$$

2. On considère que le nucléide fils est produit dans son état fondamental.

2.1. Calcul de A et Z à partir des lois de conservation des nombres de masse et de charge.

$$\text{> Conservation de la masse : } 226 = A + 4 \Rightarrow A = 226 - 4 = 222$$

$$\text{> Conservation de la charge : } 88 = Z + 2 \Rightarrow Z = 88 - 2 = 86$$

2.2. Energie totale E_l libérée en mégaelectronvolts (MeV) lors de cette désintégration.

$$\text{L'équation de la désintégration s'écrit : } {}_{88}^{226}\text{Ra} \longrightarrow {}_{86}^{222}\text{Rn} + {}_2^4\text{He}$$

$$\Rightarrow E_l = (m({}_{86}^{222}\text{Rn}) + m({}_2^4\text{He}) - m({}_{88}^{226}\text{Ra})) \cdot c^2$$

$$\text{Application numérique : } E_l = (221,9703 + 4,00150 - 225,977) \cdot \text{uc}^2 = \underline{\underline{-4,84 \text{ MeV}}}$$

3. Soient S et S' deux sources de radium.

3.1. A la date initiale ($t = 0$ s), la masse S est $m_0 = 5,65$ mg.

3.1.1. Expression du nombre de noyaux N_0 en fonction de m_0 , \mathcal{N} et de $A = 226$.

$$\left. \begin{array}{l} \text{la quantité de matière : } n_0 = \frac{m_0}{M} = \frac{m_0}{A} \\ \text{avec } n_0 = \frac{N_0}{\mathcal{N}} \Rightarrow N_0 = n_0 \times \mathcal{N} \end{array} \right\} \Rightarrow N_0 = \frac{m_0}{A} \times \mathcal{N}$$

3.1.2. Calcul de N_0 . Donnée : $\mathcal{N} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$$\text{Application numérique : } N_0 = \frac{5,65 \cdot 10^{-3}}{226} \times 6,02 \cdot 10^{23} = \underline{\underline{1,05 \cdot 10^{19}}}$$

3.2. Calcul du nombre de noyaux N'_0 de S'.

$$\left. \begin{array}{l} A'_0 = \lambda N'_0 \Rightarrow N'_0 = \frac{A'_0}{\lambda} \\ \text{or } \lambda = \frac{\ln 2}{T} \end{array} \right\} \Rightarrow N'_0 = A'_0 \frac{T}{\ln 2}$$

$$\text{Application numérique : } N'_0 = 1,096 \cdot 10^{30} \times \frac{1600 \times 365,25 \times 24 \times 3600}{\ln 2} = \underline{\underline{8 \cdot 10^{40}}}$$

3.3. Comparaison des nombres n et n' de particules α émises par les sources S et S' .

On a : $N'_0 > N_0$ donc $n' > n$

L'échantillon s' contenant le plus grand nombre de noyaux radioactifs libère plus de particules α .

