TOPCHRONO

Réussir en toute sérénité

Physique & Chimie

Marc KOUASSI
Joseph ETTIEN San

1ère C/D/E

Exercices corrigés

Rappels de cours

Méthodes pratiques

Exercices et Problèmes résolus

Les Éditions

Collection
Le TOP CHRONO

Sous la coordination de YAO Denis
Professeur de Lycée

PHYSIQUE & CHIMIE

PREMIERE C & D

Marc KOUASSI
Professeur de Lycée

Avec la collaboration de
Pascal Droh
Professeur de Lycée

Les éditions Matrice

23 BP 2605 Abidjan 23

(00225) 23 46 92 44

(00225) 58 22 45 08

(00225) 53 51 20 25

Email: matrice.editions@gmail.com

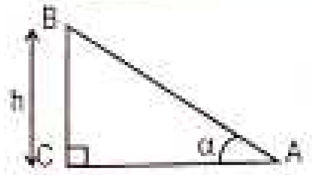
Site web: www.topmatrice.net

SOMMAIRE

QUELQUES RESULTATS MATHEMATIQUES UTILES EN PHYSIQUE

1) Triangle rectangle

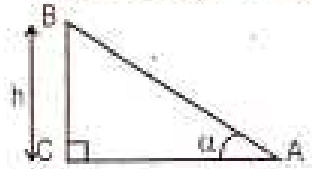
1.1. Propriétés métriques



$$\sin\alpha = \frac{\text{coté opposé}}{\text{hypothénuse}} = \frac{BC}{AB} \Rightarrow h = BC = AB \times \sin\alpha$$

$$\cos\alpha = \frac{\text{coté adjacent}}{\text{hypothénuse}} = \frac{AC}{AB} \; ; \; \tan\alpha = \frac{\text{coté opposé}}{\text{coté adjacent}} = \frac{BC}{AC}$$

1.2. Théorème de Pythagore



$$AB^2 = BC^2 + AC^2 \Rightarrow h = BC = \sqrt{AB^2 - AC^2}$$

2) Vecteur

2.1. Définition

- Deux vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ sont perpendiculaires ou orthogonaux si mes $(\vec{u}, \vec{v}) = 90°$. On note $\vec{u} \perp \vec{v}$.
- Deux vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ sont colinéaires s'ils ont la même direction. On note $\vec{u} \parallel \vec{v}$. Ainsi $\vec{u}$ et $\vec{v}$ sont de même sens $\left(\text{mes}(\vec{u}, \vec{v}) = 0°\right)$ ou de sens contraires $\left(\text{mes}(\vec{u}, \vec{v}) = 0°\right)$.

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

2.3.1. 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 $\vec{u}.\vec{v}$ tel que :

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

2.3.2. Propriétés

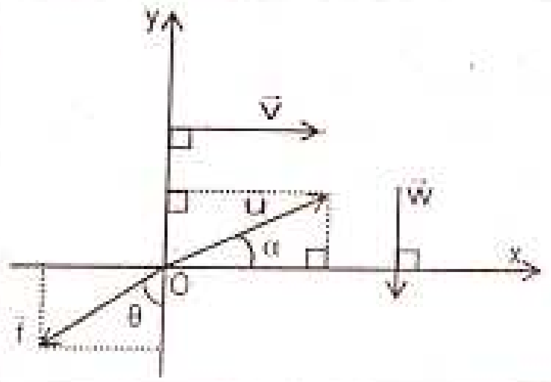
- $\vec{u}.\vec{v} = \vec{v}.\vec{u}$
- si $\vec{u} \perp \vec{v}$ alors $\vec{u}.\vec{v} = 0$.
- si $\vec{u} \parallel \vec{v}$ alors $\vec{u}.\vec{v} = u.v$ ($\vec{u}$ et $\vec{v}$ ont le même sens) ou $\vec{u}.\vec{v} = -u.v$ ($\vec{u}$ et $\vec{v}$ sont de sens contraire).

2.4. Projection de vecteurs

2.4.1. 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 ;
  - au 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.

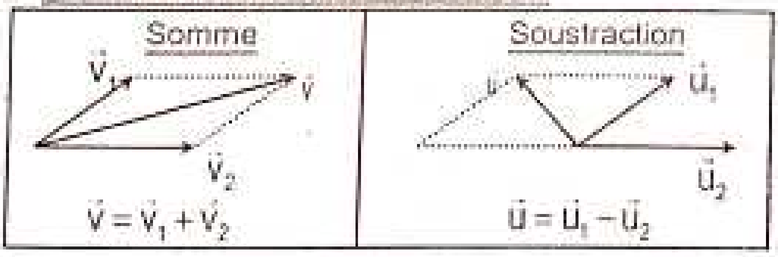
2.4.2. Exemples



$\vec{V}\begin{cases} V_x = V \\ V_y = 0 \end{cases}$ $\vec{w}\begin{cases} w_x = 0 \\ w_y = -w \end{cases}$

$\vec{u}\begin{cases} u_x = u\cos\alpha \\ u_y = u\sin\alpha \end{cases}$ $\vec{f}\begin{cases} f_x = -f\sin\theta \\ f_y = -f\cos\theta \end{cases}$

2.5. Somme et soustraction de vecteurs



3) Equation du premier degré

3.1. Addition et soustraction

Soit a, b, c et d des réels non nuls.

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

3.2. Multiplication et division

Soit a, b, c et d des réels non nuls.

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

4) 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.**

4.1. 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}

4.2. 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}

4.3. Opération sur les puissances de 10

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

5) Opération sur les racines carrées

Soit a, b des réels positifs non nuls,

- $a^2 = b \Leftrightarrow a = \sqrt{b}$ ou $a = -\sqrt{b}$
- $\sqrt{a \times b} = \sqrt{a} \times \sqrt{b}$
- $\sqrt{a+b} \neq \sqrt{a} + \sqrt{b}$; $\sqrt{a-b} \neq \sqrt{a} - \sqrt{b}$
- $\sqrt{\dfrac{a}{b}} = \dfrac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}}$

6) La règle de trois

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

- **1er cas :**

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

Exemple :

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

- **2ème cas :**

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

Exemple :

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

<u>Remarque :</u>

- Dans le 1er 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 2ème 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.

7) Tracé de courbe

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

- y en ordonnées (verticale) ;
- x en abscisses (horizontale).

Exemple : U = f(I) : on place la tension U en ordonnées et l'intensité I 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 s'écrit : $y = kx$ où k est une constante appelée **coefficient directeur** ou **pente** de la droit

  Exemple : $v^2 = k \times h$ (la constante est k) ; $P = m \times g$ (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 on a : $y = ax + b$ où a est le coefficient directeur de la droite et b l'ordonnée à l'origine.

  Exemple : $U = E' + r I'$: E' est l'ordonnée à l'origine et r' est le coefficient directeur.

8) Equation du second degré

Soit l'équation du second degré : $ax^2 + bx + c = 0$.

Le discriminant : $\Delta = b^2 - 4ac$

- 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 :

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

9) Périmètre, surface et volume de quelques figures géométriques

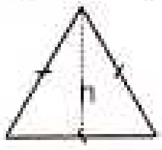
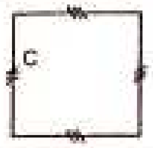
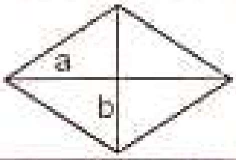
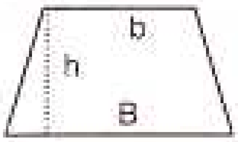
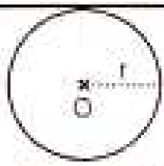
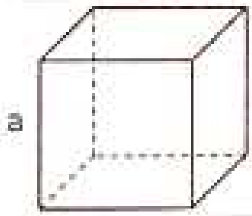
Figure géométrique	Nom	Périmètre	Surface ou Aire	Volume
	triangle équilatéral	Somme des trois cotés ou 3a	$\frac{a \times h}{2} = \frac{a^2\sqrt{3}}{4}$	
	triangle isocèle	Somme des trois cotés ou 2a + b	$\frac{b \times h}{2} = \frac{b \times \sqrt{a^2 - \frac{b^2}{2}}}{2}$	
	triangle rectangle	a + b + c	$\frac{a \times b}{2}$	

Figure géométrique	Nom	Périmètre	Surface ou Aire	Volume
	carré	Somme des quatre cotés ou $4c$	$c \times c = c^2$	
	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		$4\pi \times r^2 = \pi \times d^2$	$\frac{4}{3}\pi \times r^3 = \frac{1}{6}\pi \times d^3$

Remarque : le rayon r et le diamètre d d'un cercle sont reliés par : $d = 2r$ ou $r = \frac{d}{2}$

QUELQUES UNITES ET CONSTANTES ESSENTIELLES

1. En physique

Grandeur (notation)	Unité Système Internationale(SI)	Symbole
Angle (α, β, θ...)	radian	rad
Capacité (C)	farad	F
Célérité (c)	mètre par seconde	m/s ou $m.s^{-1}$
Champ électrostatique (E)	volt par mètre	V/m ou $V.m^{-1}$
Constante de raideur (k)	newton par mètre	N/m ou $N.m^{-1}$
Distance focale (f)	mètre	m
Durée (t)	seconde	s
Energie (E)	joule	J
Force (F)	newton	N
Fréquence (N)	hertz	Hz
Intensité de pesanteur (g)	Newton par kilogramme mètre par seconde au carrée	N/kg ou $N.kg^{-1}$ m/s^2 ou $m.s^{-2}$
Intensité électrique (I)	ampère	A
Longueur d'onde (λ)	mètre	m
Masse (m)	kilogramme	kg
Moment d'une force ($\mathcal{M}$)	newton mètre	N.m
Période (T)	seconde	s
Puissance ($\mathcal{P}$)	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
Vergence (C)	dioptrie	δ
Vitesse angulaire (ω)	radian par seconde	rad/s ou $rad.s^{-1}$
Vitesse linéaire (v)	mètre par seconde	m/s ou $m.s^{-1}$

2. En chimie

Grandeur (abréviation)	Unité légale	Symbole
Concentration massique ([illegible])	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)	litre par mole	L/mol ou $L.mol^{-1}$

3. Les multiples

Préfixe	Abréviation	Valeur	Exemple	Unité utilisée
Téra	T	10^{12}	$1TW = 10^{12} W$	Térawatt(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}	$1 hL = 10^{2} L$	hectolitre(hL)
déca	da	$10^{1} = 10$	$1 dag = 10 g$	décagramme(dag)

4. 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}	$1 \mu A = 10^{-6} A$	microampère(µA)
nano	n	10^{-9}	$1 nJ = 10^{-9} J$	nanojoule(nJ)
pico	p	10^{-12}	$1 pm = 10^{-12} m$	picomètre(pm)

5. 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

6. Quelques conversions utiles

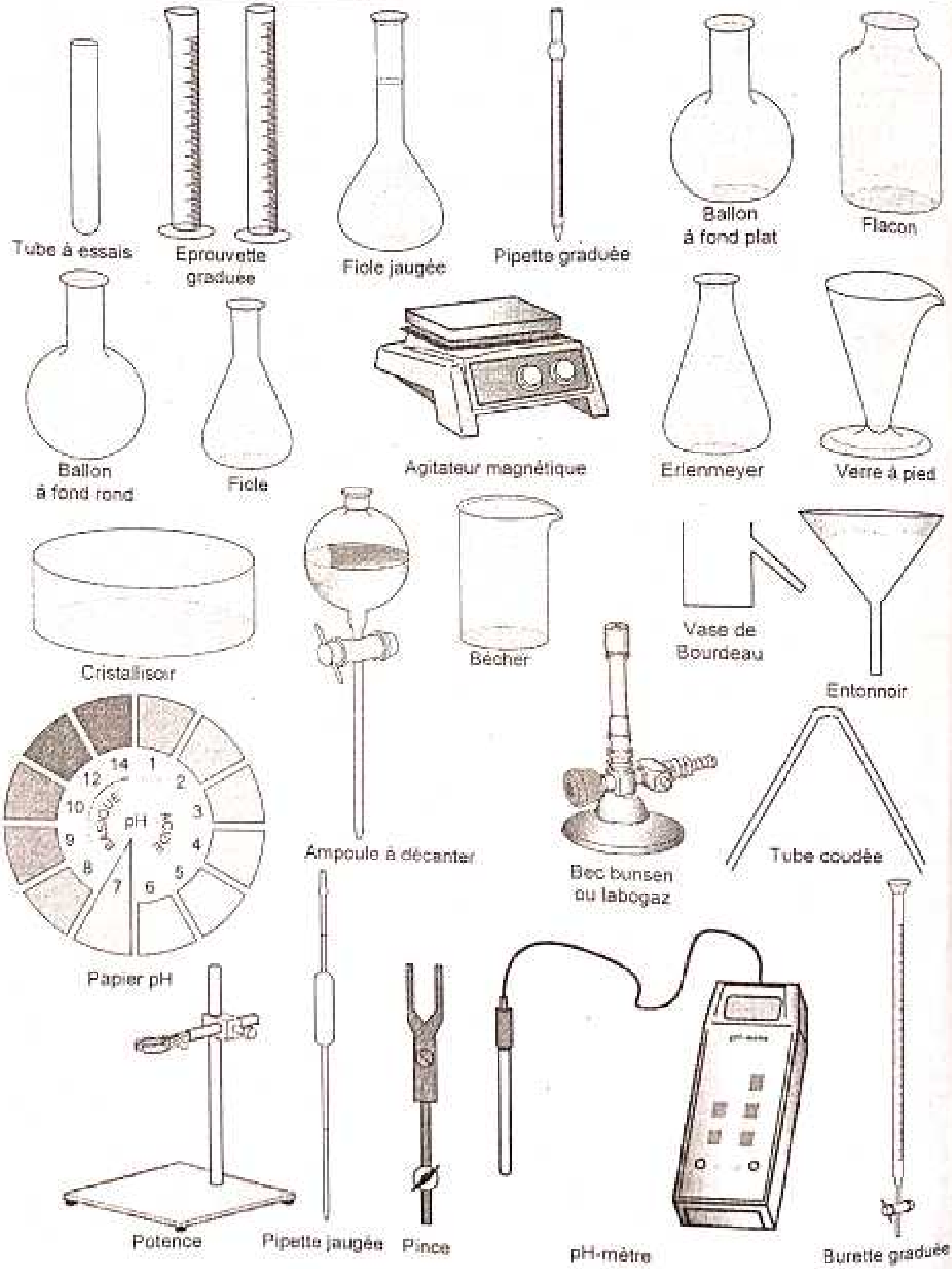
Grandeur	Relations	Unités utilisées
Durée	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s	minute (min) ; heure (h)
Énergie	1 Wh = $3{,}6.10^3$ J 1 kWh = 10^3 Wh	wattheure (Wh) ; kilowattheure (kWh)
Masse	1 t = 10^3 kg 1 g = 10^{-3} kg	tonne (t) gramme (g)
Masse volumique	1 kg/dm^3 = 10^3 kg/m^3 1 g/cm^3 = 1 kg/dm^3 1 g/L = 1 kg/m^3	kilogramme par décimètre cube (kg/dm^3) gramme par centimètre cube (g/cm^3) gramme par litre (g/L)
Puissance	1 ch = 736 W	cheval (ch)
Surface	1 dm^2 = 10^{-2} m^2 1 cm^2 = 10^{-4} m^2 1 mm^2 = 10^{-6} m^2	décimètre carré (dm^2) centimètre carré (cm^2) millimètre carré (mm^2)
Vitesse	1 km/s $= \frac{1}{3{,}6}$ m/s	kilomètre par heure (km/h)
Volume et capacité	1 dm^3 = 10^{-3} m^3 = 1 L 1 cm^3 = 10^{-6} m^3 = 10^{-3} L = 1 mL 1 mm^3 = 10^{-9} m^3 = 10^{-6} L	décimètre cube (dm^3) centimètre cube (cm^3) millimètre cube (mm^3) millilitre (mL)

7. Quelques constantes fréquemment utilisées

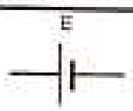
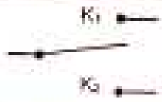
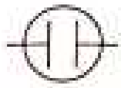
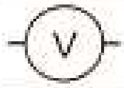
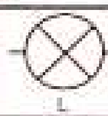
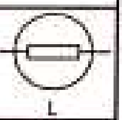
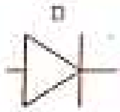
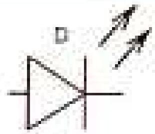
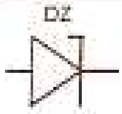
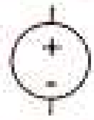
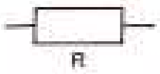
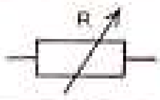
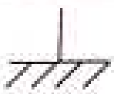
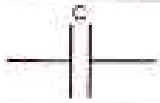
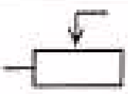
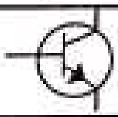
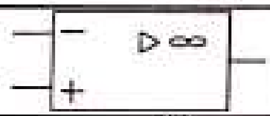
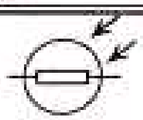
Constante	Charge élémentaire	Masse de l'électron	Intensité de la pesanteur	Volume molaire (CNTP)
Valeur	$e = 1{,}6.10^{-19}$ C	$m_{e^-} = 9{,}1.10^{-31}$ kg	$g = 9{,}80$ m.s^{-2}	$V_m = 22{,}4$ L.mol^{-1}

Constante	Constate d'Avogadro	Permittivité du vide	Masse du proton et du neutron
Valeur	$\mathcal{N}_A = 6{,}02\ 10^{23}$ mol^{-1}	$\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi.10^{9}}$ F/m	$m_p = m_n = 1{,}67.10^{-27}$ kg

QUELQUES MATERIELS UTILISES EN PHYSIQUE-CHIMIE



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		Electrolyseur	
Ampèremètre		Voltmètre	
Moteur à courant continu		Lampe ou ampoule	 ou 
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)	

THEME 1

MECANIQUE

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

Leçon 1 : TRAVAIL ET PUISSANCE D'UNE FORCE CONSTANTE DANS LE CAS D'UN MOUVEMENT DE TRANSLATION

James Watt
(1736-1819)
Inventeur, Ingénieur et Mécanicien Ecossais
Il est célèbre pour ses améliorations apportées à la machine à vapeur.
Son nom fut donné à l'unité de puissance du Système International (SI), le watt.
Il a aussi introduit une unité appelée le cheval-vapeur pour comparer la puissance fournie par les machines à vapeur, sa version de l'unité étant équivalente à 550 livres-pied par seconde (environ 745,7 watts).

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	• une force constante. • le travail d'une force constante lors d'un déplacement rectiligne.
Connaître	• l'expression du travail d'une force constante lors d'un déplacement rectiligne • l'unité de travail
Connaitre	l'expression du travail d'une force constante lors d'un déplacement quelconque
Déterminer	le travail d'une force constante
Connaître	l'expression du travail du poids d'un corps.
Déterminer	le travail du poids d'un corps.
Connaitre	l'expression du travail de la tension d'un ressort.
Déterminer	le travail de la tension d'un ressort.
Définir	la puissance d'une force constante.
Connaitre	• l'expression de la puissance moyenne d'une force constante. • l'unité de la puissance • l'expression de la puissance instantanée d'une force constante.
Déterminer	la puissance d'une force constante.
Utiliser	les expressions : $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} = F \times AB \times \cos\theta$; $W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$ $P_{AB}(\vec{F}) = \dfrac{W_{AB}(\vec{F})}{T_B - T_A}$ ou $P_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{V}$; $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} = -\dfrac{1}{2}k\left(x_B^2 - x_A^2\right)$

RAPPEL DE COURS

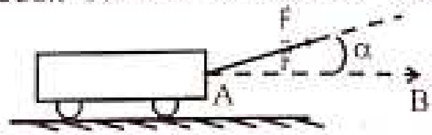
1) Travail d'une force constante

1.1. Force constante

Une force est dite constante si ses caractéristiques (**direction**, **sens** et **valeur**) ne varient pas aux cours de l'étude. S'il y a une caractéristique qui varie alors la force n'est plus constante.

1.2. Définition du travail

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 $\vec{AB}$.



$W(\vec{F})_{A\to B} = \vec{F}.\vec{AB} = F.AB.\cos\alpha$ où $\alpha = (\vec{F}, \vec{AB})$

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

1.3. Conséquences

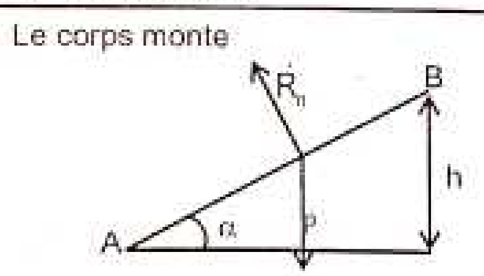
Le travail d'une force constante est une grandeur algébrique car il peut-être positif ou négatif. Son signe dépend de l'angle entre les vecteurs force et déplacement.

$W(\vec{F})_{A\to B} = \vec{F}.\vec{AB} = F.AB.\cos\alpha$ où $\alpha = (\vec{F}, \vec{AB})$

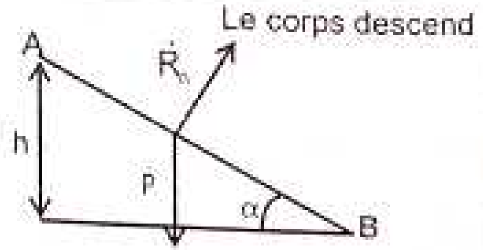
Valeur de α	Signe ou valeur de cosα	Signe ou valeur de W(F)	Nature du travail
$0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$ rad	Positif	Positif	Moteur
$\frac{\pi}{2}$ rad $< \alpha \leq \pi$ rad	Négatif	Négatif	Résistant
$\alpha = \frac{\pi}{2}$ rad	Nul	Nul	Nul

1.4. Travail du poids d'un corps

1.4.1. Plan incliné



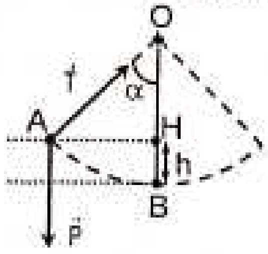
$W(\vec{P})_{A\to B} = -mgh = -mgAB\sin\alpha$



$W(\vec{P})_{A\to B} = mgh = mgAB\sin\alpha$

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

1.4.2. Pendule élastique



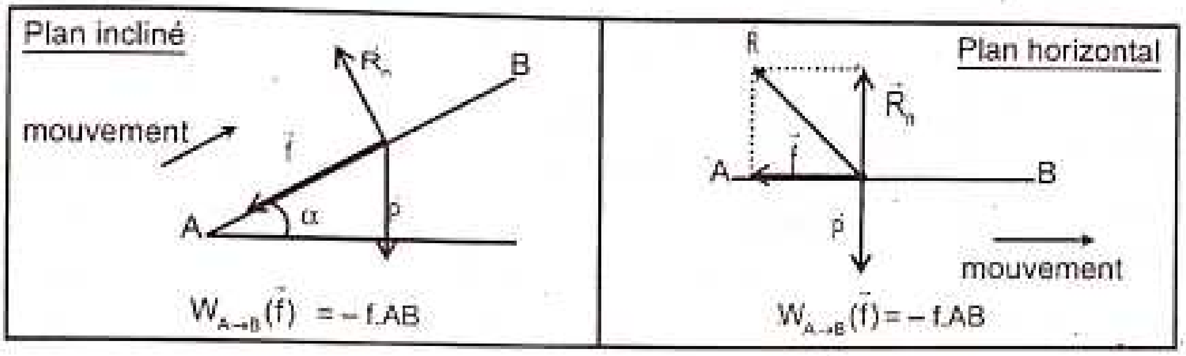
$h = OB - OH = \ell - \ell\cos\alpha = \ell(1-\cos\alpha)$

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

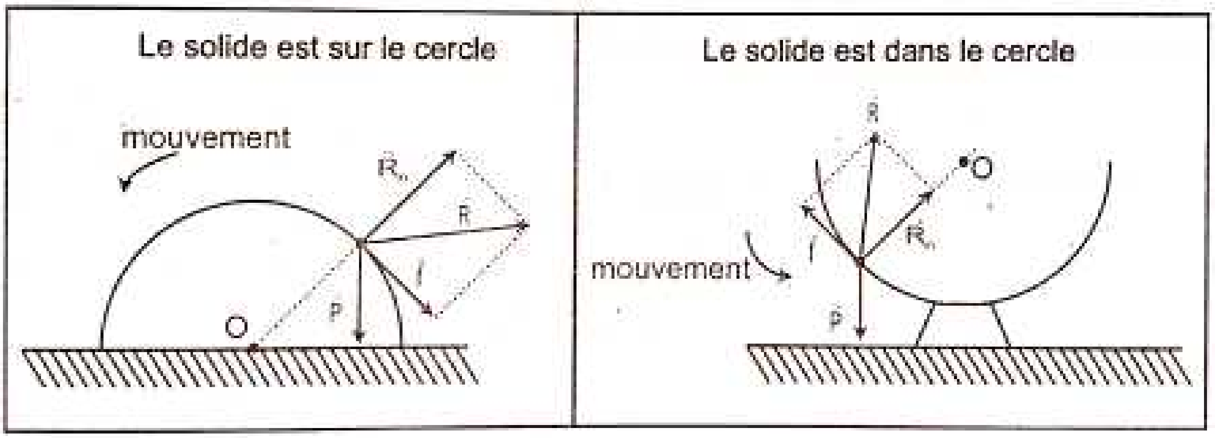
où $\ell = OA = OB$

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

1.5. Travail de la force de frottement



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



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 de réaction normale $\vec{R}_n \Rightarrow \vec{R} = \vec{f} + \vec{R}_n$ (voir schémas ci-dessus).
- Pour le mouvement circulaire, la réaction normale passe par le centre du cercle.

1.7. Travail de la tension d'un ressort (1ère C uniquement)

1.7.1. 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 : $T = kx = k|\ell - \ell_0|$; avec k en $N.m^{-1}$; x en m ; T en N.

la relation T = kx est appelée la loi de Hooke.

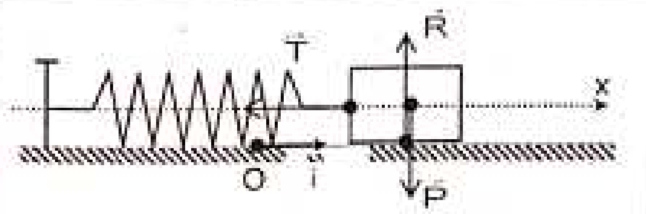


Figure 1 (ressort allongé) : $\vec{T} = -kx\vec{i}$

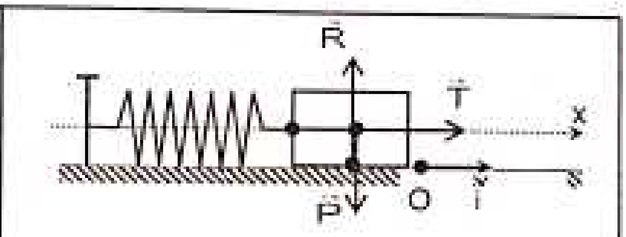


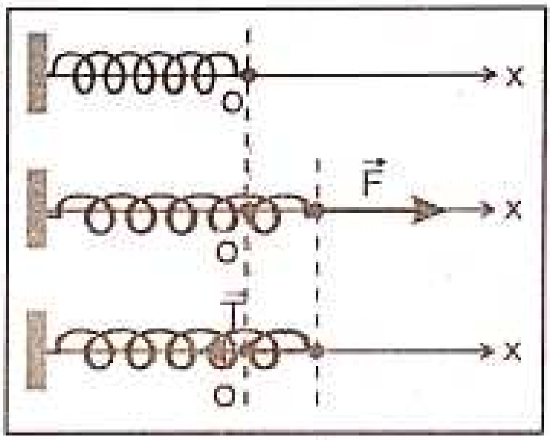
Figure 2 (ressort comprimé) : $\vec{T} = kx\vec{i}$

1.7.2. Force exercée par l'opérateur

D'après le principe des actions réciproques, la force $\vec{F}$ exercée par un opérateur sur le ressort, nécessaire pour le tendre ou le comprimer d'une longueur x est égale à l'opposée de la tension $\vec{T}$ du ressort : $\vec{F} = -\vec{T}$.

Position initiale du ressort

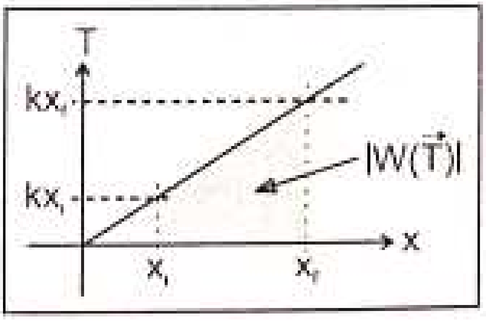
Ressort allongé



1.7.3. Définition du travail

Quel que soit le déplacement de l'extrémité d'un ressort, le travail $W(\vec{T})_{x_i \to x_f}$ de la tension d'un ressort entre deux positions d'abscisses x_i et x_f est donné par l'expression suivante :

$W(\vec{T})_{x_i \to x_f} = \frac{1}{2}k(x_i^2 - x_f^2)$



Remarque :

le travail de la force nécessaire pour tendre ou comprimer le ressort est donnée par :

$$W(\vec{F})_{x_i \to x_f} = -W(\vec{T})_{x_i \to x_f} = -\frac{1}{2}k(x_i^2 - x_f^2) = \frac{1}{2}k(x_f^2 - x_i^2)$$

2) Puissance d'une force constante

2.1. Puissance moyenne

$$P_m = \frac{W(\vec{F})}{\Delta t}$$

- P_m : la puissance moyenne en watts (W) ;
- $W(\vec{F})$: le travail de la force en joule (J) ;
- Δt : la durée en seconde (s).

2.2. Puissance instantanée

$$P_i = \vec{F}.\vec{v} = F \times v \times \cos(\vec{F}, \vec{v})$$

- P_i : la puissance instantanée en watts (W) ;
- F : la valeur de la force en newton (N) ;
- v : la valeur de la vitesse en mètre par seconde (m/s).

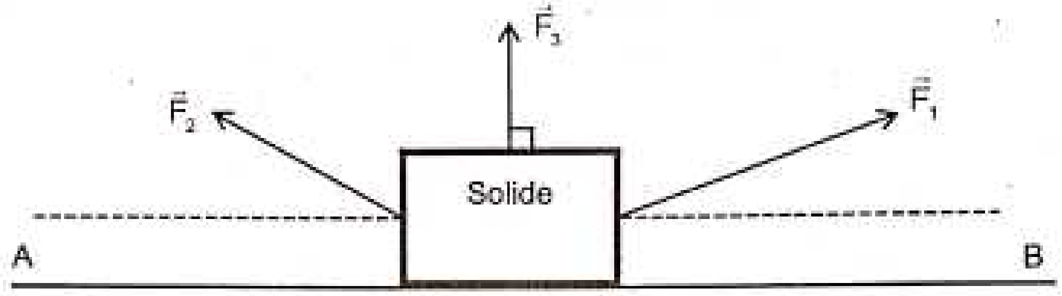
EXERCICES RESOLUS

Dans tous les exercices on prendra comme intensité de pesanteur : $g = 10\ N.kg^{-1}$.

Exercice 1

Sur le schéma ci-dessous on exerce trois forces sur un solide en mouvement de translation de A vers B.

1. la force $\vec{F}_1$ exerce un travaill nul : V ou F
2. la force $\vec{F}_2$ exerce un travail résistant : V ou F
3. la force $\vec{F}_3$ exerce un travail moteur : V ou F



Recopie chacune des propositions suivantes et entoure la lettre V si la proposition est vrai ou la lettre F si la proposition est fausse.

Exercice 2

1. Ecris l'expression de la puissance instantanée d'une force $\vec{F}$ appliquée à un solide en mouvement de translation.
2. Le centre de gravité d'un solide de masse m se déplace d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B. Le travail du poids de ce solide a pour expression :

   2.1. $W_{A\to B}(\vec{P}) = mg \times AB$

   2.2. $W_{A\to B}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$

   2.3. $W_{A\to B}(\vec{P}) = mg(z_B - z_A)$

   Recopie la bonne expression.
3. Recopie et complète le texte ci-dessous avec les mots suivants :

   algébrique ; indépendante; constante ; joule.

   Le travail et la puissance d'une force sont des grandeurs physiques liées par une relation. Une force .... est une force qui garde, au cours du temps, une direction, un sens et une intensité invariable. Le travail de cette force est une grandeur .... et s'exprime en .... Cette grandeur est .... du chemin suivi.

Exercice 3

1. Une force constante $\vec{F}$, parallèle au déplacement, a son point d'application qui se déplace de A vers B. L'expression du travail de la force est :

   1.1. $W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB}$;

   1.2. $W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.AB$;

   1.3. $W_{A\to B}(\vec{F}) = -\vec{F}.AB$

   Recopie la bonne expression.

2. Le point d'application de $\vec{F}$ d'intensité 30 N à une vitesse instantanée de valeur $V = 2\ m.s^{-1}$, la puissance instantanée de $\vec{F}$ vaut :

   2.1. p = 20 W ;

   2.2. p = 40 W ;

   2.3. p = 60 W.

   Recopie le bon résultat.

3. Recopie et relie par une flèche la grandeur physique à son unité.

1- Masse (m)	a- Watt (W
2- Puissance (p)	b- Newton (N)
3- Travail (W)	c- Newton par kilogramme (N/kg)
4- Poids (P)	d- Joule (J)
5- Intensité de la pesanteur (g)	e- Kilogramme (kg).
6- Vitesse (v)	f- Mètre par seconde (m/s)

Exercice 4

1. Un pot de fleur, de masse m = 500 g, chute du troisième étage.

   Calcule le travail fourni par le poids du pot sachant que la hauteur d'un étage est 3 m.

2. Un solide de masse m = 100 g, posé sur un plan horizontal, est tiré à l'aide d'une corde faisant un angle $\alpha = 60°$ sur laquelle on exerce une force d'intensité F = 5 N. Le déplacement s'effectue sur une longueur AB = 30 cm.

   2.1. Calcule le travail de la force de traction $\vec{F}$ et du poids $\vec{P}$ du solide.

   2.2. Calcule le travail de la force de traction $\vec{F}$ si la corde est horizontale.

   2.3. Le solide est maintenant posé sur un plan incliné d'un angle $\beta = 30°$ par rapport à l'horizontale et glisse sans frottement vers le bas de la côte.

   Calcule le travail effectué par le poids du solide et celui de la réaction du plan

Exercice 5

Lors d'une visite au port de San Pédro un élève de $1^{ère}$ D du lycée de la ville observe une grue soulever une charge de masse m = 500 kg sur une hauteur h = 20 m pendant 18 s. La charge est animée d'un mouvement rectiligne uniforme. Curieux, il désire détermine la puissance de la tension du câble utilisé pour soulever la charge. Il te sollicite pour l'aider dans sa tâche.

1) Fais le bilan des forces qui s'exercent sur la charge et représente-les sur un schéma.
2) Enonce le principe de l'inertie.
3) En-déduis la valeur de la tension du câble qui soulève la charge.
4) Calcule le travail de la tension du câble et du poids de la charge lors du déplacement.
5) En-deduis la puissance de la tension du câble.

Exercice 6

Lors d'une séance de TP, un groupe d'élèves de $1^{ère}$ C d'un lycée de Divo fabrique un pendule simple constitué d'une bille de petite dimension, de masse m = 50 g, reliée à un support fixe par un fil inextensible de longueur L = 60,0 cm et de masse négligeable. Ils écartent ce pendule de sa position d'équilibre d'un angle θ_0 = 30° et le lâchent sans vitesse initiale.

Ils désirent déterminer le travail des forces appliquées à la bille lors de son mouvement.

1) Fais l'inventaire des forces qui s'appliquent à la bille du pendule et représente-les sur un schéma du dispositif.
2) Détermine l'expression littérale du travail du poids de la bille du pendule entre sa position initiale et une position quelconque repérée par l'angle θ.
3) Calcule le travail du poids de la bille entre la position initiale et la position d'équilibre θ_E.
4) Détermine le travail du poids de la bille entre les positions repérées par θ_0 et $-\theta_0$.
5) Détermine le travail de la tension du fil entre 2 positions quelconques du pendule.

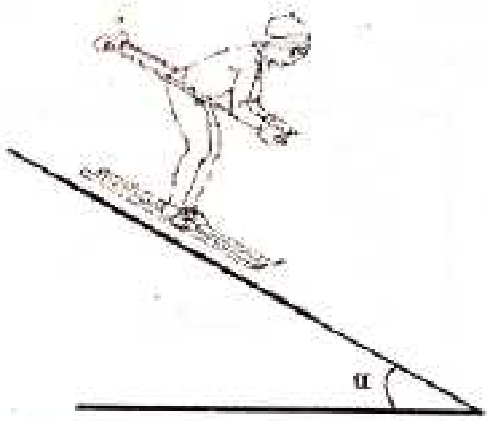
Exercice 7

Lors d'une visite d'étude au barrage de KOSSOU, les élèves de la $1^{ère}$ D du lycée de la ville constatent que l'eau du barrage est amenée à la turbine de la centrale électrique par une conduite forcée. La dénivellation entre le barrage et la turbine est h = 800 m. Toute la puissance de la chute d'eau est transformée en puissance électrique par l'alternateur relié à la turbine. De retour en classe, ils désirent faire un rapport. Tu es sollicité pour les aider.

1) Détermine le travail du poids de 1,0 m^3 d'eau entre le barrage et la turbine.
2) Détermine la puissance $\mathcal{P}$ de cette chute d'eau si son débit est D = 30 $m^3.s^{-1}$.
3) Calcule le débit D' d'une chute d'eau de même dénivellation pour que sa puissance soit celle d'un réacteur nucléaire de 1 000 MW.

Exercice 8

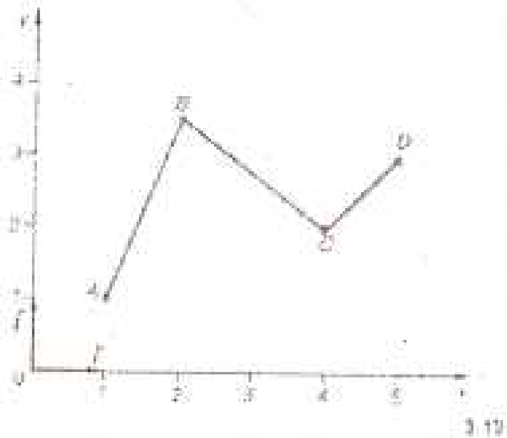
En vacances en Europe, un élève de la 1ère D du lycée Sainte Marie regarde un skieur de masse m = 90 kg descendre une piste inclinée d'un angle $\alpha = 30°$ sur l'horizontale à une vitesse constante de 20 m/s. Les forces de frottement de la piste sur les skis ainsi que celles de l'air sont assimilable à une force unique $\vec{f}$ parallèle à la pente et de sens opposé au déplacement. Revenu des congés il te demande de l'aider à déterminer les travaux et les puissances des forces agissant sur le skieur. On donne : g = 10 N/kg.



1. Fais le bilan des forces agissant sur le skieur et représente-les sur un schéma clair.
2. Calcule la valeur de la force $\vec{f}$ en utilisant la méthode géométrique.
3. Calcule le travail de $\vec{f}$ lorsque le skieur parcourt d = 100 m dans ces conditions.
4. Calcule le travail du poids du skieur pour ce même parcours.
5. Calcule la puissance instantanée de la force $\vec{f}$.

Exercice 9

Le point d'application d'une force $\vec{F}$ se déplace selon un trajet ABCD, repéré dans le plan à l'aide d'un repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$.
L'unité de longueur est le mètre.
Cette force est constante : $\vec{F} = 200\vec{i} - 100\vec{j}$ (en N).
Calcule le travail de cette force entre les points A et D.



Exercice 10 (1ère C uniquement)

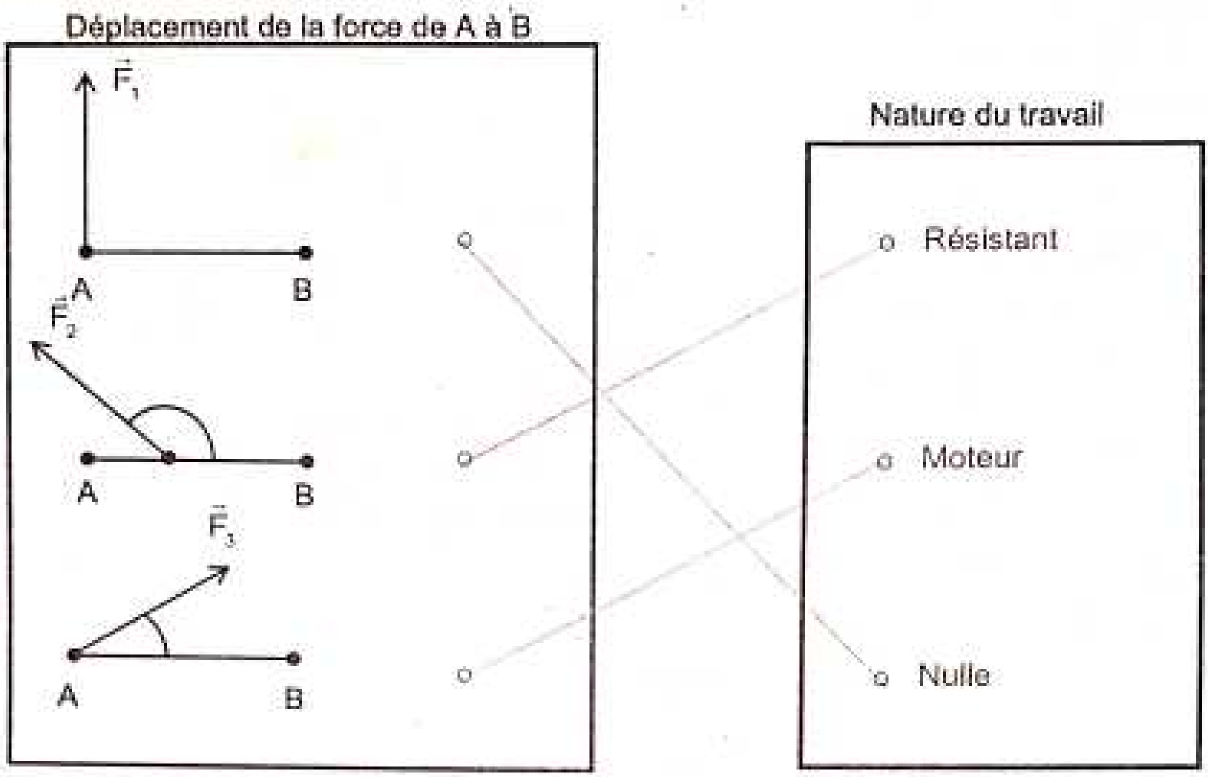
Au cours d'une séance de travaux pratiques, ton professeur de physique chimie te demande de déterminer le travail de la tension d'un ressort lors de la compression. Pour cela, il utilise un ressort à spires non jointives, parfaitement élastique ayant une masse négligeable, de constante de raideur k d'axe horizontal. Il fixe une extrémité en A. Le ressort initialement à vide est comprimé de a_0 = 1 cm par un solide de masse (m) fixé à l'autre extrémité. Pour maintenir le ressort dans cet état, il exerce sur lui une force de 3 N. Tu es le rapporteur du groupe.

1. Calcule la constante de raideur k du ressort.
2. Détermine le travail de la tension du ressort lors de la compression.
3. Déduis le travail fourni par le solide au ressort.
4. A partir de l'état précédent, il raccourcit le ressort de a_1 = 1 cm en appuyant sur le solide.
   4.1. Calcule le travail de la tension du ressort pendant le déplacement.
   4.2. Déduis le travail de la force exercée par le solide sur le ressort.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Recopie et relie par une flèche la nature du travail au travail de la force lors de son déplacement de A vers B.



Exercice 2

Pour chacune des propositions suivantes, écris la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1. Le travail d'une force constante est une grandeur algébrique :...........
2. Le travail d'une force constante dépend du chemin suivi : ....
3. Dans le système international, le travail s'exprime en kilojoule (kJ) : ....
4. Dans le système international, l'unité de puissance est le watt (W) : ......V.........
5. Une force perpendiculaire au déplacement travaille : ....
6. Le travail d'une force est un produit scalaire : ....

Exercice 3

Du haut des escaliers, un enfant lâche son ballon de football de masse m = 200 g.

Le ballon tombe en rebondissant le long des escaliers dont la hauteur est h = 2,5 m.

1. Choisis la bonne réponse :

   Le travail du poids du ballon dépend :

   a) de la hauteur h ;

   b) des rebonds du ballon ;

   c) de la durée de la chute.

   $W(\vec{P}) = m \times g \times h$

   $= 0,2 \times 10 \times 2,5$

   $W(\vec{P}) = 5 J$

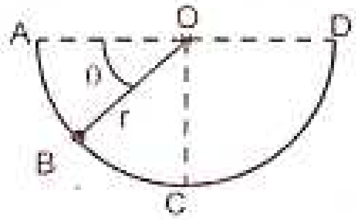
2. Calcule, lors de la chute précédente, le travail du poids du ballon. On donne g = 10 N/kg.

Exercice 4

Une bille de masse m = 100 g glisse sans frottement à l'intérieur d'une calebasse sphérique de centre O et de rayon r = 1,5 m. La position de la bille est repérée par l'angle θ.

On te donne g =10 N/kg. Choisis la bonne réponse dans chaque cas.

1. L'expression du travail effectué de A à B par le poids de la bille est :
   a) $W(\vec{P}) = mgr(1 - \sin\theta)$;
   b) $W(\vec{P}) = mgr(1 - \cos\theta)$;
   c) $W(\vec{P}) = mgr\sin\theta$.



2. le travail effectué par le poids à la bille de A à C a pour valeur :
   a) 2,5 J ;
   b) 1,5 J ;
   c) 1,05 J.
3. En réalité, il existe des forces de frottement de somme constante et d'intensité f = 0,4 N. La valeur du travail des forces de frottement lorsque son point d'application se déplace de A à C vaut :
   a) – 0,50 J ;
   b) – 0,75 J ;
   c) – 0,94 J.

Exercice 5

Sur le chemin de l'école, deux élèves de la 1ère C du Lycée Moderne d'Abengourou aperçoivent un « Wotrotiki » nommé Oumarou qui descend son pousse-pousse rempli de bananes sur un plan incliné d'un angle α = 30° par rapport à l'horizontal à vitesse constante. La masse totale du pousse-pousse rempli de bananes est m = 400 kg. L'ensemble des frottements sur le pousse-pousse équivaut à une force unique constante f = 500 N. La force F exercée par le « Wotrotiki » sur son pousse-pousse pour éviter la descente brutale est supposée parallèle au plan incliné et opposée au déplacement. La puissance moyenne de la force F exercée par le « Wotrotiki » lors de ce déplacement est P_m = – 75 W. Arrivés en classe, ils décident avec leurs camarades de classe de déterminer le travail des forces exerçant sur le pousse-pousse et le temps mis par Oumarou pour parcourir un trajet de d = 50 m. On te donne : g = 9,8 N/kg.

1. Représente les forces qui s'exercent sur le pousse-pousse maintenu en équilibre.
2. Calcule l'intensité de chacune de ces forces. (On représentera le pousse-pousse par un point sur le plan incliné).
3. Calcule les travaux des forces qui s'exercent sur le pousse-pousse après un parcours de d = 50 m.
4. Calcule la durée du déplacement.

Exercice 6

Sur le chemin de l'école, un élève de la 1ère C du Lycée Moderne d'Abengourou aperçoit un cycliste roulant sur une route horizontale à vitesse constante de 24 km/h. Les frottements chaussée-pneus et la résistance de l'air sont équivalents à une force unique de même direction que le déplacement d'intensité f = 5 N. Le cycliste et son vélo ont une masse totale M = 72 kg. L'élève émerveillé par la vitesse du cycliste, de retour en classe, il décide avec ses camarades de classe de déterminer l'intensité de la force et la puissance développée par le cycliste

1. Fais le bilan des forces extérieures au cycliste et les représenter sur un schéma clair.
2. Détermine :
   2.1. L'intensité de la force F développée par le cycliste.
   2.2. Le travail de la force pour un déplacement AB = 20 m.
   2.3. La puissance développée par le cycliste.
3. Le cycliste remonte une route inclinée de pente 3% ($\sin\alpha = 0{,}03$) avec la même vitesse de 24 km/h. Les forces résistantes sont les même que précédemment. Détermine :
   3.1. L'intensité de la force développée par le cycliste. (Tu Feras un schéma et tu représenteras les forces appliquées au cycliste).
   3.2. Le travail effectué par le poids du système « cycliste–vélo » après un parcours de d = 100 m sur le plan incliné.
   3.3. La puissance développée par la force .