Exercice 2

1. Première méthode

1.1. Déterminons l'intensité efficace I du courant électrique qui traverse le circuit.

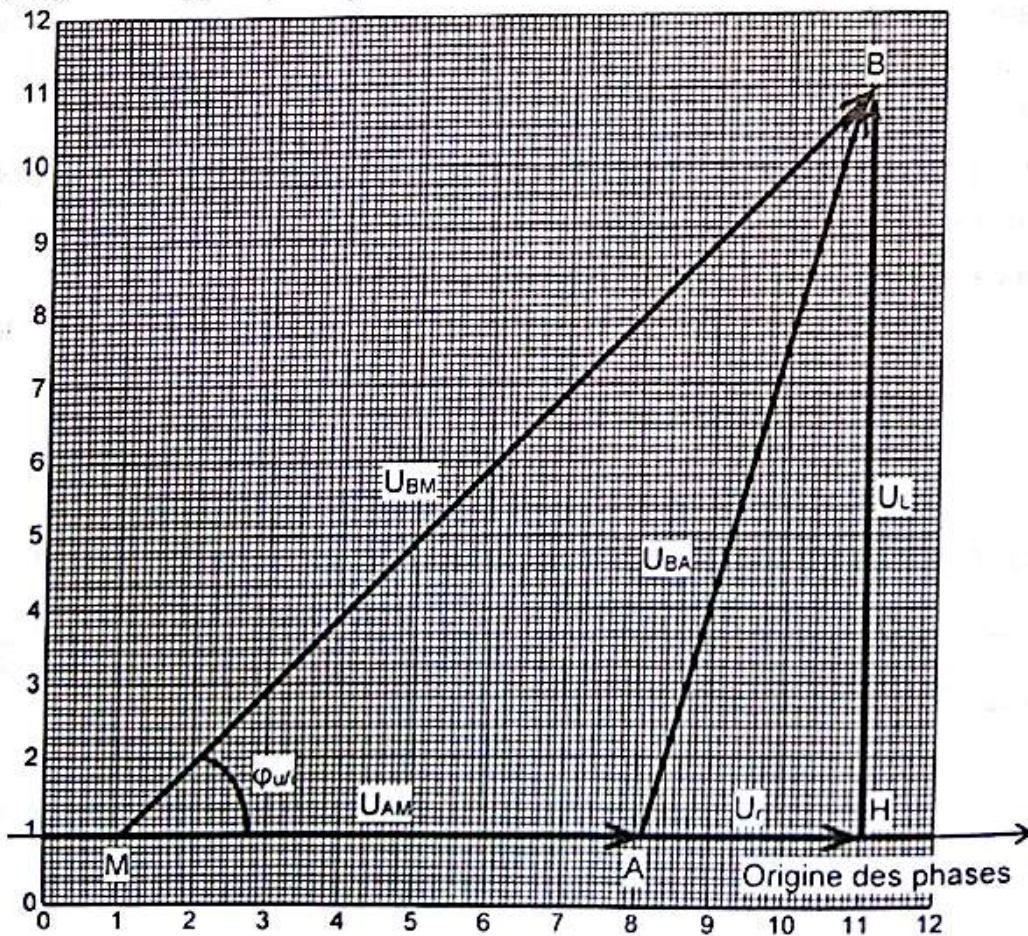
$$U_{AM} = RI \Rightarrow I = \frac{U_{AM}}{R} = \frac{1,41}{20} = \underline{0,0705 \text{ A}}$$

1.2. Représentation du diagramme de Fresnel à partir des tensions U_{AM} ; U_{BA} ; U_{BM} .

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ cm} \longrightarrow 1 \text{ V} \\ x \text{ (cm)} \longrightarrow U_{AM} = 1,41 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow x = 5 \times 1,41 = 7,05 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ cm} \longrightarrow 1 \text{ V} \\ x \text{ (cm)} \longrightarrow U_{BA} = 2,06 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow x = 5 \times 2,06 = 10,3 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ cm} \longrightarrow 1 \text{ V} \\ x \text{ (cm)} \longrightarrow U_{BM} = 2,83 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow x = 5 \times 2,83 = 14,15 \text{ cm}$$



1.3. Déterminons à partir du diagramme de Fresnel :

1.3.1. La résistance r de la bobine ;

$$U_r = rI \Rightarrow r = \frac{U_r}{I}$$

Or selon la construction on a : $U_r \longleftrightarrow 3,1 \text{ cm}$

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ cm} \longrightarrow 1 \text{ V} \\ 3,1 \text{ cm} \longrightarrow U_r \end{array} \right\} \Rightarrow U_r = \frac{1 \times 3,1}{5} = 0,62 \text{ V}$$

$$\text{Application numérique : } r = \frac{0,62}{0,0705} = \underline{8,8 \Omega}$$