Exercice 7

Pendant les congés de Toussaint, un élève de 1ère C accompagne son père exploitant forestier dans la forêt du village. Sur le chemin, il aperçoit un bûcheron qui descend son chariot rempli bois sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 20°$ par rapport à l'horizontal. La masse totale du chariot est m = 100 kg. L'ensemble des frottements sur le chariot équivaut à une force unique constante f = 300 N. La force exercée par le bûcheron est supposée constante et parallèle au plan incliné et opposée au déplacement. De retour des congés en classe, Il décide de déterminer l'intensité des forces s'exerçant sur le chariot et la puissance développée par le bûcheron. Il te demande de l'aide. Donnée : g = 10 N/kg.

1. Représente les forces qui s'exercent sur le chariot maintenu en équilibre.
2. Calcule l'intensité de chacune des forces.
3. Le bûcheron descend le pousse-pousse à vitesse constante.
   3.1. Calcule le travail du poids et de la force exercée par le bûcheron sur le chariot après un parcours de d = 20 m.
   3.2. Calcule la puissance moyenne de la force exercée par le bûcheron lors de ce déplacement effectué en 10 min.

Exercice 8

Après la visite dans un établissement préscolaire un élève de ta classe désire déterminer le travail et la puissance des forces appliquées à un enfant de 25 kg qu'il a aperçu jouant à la balançoire dans la cours. La balançoire est constituée d'une planche de masse négligeable et d'une paire de câbles inextensibles de longueur ℓ = 2 m. Elle est écartée de sa position initiale d'un angle θ_0 et lâchée sans vitesse initiale (voir figure). On prendra g = 10 N/kg.

Tu es sollicité pour l'aider dans sa tâche.

1. Fais le bilan et représente les forces agissant sur l'enfant en un point M entre A et B.
2. Sur le même schéma représente le vecteur vitesse $\vec{V}$ de l'enfant en M.
3. Donne l'expression :

   3.1. de z_A, z_M et z_B en fonction de ℓ, θ_0 et θ ;

   3.2. du travail du poids de l'enfant lorsqu'il va de A à M :

   3.2.1. en fonction de z_A et z_M ;

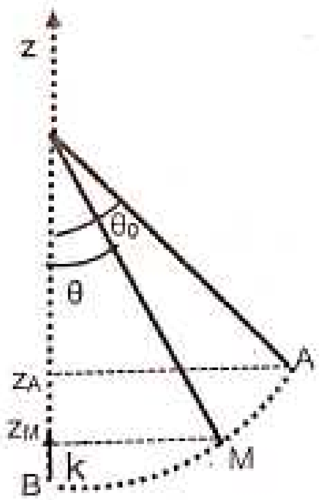
   3.2.2. en fonction de ℓ, θ_0 et θ.

   3.3. Calcule la valeur du travail du poids lorsque l'enfant passe de A à B.
4. Donne l'expression de la puissance :

   4.1. du poids ;

   4.2. de la tension $\vec{T}$ du câble ;

   4.3. calcule la valeur de chacune d'elles.
5. Déduis des questions précédentes la valeur du travail de $\vec{T}$.



CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Je recopie chacune des propositions et j'entoure la lettre V si la proposition est vrai ou la lettre F si la proposition est fausse.

1. la force $\vec{F}_1$ effectue un travail nul : V ou F
2. la force $\vec{F}_2$ exerce un travail résistant : V ou F
3. la force $\vec{F}_3$ exerce un travail moteur : V ou F

Exercice 2

1. J'écris l'expression de la puissance instantanée d'une force $\vec{F}$ appliquée à un solide en mouvement de translation : $p_i(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{v}$
2. Je recopie la bonne expression.

   2.2. $W_{A \to B}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$
3. Je recopie et je complète le texte avec les mots : *algébrique ; indépendante; constante ; joule.*

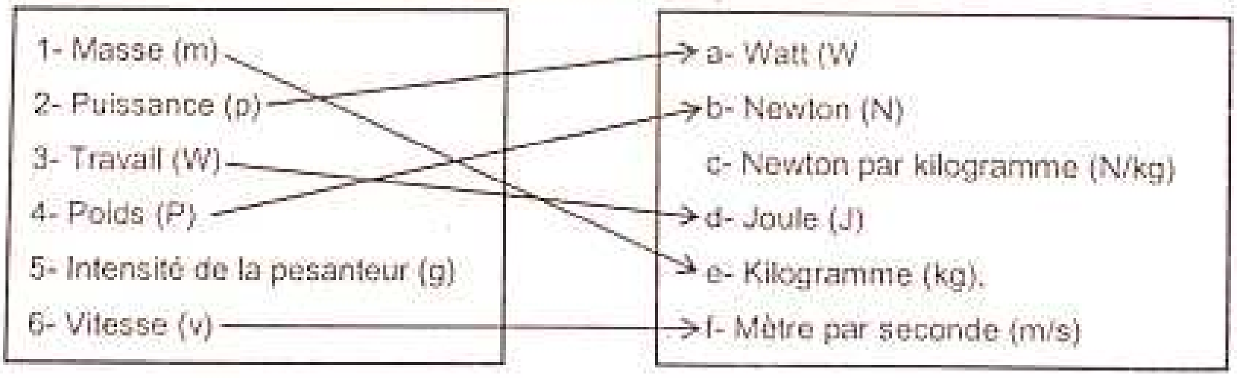
   Le travail et la puissance d'une force sont des grandeurs physiques liées par une relation. Une force *constante* est une force qui garde, au cours du temps, une direction, un sens et une intensité invariable. Le travail de cette force est une grandeur *algébrique* et s'exprime en *joule*. Cette grandeur est *indépendante* du chemin suivi.

Exercice 3

1. Je recopie la bonne expression.

   1.1. $W_{A \to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB}$;
2. Je recopie le bon résultat.

   2.3. p = 60 W.
3. Je recopie et relie par une flèche la grandeur physique à son unité.



Exercice 4

1. Calcul du travail fourni par le poids du pot.

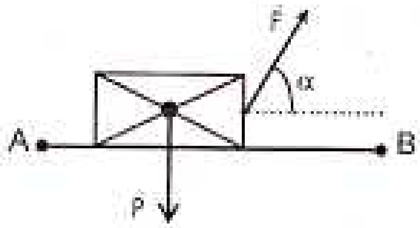
   Le pot chute donc le solide descend. Ainsi le travail de son poids est : $W(\vec{P}) = mgh$

   Application numérique : $W(\vec{P}) = 0{,}5 \times 10 \times 3 \times 3 = 45$ J

   Remarque : la hauteur des 3 étages est $h = 3 \times 3 = 9$ m.

2. Un solide de masse m = 100 g, posé sur un plan horizontal, est tiré à l'aide d'une corde.

2.1. Calculons le travail de la force de traction $\vec{F}$ et du poids $\vec{P}$ du solide.



- Travail de la force de traction $\vec{F}$

$W(\vec{F})_{A\to B} = \vec{F}.\vec{AB} = F \times AB \times \cos\alpha$

A.N. : $W(\vec{F})_{A\to B} = 5 \times 0{,}3 \times \cos 60° = 0{,}75\ N$

- Travail du poids $\vec{P}$ du solide

Le poids $\vec{P}$ est perpendiculaire au déplacement $\vec{AB}$ donc $W(\vec{P})_{A\to B} = 0$

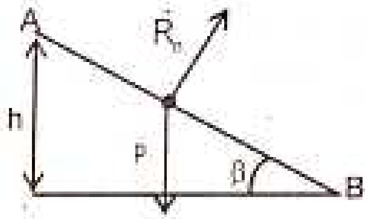
2.2. Calculons le travail de la force de traction $\vec{F}$ si la corde est horizontale.

Si la corde est horizontale on a : α = 0°

$\Rightarrow W(\vec{F})_{A\to B} = F \times AB \times \cos 0° = F \times AB$

A.N. : $W(\vec{F})_{A\to B} = 5 \times 0{,}3 = 1{,}5\ N$

2.3. Travail effectué par le poids du solide et celui de la réaction du plan



➢ Travail effectué par le poids du solide

Le solide descend donc $W(\vec{P})_{A\to B} = mgh$

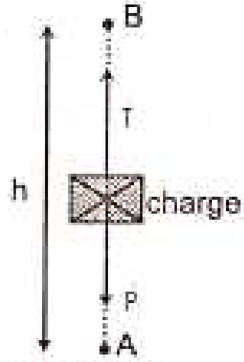
D'après les propriétés métriques du triangle rectangle on a : $h = AB\sin\alpha$

$\Rightarrow W(\vec{P})_{A\to B} = mgAB\sin\alpha$

A.N. : $W(\vec{P})_{A\to B} = 0{,}1 \times 10 \times 0{,}3 \times \sin 30° = 1{,}5.10^{-1}\ J$

➢ Travail de la réaction du plan : $W(\vec{R}_n)_{A\to B} = 0$ car $\vec{R}_n \perp \vec{AB}$

Exercice 5



1) Bilan des forces qui s'exercent sur la charge et leurs représentations

- Système : charge
- Bilan des forces extérieures :
  - la tension $\vec{T}$ du câble ;
  - le poids $\vec{P}$ de la charge.

2) Enoncé du principe d'inertie

Dans un mouvement rectiligne uniforme, la somme des forces extérieures s'exerçant sur un solide est égale au vecteur nul.

3) Valeur de la tension du câble qui soulève la charge.

La charge est animée d'un mouvement rectiligne uniforme.

Donc d'après le principe de l'inertie on peut écrire : $\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$.

Ainsi on a :

➢ les forces $\vec{P}$ et $\vec{T}$ sont de sens contraires : $\vec{P} = -\vec{T}$;

➢ les forces $\vec{P}$ et $\vec{T}$ ont la même intensité ou valeur : P = T = mg

$\Rightarrow T = 500 \times 10 = 5\ 000\ N = 5.10^3\ N$

4) **Travail de la tension du câble et du poids de la charge lors du déplacement.**

La tension du câble est une force constante. Son travail est donné par :

- $W(\vec{T})_{A\to B} = \vec{T}.\vec{AB} = T \times AB = mgh = 5.10^3 \times 20 = 10^5$ J.
- La charge monte donc le travail de son poids est résistant :

$W(\vec{P})_{A\to B} = -mgh = -W(\vec{T})_{A\to B} = -10^5$ J

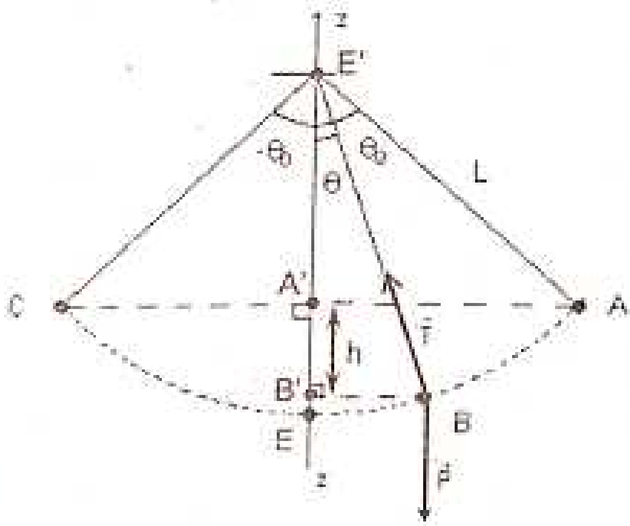
5) **Déterminons la puissance de la tension du câble.**

$$\mathcal{P} = \frac{W(\vec{T})_{A\to B}}{\Delta t} = \frac{10^5}{18} = 5{,}56.10^3 \text{ W}$$

Exercice 6

1) **Inventaire des forces qui s'appliquent à la bille et leurs représentations.**

- Système : la bille
- Bilan des forces :
  - poids $\vec{P}$ de la bille.
  - tension $\vec{T}$ du fil.



2) **Expression du travail du poids de la bille entre sa position initiale et une position θ.**

Le déplacement se fait vers le bas donc :

$W(\vec{P})_{A\to B} = mgh$; où $h = EA' - EB' = z_A - z_B$

- **Détermination de z_A**

$z_A = EA' = E'E - E'A' = L - E'A'$

D'après les propriétés métriques du triangle rectangle E'AA' on a :

$\cos\theta_0 = \frac{E'A'}{E'A} = \frac{E'A'}{L} \Rightarrow E'A' = L\cos\theta_0 \Rightarrow z_A = L - L\cos\theta_0$

- **Détermination de z_B**

$z_B = EB' = E'E - E'B' = L - E'B'$

D'après les propriétés métriques du triangle rectangle E'BB' on a :

$\cos\theta = \frac{E'B'}{E'B} = \frac{E'B'}{L} \Rightarrow E'B' = L\cos\theta \Rightarrow z_B = L - L\cos\theta$

- **Expression du travail du poids**

$W(\vec{P})_{A\to B} = mg(z_A - z_B) = mg(L - L\cos\theta_0 - L + L\cos\theta) = mgL(\cos\theta - \cos\theta_0)$

3) **Le travail du poids de cette bille entre la position initiale et la position d'équilibre θ_E.**

Pour la position d'équilibre on a : $W(\vec{P})_{A\to E} = mgL(\cos\theta_E - \cos\theta_0)$

$\theta_E = 0 \Rightarrow \cos\theta_E = 1 \Rightarrow W(\vec{P})_{A\to E} = mgL(1 - \cos\theta_0)$

Application numérique : $W(\vec{P})_{A\to E} = 50.10^{-3} \times 10 \times 0{,}60 \times (1 - \cos 30°) = 4.10^{-2}$ J

4) **Déterminons le travail du poids de la bille entre les positions repérées par θ_0 et $-\theta_0$.**

D'après le développement proposé à la question 1, si les positions A et C du pendule sont repérées par les angles θ_0 et $-\theta_0$, alors $z_A = z_B$ et $W(\vec{P})_{A\to B} = 0$.

5) **Déterminons le travail de la tension du fil entre 2 positions quelconques du pendule.**
La tension du fil est constamment orthogonale au déplacement de la sphère. En effet, elle est de même direction que le fil qui est un rayon de la trajectoire. Et le rayon d'un cercle est orthogonal à la tangente au cercle c'est-à-dire au mouvement. Donc son travail est nul.

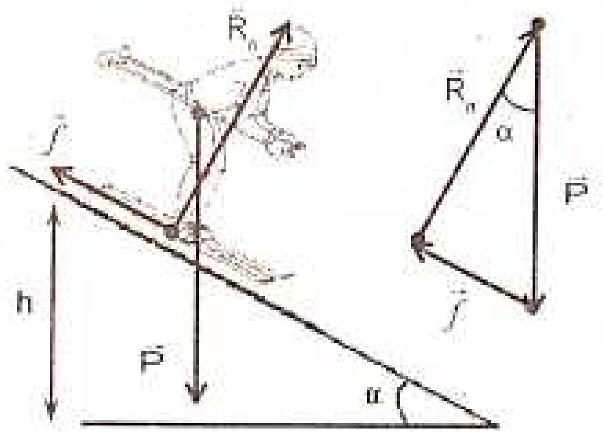
Exercice 7

1) **Déterminons le travail du poids de 1,0 m³ d'eau entre le barrage et la turbine.**
La masse volumique de l'eau est $\mu = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$.
La masse de 1 m³ d'eau est donc m = 1000 kg.
Le travail du poids de cette masse d'eau est donné par :
$W(\vec{P}) = mgh \Rightarrow W(\vec{P}) = 1000 \times 10 \times 800 \Rightarrow W(\vec{P}) = 8.10^6$ J.

2) **Déterminons la puissance $\mathscr{P}$ de cette chute d'eau si son débit est $D = 30 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.**
Le volume d'eau débité par la chute pendant la durée Δt est : $V = D \times \Delta t$
La masse d'eau correspondante est : $m = \mu \times V \Rightarrow m = \mu \times D \times \Delta t$
Le travail du poids de cette masse d'eau est alors : $W(\vec{P}) = mgh \Rightarrow W(\vec{P}) = \mu \times D \times \Delta t \times g \times h$
La puissance correspondante est : $\mathscr{P} = \dfrac{W(\vec{P})}{\Delta t} = \dfrac{\mu \times D \times \Delta t \times g \times h}{\Delta t} = \mu \times D \times g \times h$
Application numérique : $\mathscr{P} = 1000 \times 30 \times 10 \times 800 = 2{,}4.10^8$ W

3) **Débit D' d'une chute d'eau de même h pour que sa puissance soit de 1000 MW.**
$$p' = \mu \times D' \times g \times h \Rightarrow D' = \frac{p'}{\mu \times g \times h} = \frac{1000.10^6}{1000 \times 10 \times 800} = 125 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$$

Exercice 8



1) **Bilan des forces agissant sur le skieur et représentation sur un schéma clair.**
- Système : le skieur
- Bilan des forces :
  - poids $\vec{P}$ du skieur.
  - réaction normale $\vec{R}_n$ de la piste ;
  - force de frottement $\vec{f}$ de la piste sur les skis.

2) **Calcul de la valeur de la force $\vec{f}$ par la méthode géométrique**
En utilant le triangle des forces représenté ci-dessus on a :
$$\sin\alpha = \frac{f}{P} = \frac{f}{mg} \Rightarrow f = mg\sin\alpha$$
Application numérique : $f = 90 \times 10 \times \sin 30° = \underline{450 \text{ N}}$

3) **Calcul du travail de $\vec{f}$ lorsque le skieur parcourt d = 100 m dans ces conditions.**
$$W_{A\to B}(\vec{f}) = \vec{f}.\overrightarrow{AB} = f \times AB \times \cos(\vec{f}, \overrightarrow{AB}) = f \times d \times \cos 180° = f \times d \times (-1) = -f \times d$$
Application numérique : $W_{A\to B}(\vec{f}) = -450 \times 100 = \underline{-45\,000 \text{ J}}$

4) **Calcul du travail du poids du skieur pour ce même parcours.**

Le skieur descend donc $W_{A\to B}(\vec{P}) = mgh = mgAB\sin\alpha = mgd\sin\alpha$

Car d'après les propriétés métriques du triangle rectangle : $h = AB\sin\alpha = d\sin\alpha$

$W_{A\to B}(\vec{P}) = 90 \times 10 \times 100 \times \sin 30° = \underline{45\,000\ J}$

5) **Calcul de la puissance instantanée de la force $\vec{f}$.**

$$\mathcal{P}_i(\vec{f}) = \vec{f}.\vec{v} = f \times v \times \cos(\vec{f},\vec{v}) = f \times v \times \cos 180° = f \times v \times (-1) = -f \times v$$

Application numérique : $\mathcal{P}_i(\vec{f}) = -450 \times 20 = \underline{-9\,000\ W}$

Exercice 9

Calculons le travail de la force $\vec{F}$ entre les points A et D.

Le travail d'une force constante ne dépend pas du chemin suivi mais des positions de départ et d'arrivée. Donc on a : $W_{A\to D}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AD}$

Application numérique : $\vec{AD}\begin{pmatrix} x_D - x_A \\ y_D - y_A \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{AD}\begin{pmatrix} 5-1 \\ 3-1 \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{AD}\begin{pmatrix} 4 \\ 2 \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{AD} = 4\vec{i} + 2\vec{j}$

$\Rightarrow W_{A\to D}(\vec{F}) = (200\vec{i} - 100\vec{j}).(4\vec{i} + 2\vec{j}) = (200 \times 4)\vec{i}.\vec{i} + (200 \times 2 - 100 \times 4)\vec{i}.\vec{j} + (-100 \times 2)\vec{j}.\vec{j}$

$\Rightarrow W_{A\to D}(\vec{F}) = (200 \times 4) \times 1 + (200 \times 2 - 100 \times 4) \times 0 + (-100 \times 2) \times 1 = 800 - 200 = \underline{600\ J}$

Exercice 10 (1ère C uniquement)

1. **Calcul de la constante de raideur k de ce ressort.**

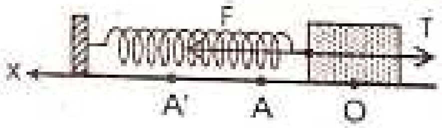
Soient $\vec{T}$ la tension du ressort et $\vec{F}$ la force exercée par le solide sur le ressort.

Ces deux forces ont la même direction, des sens contraires et la même valeur.

D'après la loi de Hooke on a :

$F = T = kx$ où $x = a = 1\ cm = 10^{-2}\ m$

Donc : $F = ka \Rightarrow k = \frac{F}{a} = \frac{3}{10^{-2}} = 300\ N.m^{-1}$



2. **Détermination du travail fourni par le solide au ressort lors de la compression.**

$$W_{O\to A}(\vec{F}) = \frac{1}{2}ka^2 = \frac{1}{2} \times 300 \times (10^{-2})^2 = 1{,}5.10^{-2}\ J$$

3. **Travail de la tension du ressort**

$$W(\vec{T})_{O\to A} = -W(\vec{F})_{O\to A} = -\frac{1}{2}ka^2 = -1{,}5.10^{-2}\ J$$

4. **A partir de l'état final on raccourcit encore le ressort de 1 cm en appuyant sur le solide.**

4.1. **Calculons le travail de la tension du ressort pendant le déplacement.**

La compression totale du ressort est maintenant de : $a' = 1 + 1 = 2\ cm = 2.10^{-2}\ m$.

Le travail $W(\vec{T})_{x_i\to x_f}$ de la tension d'un ressort entre deux positions d'abscisses x_i et x_f est donné par l'expression suivante : $W(\vec{T})_{x_i\to x_f} = \frac{1}{2}k(x_i^2 - x_f^2)$

$$\Rightarrow W(\vec{T})_{O\to A'} = \frac{1}{2}k(a^2 - a'^2) = \frac{1}{2} \times 300 \times ((10^{-2})^2 - (2.10^{-2})^2) = -4{,}5.10^{-2}\ J$$

4.2. **Déduisons le travail de la force $\vec{F}$ exercée par le solide sur le ressort.**

$$W(\vec{F})_{O\to A'} = -W(\vec{T})_{O\to A'} = -\frac{1}{2}k(a^2 - a'^2) = 4{,}5.10^{-2}\ J$$

Leonhard Paul Euler
(15 avril 1707 – 18 septembre 1783)
Mathématicien et Physicien Suisse

Leçon 2 : (1ère C)
TRAVAIL ET PUISSANCE DES FORCES DANS LE CAS D'UN MOUVEMENT DE ROTATION

Doué d'une imagination créatrice exceptionnelle, il enrichit de ses découvertes l'analyse mathématique pure et appliquée. Il publie en 1736 le traité de mécanique générale où, pour la première fois, la mécanique du point matériel est conçue et exposée comme une science rationnelle. En 1970, il définit centre d'inertie et moment d'inertie et il étudie systématiquement le mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe.

TABLEAU DES HABILETES

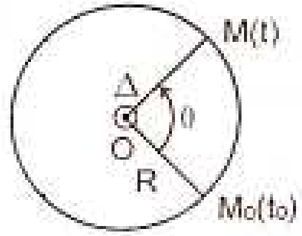
HABILETES	CONTENUS
Connaître	les caractéristiques du mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe : - abscisse curviligne. - abscisse angulaire. - vitesse linéaire. - vitesse angulaire.
Définir	un couple de forces.
Connaître	• L'expression du moment d'un couple de forces. • L'expression du travail d'une force agissant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe. • L'expression de la puissance d'une force agissant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe.
Déterminer	• le travail d'une force agissant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe. • la puissance d'une force agissant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe.
Utiliser	les relations : • $W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta \times \theta$ • $p = \mathcal{M}_\Delta \times \omega$

RAPPEL DE COURS

1. Mouvement de rotation d'un solide

1.1. Définition

On dit qu'un solide est en rotation autour d'un axe fixe si chacun de ses points a un mouvement circulaire centré sur cet axe.



1.2. Repérage d'un point

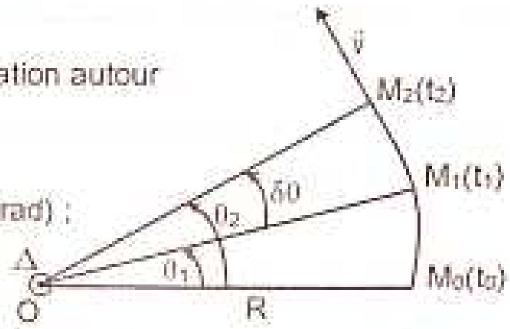
- abscisse angulaire : $\theta = (\overrightarrow{OM_0}, \overrightarrow{OM})$ en rad
- abscisse curviligne : $s_M = M_0M = R\theta$ en m

1.3. Vitesse d'un point en mouvement de rotation

1.3.1. Vitesse angulaire

La vitesse angulaire ω du point M du solide en rotation autour de l'axe Δ à la date t est : $\boxed{\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}}$

- $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$: angle de rotation en radians (rad) ;
- Δt : durée de rotation en seconde (s) ;
- ω : vitesse angulaire en rad/s.



1.3.2. Vitesse linéaire

La vitesse linéaire v du point M du solide en rotation autour de l'axe (Δ) est : $\boxed{v = R.\omega}$

- R : rayon du cercle décrit par M en mètre (m) ;
- ω : vitesse angulaire en radian par seconde (rad/s) ;
- v : vitesse linéaire en mètre par seconde (m/s).

2. Moment d'une force par rapport à un axe de rotation

2.1. Définition

- 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 l'intensité de cette force par la distance d qui sépare la droite d'action de la force à l'axe de rotation de manière orthogonale.
- Le moment est une grandeur algébrique et s'exprime en N.m. :
  - 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).

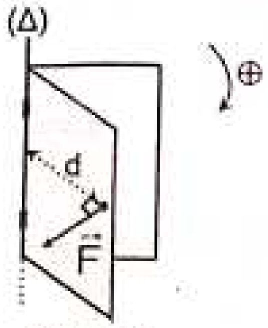


Figure 1

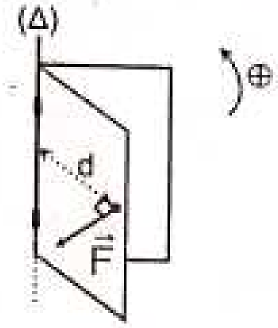


Figure 2

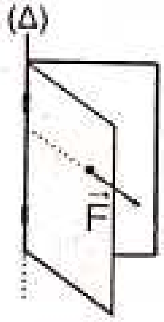


Figure 3

2.2. Conditions d'équilibre

- La somme des moments des forces appliquées au solide est nulle : $\Sigma \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}_{ext}) = 0$
- La somme des forces appliquées au solide est nulle : $\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{0}$

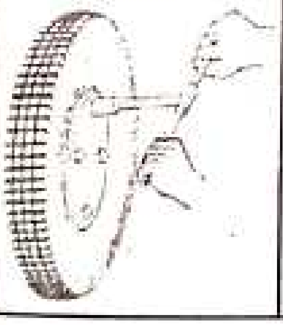
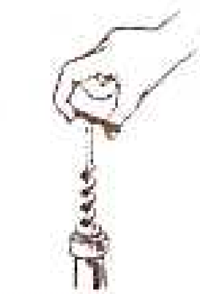
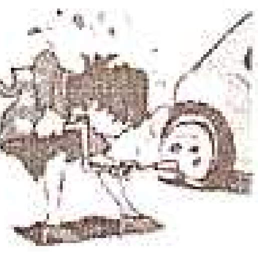
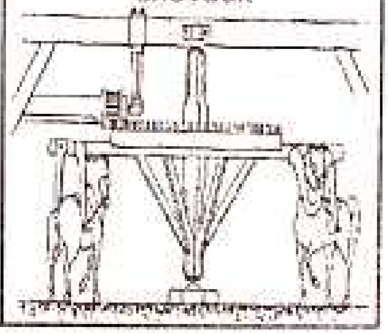
3. <u>Couples de forces</u>

3.1. Définition

On appelle couple de forces l'ensemble de deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ non confondues ayant :

- la même direction ;
- des sens inverses ;
- la même intensité ($F_1 = F_2$) ;

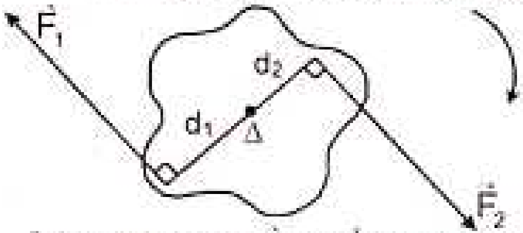
Exemples :

Visser un boulon	Visser un tire-bouchon	Dévisser un boulon	Moulin actionné par des chevaux
			

Remarque : un couple de forces appliqué à un solide pouvant tourné autour d'un axe fixe provoque sa rotation.

3.2. Moment d'un couple

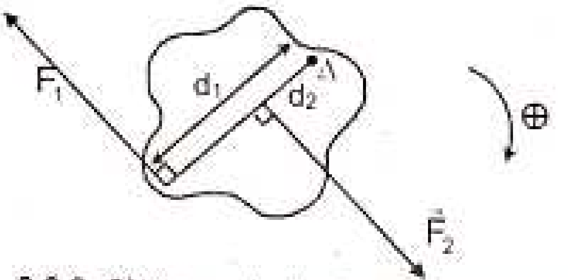
3.2.1. 1er cas : $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ agissent de part et d'autre de l'axe Δ.



$$\boxed{\mathcal{M}_C = F \times d}$$

avec $F = F_1 = F_2$ et $d = d_1 + d_2$.

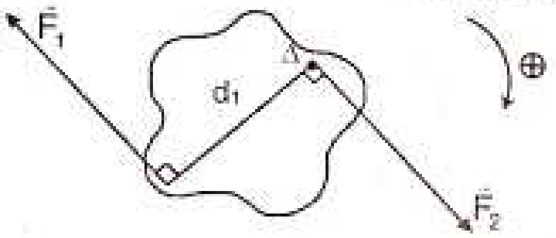
3.2.2. 2ème cas : $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ s'appliquent du même côté de l'axe Δ.



$$\boxed{\mathcal{M}_C = F \times (d_1 - d_2)}$$

avec $F = F_1 = F_2$.

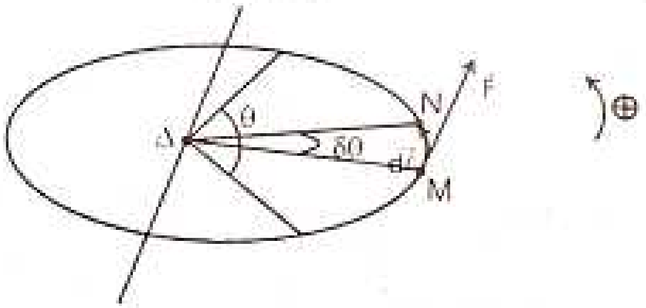
3.2.3. 3ème cas : la droite d'action de l'une des forces rencontre l'axe Δ.



$$\boxed{\mathcal{M}_C = F_1 \times d_1}$$

4. Travail d'une force orthogonale à l'axe de rotation

4.1. Travail élémentaire de $\vec{F}$



$$\boxed{\delta W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \delta\theta}$$

4.2. Travail d'une force $\vec{F}$ dont le moment est constant

$W(\vec{F}) = \Sigma\delta W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \Sigma\delta\theta$ avec $\Sigma\delta\theta = \theta \Rightarrow \boxed{W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \theta}$

Remarque :

- Si le solide effectue n tours, $\theta = 2\pi n$ donc $W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times 2\pi n$
- Le travail s'exprime en joule (J).

4.3. Travail d'un couple de forces

$$\boxed{W_C = \mathcal{M}_{C/\Delta} \times \theta}$$

5. Puissance développée par une force lors d'une rotation

5.1. Puissance moyenne

$$\mathscr{P}_m = \frac{W(\vec{F})}{\Delta t}$$

5.2. Puissance instantanée

a) Cas d'une force en rotation

$$p = \frac{\delta W(\vec{F})}{\delta t} = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \frac{\delta\theta}{\delta t} \text{ avec } \omega = \frac{\delta\theta}{\delta t} \Rightarrow \boxed{p = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \omega}$$

b) Cas d'un couple de forces

$$\boxed{p = \mathcal{M}_{c/\Delta} \times \omega}$$

Remarque :

- Si le mouvement de rotation est uniforme, la puissance moyenne est égale à la puissance instantanée.
- La puissance s'exprime en watt (W).

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si la proposition est fausse.

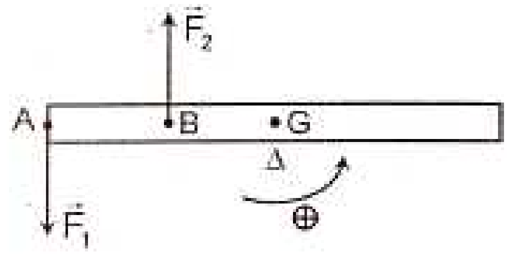
1. Tous les points, hors de l'axe de rotation d'un solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe décrivent un mouvement circulaire.
2. Tous les points d'un solide en rotation autour d'un axe fixe ont la même vitesse instantanée.
3. Le moment d'un couple de force est indépendant de la position de l'axe de rotation.
4. Le travail d'une force de moment constant $W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \theta$.
5. Si le mouvement rotation est uniforme, les puissances moyenne et instantanée sont égales.
6. La vitesse angulaire permet de repérer un solide en rotation autour d'un axe fixe.
7. Le travail d'un couple de forces est toujours positif.

Exercice 2

Une règle plate mobile autour d'un axe Δ qui lui est perpendiculaire (Δ passe par le centre d'inertie G de la barre) est soumise à un couple de forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ d'intensité F.

Choisis la bonne réponse dans la liste des réponses données :

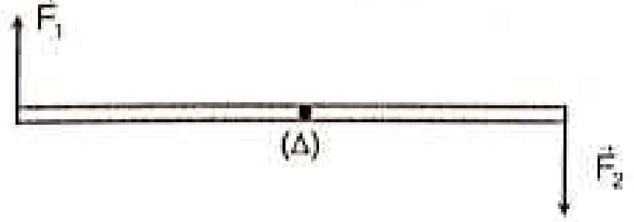
1) La barre tourne :
   1.1. dans le sens positif
   1.2. dans le sens négatif
2) L'expression du moment du couple est :
   2.1. $\mathcal{M}_{c/\Delta} = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1) - \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_2)$
   2.2. $\mathcal{M}_{c/\Delta} = F \times AB$

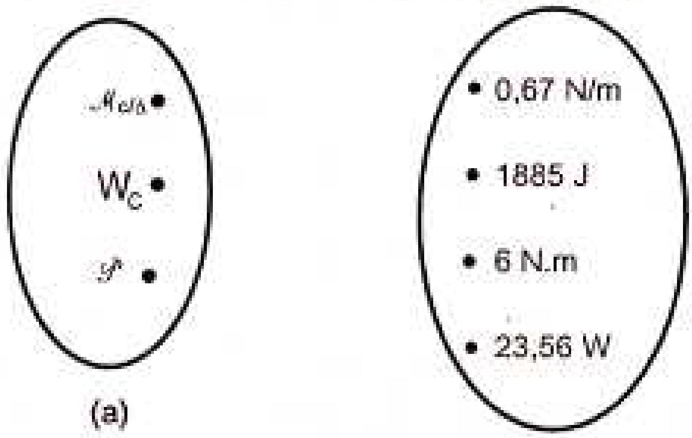


Exercice 3

Une tige métallique est mise en mouvement autour d'un axe Δ qui lui est perpendiculaire en exerçant le couple de forces $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ à ses extrémités A et B. Les directions de $\vec{F}_1$ et de $\vec{F}_2$ sont constantes et orthogonales à AB. On donne $F_1 = F_2 = 20$ N et AB = 30 cm.

Sachant que cette tige effectue 50 tours en 1 min 20 s, recopie les diagrammes a et b puis relie chaque grandeur à sa valeur numérique.





(a) (b)

Exercice 4

Un disque placé sur une platine d'un électrophone tourne à raison de 33 tours par minute.

Entoure la bonne réponse dans chaque cas :

1. La vitesse angulaire en rad/s est :

   a. 4,6 b. 3,46 c. 2,5

2. La vitesse linéaire d'un point A situé à la distance R = 12 cm de l'axe de rotation est :

   a . 0,3 m/s b. 0,5 m/s c. 0,41 m/s

   $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$

3. Un point B d'un « 45 tours » a la même vitesse linéaire que le point A précédent

   La distance R' entre le point B et l'axe de rotation vaut :

   a. 8,7 cm b. 0,5 cm c. 7,5 cm

   $S = R \cdot \alpha$

   $0,12 \cdot 33 \cdot 2\pi$

Exercice 5

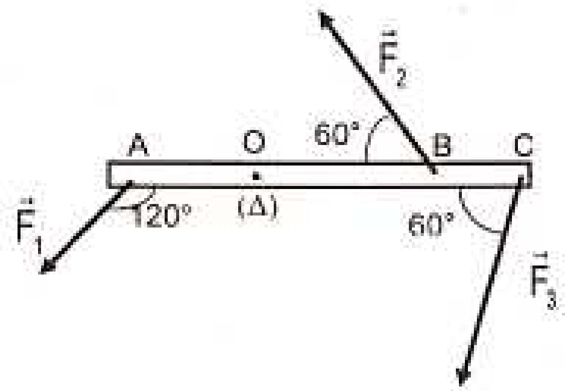
Une règle de masse négligeable est mobile autour d'un axe Δ horizontal passant par O.

Elle est maintenue en équilibre par trois forces situées dans un plan perpendiculaire à l'axe (Δ).

On donne : OA = 20 cm ; OB = 30 cm ;

OC = 40 cm ; F_1 = 170 N ; F_2 = 300 N

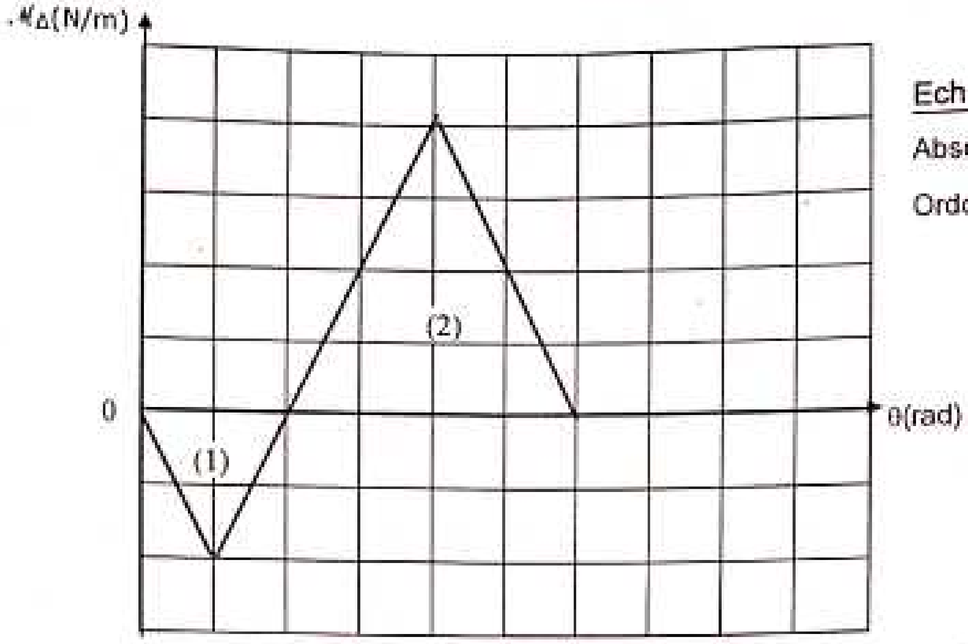
1. Enonce la condition d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe.
2. Calcule le moment de la force $\vec{F}_3$.
3. Déduis en la valeur de la force $\vec{F}$.



Exercice 6

Un moteur exerce un couple sur l'arbre dont la valeur du moment est représentée en fonction de l'angle de rotation par le graphique.

1. Calcule le travail au cours d'un tour.
2. Détermine la puissance moyenne de ce moteur à 3000 trs/min.



Echelle :

Abscisse : 1 cm pour $\frac{\pi}{6}$

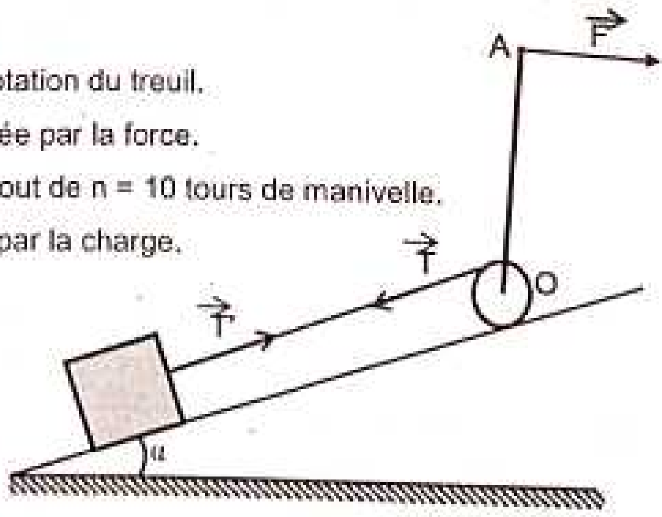
Ordonnée : 1 cm pour 400 N.m

Exercice 7

Pendant les vacances scolaires, un élève de 1ère C accompagne son père sur un chantier de construction de bâtiments. Il remarque que pour faire monter le béton, un ouvrier utilise un treuil qui est constitué d'une poulie de rayon r solidaire d'une manivelle OA de longueur ℓ. Une force $\vec{F}$ d'intensité constante, s'exerçant perpendiculairement en A à OA, permet de faire monter la charge de masse (m) sur un plan incliné (voir figure). La charge monte à vitesse constante de V = 1 m/s. Le fil est sans masse (T = T'). De retour des congés, il décide avec ses camarades de classe de déterminer le travail et la puissance développée par la force de cet ouvrier.

On te donne : $\alpha = 30°$; m = 20 kg ; ℓ = 0,5 m ; r = 15 cm ; g = 10 N/kg.

1. Rappelle la condition de rotation uniforme.
2. En appliquant le principe de l'inertie, exprime T en fonction de P et α.
3. Calcule :
   - 3.1. L'intensité F de la force.
   - 3.2. La vitesse angulaire de rotation du treuil.
   - 3.3. La puissance P développée par la force.
   - 3.4. Le travail de la force au bout de n = 10 tours de manivelle.
   - 3.5. La longueur L parcourue par la charge.



EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Associe à chaque chiffre la lettre F si la proposition est fausse ou la lettre V si elle est vraie.

1- La vitesse angulaire permet de repérer un solide en rotation autour d'un axe fixe.

2- La vitesse angulaire dépend de la distance du point à l'axe de rotation.

3- Tous les points d'un solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe ont la même vitesse angulaire à tout instant.

4- Dans un couple de forces, les intensités des forces sont égales.

5- Le travail d'une force en rotation est indépendant de la position de l'axe.

6- Le travail d'un couple de forces est toujours positif.

3600

Exercice 2

Une montre-bracelet possède trois aiguilles qui ont un mouvement circulaire uniforme autour d'un axe fixe : aiguilles des secondes (trotteuse), des minutes (grande aiguille) et des heures (petite aiguille).

Recopie la bonne réponse pour chaque proposition, en écrivant le chiffre suivi de la lettre correspondante.

1- La vitesse angulaire de la trotteuse (aiguille des secondes) pour un tour est :

a) $\omega = 0,12$ rad/s b) $\omega = 0,105$ rad/s c) $\omega = 0,25$ rad/s

2- La vitesse angulaire de la grande aiguille (aiguille des minutes) pour un tour est :

a) $\omega = 1,25.10^{-3}$ rad/s b) $\omega = 1,85.10^{-3}$ rad/s c) $\omega = 1,74.10^{-3}$ rad/s

3- La vitesse angulaire de la petite aiguille (aiguille des heures) pour un tour est :

a) $\omega = 1,45.10^{-4}$ rad/s b) $\omega = 1,75.10^{-4}$ rad/s c) $\omega = 1,25.10^{-4}$ rad/s

4- La vitesse linéaire de l'extrémité de la grande aiguille de longueur $\ell = 1,7$ cm (distance entre l'axe et l'extrémité) vaut :

a) $V = 3,2.10^{-5}$ m/s b) $V = 2,5.10^{-5}$ m/s c) $V = 2,975.10^{-5}$ m/s

5- La vitesse linéaire de l'extrémité de la trotteuse de longueur $\ell = 1,2$ cm (distance entre l'axe et l'extrémité) vaut :

a) $V = 1,26.10^{-3}$ m/s b) $V = 2,51.10^{-3}$ m/s c) $V = 1,75.10^{-3}$ m/s

Exercice 3

Une roue à aiguiser les couteaux a un diamètre d = 20 cm. On appuie un couteau sur la pierre de manière à ce qu'elle exerce une force tangentielle de 8 N.

Evalue le moment et la puissance du moteur qui entraîne la roue à 200 trs/min.

Exercice 4

Un moteur de 3 kW fait tourner une scie circulaire par l'intermédiaire d'une courroie.

Calcule le moment $\mathcal{M}$ exercé par les courroies sur la scie si elle tourne à 300 trs/min.

$\mathcal{M} = F \cdot d$

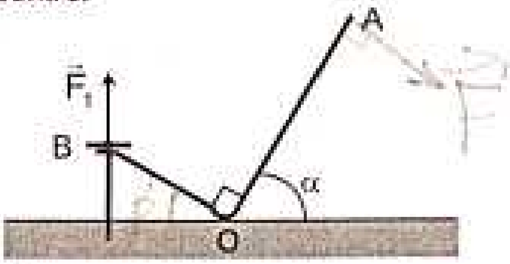
Exercice 5

Un arrache-clou est représenté sur la figure ci-contre.

Une force $\vec{F}_1$ d'intensité 200 N est nécessaire pour arracher un clou.

Calcule la force minimale $\vec{F}$ à exercer perpendiculairement à la tige OA pour arracher ce clou.

On donne : OB = 5 cm, OA = 30 cm, $\alpha = 60°$.



Exercice 6

Un moteur d'automobile fournit aux roues motrices (diamètre d = 50 cm), par l'intermédiaire de la boite de vitesse et des cardans, une puissance $\mathcal{P}$ = 80 kW.

Cette puissance est également répartie entre les roues avant du véhicule (traction avant).

Calcule le moment des forces motrices par rapport à l'axe de chaque roue lorsque la voiture roule, sans patiner, à la vitesse de 120 km.h^{-1}.

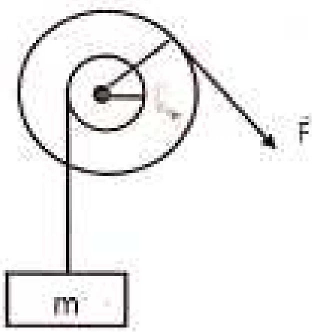
$\mathcal{M} = \frac{P}{W} =$

Exercice 7

Pendant les vacances scolaires, un élève de 1ère C accompagne son père sur un chantier de construction de bâtiments. Il remarque que pour faire monter le béton, un ouvrier utilise une poulie à deux gorges de rayons r = 2 cm et R = 20 cm pour monter une charge de masse m = 20 kg à une vitesse constante V = 0,3 m/s (voir schéma ci-contre). De retour des vacances, il décide avec ses camarades de classe de déterminer la force exercée par l'ouvrier et la puissance développée par la force $\vec{F}$ de cet ouvrier. On te donne g = 10 N/kg.

1- Détermine et représente la force exercée par la corde sur le cylindre de rayon r.

2- En utilisant le théorème des moments, détermine l'intensité F_0 de la force $\vec{F}$ à appliquer à la corde enroulée sur la grande poulie pour provoquer la montée de la charge.



3- En fait, la force appliquée possède une intensité $F = 1{,}2F_0$. Calcule le moment du couple de frottement $\mathcal{M}_C$ sachant que la poulie a un mouvement circulaire uniforme.

4- Calcule la puissance de la force motrice. (On négligera la masse des cordes).

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si la proposition est fausse.