1.3.2. L'inductance L de la bobine.

$$U_L = L\omega I \Rightarrow L = \frac{U_L}{\omega I}$$

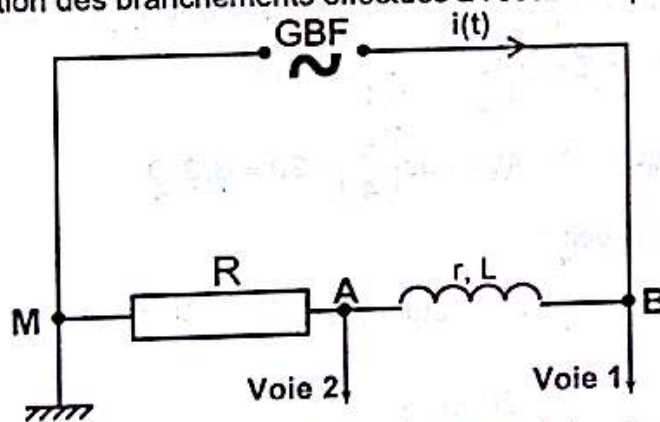
Or selon la construction on a : $U_L \longleftrightarrow 9,8 \text{ cm}$

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ cm} \longrightarrow 1 \text{ V} \\ 9,8 \text{ cm} \longrightarrow U_L \end{array} \right\} \Rightarrow U_L = \frac{1 \times 9,8}{5} = 1,96 \text{ V}$$

$$\text{Application numérique : } L = \frac{1,96}{100 \times \pi \times 0,0705} = \underline{8,8 \cdot 10^{-2} \text{ H}}$$

2. Deuxième méthode

2.1. Représentation des branchements effectués à l'oscilloscope sur la figure 1.



2.2. Indiquons la courbe représentant les variations de la tension U_{AM} .

La tension U_{AM} est représentée par la courbe 2.

Justification : la tension U_{AM} est en retard par rapport à la tension délivrée par le générateur (voir figure 2). Le circuit est inductif.

2.3. Déterminons à partir de la figure 2 :

2.3.1. La fréquence de la tension délivrée par le générateur ;

D'après l'oscillogramme (la figure 2) la période T correspond à 8 divisions.

$$\text{Donc : } T = 8 \times 2,5 \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$\text{D'où : } N = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-3}} = \underline{50 \text{ Hz}}$$

2.3.2. La valeur maximale U_{AMmax} de la tension aux bornes du conducteur ohmique R ;

D'après l'oscillogramme (courbe 2), la tension U_{AMmax} correspond à 2 divisions .

$$U_{AMmax} = 2 \times 1 = 2 \text{ V}$$

2.3.3. Valeur maximale I_{max} de l'intensité du courant qui traverse le circuit électrique ;

$$U_{AMmax} = RI_{max} \Rightarrow I_{max} = \frac{U_{AMmax}}{R}$$

$$\text{Application numérique : } I_{max} = \frac{2}{20} = \underline{0,1 \text{ A}}$$

2.3.4. La valeur de la phase $\varphi_{u/i}$ de la tension $u(t)$ par rapport à l'intensité $i(t)$.

D'après l'oscillogramme, T correspond à 8 divisions et le décalage τ à 1 division.

$$\varphi_{u/i} = \frac{2\pi\tau}{T} = \frac{2\pi \times 1}{8} = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$$

2.4. Déterminons :

2.4.1. la résistance interne r de la bobine ;

$$\cos\varphi_{u/i} = \frac{R+r}{Z} \Rightarrow R+r = Z\cos\varphi_{u/i} \Rightarrow R = Z\cos\varphi_{u/i} - r$$

$$\text{Par ailleurs : } Z = \frac{U_{BMmax}}{I_{max}}$$

D'après l'oscillogramme (courbe 1), la tension U_{BMmax} correspond à 4 divisions.