1. Tous les points, hors de l'axe de rotation d'un solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe décrivent un mouvement circulaire : V
2. Tous les points d'un solide en rotation autour d'un axe fixe ont la même vitesse instantanée : F
3. Le moment d'un couple de force est indépendant de la position de l'axe de rotation : V
4. Le travail d'une force de moment constant $W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \theta$: V
5. Si le mouvement rotation est uniforme, les puissances moyenne et instantanée sont égales : V
6. La vitesse angulaire permet de repérer un solide en rotation autour d'un axe fixe : F
7. Le travail d'un couple de forces est toujours positif : F

Exercice 2

Je choisis la bonne réponse dans la liste des réponses données :

1) La barre tourne :

   1.1. dans le sens positif

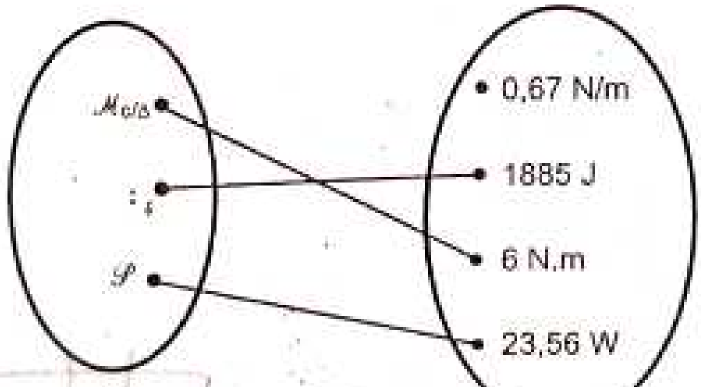
2) L'expression du moment du couple est :

   2.1. $\mathcal{M}_{c/\Delta} = \mathcal{M}_\Delta(\vec{\;}) - \mathcal{M}_\Delta(\vec{\;})$

Kt = W
3000

Exercice 3

Je recopie les diagrammes a et b puis je relie chaque grandeur à sa valeur numérique.



(a) (b)

Kt W
86 000

Exercice 4

J'entoure la bonne réponse dans chaque cas :

1. La vitesse angulaire en rad/s est :

   a. 4,6 $\boxed{\text{b. } 3{,}46}$ c. 2,5

2. La vitesse linéaire d'un point A situé à la distance R = 12 cm de l'axe de rotation est :

   a . 0,3 m/s b. 0,5 m/s $\boxed{\text{c. } 0{,}41 \text{ m/s}}$

3. La distance R' entre le point B et l'axe de rotation vaut :

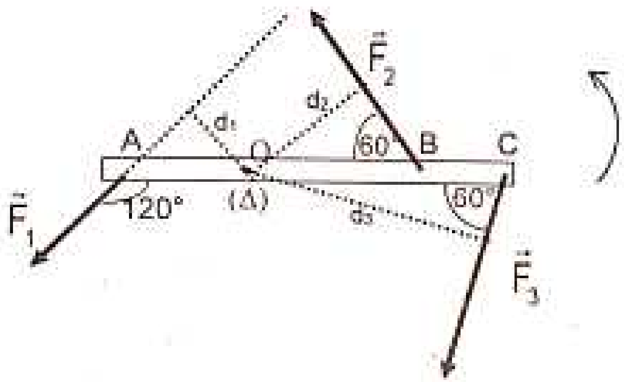
   $\boxed{\text{a. } 8{,}7 \text{ cm}}$ b. 0,5 cm c. 7,5 cm

Exercice 5

1. **Enoncé de la condition d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe.**

   Lorsqu'un solide mobile autour d'un axe fixe est en équilibre, la somme algébrique des moments, par rapport à cet axe, des forces extérieures qui lui sont appliquées, est nulle : $\Sigma\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_{ext}) = 0$.

2. **Calcul du moment de la force $\vec{F}_3$.**



D'après la condition d'équilibre on a : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_2) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = 0$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = -(\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_2))$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = -(F_1d_1 + F_2d_2)$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = -[F_1OA\sin(180°-120°) + F_2OB\sin(60°)]$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = -[170\times0{,}2\times\sin(180° - 120°) + 300\times0{,}3\times\sin(60°)]$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = -[170\times0{,}2\times\sin(180° - 120°) + 300\times0{,}3\times\sin(60°)]$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = -107{,}39$ **N.m**

3. **Déduction de la valeur de la force $\vec{F}$.**

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = -F_3d_3 \Rightarrow F_3 = -\dfrac{\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3)}{d_3}$ avec $d_3 = OC\sin60°$

Application numérique : $F_3 = -\dfrac{(-107{,}39)}{0{,}4\sin60°} \Rightarrow F_3 = 301{,}35\,\text{N}$

Exercice 6

1. **Calcul du travail au cours d'un tour.**

N.B. : Un tour correspond à $\theta = 2\pi$. Et 1 cm^2 correspond à $400 \times \frac{\pi}{6} = 209,4$ J

Le travail W est proportionnel à la différence d'aire des deux triangles (1) et (2).

$W = 2(A_2 - A_1) \times 209,4$

✓ $A_2 = \frac{4 \times 4}{2} = 8\ cm^2$

✓ $A_1 = \frac{2 \times 2}{2} = 2\ cm^2$

$\Rightarrow W = 2(8 - 2) \times 209,4 = \underline{2512,8\ J}$

2. **Détermination de la puissance moyenne de ce moteur à 3000 trs/min.**

$P_m = \frac{W}{\Delta t}$

Le moteur tourne à 3000 trs/min ; soit la fréquence N = 50 trs/s.

Calculons le temps mis Δt pour un tour :

$\Delta t = \frac{1}{N} \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{50} = 0,02\ s$

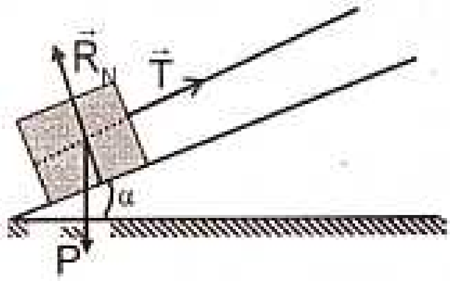
$P_m = \frac{2512,8}{0,02} \Rightarrow P_m = 1,26.10^5\ W$

Exercice 7

1. **Condition de rotation uniforme**

Un solide mobile autour d'un axe fixe est en rotation uniforme si la somme algébrique des moments par rapport à cet axe, de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées est nulle.

2. **Expression de T en fonction de P et α.**



✓ Système : la charge

✓ Bilan des forces :

- Le poids $\vec{P}$ de la charge.
- La réaction normale $\vec{R}_N$ du plan incliné.
- La tension $\vec{T}$ du câble

La charge monte à vitesse constante. D'après le principe d'inertie : $\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{T} = \vec{0}$

Projetons cette relation vectorielle sur l'axe (x'x) colinéaire au plan incliné.

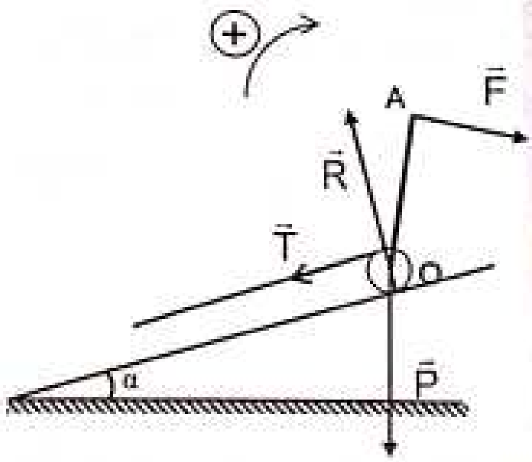
$-P\sin\alpha + T' = 0 \Rightarrow T' = P\sin\alpha$

or $T = T'$

Donc $T = P\sin\alpha$

3. Calcul de :

3.1. l'intensité F de la force $\vec{F}$.



- ✓ Système : le treuil
- ✓ Bilan des forces
  - ➢ La force $\vec{F}$ appliquée en B
  - ➢ La tension $\vec{T}$ du fil.
  - ➢ La réaction $\vec{R}$ de l'axe de rotation.
  - ➢ Le poids $\vec{P}$ du treuil.

D'après la condition de rotation uniforme :

$\Sigma \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_{ext}) = 0$.

La réaction $\vec{R}$ et le poids $\vec{P}$ rencontre l'axe donc $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) = 0$

Donc $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) - \mathcal{M}_\Delta(\vec{T}) = 0$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{T})$

$F\ell = Tr \Rightarrow F = \frac{Tr}{\ell}$

Application numérique : $F = \frac{20 \times 10 \times 0,15}{0,5} \Rightarrow F = 60\,N$

3.2. la vitesse angulaire de rotation du treuil

$V = r\omega \Rightarrow \omega = \frac{V}{r}$

Application numérique : $\omega = \frac{1}{0,15} \Rightarrow \omega = 6,67\ rad/s$

3.3. la puissance P développée par la force $\vec{F}$

$P = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \omega = F\ell\omega$

Application numérique : $P = 60 \times 0,5 \times 6,67 \Rightarrow P = 200,1\ W$

3.4. le travail de la force au bout de n = 10 tours

$W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \theta$ avec $\theta = 2\pi n$

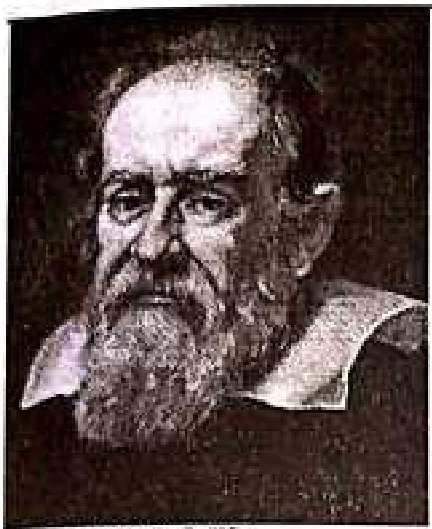
Donc $W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times 2\pi n = F\ell \times 2\pi n$

Application numérique : $W = 60 \times 0,5 \times 2\pi \times 10 \Rightarrow W = 1885\ J$

3.5. la longueur L parcourue par la charge.

$L = 2\pi r n$

Application numérique : $L = 2\pi \times 0,15 \times 10 \Rightarrow L = 9,42\ m$



Galileo Galilei dit Galilée
(1564-1642)
Physicien et Astronome Italien

Leçon 3 : ENERGIE CINETIQUE

Il est célèbre pour avoir jeté les fondements des sciences mécaniques ainsi que pour sa défense opiniâtre de la conception copernicienne de l'univers. Vers 1604, Galilée propose une loi simple : la vitesse serait proportionnelle au temps écoulé depuis le début de la chute. Il en conclut, que, pendant une chute, la distance parcourue est proportionnelle au carré du temps écoulé. Son idée est confirmée dans une expérience, avec du matériel construit de sa main : une gouttière inclinée le long de laquelle des clochettes sont disposées pour indiquer le passage de la bille. La constante sera notée g appelée constante de pesanteur et sa valeur déterminée expérimentalement : $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$. Aujourd'hui, encore cette modélisation reste satisfaisante pour toutes les activités humaines qui se font au niveau du sol de la Terre.
En son hommage, un référentiel dit galiléen est ainsi nommé.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	l'énergie cinétique d'un solide en mouvement dans un repère galiléen.
Connaitre	L'unité de l'énergie cinétique
Connaître	l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en mouvement de : - translation dans un repère galiléen. - rotation autour d'un axe fixe.
Déterminer	l'énergie cinétique dans le cas d'un mouvement de - translation. - rotation
Enoncer	le théorème de l'énergie cinétique.
Appliquer	le théorème de l'énergie cinétique.
Utiliser	les expressions • $Ec = \frac{1}{2}mv^2$ • $Ec = \frac{1}{2}J_{\Delta}\omega^2$

RAPPEL DE COURS

1. Energie cinétique

1.1. Définition

C'est l'énergie que possède un corps du fait de sa vitesse.

L'énergie cinétique d'un corps est aussi égale au travail nécessaire pour faire passer le dit corps du repos à son mouvement de translation ou de rotation. Elle s'exprime en joule (J).

1.2. Energie cinétique d'un solide en mouvement de translation

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2$$

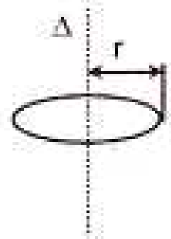
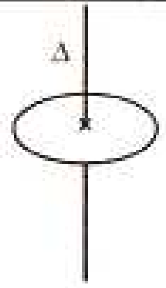
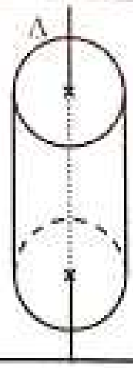
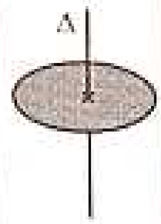
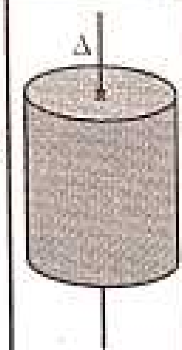
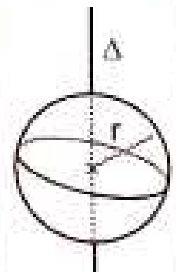
- E_C : énergie cinétique de translation en joule (J) ;
- m : masse du corps en kilogramme (kg) ;
- v : vitesse du corps en mètre par seconde (m/s).

1.3. Energie cinétique d'un solide en mouvement de rotation (1ère C uniquement)

$$E_C = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2$$

- E_C : énergie cinétique de rotation en joule (J) ;
- J_Δ : moment d'inertie du solide en kilogramme mètre carré (kg.m²) ;
- ω : vitesse angulaire du solide en radian par seconde (rad/s).

Remarque : moment d'inertie de quelques solides

Solide de petites dimensions	Circonférence	Cylindre creux	Disque homogène	Cylindre plein homogène	Sphère
					
$J_\Delta = mr^2$			$J_\Delta = \frac{1}{2}mr^2$		$J_\Delta = \frac{2}{5}mr^2$

2. Théorème de l'énergie cinétique

2.1. Enoncé du théorème.

La variation de l'énergie cinétique d'un système entre deux instants est égale à la somme des travaux effectués entre ces deux instants par les forces qui s'exercent sur le système.

2.2. Expression du théorème.

$$\Delta E_{C_{A\to B}} = \Sigma W(\vec{F}_{ext})_{A\to B} \Rightarrow E_{C_B} - E_{C_A} = W(\vec{F}_1)_{A\to B} + W(\vec{F}_2)_{A\to B} + \dots + W(\vec{F}_n)_{A\to B}$$

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chaque affirmation associe la lettre V si l'affirmation est vraie ou F si elle est fausse.

1- L'énergie cinétique d'un solide en mouvement dans un repère galiléen est l'énergie qu'il possède du fait de sa masse.

2- L'énergie cinétique s'exprime en joule (J).

3- L'énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation est $Ec = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2$.

4- L'énergie cinétique d'un solide en mouvement de rotation est $Ec = \frac{1}{2}mv^2$.

Exercice 2 (1ère C uniquement)

Entoure la bonne réponse dans les propositions suivantes :

Une meule est assimilée à un cylindre homogène de masse m = 400 g et de diamètre d = 10 cm.

1. Son moment d'inertie par rapport à son axe de rotation vaut :

   a) $J_\Delta = 5.10^{-4}$ kg.m²   b) $J_\Delta = 4.10^{-4}$ kg.m²   c) $J_\Delta = 3.10^{-4}$ kg.m²

2. L'énergie cinétique de cette meule lorsqu'elle tourne à 1500 tours/min est :

   a) Ec = 0,4 J   b) Ec = 0,8 J   c) Ec = 6,2 J

On te donne l'expression du moment d'inertie d'une meule : $J_\Delta = \frac{1}{2}m.R^2$

Exercice 3 (1ère C uniquement)

Pour chasser les oiseaux dans une rizière, un enfant utilise une fronde constituée d'un fil long de 80 cm au bout duquel est accroché un projectile de masse m = 60 g.

Le mouvement de la fronde est circulaire uniforme avec la vitesse $v = 10\ m.s^{-1}$.

1. Calcule le moment d'inertie de la fronde sachant que le projectile est supposé ponctuelle et que la masse du fil est négligeable.
2. Calcule son énergie cinétique.

Exercice 4

Lors d'une séance de TP au lycée sainte marie de cocody des élèves de 1ère D veulent utiliser le théorème de l'énergie cinétique pour déterminer la vitesse d'une balle dans deux cas différents. Les élèves te sollicitent pour les aider dans leur tâche. On te donne : $g = 10\ N.kg^{-1}$.

1. Dans un premier cas, la balle de masse m = 300 g est lancée verticalement vers le haut à partir d'un point A situé à 2 m du sol. Elle s'élève d'une hauteur AB = 5 m avant de retomber au sol. On néglige les frottements contre l'air.

1.1. Calcule le travail du poids :

1.1.1. au cours de la montée,

1.1.2. au cours de la descente jusqu'au sol.

1.2. Enonce le théorème de l'énergie cinétique.

1.3. Détermine l'énergie cinétique de la bille lorsqu'elle arrive au sol.

1.4. En déduis la vitesse de son centre d'inertie lorsqu'elle arrive au sol.

2. Dans un deuxième cas, la balle est abandonnée (sans vitesse initiale) sur une table inclinée d'un angle $\alpha = 30°$ par rapport au plan horizontal. Elle peut glisser sans frottement en parcourant une distance d = 60 cm.

2.1. Fais le bilan des forces extérieures appliquées au système.

2.2. Représente ces forces sur un schéma.

2.3. Calcule le travail du poids au cours de cette descente.

2.4. En déduis la vitesse de la balle au bas de la côte.

Exercice 5

Pendant les fêtes de fin d'année au lycée moderne de Divo, tu assistes à un jeu de kermesse constitué deux parties : un plan AB incliné d'un angle $\alpha = 30°$ par rapport à l'horizontale de longueur $AB = \ell = 1{,}6$ m et une partie BC horizontale de longueur 2 m. Ce jeu consiste à abandonner au point A, un solide de masse m = 100 g. Pour gagner, le solide doit s'arrêter au point C. Etant élève de 1ère D, les joueurs te demande de les aider à determiner la force de frotement nécessaire. Dans tout le problème on prendra $g = 10\ m/s^2$.

1) On considérera les frottements négligeables sur la partie AB.

1.1. Fais le bilan et représente les forces appliquées au solide.

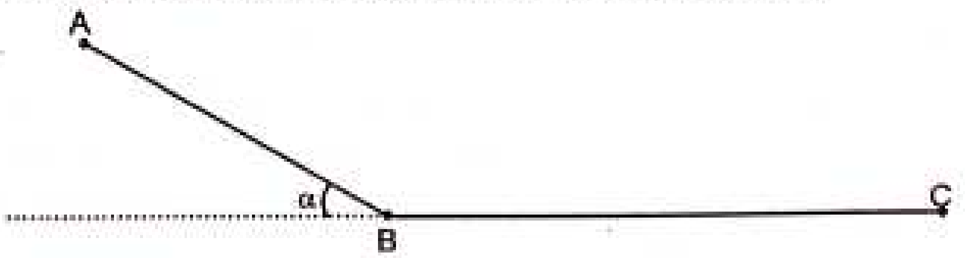
1.2. Exprime et calcule la vitesse du solide V_B en B.

2) Le solide aborde la partie horizontale avec la vitesse V_B trouvée précédemment et une force de frottement parallèle à la trajectoire mais de sens opposé.

2.1. Fais le bilan et représente les forces appliquées au solide.

2.2. Exprime et calcule le travail résistant pour que le solide s'immobilise en C.

2.3. En déduis l'expression et la valeur de la force de frottement.



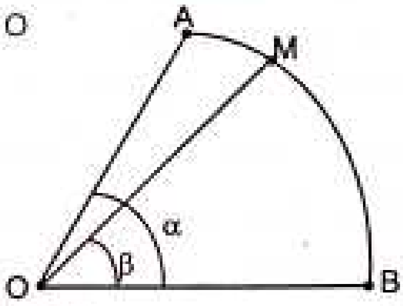
Exercice 6

Une glissière comprend une portion de cercle AB de centre O de rayon r = 2 m et d'angle α = (OB, OA) = 60°.

On considérera les frottements négligeables.

Dans tout le problème on prendra g = 10 m/s².

Un solide ponctuel de masse m = 100 g quitte A sans vitesse initiale.



1. Fais le bilan et représente les forces appliquées au solide en M.
2. Exprime et calcule, pour un point M du cercle tel β = (OB, OM) = 45°, la vitesse V_M.
3. En déduis la vitesse V_B à l'arrivée en B.

Exercice 7

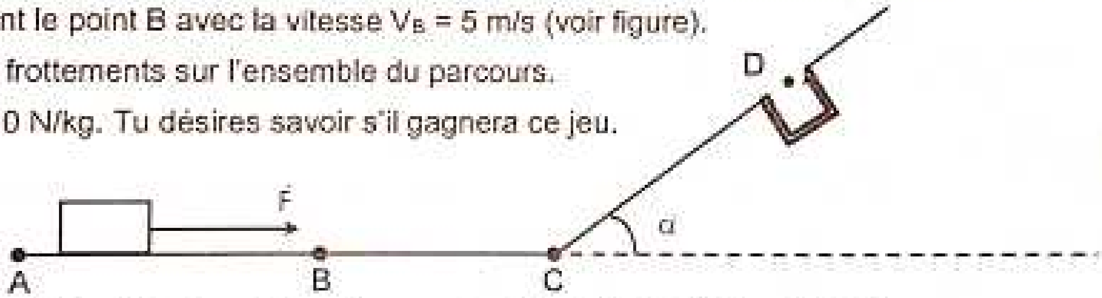
Pendant les fêtes de noël tu assistes à un jeu de kermesse dont la piste est constituée de deux parties :

- La partie AC est horizontale ;
- La partie CD de longueur ℓ = 3 m fait un angle α = 30° avec l'horizontale.

Pour gagner, le joueur doit faire arriver le solide (S) de masse 4 kg dans le réceptacle en D en partant de A. Un élève de ta classe jouant à ce jeu, pousse le solide (S) initialement au repos en A sur une distance L = AB = 5 m en exerçant une force $\vec{F}$ constante et horizontale d'intensité F. Le solide atteint le point B avec la vitesse V_B = 5 m/s (voir figure).

On négligera les frottements sur l'ensemble du parcours.

On donne : g = 10 N/kg. Tu désires savoir s'il gagnera ce jeu.



1) Calcule le travail $W_{\vec{F}}$ de la force $\vec{F}$ sur le parcours AB et déduis l'intensité de $\vec{F}$.
2) La masse poursuit son chemin.
   Détermine la valeur de la vitesse la $\vec{V}_C$ au point C.
3) La masse aborde ensuite le plan incliné d'un angle α = 30 avec la vitesse acquise en C.
   Calcule la distance d parcourue par la masse sur le plan incliné jusqu'à son arrêt.
4) Justifie que cet élève ne gagne pas ce jeu.

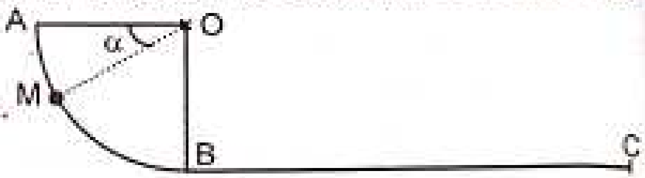
Exercice 8

Lors d'une visite dans un parc d'attraction, un élève de 1ère C remarque des enfants qui jouent dans un toboggan. Ces enfants se réjouissent d'atteindre des vitesses élevées. Un enfant de masse m = 20 kg assimilable à un point matériel se déplace dans le plan vertical du toboggan formée de deux parties :

- Une partie circulaire AB de centre O et de rayon r = OA = OB = 4 m.
- Une partie rectiligne BC de longueur d = 10 m.

Une fois à la maison, il te demande de déterminer la vitesse de cet enfant en différents points du trajet. On prendra $g = 10\ m.s^{-2}$.

1. Sur le tronçon AB les frottements sont négligés. L'enfant quitte le point A avec une vitesse verticale $\vec{V}_A$ telle que $V_A = 5\ m.s^{-1}$. Sa position en un point M quelconque est repérée par l'angle α = AOM (voir figure ci-dessous).



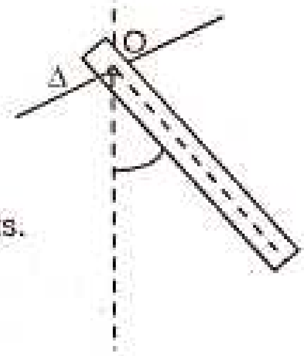
   1.1. Enonce le théorème de l'énergie cinétique.
   1.2. Schématise le tronçon AB et représente les forces appliquées à l'enfant, sans échelle, au point M.
   1.3. Etablis l'expression littérale du travail du poids en fonction de m, g, r et α.
   1.4. Exprime la vitesse V_M de la bille en fonction de g, r et α.
   1.5. Déduis de ce qui précède, l'expression de la vitesse V_B de l'enfant en B.
   1.6. Calcule sa valeur.
2. L'enfant se déplace maintenant sur le tronçon BC où il existe des forces de frottement d'intensité constante f = 50 N.
   2.1. Représente sur le trajet BC, les forces agissant sur l'enfant (sans échelle).
   2.2. Exprime en fonction de m, B, f et d la vitesse V_C de l'enfant en C.
   2.3. Calcule sa valeur.