$$U_{BMmax} = 4 \times 1 = 4 \text{ V} \Rightarrow Z = \frac{U_{BMmax}}{I_{max}} = \frac{4}{0,1} = 40 \Omega$$

$$\text{Application numérique : } R = 40 \times \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - 20 = \underline{8,3 \Omega}$$

2.4.2. L'inductance L de la bobine.

$$\tan\varphi_{u/i} = \frac{L\omega}{R+r} \Rightarrow (R+r)\tan\varphi_{u/i} = L\omega \Rightarrow L = \frac{(R+r)\tan\varphi_{u/i}}{\omega}$$

$$\text{Application numérique : } L = \frac{(20 + 8,3) \times \tan\left(\frac{\pi}{4}\right)}{100 \times \pi} = \underline{0,09 \text{ H}}$$

3. La résonance d'intensité

3.1. Déterminons la valeur de la capacité C du condensateur ;

$$\text{A la résonance d'intensité on a : } LC\omega_0^2 = 1 \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2}$$

$$u = 2,83\sqrt{2} \cos(100\pi t) \text{ donc la pulsation propre } \omega_0 = 100\pi$$

$$\text{Application numérique : } C = \frac{1}{9 \cdot 10^{-2} \times (100 \times \pi)^2} = \underline{1,1 \cdot 10^{-4} \text{ F}}$$

3.2. Déterminons la valeur efficace I de l'intensité du courant dans le circuit.

A la résonance d'intensité on a : $Z = Z_0 = R + r$

$$U = Z_0 I_0 = (R + r) I_0 \Rightarrow I_0 = \frac{U}{R + r}$$

$u = 2,83\sqrt{2} \cos(100\pi t)$ donc la tension efficace $U = 2,83 \text{ V}$

$$\text{Application numérique : } I_0 = \frac{2,83}{20 + 8,3} = \underline{0,1 \text{ A}}$$

Exercice 3

1. On veut préparer $V = 1 \text{ L}$ de S de $C = 10^{-2} \text{ mol/L}$ à partir de S_0 de $C_0 = 1 \text{ mol/L}$

1.1. Déterminons le volume V_0 de la solution S_0 à prélever.

Il s'agit d'une dilution au cours de laquelle la quantité de matière se conserve.

$$n_0 = n \Rightarrow C_0 V_0 = CV \Rightarrow V_0 = \frac{CV}{C_0}$$

$$\text{Application numérique : } V_0 = \frac{10^{-2} \times 1}{1} = \underline{10^{-2} \text{ L} = 10 \text{ mL}}$$

1.2. Description du mode opératoire pour la préparation de la solution S .

- Verser une certaine quantité légèrement supérieur à 10 mL de la solution mère (à diluer) dans le bécher ;
- Prélever 10 mL dans ce bécher à l'aide de pipette jaugée munie d'une poire à pipeter ;
- Verser le volume prélevé dans la fiole jaugée de 1000 mL contenant initialement une petite quantité eau distillée ;
- Compléter le volume de la solution préparée dans la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge à l'aide de la pissette préalablement remplie d'eau distillée ;
- Rendre homogène la solution obtenue.

2. On procède au dosage de $V_A = 20 \text{ mL}$ de $C_b = 10^{-2} \text{ mol/L}$. On a : $V_{bE} = 20 \text{ mL}$.

2.1. Equation bilan de la réaction entre l'acide lactique et l'hydroxyde de sodium.

Il s'agit d'une réaction de dosage donc la réaction est totale (une seule flèche) :



2.2. Calcul de la concentration C_a de l'acide lactique.

$$\text{A l'équivalence on a : } n_a = n_b \Rightarrow C_a V_a = C_b V_{bE} \Rightarrow C_a = \frac{C_b V_{bE}}{V_a}$$

$$\text{Application numérique : } C_a = \frac{10^{-2} \times 20}{20} = \underline{10^{-2} \text{ mol/L}}$$

2.3. Mélange $V_a = 20 \text{ mL}$ de $C_a = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et $V_b = 16 \text{ mL}$ de $C_b = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$; $\text{pH} = 4,5$.

2.3.1. Inventaire des espèces chimiques et calcul de leurs concentrations molaires.

Bilan des espèces chimiques : H_3O^+ ; OH^- ; AH ; A^- ; Na^+ ; (ou H_2O)

Calcul des concentrations molaires.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-4,5} = \underline{3,2 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}} ;$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{4,5-14} = \underline{3,1 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}}.$$

$$[\text{Na}^+] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = \frac{10^{-2} \times 16}{20 + 16} = \underline{4,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}}$$

Electroneutralité : $[\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{A}^-]$

$$\Rightarrow [\text{A}^-] = [\text{Na}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{Na}^+] = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{Conservation de la matière : } \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = [\text{A}^-] + [\text{AH}] \Rightarrow [\text{AH}] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} - [\text{A}^-]$$

$$\text{Application numérique : } [\text{AH}] = \frac{10^{-2} \times 20}{20 + 16} - 4,4 \cdot 10^{-3} = \underline{1,1 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}}$$

2.3.2. Calcul du pK_a du couple acide lactique/ion lactate (AH/A^-).

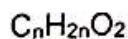
$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}]} \Rightarrow \text{pK}_a = \text{pH} - \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}]}$$

$$\text{Application numérique : } \text{pK}_a = 4,5 - \log \left(\frac{4,4 \cdot 10^{-3}}{1,1 \cdot 10^{-3}} \right) \approx \underline{3,9}$$

Exercice 4

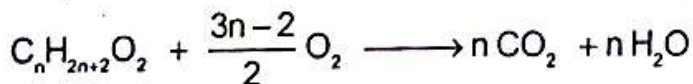
1. Un acide carboxylique saturé est noté A. La molécule de A comporte n atomes de carbone.

1.1. Expression de la formule générale de A en fonction du nombre n d'atomes de carbone.



1.2. La combustion complète de $0,05 \text{ mol}$ de A donne $0,2 \text{ mol}$ de CO_2 et $0,2 \text{ mol}$ d'eau.

1.2.1. Equation bilan de la réaction de la combustion complète de A.



1.2.2. Montrons que la formule brute de A est $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$

Soit n la quantité de matière.

$$\text{Bilan de molaire de l'équation de la réaction : } \frac{n_A}{1} = \frac{n_{\text{O}_2}}{\frac{3n-2}{2}} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n}$$

$$\Rightarrow n_A = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n} \Rightarrow 0,05 = \frac{0,2}{n} \Rightarrow n = \frac{0,2}{0,05} = \underline{4}$$

Donc la formule brute de l'acide carboxylique A est $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$.

Les éditions Matrice, Septembre 2016

© ISBN : 978-2-36553-021-7

EAN : 9782365530217

Tous droits réservés pour tous pays.

Dépôt légal : N° du Juillet 2016

Les éditions Matrice

23 BP 2605 Abidjan 23

(00225) 23 48 54 62

(00225) 58 22 45 08

Email : matrice.editions@gmail.com

Site web : www.topmatrice.net

Que trouve t'on aux éditions matrice

TOP CHRONO
votre collection
d'annales d'exercices
corrigés avec méthodes
de résolution, rappels
de cours et sujets
d'examens résolus.

CHRONOMAÎTRE
votre collection
de cahiers
d'apprentissage et
de répétition.



et bien
d'autres
collections...

"EDEN",
une collection de littérature
sentimentale.
"INTIMES CONFIDENCES",
ces récits illustrés transcri-
vent des faits de sociétés.