<u>Exercice 9</u> (1ère C uniquement)

Ton camarade de ta classe fait tourner une règle plate homogène de masse m, dans un plan vertical autour d'un axe horizontal Δ passant par l'extrémité O de cette règle.

La longueur de la règle est $\ell = 50$ cm.

On donne : g = 10 N/kg ; $J_\Delta = \frac{1}{3}m\ell^2$



Il écartée la règle d'un angle $\alpha = 30°$ par rapport à la vertical et lâchée sans vitesse initiale.

Etant un élève de 1ère C répond aux questionnaires suivants.

1-
   1.1. Fais le bilan des forces agissant sur la règle.
   1.2. Calcule le travail de chacune de ces forces.
   1.3. Donne l'expression de la variation de l'énergie cinétique ΔEc en fonction du moment d'inertie J_Δ et de la vitesse angulaire ω.
   1.4. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, détermine la valeur de ω.

2- La règle continue à tourner au-delà de la verticale.
   Détermine l'angle β dont la règle s'écarte de la verticale.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Pour chaque affirmation associe la lettre V si l'affirmation est vraie ou F si elle est fausse.

1- L'énergie cinétique d'un solide est d'autant plus grande que sa vitesse grande.

2- Tout solide en mouvement possède de l'énergie cinétique.

3- L'énergie cinétique d'un même mobile est la même lorsque le mouvement est étudié dans deux repères différents.

4- L'énergie cinétique d'un solide en rotation ne dépend que de la masse du solide et de la vitesse angulaire. **(1ère C uniquement)**

5- Lorsqu'un gardien de but, arrête le ballon, il reçoit de travail.

Exercice 2

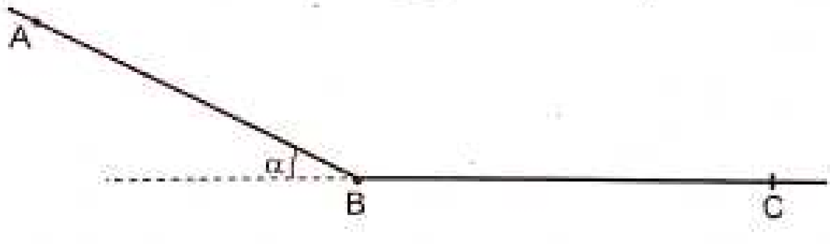
Recopie et remets les groupes de mots ci-dessous dans l'ordre de manière à obtenir une phrase correcte en rapport avec le théorème de l'énergie cinétique.

La somme des travaux effectués/ dans un repère galiléen/ est égale à/ la variation de l'énergie cinétique d'un système/ entre ces deux instants/ qui s'exercent sur le système/ par les forces/ entre deux instants

Exercice 3

Au cours d'une évaluation, votre professeur de Physique-Chimie veut tester vos connaissances sur le théorème de l'énergie cinétique. Il met à votre disposition le schéma ci-dessous.

Un solide S supposé ponctuel de masse m = 250 g glisse sur un trajet ABC situé dans un plan vertical.



On te donne : AB = 0,18 m, $\alpha = 60°$ et g = 10 N/kg.

1- Etude sur la partie AB

La partie AB est inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale. Le solide S quitte le sommet A sans vitesse initiale. Les frottements sont négligeables. **Etant un élève de la classe, réponds à ce questionnaire.**

1.1. Exprime la vitesse V_B de S en B, en fonction de AB, α, et g.

1.2. calcule la valeur de V_B.

2- **Etude sur la partie BC** : (existence de force de frottement)

La vitesse de S s'annule au point C. Sur cette partie du trajet, les forces de frottement sont équivalentes à une force $\vec{f}$ d'intensité constante et de sens opposé au vecteur vitesse.

2.1. Fais le bilan des forces extérieures qui s'exercent qui s'exercent sur le solide en mouvement entre B et C et représente-les.

2.2. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, exprime l'intensité f de la force de frottement $\vec{f}$ en fonction de BC, V_B, et m.

2.3. Calcule la valeur de f pour BC = 1,5 m.

Exercic 4

Pour acheminer la production de cacao de leur pére à une coopérative d'Abengourou, deux éléves de la 1ère C au Lycée Moderne de la ville utilisent un véhicule chargé de masse m = 3000 kg. Aprés une panne, le conducteur lâche le véhicule sans vitesse initiale d'un point A sur un plan incliné de pente 10% par rapport à l'horizontale (le moteur est arrêté et les freins sont desserrés). Les forces de frottement sont équivalentes à une force unique $\vec{f}$ colinéaire au vecteur vitesse $\vec{v}$. Il arrive en B au bas de la pente avec une vitesse V_B = 25 m/s. On donne AB = 100 m et g = 10 N/kg, la résistance de l'air étant négligée. L'un d'eux décide d'évaluer la variation de l'énergie cinétique afin de déterminer la valeur de la force de frottement.

1- Définis l'énergie cinétique.

2- Donne son expression.

3- Détermine le travail de la force de frottement $\vec{f}$.

4- En déduis la valeur de la force de frottement $\vec{f}$.

Exercice 5

Au cours d'une évaluation, votre professeur de Physique-Chimie veut tester vos connaissances sur le théorème de l'énergie cinétique. Il met à votre disposition le schéma ci-dessous. Un solide ponctuel (S) de masse m = 200 g est abandonné sans vitesse initiale en un point A d'un plan incliné d'angle $\alpha = 30°$. Il arrive en un point B au bas du plan incliné tel que AB = L = 2,5 m. (g = 10 m.s^{-2}). Etant un élève de la classe, réponds à ce questionnaire.

1. On suppose les frottements sont négligeables entre A et B.

1.1. Exprime le travail du poids de (S) entre A et B en fonction m, g, L et α.

1.2. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique :

1.2.1. Exprime la vitesse V_B de (S) en B en fonction de g, L et α.

1.2.2. Calcule sa valeur.

1.3. Donne l'expression de la vitesse V_C au point C situé à d = 1 m du point A puis calcule sa valeur.

2. On suppose maintenant qu'il existe des forces de frottements entre A et B et que leur résultante est une force f colinéaire à AB et opposée au mouvement.

   (S) arrive en B avec V'_B = 4 m/s. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique :

   2.1. Exprime le travail de la force f entre A et B en fonction de m, g, L, V'_B et α.

   2.2. Calcule sa valeur.

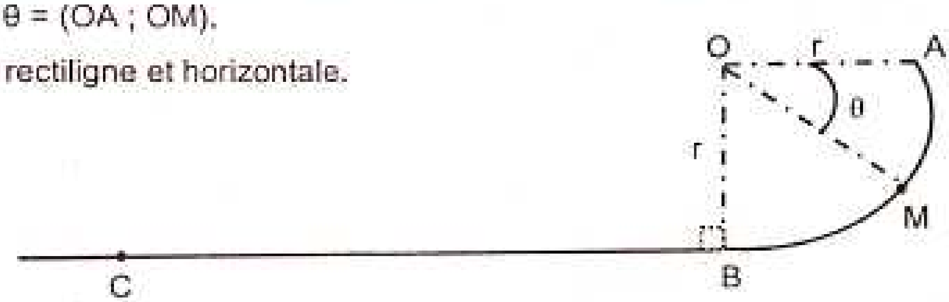
   2.3. Détermine l'intensité de la force $\vec{f}$.

Exercice 6

Au cours d'une évaluation, votre professeur de Physique-Chimie veut tester vos connaissances sur le théorème de l'énergie cinétique. Il met à votre disposition le schéma ci-dessous.

Une bille (S) de masse m, lâchée au point A sans vitesse initiale termine sa course au point C. Ses différents parcours sont :

- ✓ AB : quart de cercle de centre O et de rayon r parcourue sans frottement. Sa position est repérée par θ = (OA ; OM).
- ✓ BC : portion rectiligne et horizontale.



Etant un élève de la classe, réponds à ce questionnaire.

1-

   1.1. Fais le bilan des forces extérieures qui s'exercent qui s'exercent sur la bille en M.

   1.2. Représente-les.

   1.3. Exprime en fonction de m, g, r et θ le travail effectué de A à M par le poids de la bille.

2- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique,

   2.1. exprime en fonction de g, r et θ la vitesse V_M de (S) au point M.

   2.2. En déduis que V_B = 10 m.s^{-1} au point B.

3- Entre B et C, il existe des forces de frottement $\vec{f}$ opposées au mouvement de la bille (S).

   Détermine l'intensité f des forces de frottement afin que (S) s'arrête en C.

   On te donne : m = 2 g ; r = 5 m ; BC = 10 m ; g = 10 N kg^{-1}.

Exercice 7 (1ère C uniquement)

Au cours d'une évaluation, votre professeur de Physique-Chimie de 1ère C veut tester vos connaissances sur le théorème de l'énergie cinétique. Pour cela, il met à votre disposition e schéma ci-dessous).

Pour lancer un solide S de masse m = 10 g sur une rampe parfaitement lisse, on utilise un dispositif représenté sur la figure ci-dessous constitué d'un ressort à spires non jointives et de constante de raideur k.

La rampe OABCM est constituée d'une partie horizontale OA, d'un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale et d'un arc de cercle BCM de centre H et de rayon r = 2,5 m (voir figure).

Le ressort comprimé permet de propulser le solide en un point O. le solide arrive au point A avec une vitesse $v_A = 8\ m.s^{-1}$. **Etant un élève de cette classe, réponds à ce questionnaire.**

1- Enonce le théorème de l'énergie cinétique.

2- Détermine l'expression puis calculer la vitesse du solide :

2.1. Au point B en fonction de v_A, g, L et α.

2.2. Au point C en fonction de v_B, g, r et α.

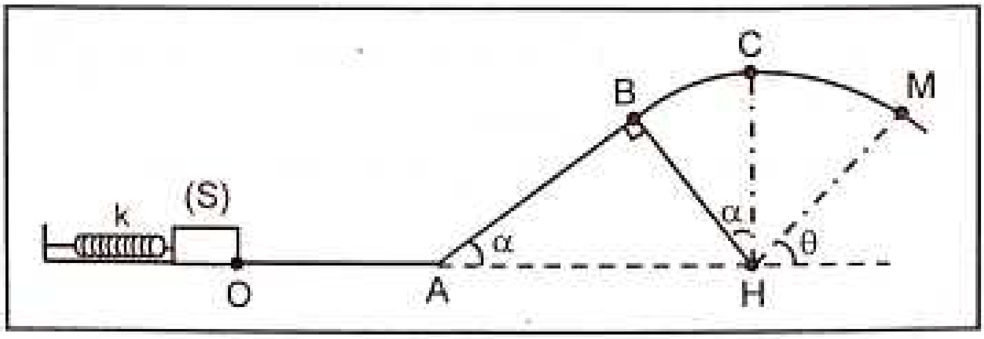
2.3. Au point M en fonction de v_C, g, r et θ.

3- En réalité, sur le tronçon ABC, existent des forces de frottement qui sont équivalentes à une force unique $\vec{f}$ d'intensité constante. Le solide arrive en C avec une vitesse v_C = 0,75 m/s.

3.1. Détermine l'intensité de la force $\vec{f}$.

3.2. Détermine la valeur de la vitesse au point M sachant que les forces de frottement sont nulles sur la partie CM.

On te donne : g = 10 m.s^{-2} ; α = 30° ; θ = 80° ; AB = L = 4,5 m, CH = MH = r = 2,5 m



Exercice 8 (1ère C uniquement)

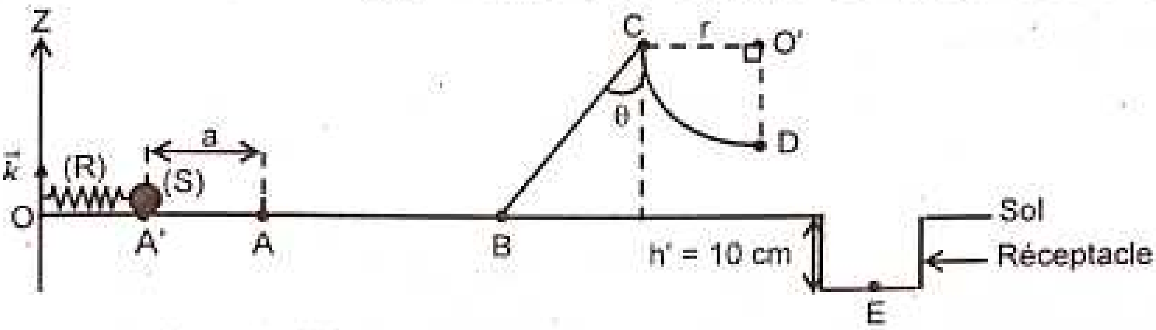
Pendant les vacances scolaire tu assistes à un jeu d'enfant constitué d'un ressort (R) de constante de raideur k à spires non jointives et de masse négligeable, sert à propulser un solide (S) de masse m sur une piste A'ABCD (voir figure ci-dessous).

Le joueur veut déterminer la vitesse du solide lors de son arrivée dans le receptacle.

Etant un élève de 1ère, aide-le.

Dans tout l'exercice, on négligera les frottements ainsi que la résistance de l'air.

On donne : $k = 150$ N/m ; $m = 60$ g ; $g = 10\ m.s^{-2}$; $BC = 20$ cm ; $\theta = 60°$ et $CO' = O'D = r = 5$ cm



1- Mouvement sur la partie A'B

Le ressort est comprimé d'une longueur $A'A = a = 10$ cm.

On lâche le système (ressort+solide) sans vitesse initiale.

1.1. Montre que le solide est propulsé en A avec une vitesse $v_A = 5$ m/s.

1.2. Détermine la vitesse v_B du solide au point B.

2- Mouvement sur la partie BC

Le solide aborde la partie BC.

2.1. Calcule la vitesse v_C du solide en C.

2.2. On veut que le solide arrive au point C avec une vitesse nulle.

Détermine la longueur a' dont il aurait fallu comprimer le ressort.

3- Mouvement sur la partie CD et mouvement ultérieur

On suppose que le ressort est comprimé de la longueur a'.

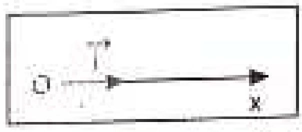
3.1. Calcule la vitesse v_D du solide au point D.

3.2. Le solide quitte la piste en D et tombe au point E, dans un réceptacle de profondeur $h' = 10$ cm. Calcule la vitesse v_E du solide en E.

Exercice 9 : Extrait Bac 1997

Lors d'une séance de TP au lycée sainte marie de cocody, les élèves de la classe d'une classe de 1ère D désirent mesurer l'intensité des actions de frottement qui agissent sur un mobile autoporteur en mouvement. Ces actions seront modélisées par une force constante, de sens opposé au vecteur vitesse. Ce mobile, de centre d'inertie G, de masse m, est abandonné sans vitesse sur une table à digitaliser, inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale. Au cours de son mouvement, le mobile suit la ligne de plus grande pente de direction Ox, la position de G est repérée en fonction du temps par sa coordonnée x dans le repère $(O, \vec{i})$, et transmise à un ordinateur. **Données** : m = 220 g ; α = 15° ; g = 9,8 m/s^2.

Dispositif expérimental :



Plan de la table inclinée

Les valeurs de x, aux dates des relevés, figurent dans le tableau ci-après, accompagnées du résultat du calcul de la plupart des vitesses instantanées et énergies cinétiques E_c du mobile en translation.

t (s)	x (m)	v (m/s)	Ec (J)	L (m)
0	0,0015			0
0,0139	0,0098	0,625	0,043	0,0083
0,0277	0,0188	0,669	0,049	0,0173
0,0414	0,0282			0,0267
0,0551	0,0378	0,722	0,057	0,0363
0,0687	0,0479	0,760	0,063	0,0464
0,0822	0,0584	0,788	0,068	0,0569
0,0956	0,0691	0,828	0,075	0,0676
0,1089	0,0805	0,860	0,081	0,0790
0,1221	0,0919	0,882	0,086	0,0904
0,1352	0,1037	0,916	0,092	0,1022
0,1482	0,1158	0,950	0,099	0,1143
0,1612	0,1284			

Etant le rapporteur du groupe, tu es sollicité pour répondre au questionnaire suivant.

1) Calcule les valeurs de V et E_c à la date t = 0,0414 s.
2) Etablis l'inventaire des forces s'exerçant sur le mobile et représente-les sur un schéma.
3) On appelle A et B les positions respectives occupées par le mobile aux dates t = 0 et t quelconque. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique entre A et B, distants de L, exprime $E_c(B)$ en fonction de $E_c(A)$, m, L, α et de l'intensité de la force de frottement $\vec{f}$.
4) Détermination de l'intensité de la force de frottement.
   - 4.1. A partir des valeurs portées dans le tableau, représente $E_c(B)$ en fonction de L sur une feuille de papier millimétré. On prendra : 1 cm → 10^{-2} m et 1 cm → 10^{-2} J.
   - 4.2. Détermine l'équation de cette courbe.
   - 4.3. En déduis l'intensité de la force de frottement et l'énergie cinétique du mobile à t = 0.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chaque affirmation j'associe la lettre V si l'affirmation est vraie ou F si elle est fausse.

1- L'énergie cinétique d'un solide en mouvement dans un repère galiléen est l'énergie qu'il possède du fait de sa masse : F

2- L'énergie cinétique s'exprime en joule (J) : V

3- L'énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation est $Ec = \frac{1}{2}J_{\Delta}\omega^2$: F

4- L'énergie cinétique d'un solide en mouvement de rotation est $Ec = \frac{1}{2}mv^2$: F

Exercice 2 (1ère C uniquement)

J'entoure la bonne réponse dans les propositions suivantes :

1. Son moment d'inertie par rapport à son axe de rotation vaut :

   a) $J_{\Delta} = 5.10^{-4}$ kg.m² b) $J_{\Delta} = 4.10^{-4}$ kg.m² c) $J_{\Delta} = 3.10^{-4}$ kg.m²

2. L'énergie cinétique de cette meule lorsqu'elle tourne à 1500 tours/min est :

   a) $E_C = 0,4$ J b) $E_C = 0,8$ J c) $E_C = 6,2$ J

Exercice 3 (1ère C uniquement)

1. Calcul du moment d'inertie de la fronde.

   $J = M\ell^2$; où ℓ est la longueur du fil.

   $J = 0,06 \times 0,8^2$

   $J = 4,8.10^{-2}$ kg.m²

2. Calcul de son énergie cinétique

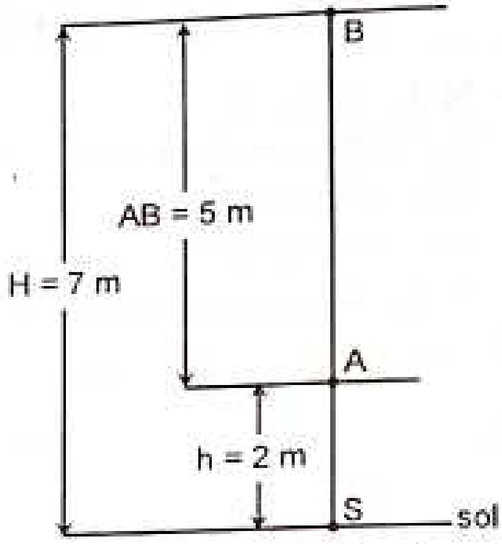
   $E_C = \frac{1}{2}J\omega^2$ or $\omega = \frac{V}{\ell}$

   Donc $Ec = \frac{JV^2}{2\ell^2}$

   Application numérique : $Ec = \frac{4,8.10^{-2} \times 10^2}{2 \times 0,8^2} \Rightarrow E_C = 3,75$ J

Exercice 4

1. **Une balle est lancée verticalement vers le haut.**



1.1. Calculons le travail du poids :

- Système : balle
- Bilan des forces : poids $\vec{P}$ de la balle.
- **au cours de la montée,**
  $W(\vec{P})_{A\to B} = -mgAB$
  A.N. : $W(\vec{P})_{A\to B} = -0{,}3\times10\times5 = -15\ J$
- **au cours de la descente jusqu'au sol.**
  $W(\vec{P})_{B\to S} = mgH = mg(AB+h)$
  A.N. : $W(\vec{P})_{B\to S} = 0{,}3\times10\times(5+2) = 21\ J$

1.2. Enoncé du théorème de l'énergie cinétique.

La variation de l'énergie cinétique d'un système entre deux instants est égale à la somme des travaux effectués par les différentes forces qui s'exercent sur le système entre ces deux instants : $\Delta E_{C_{A\to B}} = \Sigma W(\vec{F}_{ext})_{A\to B}$.

1.3. Energie cinétique de la bille lorsqu'elle arrive au sol

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre B et S : $\Delta Ec_{B\to S} = \Sigma W(\vec{F}_{ext})_{B\to S}$

$\Rightarrow Ec_S - Ec_B = W(\vec{P})_{B\to S} \Rightarrow Ec_S - 0 = W(\vec{P})_{B\to S} \Rightarrow Ec_S = W(\vec{P})_{B\to S} = 21\ J$

1.4. Vitesse du centre d'inertie de la bille lorsqu'elle arrive au sol

$$Ec_S = \frac{1}{2}mv_S^2 \Rightarrow v_S^2 = \frac{2\times Ec_S}{m} \Rightarrow v_S = \sqrt{\frac{2\times Ec_S}{m}}$$

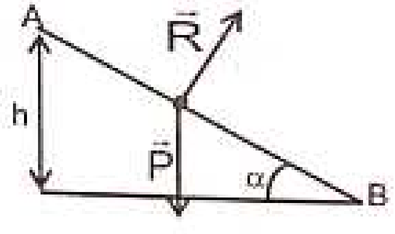
Application numérique : $v_S = \sqrt{\frac{2\times21}{0{,}3}} = 11{,}83\ m/s$

2. **La balle abandonnée sur une table inclinée d'un angle $\alpha = 30°$ par rapport à l'horizontal.**

2.1. Bilan des forces extérieures appliquées au système .

Bilan des forces :

- le poids $\vec{P}$ de la balle
- la réaction normale $\vec{R}$ du plan incliné



2.2. Représentation des forces sur un schéma

Voir schéma ci-contre

2.3. Le travail du poids au cours de cette descente.

$W(\vec{P})_{A\to B} = mgh = mgd\sin\alpha = 0{,}3\times10\times0{,}6\times\sin30° = 0{,}9\ J$

2.4. Déduisons la vitesse de la balle au bas de la côte.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et B : $\Delta E_{C_{A\to B}} = \Sigma W(\vec{F}_{ext})_{A\to B}$

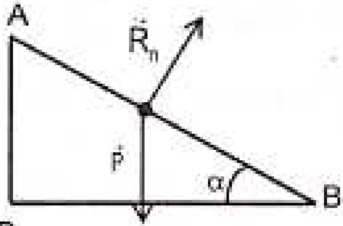
$\Rightarrow Ec_B - Ec_A = W(\vec{P})_{A\to B} + W(\vec{R})_{A\to B} \Rightarrow Ec_B - 0 = W(\vec{P})_{A\to B} + 0 \Rightarrow Ec_B = W(\vec{P})_{A\to B}$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = W(\vec{P})_{A\to B} \Rightarrow v_B^2 = \frac{2\times W(\vec{P})_{A\to B}}{m} \Rightarrow v_B = \sqrt{\frac{2\times W(\vec{P})_{A\to B}}{m}} = \sqrt{\frac{2\times0{,}9}{0{,}3}} = 2{,}45\ m/s$$

Exercice 5

1) Un solide ponctuel de masse m = 100 g quitte A sans vitesse initiale.

1.1. Bilan et représentation des forces appliquées au solide.



- système : solide de masse m
- bilan des forces :
  - le poids $\vec{P}$ du solide ;
  - la réaction normale $\vec{R}_n$ du plan incliné.

1.2. Expression et calcul de la vitesse du solide V_B en B

théorème de l'énergie cinétique entre A et B :

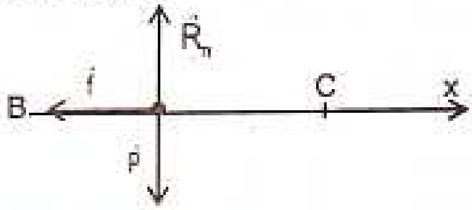
$$\Delta Ec_{A\to B} = \Sigma W_{A\to B}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_B - Ec_A = W_{A\to B}(\vec{P}) + W_{A\to B}(\vec{R}_n)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mV_B^2 - 0 = mgAB\sin\alpha + 0 \Rightarrow V_B = \sqrt{2gAB\sin\alpha}$$

Application numérique : $V_B = \sqrt{2\times10\times1{,}6\times\sin30°} = \underline{4\ m/s}$

2) Le solide aborde la partie BC avec une force de frottement de sens opposé au mouvement.

2.1. Bilan et représentation des forces appliquées au solide.



bilan des forces :

- le poids $\vec{P}$ du solide,
- la réaction normale $\vec{R}_n$ du plan,
- les forces de frottement $\vec{f}$.

2.2. Expression et calcul du travail résistant pour que le solide s'immobilise en C.

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

$$\Delta Ec_{B\to C} = \Sigma W_{B\to C}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_C - Ec_B = W_{B\to C}(\vec{P}) + W_{B\to C}(\vec{R}_n) + W_{B\to C}(\vec{f})$$

$$\Rightarrow 0 - Ec_B = 0 + 0 + W_{B\to C}(\vec{f}) \Rightarrow W_{B\to C}(\vec{f}) = -Ec_B = -\frac{1}{2}mV_B^2$$

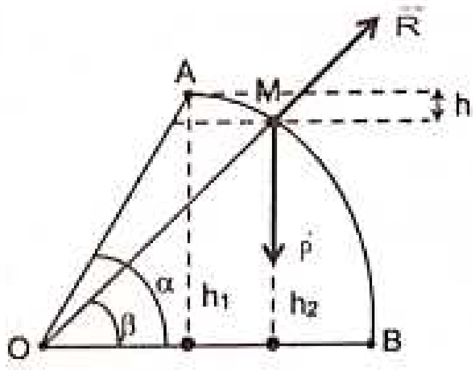
Application numérique : $W_{B\to C}(\vec{f}) = -\frac{1}{2}\times0{,}1\times4^2 = \underline{-0{,}8\ J}$

2.3. Déduction de l'expression et de la valeur de la force de frottement.

$$W_{B\to C}(\vec{f}) = -f\times BC \Rightarrow f = -\frac{W_{B\to C}(\vec{f})}{BC} = -\frac{-0{,}8}{2} = \underline{0{,}4\ N}$$

Exercice 6

1. Bilan et représentation des forces en M.



- système : solide de masse m
- bilan des forces :
  - le poids $\vec{P}$ du solide ;
  - la réaction $\vec{R}$ de la glissière.

2. **Expression et calcul de la vitesse V_M en M.**

Théorème de l'énergie cinétique entre A et M :

$$\Delta Ec_{A\to M}=\Sigma W_{A\to M}(\vec F_{ext})\Rightarrow Ec_M-Ec_A=W_{A\to M}(\vec P)+W_{A\to M}(\vec R)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mV_M^2-0=mgh+0\Rightarrow \frac{1}{2}V_M^2=gh\Rightarrow V_M=\sqrt{2gh}\quad \text{avec } h=h_1-h_2$$

$$\left.\begin{array}{l}\sin\alpha=\dfrac{h_1}{OA}\Rightarrow h_1=OA\times\sin\alpha=r\times\sin\alpha\\ \sin\beta=\dfrac{h_2}{OM}\Rightarrow h_2=OM\times\sin\beta=r\times\sin\beta\end{array}\right\}\Rightarrow h=h_1-h_2=r\times\sin\alpha-r\times\sin\beta=r(\sin\alpha-\sin\beta)$$

$$\Rightarrow V_M=\sqrt{2gr(\sin\alpha-\sin\beta)}$$

Application numérique : $V_M=\sqrt{2\times10\times2\times(\sin60°-\sin45°)}=\underline{2{,}52\text{ m/s}}$

3. **J'en déduis la vitesse V_B à l'arrivée en B.**

A l'arrivée en B, la hauteur de chute est h_1. Donc $V_B=\sqrt{2gh_1}=\sqrt{2gr\sin\alpha}$

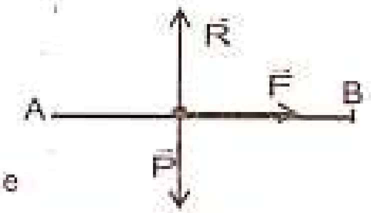
Application numérique : $V_B=\sqrt{2\times10\times2\times\sin60°}=\underline{5{,}88\text{ m/s}}$

Exercice 7

1) **Calcul du travail W_F de la force $\vec F$ sur le parcours AB puis déduction de l'intensité de $\vec F$.**

✓ Travail W_F de la force $\vec F$

- système : masse m
- bilan des forces :
  - ➢ le poids $\vec P$ du système,
  - ➢ la réaction $\vec R$ du parcours,
  - ➢ force motrice $\vec F$ exercée sur la masse



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

$$\Delta Ec_{A\to B}=W_{A\to B}(\vec F_{ext})\Rightarrow Ec_B-Ec_A=W_{A\to B}(\vec P)+W_{A\to B}(\vec R)+W_{A\to B}(\vec F)$$

$$\Rightarrow Ec_B-0=0+0+W_{A\to B}(\vec F)\Rightarrow W_{A\to B}(\vec F)=Ec_B=\frac{1}{2}mV_B^2$$

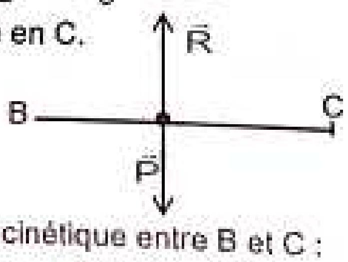
Application numérique : $W_{A\to B}(\vec F)=Ec_B=\frac{1}{2}\times4\times5^2=\underline{50\text{ J}}$

✓ Intensité de $\vec F$.

$$W_{A\to B}(\vec F)=\vec F.\overrightarrow{AB}=F\times AB\Rightarrow F=\frac{W_{A\to B}(\vec F)}{AB}=\frac{50}{5}=\underline{10\text{ N}}$$

2) **La vitesse avec laquelle la masse arrive en C.**

- bilan des forces :
  - ➢ le poids $\vec P$ du système,
  - ➢ la réaction $\vec R$ du parcours

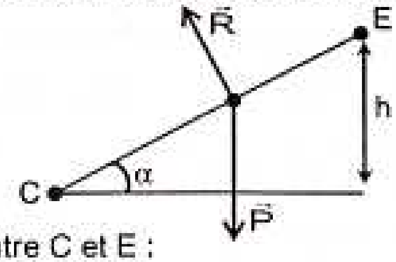


- Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre B et C :

$$\Delta Ec_{B\to C}=W_{B\to C}(\vec F_{ext})\Rightarrow Ec_C-Ec_B=W_{B\to C}(\vec P)+W_{B\to C}(\vec R)$$

$$\Rightarrow Ec_C-Ec_B=0+0\Rightarrow Ec_C-Ec_B=0\Rightarrow Ec_C=Ec_B\Rightarrow V_C=V_B=5\text{ m/s}$$

3) **Calculons la distance d parcourue par la masse sur le plan incliné jusqu'à son arrêt en D.**



- **bilan des forces :**
  - le poids $\vec{P}$ du système,
  - la réaction $\vec{R}$ du plan incliné

Soit E le point d'arrêt ($Ec_E = 0$).

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

$\Delta Ec_{C\to E} = W_{C\to E}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_E - Ec_C = W_{C\to E}(\vec{P}) + W_{C\to E}(\vec{R})$

Par ailleurs le corps monte donc $W_{C\to E}(\vec{P}) = -mgh$ et $\vec{R} \perp \overrightarrow{CE}$ donc $W_{C\to E}(\vec{R}) = 0$

$\Rightarrow 0 - Ec_C = -mgh + 0 \Rightarrow Ec_C = mgh$

$\Rightarrow \frac{1}{2}mV_C^2 = mgd\sin\alpha \Rightarrow \frac{1}{2}V_C^2 = gd\sin\alpha \Rightarrow d = \frac{V_C^2}{2g\sin\alpha}$

Application numérique : $d = \frac{5^2}{2\times 10\times \sin30°} = \underline{2{,}5\text{ m}}$

4) **Je justifie que cet élève ne gagne pas ce jeu.**

Le solide s'arrête en E à une distance d = CE = 2,5 m qui est inférieure à la partie CD de longueur ℓ = 3 m. Donc le solide n'arrive pas au point D d'où **cet élève ne gagne pas ce jeu.**

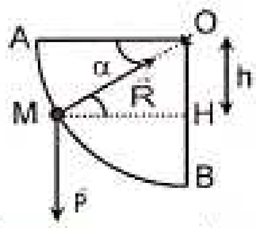
Exercice 8

1. **Étude sur le trajet AB : la partie AB un arc de cercle de centre O et de rayon r = 4 m.**

1.1. **J'énonce le théorème de l'énergie cinétique**

Dans un repère galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un système entre deux instants est égale à la somme des travaux effectués entre ces deux instants par les forces qui s'exercent sur le système.

1.2. **Je schématise le tronçon AB et je représente les forces appliquées à l'enfant en M.**



- **système** : enfant de masse m
- **bilan des forces :**
  - le poids $\vec{P}$ du solide ;
  - la réaction $\vec{R}$ de l'arc de cercle.

1.3. **J'établis l'expression littérale du travail du poids en fonction de m, g, r et α.**

De A en M, l'enfant descend donc on a : $W_{A\to M}(\vec{P}) = mgh$

Déterminons la hauteur h

D'après les propriétés métriques du triangle OMH rectangle en H on a :

$\sin\alpha = \frac{OH}{OM} = \frac{h}{r} \Rightarrow h = r\sin\alpha \Rightarrow W_{A\to M}(\vec{P}) = mgr\sin\alpha$

1.4. J'exprime la vitesse V_M en fonction de r, α et g.

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

$$\Delta Ec_{A\to M} = \Sigma W_{A\to M}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_M - Ec_A = W_{A\to M}(\vec{P}) + W_{A\to M}(\vec{R})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mV_M^2 - 0 = mgrsin\alpha + 0 \Rightarrow \frac{1}{2}V_M^2 = grsin\alpha \Rightarrow V_M^2 = 2grsin\alpha \Rightarrow V_M = \sqrt{2grsin\alpha}$$

1.5. Je déduis de ce qui précède, l'expression de la vitesse V_B de l'enfant en B.

En B, $\alpha = 90°$; or $\sin 90° = 1$ donc $V_B = \sqrt{2gr}$

1.6. Je calcule sa valeur.

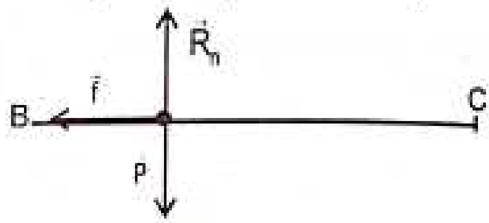
$V_B = \sqrt{2\times10\times4} = \underline{8,94\ m/s}$

2. L'enfant se déplace sur BC où il existe des forces de frottement d'intensité f = 50 N.

2.1. Je représente sur le trajet BC, les forces agissant sur l'enfant (sans échelle).

bilan des forces :

- le poids $\vec{P}$ du solide,
- la réaction normale $\vec{R}_n$ du plan,
- les forces de frottement $\vec{f}$.



2.2. J'exprime en fonction de m, B, f et d la vitesse V_C de l'enfant en C.

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

$$\Delta Ec_{B\to C} = \Sigma W_{B\to C}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_C - Ec_B = W_{B\to C}(\vec{P}) + W_{B\to C}(\vec{R}_n) + W_{B\to C}(\vec{f})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mV_C^2 - \frac{1}{2}mV_B^2 = 0 + 0 - fBC \Rightarrow \frac{1}{2}m\left(V_C^2 - V_B^2\right) = -fBC \Rightarrow V_C^2 - V_B^2 = -\frac{2fBC}{m}$$

$$\Rightarrow V_C^2 = -\frac{2fBC}{m} + V_B^2 \Rightarrow V_C = \sqrt{V_B^2 - \frac{2fBC}{m}}$$

2.3. Je calcule sa valeur.

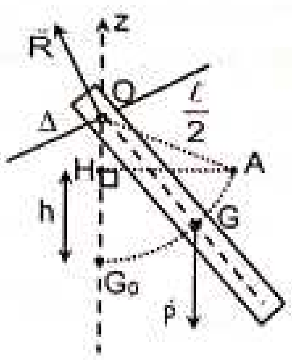
$$V_C = \sqrt{80 - \frac{2\times50\times10}{20}} \approx \underline{5,48\ m/s}$$

Exercice 9 (1ère C uniquement)

1)

1.1. Je fais le bilan des forces agissant sur la règle.

- **système** : la règle de masse m
- **bilan des forces :**
  - le poids $\vec{P}$ de la règle ;
  - la réaction $\vec{R}$ de l'axe Δ.



1.2. Je calcule le travail de chacune de ces forces.

Soit Oz un axe vertical, d'origine O, orienté vers le haut.

➢ **Travail du poids de la règle :**

$W_{A\to G_0}(\vec{P}) = mg(z_A - z_0) = mgh$ avec $h = HG_0 = OG_0 - OH = \frac{\ell}{2} - OH$

D'après les propriétés métriques du triangle rectangle OAH on a :

$\cos\alpha = \frac{OH}{OA} = \frac{OH}{\frac{\ell}{2}} \Rightarrow OH = \frac{\ell}{2}\cos\alpha \Rightarrow h = \frac{\ell}{2} - \frac{\ell}{2}\cos\alpha \Rightarrow h = \frac{\ell}{2}(1-\cos\alpha)$

$\Rightarrow W_{A\to G_0}(\vec{P}) = \frac{1}{2}mg\ell(1-\cos\alpha)$;

➢ **Travail de la réaction de l'axe Δ :** $W_{A\to G_0}(\vec{R}) = 0$ car $\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$.

1.3. Je donne l'expression de ΔEc en fonction du moment d'inertie J_Δ et de la vitesse ω.

$\Delta Ec = Ec_2 - Ec_1$

Initialement la règle a son centre de gravité G en A, son énergie cinétique Ec_1 est nulle.

Finalement G est en G_0, $Ec_2 = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2$ donc $\Delta Ec = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2$

1.4. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, je détermine la valeur de ω.

Théorème de l'énergie cinétique entre A et G_0 :

$\Delta Ec_{A\to G_0} = \Sigma W_{A\to G_0}(\vec{F}_{ext})$

$\Rightarrow Ec_2 - Ec_1 = W_{A\to G_0}(\vec{P}) + W_{A\to G_0}(\vec{R})$

$Ec_2 - Ec_1 = W_{A\to G_0}(\vec{P}) + W_{A\to G_0}(\vec{R}) \Rightarrow \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2 - 0 = \frac{1}{2}mg\ell(1-\cos\alpha) + 0$

$\Rightarrow \frac{1}{2}\times\frac{1}{3}m\ell^2\omega^2 = \frac{1}{2}mg\ell(1-\cos\alpha) \Rightarrow \frac{1}{3}\ell\omega^2 = g(1-\cos\alpha) \Rightarrow \omega = \sqrt{3\frac{g}{\ell}(1-\cos\alpha)}$

Application numérique : $\omega = \sqrt{3\times\frac{10}{0,5}\times(1-\cos30°)} = 2,84$ rad/s

2) L'angle β dont s'écarte la règle au maximum

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

$\Delta Ec_{A\to B} = \Sigma W_{A\to B}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_B - Ec_A = W_{A\to B}(\vec{P}) + W_{A\to B}(\vec{R})$

On considère la règle entre son départ, de OA, et l'instant où elle rebrousse chemin en OB.

En OB la vitesse angulaire s'annule en changeant de signe, donc $Ec_A = Ec_B = 0$.

Or $W_{A\to B}(\vec{R}) = 0$ donc la relation précédente devient :

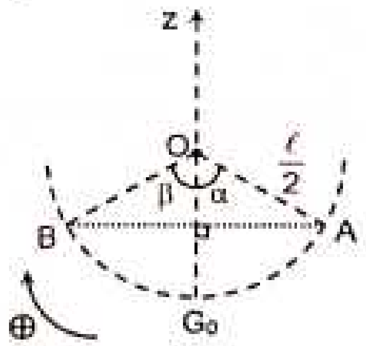
$0 - 0 = mg(z_A - z_B) + 0 \Rightarrow mg(z_A - z_B) = 0$

Or $mg \neq 0$ donc $z_A - z_B = 0 \Rightarrow z_A = z_B$

A et B sont au même niveau et sur le cercle $(0, \frac{\ell}{2})$

donc symétriques de part et d'autres de OG_0.

D'où : β = α = 30°.



Leçon 4 : ENERGIE POTENTIELLE

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz
né le 31 août 1821 à Potsdam et mort à Berlin-Charlottenburg en 1894
Physiologiste et physicien allemand

En Physique, il définit l'**énergie potentielle**, formule le principe de **conservation de l'énergie** et l'équation de Helmholtz en mécanique des fluides. Par ailleurs, il effectue des travaux sur l'importance des harmoniques sonores (décomposition en séries de Fourier) dans la notion de timbre et il est à l'origine des lois d'optique géométrique (« Loi de Lagrange-Helmholtz »).

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	• l'énergie potentielle de pesanteur. • l'énergie potentielle élastique.
Connaître	• l'expression de : - l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide. - l'énergie potentielle élastique. • l'unité de l'énergie potentielle
Déterminer	• l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide. • l'énergie potentielle élastique. • la variation de l'énergie potentielle d'un solide.
Citer	quelques applications de l'énergie potentielle.

RAPPEL DE COURS

1. Énergie potentielle de pesanteur

1.1. Définition et expression

C'est l'énergie que possède un solide du fait de sa position par rapport à la terre appelée champ de pesanteur. Elle est donnée par l'expression : $E_P = mgz$

- m : masse du solide(en kg) ;
- g : intensité de la pesanteur(en N/kg) ;
- z : altitude du centre d'inertie du solide(en m) ;
- E_P : énergie potentielle de pesanteur(en J).

1.2. État de référence

- L'énergie potentielle d'un système dans le champ de pesanteur n'est pas définie de façon absolue ; elle dépend de la position de référence z_0 choisit arbitrairement :
  $E_P = mg(z - z_0)$.
- L'énergie potentielle de pesanteur est une grandeur algébrique :
  - si $z > z_0$ alors $E_P > 0$;
  - si $z < z_0$ alors $E_P < 0$.
- Le plus souvent on choisit comme position de référence $z_0 = 0$, qui correspond à l'énergie potentielle au niveau du sol : $E_P = mgz$

1.3. Variation de l'énergie potentielle de pesanteur

La variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un corps est égale à l'opposé du travail du poids de ce corps : $W_{1\to 2}(\vec{P}) = mg(z_1 - z_2) = -\Delta E_p$

2. Énergie potentielle élastique (1ère C uniquement)

2.1. Définition et expression

L'énergie potentielle élastique est l'énergie potentielle emmagasinée dans un corps à caractère élastique lorsque ce dernier est compressé ou étiré par rapport à sa position naturelle.
Lorsque la force comprimant ou étirant le ressort cesse, le corps tend naturellement à retourner à sa position naturelle et transforme ainsi son énergie potentielle en énergie cinétique.

- L'énergie potentielle élastique d'un ressort est donnée par l'expression : $E_{Pe} = \frac{1}{2}kx^2$
  - E_{Pe} : énergie potentielle élastique (en J) ;
  - k : constante du ressort (en N/m) ;
  - x : allongement du ressort (en m).

2.2. Variation de l'énergie potentielle élastique

La variation de l'énergie potentielle élastique d'un ressort est égale à l'opposé du travail de la tension de ce ressort : $W(\vec{T}) = -\Delta E_{Pe}$.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Associe à chaque chiffre la lettre F si la proposition est fausse ou la lettre V si elle est vraie.

1- L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide est définie de façon absolue.

2- Plus un solide de masse m s'éloigne de la terre, plus son énergie potentielle de pesanteur est grande.

3- La variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un corps est égale à l'opposé du travail du poids de ce corps.

4- L'énergie potentielle de pesanteur est une grandeur scalaire.

5- L'énergie potentielle élastique d'un ressort comprimé est $Epe = -\frac{1}{2}kx^2$.

6- Le travail de la tension d'un ressort est égale à l'opposé de la variation de l'énergie potentielle élastique de ce ressort

Exercice 2

Un ressort à spires non jointive de constante de raideur k = 50 N/m a une longueur à vide ℓ_0 = 15 cm. Après une compression, sa longueur devient ℓ = 6 cm.

Recopie la bonne réponse pour chaque proposition, en écrivant le chiffre suivi de la lettre correspondante.

1- L'expression de son énergie potentielle élastique est :

a) $Epe = \frac{1}{2}k\ell^2$ b) $Epe = \frac{1}{2}k(\ell - \ell_0)^2$ c) $Epe = \frac{1}{2}k(\ell_0 - \ell)^2$

2- Sa valeur est :

a) Epe = 0,202 J b) Epe = 0,402 J c) Epe = 0,102 J

3- On fait subit au ressort une compression supplémentaire de x' = 2 cm.

3.1. L'expression de sa nouvelle énergie potentielle élastique est :

a) $Epe = \frac{1}{2}k[(\ell_0 - \ell) + x']^2$ b) $Epe = \frac{1}{2}k[(\ell - \ell_0) - x']^2$ c) $Epe = \frac{1}{2}k[(\ell - \ell_0) + x']^2$

3.2. La valeur de cette nouvelle énergie potentielle élastique vaut :

a) Epe = 0,502 J b) Epe = 0,302 J c) Epe = 0,402 J

Exercice 3

Pour les propositions suivantes, coche la bonne réponse.

1- L'unité de l'énergie potentielle est :

- [ ] le Joule (J)
- [ ] le Watt (W)
- [ ] le Newton (N)

2- L'expression de l'énergie potentielle de pesanteur est donnée :

- ☐ par la relation $Ep = \frac{1}{2}mz$.
- ☐ par la relation $Ep = \frac{1}{2}gz^2$
- ☐ par la relation $Ep = mgz$.

Exercice 4

Une pierre de masse m = 70 g est lancée vers le haut.

Elle atteint un point M à l'altitude de 10 m. On te donne $g = 10\ N.kg^{-1}$.

1- Calcule l'énergie potentielle de pesanteur de la pierre :

1.1. par rapport au sol ;

1.2. par rapport au fond d'un puits d'une profondeur de 15 m.

2- Calcule la variation de l'énergie potentielle de pesanteur entre le niveau du sol et M en prenant pour origine le fond du puits.

Exercice 5

Dans un parc d'attraction, un wagonnet de masse m = 65 kg se déplace sur des rails dont le profil est donné sur le schéma ci-dessous. Le wagonnet s'élève à différentes hauteurs. Ces hauteurs sont repérées par rapport au sol et ont pour valeur : $h_A = 18$ m ; $h_B = 10$ m ; $h_C = 15$ m ; $h_D = 4$ m ; $h_E = 20$ m. Un élève curieux, décide de savoir la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur que possède le wagonnet et la variation de cette énergie. Aide-le.

1- Définis l'énergie potentielle de pesanteur.

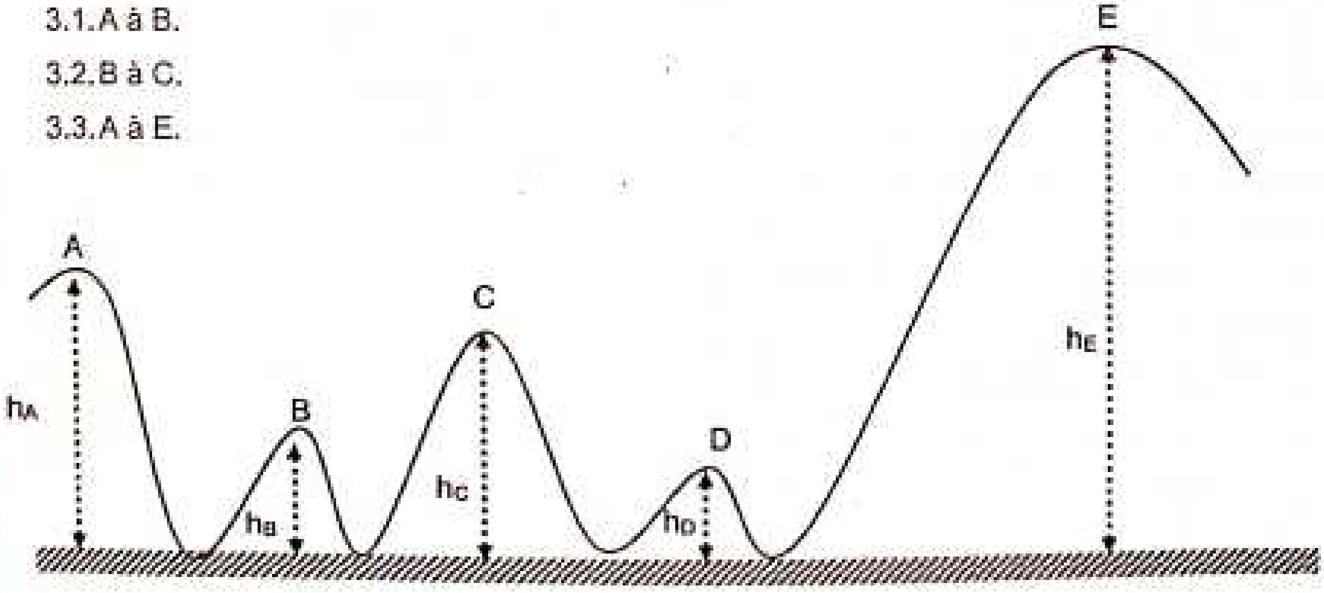
2- Calcule la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur du wagonnet en D en prenant comme niveau de référence le sol.