Pour vos achats, prière contacter :

Hors Côte d'Ivoire

BURKINA - OUAGA
M. COULIBALY
+226 61 20 12 31

NIGER - NIAMEY
M. YEMOUCENOU
+227 94 94 20 16
+227 96 97 20 16
M. HAMANI
+227 94 93 83 15
+227 90 35 87 79

BENIN - COTONOU
LIBRAIRIE BON BERGER
+ 229 21 31 31 68

TOGO - LOME
LIBRAIRIE BON PASTEUR
+ 228 22 21 36 28

Librairies partenaires

Librairie de France Groupe
(Plateau et Sococo 2 PItx)
20 30 63 63

Mediastore
(Marcory et Riviera)

Librairie Carrefour
Cocody St Jean
22 44 81 71

Librairie Aleph plateau
20 21 29 18

Librairie Artelettres Cocody
Riviera Golf
44 62 16 16

Librairie Camara
Adjame Roxy
07 18 78 29

Librairie Diabaté
Adjame Mosquée
40 40 40 88

Librairie la Bouquinette
Cocody Vallons
07 28 29 50

Librairie de Koumassi
05 60 74 84

Librairie Delon Bouaké
31 63 21 80

Librairie Espoir Dabou
07 52 55 61

Librairie Wapary Korhogo
08 12 20 61

Librairie Bon Berger
Cotonou - Benin
00 229 21 31 31 68

Librairie Bon Pasteur
Jamé - Togo
00 228 22 21 36 28

Librairie Palm Club
(Cocody lycée technique)
22 44 10 13

Librairie de la Palmeraie
(Riviera palmeraie)
22 49 02 10

Librairie News and Paper
(Cocody Mermoz)
22 44 20 08

Librairie "Le social"
Abengourou 07 85 23 08

Librairie du Commerce
Daloa 07 38 08 09

Librairie papeterie Yankadi
Korhogo 09 48 75 61

Physique & Chimie

T^{le}
Séries C/D/E

Marc KOUASSI

Le **"TOP CHRONO"** est votre collection d'annales d'exercices corrigés avec méthodes de résolution, rappels de cours et sujets d'examens résolus.

Cette collection couvre la classe de CM2 et les classes du secondaire, de la sixième à la terminale, dans toutes les séries dans les matières au programme (Mathématiques, Physique et Chimie, Sciences de la Vie et de la Terre, Philosophie, Français, Histoire et Géographie, Anglais, Espagnol, Allemand, EDMC, ...)

Autres Collections

Le **"CHRONOMAÎTRE"** est une collection de cahiers d'apprentissage et de répétition. Cette collection, destinée aux élèves des classes du CP1 à la terminale, permet un suivi quotidien de l'acquisition des savoirs et savoir-faire par l'apprenant.

Le **"TOP EXPRESS"** est une collection de formulaires et d'aide-mémoire vous permettant de faire la revue complète de tout le programme de l'année en un clin d'oeil.

"TOP 10" est un recueil des 10 derniers sujets d'examen avec leurs corrections détaillées.

"MARATHON", la collection pour apprendre par l'exemple.

Le **"COURS MAGISTRAL"** est votre collection de manuels de cours très détaillés mais précis avec des exercices d'application adaptés afin de favoriser l'acquisition progressive des savoirs et savoir-faire. Cette collection vous aide à maîtriser vos cours et vous permet de vous préparer efficacement en vue d'affronter sereinement vos interrogations écrites, vos devoirs, vos examens et concours.

"BOUSSOLE" est une collection de manuels ludiques et éducatifs pour les tout-petits du préscolaire.

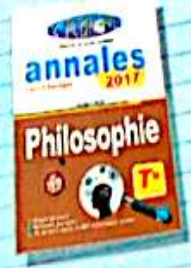
"EDEN" est une collection de la littérature sentimentale. Dans cette collection ressentez les frissons de l'Amour, vivez des aventures amoureuses palpitantes.

"INTIMES CONFIDENCES", ces récits illustrés transcrivent des faits de sociétés dans un langage simple et accessible.

Tout document non stické est un faux avec un contenu douteux.

Tout détenteur de ce type de document est passible de poursuites judiciaires.

Edition 2017



Dans la même collection



ISBN : 978-2-36563-021-7



9 782365 630217