3- Calcule la variation d'énergie potentielle de pesanteur du wagonnet passant de :

3.1. A à B.

3.2. B à C.

3.3. A à E.



EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

1- On donne g = 10 N/kg. L'énergie potentielle de pesanteur étant choisie comme nulle au niveau de la mer, celle d'un plongeur de masse m = 100 kg à la profondeur h = 10 m, a pour valeur :

a) 1,0 kJ

b) $1{,}0.10^4$ J

c) – 10 kJ

Choisis la bonne réponse.

2- Donne l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur.

3- Lors d'une figure de free-style, une athlète de masse m = 50 kg réussit à s'élever à 7,0 m au-dessus de la mer. En prenant le niveau de la mer comme référence des énergies potentielles, calcule son énergie potentielle de pesanteur au point le plus haut de son saut.

Exercice 2

Une bille de masse m = 100 g est lancée vers le haut au-dessus d'un puits de profondeur 6 m. La bille atteint un point M d'altitude 10 m. Donnée : g = 10 N/kg.

1) Trace un axe vertical et positionne le point M, le niveau du sol (z = 0) et le fond du puits.
2) Calcule l'énergie potentielle de pesanteur de la bille lorsqu'elle est en M pour les états de référence suivants :

   2.1. au niveau du sol ;

   2.2. au fond du puits.

Exercice 3

Un treuil fixé à un hélicoptère remonte de la surface de la mer un plongeur de masse 80,0 kg. L'hélicoptère est en vol stationnaire à l'altitude de 15,0 m. Le plongeur est soulevé d'une hauteur de 10,0 m au dessus de l'eau pour être transporté. On donne : g = 10 N/kg.

1. En prenant pour origine de l'énergie potentielle l'hélicoptère, calcule l'énergie potentielle du plongeur lorsqu'il est au niveau de la mer, puis lorsqu'il est soulevé.
2. Calcule la variation d'énergie potentielle de pesanteur.
3. Donne la signification de cette variation pour le système plongeur.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

J'associe à chaque chiffre la lettre F si la proposition est fausse ou la lettre V si elle est vraie.

1- L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide est définie de façon absolue : F.

2- Plus un solide de masse m s'éloigne de la terre, plus son énergie potentielle de pesanteur est grande : V.

3- L'énergie potentielle de pesanteur d'un corps est égale à l'opposé du travail du poids de ce corps : F.

4- L'énergie potentielle de pesanteur est une grandeur scalaire : F.

5- L'énergie potentielle élastique d'un ressort comprimé est $Epe = -\frac{1}{2}kx^2$: F.

6- Le travail de la tension d'un ressort est égale à l'opposé de la variation de l'énergie potentielle élastique de ce ressort : V.

Exercice 2

Je recopie la bonne réponse pour chaque proposition

1- L'expression de son énergie potentielle élastique est :

b) $Epe = \frac{1}{2}k(\ell - \ell_0)^2$

2- Sa valeur est :

a) Epe = 0,202 J

3- On fait subit au ressort une compression supplémentaire de x' = 2 cm.

3.1. L'expression de sa nouvelle énergie potentielle élastique est :

b) $Epe = \frac{1}{2}k\left[(\ell - \ell_0) - x'\right]^2$

3.2. La valeur de cette nouvelle énergie potentielle élastique vaut :

b) Epe = 0,302 J

Exercice 3

Pour les propositions suivantes, je coche la bonne réponse.

1- L'unité de l'énergie potentielle est :

- [x] le Joule (J)
- [ ] le Watt (W)
- [ ] le Newton (N)
- [ ] le mètre (m)

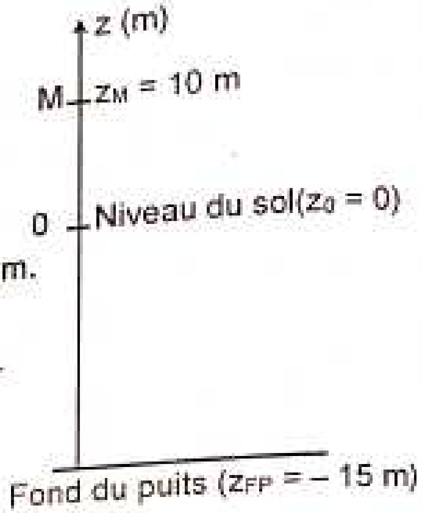
2- L'expression de l'énergie potentielle de pesanteur est donnée :

☐ par la relation $Ep = \_\, mz$.

☐ par la relation $Ep = \_\, gz^2$

☑ par la relation $Ep = mgz$.

Exercice 4



1- Je calcule l'énergie potentielle de pesanteur de la pierre :

1.1. par rapport au sol ;

$Ep = mg(z_M - z_0) = mgz_M$ car $z_0 = 0$

Application numérique : $Ep = 0{,}07 \times 10 \times 10 = 7$ J

1.2. Par rapport au fond d'un puits d'une profondeur de 15 m.

$Ep = mg(z_M - z_{FP}) = 0{,}07 \times 10 \times (10 - (-15)) = 17{,}5$ J

2- Je calcule la variation de l'énergie potentielle de pesanteur entre le niveau du sol et M

En prenant pour origine le fond du puits on a :

$\Delta Ep_{S \to M} = Ep_M - Ep_S = mg(z_M - z_{FP}) - mg(z_0 - z_{FP})$

$\Rightarrow \Delta Ep_{S \to M} = mg(z_M - z_{FP} - z_0 + z_{FP}) = mg(z_M - z_0) = mgz_M = 7$ J

Exercice 5

1- Je définis l'énergie potentielle de pesanteur.

C'est l'énergie que possède un solide du fait de sa position par rapport à la terre appelée champ de pesanteur.

2- Je calcule la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur du wagonnet en D

En prenant comme niveau de référence le sol on a : $Ep_D = mg(z_D - z_0) = mgh_D$ car $z_0 = 0$

Application numérique : $Ep_D = 65 \times 10 \times 4 = 2600$ J

3- Je calcule la variation d'énergie potentielle de pesanteur du wagonnet passant de :

3.1. A à B.

$\Delta Ep_{A \to B} = Ep_B - Ep_A = mgh_B - mgh_A = mg(h_B - h_A) = 65 \times 10 \times (10 - 18) = -5200$ J

3.2. B à C.

$\Delta Ep_{B \to C} = Ep_C - Ep_B = mgh_C - mgh_B = mg(h_C - h_B) = 65 \times 10 \times (15 - 10) = 3250$ J

3.3. A à E.

$\Delta Ep_{A \to E} = Ep_E - Ep_A = mgh_E - mgh_A = mg(h_E - h_A) = 65 \times 10 \times (20 - 18) = 1300$ J

M5 : ENERGIE MECANIQUE

James Prescott Joule
(1818-1889)
Physicien Britannique

Il étude la chaleur dégagée par les courants électriques dans les conducteurs et détermine l'équivalent mécanique de la calorie.
Il énonce le principe de **conservation de l'énergie mécanique** et, utilisant la théorie cinétique des gaz, calcule la vitesse moyenne des molécules gazeuses.
Il a également énoncé une relation entre le courant électrique traversant une résistance et la chaleur dissipée par celle-ci, appelée la loi de Joule.
Dans le système international, l'unité de travail, **d'énergie** et de chaleur porte son nom : le **joule (J).**

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	l'énergie mécanique d'un solide.
Connaître	l'expression de : - l'énergie mécanique d'un système sans ressort. - l'énergie mécanique d'un système avec ressort.
Déterminer	l'énergie mécanique totale d'un système.
Appliquer	la conservation de l'énergie mécanique dans les cas ci-dessous: - chute libre d'un solide ; - solide glissant sans frottement sur un plan incliné - solide glissant sans frottement sur une piste de profil quelconque. - solide en rotation autour d'un axe fixe. - système avec ressort.
Montrer	la non conservation de l'énergie mécanique pour un système soumis à des forces de frottement.

1. Définition et expression

- L'énergie mécanique d'un système est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle : $E_M = E_C + E_P$
- Toutes les énergies sont exprimées en joule (J).

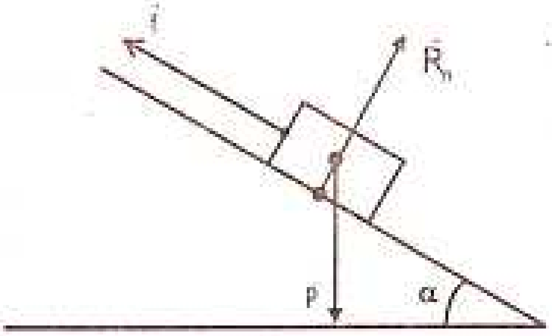
2. Conservation de l'énergie mécanique.

- En l'absence de frottement l'énergie mécanique d'un système se conserve : $\Delta E_M = 0$.
- Une diminution de l'énergie cinétique correspond à une augmentation de l'énergie potentielle de pesanteur et vice-versa.

3. Non-conservation de l'énergie mécanique

On considère un solide (S) qui glisse sur un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale. Le solide (S) est soumis à des forces de frottements au cours d'un déplacement de longueur ℓ.

- Système : solide (S)
- Bilan des forces :
  - le poids $\vec{P}$ du solide ;
  - la réaction normale $\vec{R}_n$ du support ;
  - les forces de frottement $\vec{f}$.



- Théorème de l'énergie cinétique : $\Delta E_C = \Sigma W(\vec{F}_{ext})$

$$\Delta E_C = W(\vec{P}) + W(\vec{R}_n) + W(\vec{f})$$
$$\Delta E_C = -\Delta E_P - f \times \ell$$
$$\Delta E_C + \Delta E_P = -f \times \ell$$
$$\Delta E_M = -f \times \ell < 0$$

- En présence de frottement, l'énergie mécanique d'un système diminue et est différente de zéro : on dit que le système est non-conservatif.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Choisis la bonne réponse dans les propositions suivantes :

La relation qui relie l'énergie mécanique Em, l'énergie cinétique Ec et l'énergie de potentielle Ep est :

a) Ec = Ep + Em
b) Ec = Ep - Em ×
c) Ep = Em - Ec ×
d) Ep = Em + Ec

Exercice 2

Un solide (S) de masse m peut glisser sans frottement sur un plan incliné de longueur AB = L faisant un angle α avec l'horizontale. Sachant que (S) est relâché en A sans vitesse initiale. Soit I une position du solide entre A et B. Le solide arrive en B avec une vitesse V.

1. **Relie chaque position du solide à la forme d'énergie qu'il possède.**

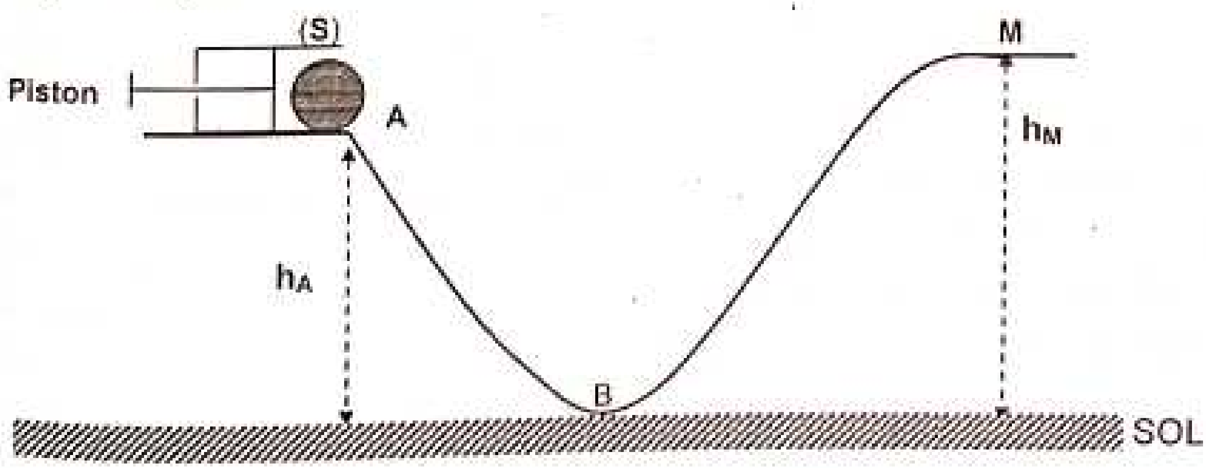
Solide en A •	• énergie cinétique
Solide en I •	• énergie thermique
Solide en B •	• énergie mécanique
	• énergie potentielle

2. **Relie chaque énergie à son expression**

Énergie en A •	• $mgL\cos\alpha$
Énergie en I •	• $\frac{1}{2}mv^2$
Énergie en B •	• $mgL\sin\alpha$
	• $\frac{1}{2}mv^2 + mgL\sin\alpha$

Exercice 3

Un jeu d'enfants consiste à propulser un solide (S) sur une piste ABM en tirant sur un piston, de façon à le loger dans une case C.



La trajectoire ABM est située dans le plan vertical.

On donne : $h_A < h_C$. On prendra le sol comme état de référence ($Epp_B = 0$ J).

On suppose que les frottements sont négligeables.

Le solide est lâché en A avec une vitesse V_A non nulle.

Choisis la bonne réponse dans les propositions suivantes :

1- L'expression de l'énergie mécanique E_{mA} en A est :

a) mgh_A b) $\frac{1}{2}mV_A^2$ c) $mgh_A + \frac{1}{2}mV_A^2$

2- L'expression de la vitesse en B est :

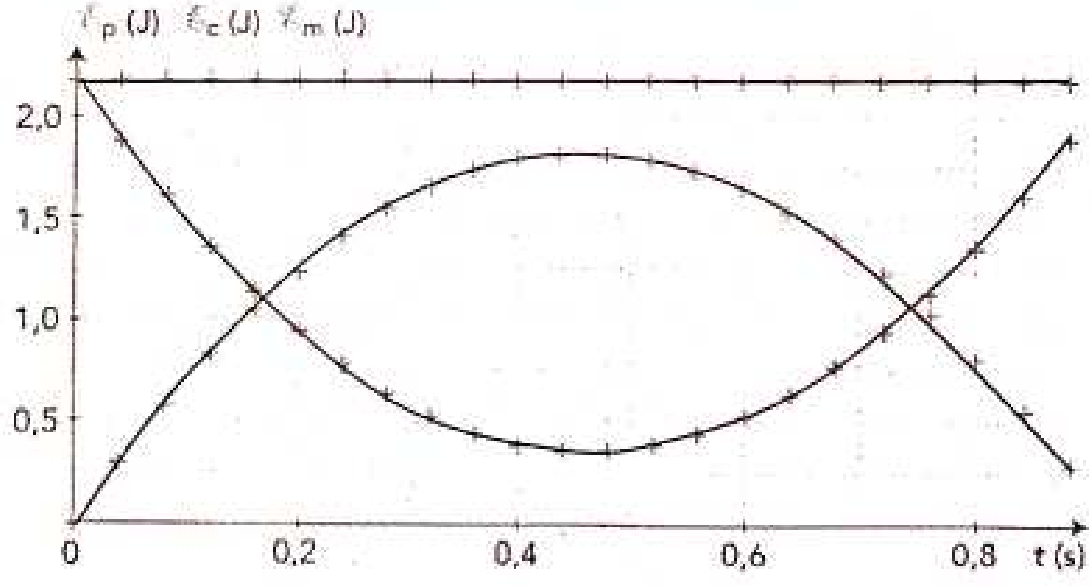
b) $V_B = V_A$ b) $\sqrt{V_A^2 + 2gh_A}$ c) $\sqrt{2gh_A}$

3- L'expression minimale de la hauteur en M ; h_M pour que le solide arrive avec une vitesse nulle en M est :

a) h_A b) $\frac{V_B}{2g}$ c) $h_A + \frac{V_A^2}{2g}$

Exercice 4

On a représenté sur ce graphique, les énergies d'une balle lancée dans le champ de pesanteur avec une vitesse initiale. Les frottements avec l'air sont négligés.



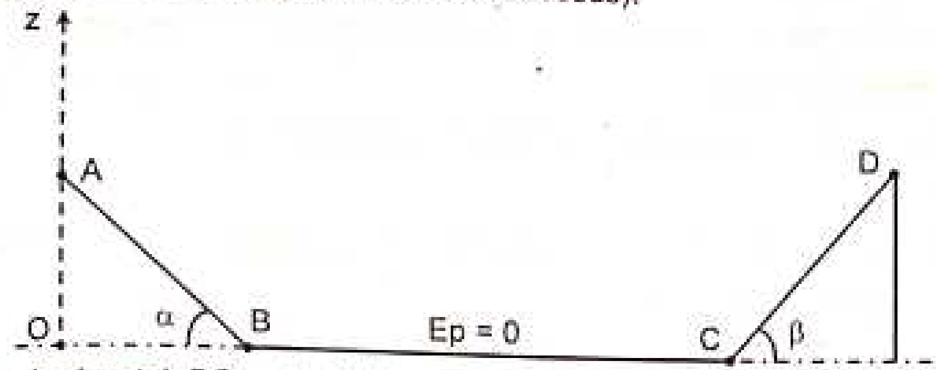
Complète les phrases ci-dessous par les groupes de mots suivants :

énergie cinétique ; énergie potentielle de pesanteur ; énergie mécanique.

- ✓ La parabole orientée vers le bas représente l'...
- ✓ La courbe rectiligne représente l'...
- ✓ La parabole orientée vers le haut représente l'...

Exercice 5

Un solide de masse m = 0,5 kg peut glisser sans frottement sur une piste dont la coupe (ABCD) est située dans un plan vertical (voir figure ci-dessous).



Le niveau horizontal BC est choisi comme origine de l'énergie potentielle de pesanteur ($Ep_p = 0$). Au départ du solide en A l'énergie mécanique du système est E = 1,2 J.

1. Calcule la vitesse initiale V_A du solide en A sachant que Z_A = 20 cm.
2. En utilisant la conservation de l'énergie mécanique, calcule la vitesse V_B du solide en B.
3. En appliquant la conservation de l'énergie mécanique, entre B et C,
   3.1. calcule la valeur de la vitesse V_c du solide en C.
   3.2. Indique la nature du mouvement du solide entre B et C.
4. Au point D la vitesse s'annule. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique entre C et D, calcule la distance d = CD parcourue par le solide. On donne : β = 30 ; g =10 N/kg.

Exercice 6

Une balle de golf de masse m = 45 g tombe en chute libre sans vitesse initiale d'une hauteur h = 10 m par rapport au sol, choisi comme référence des énergies potentielles de pesanteur.

1. Donne les hypothèses du modèle de la chute libre.
2. Donne la nature de l'énergie mécanique de la balle lors d'une chute libre.
3. Calcule la valeur de la diminution de l'énergie potentielle de pesanteur de la balle entre la hauteur h et le sol.
4. En déduis la variation d'énergie cinétique de la balle.
5. Calcule la valeur de la vitesse de la balle lorsqu'elle arrive au sol.

Exercice 7

Lors d'une partie de pêche pendant les vacances scolaires, du bord d'un pont, ton pétit frère lance verticalement vers le haut une pierre de masse m = 65 g à une vitesse V = 5,0 m/s. Le point de lancement de la pierre se trouve à une hauteur h = 4,5 m au-dessus du niveau de l'eau de la rivière. L'eau de la rivière sert de référence pour l'énergie potentielle. La pierre monte, puis redescend et pénètre dans l'eau. Soit A le point de départ, B le point le plus haut et C le niveau de l'eau. Les frottements sont considérés comme négligeables. L'enfant veut déterminer la hauteur maximale H atteinte par la pierre ainsi que sa vitesse lorsqu'elle pénètre dans l'eau. Etant élève de 1ère D, il te solicite pour l'aider. On te donne : g = 9,81 N/kg.

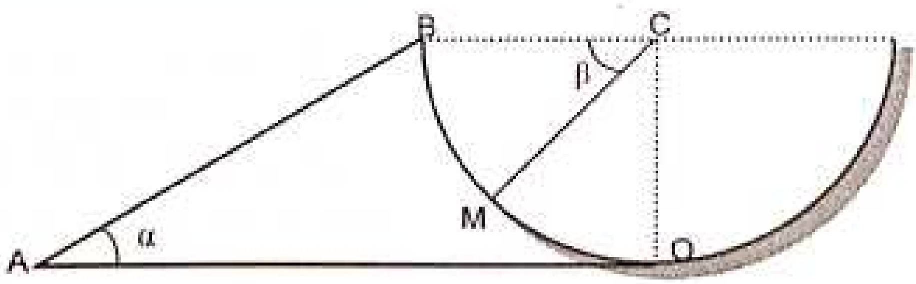
1) Exprime et calcule l'énergie cinétique Ec_A, potentielle Ep_A et mécanique Em_A de la pierre au moment où elle quitte la main de l'élève.
2) Donne la nature de l'énergie mécanique Em et en déduis la valeur de sa variation ΔEm au cours du mouvement de la pierre.
3) Donne la valeur de l'énergie cinétique Ec_B de la pierre à la hauteur H.
4) En déduis la valeur de H.
5) Donne la valeur de l'énergie potentielle Ep_C au moment où la pierre pénètre dans l'eau.
6) Exprime puis calcule la vitesse V_C de la pierre à cet instant.

Exercice 8

En vacances à Abidjan, un élève de 1ère C accompagne son petit frère dans un parc d'attraction. Le dispositif du parc est constitué d'une partie AB rectiligne, incliné d'un angle α = 30°, reposant en B sur une demi-sphère de rayon r et de centre C. Les points A et O sont dans le même plan horizontal. On pousse, en A, un enfant considéré comme un solide ponctuel de masse m = 30 kg avec une vitesse v_A de telle sorte qu'il puisse s'arrêter en B. Ensuite il glisse, sans frottement, à l'intérieur de la demi-sphère. Il est alors repéré par l'angle β. On choisit l'origine des altitudes le point O. L'élève veut déterminer la valeur de la vitesse v_A et aussi celle de l'enfant au passage du point O. Aide-le.

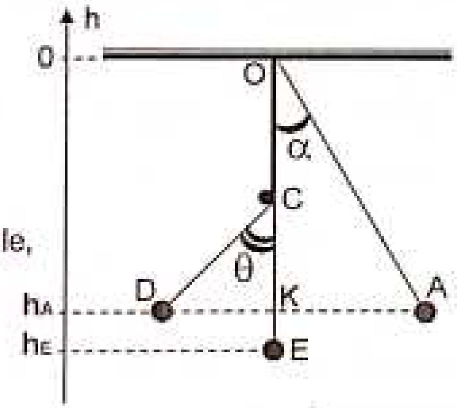
On te donne : AB = 4 m ; g = 10 N/kg.

1) **Etude sur la partie rectiligne AB**
   - 1.1. Donne l'expression de l'énergie mécanique de l'enfant en A.
   - 1.2. Donne l'expression de l'énergie mécanique de l'enfant à son arrivée en B.
   - 1.3. En utilisant la conservation de l'énergie mécanique, en déduis la valeur v_A de sa vitesse en A.
2) **Etude sur la partie circulaire BO**
   - 2.1. Calcule l'énergie mécanique en B.
   - 2.2. Exprime la vitesse v_M au point M en fonction de g, β et r.
   - 2.3. Exprime l'énergie potentielle E_p au point M en fonction de m, g, β et r.
   - 2.4. Calcule la vitesse au point O.



Exercice 9

Pendant la recréation des élèves du lycée moderne de N'douci assistent à un jeu qui consiste à utiliser un pendule constitué par une bille de masse m = 200 g accrochée à un fil de longueur L = 50 cm et de masse négligeable. Il peut osciller autour du point fixe O.



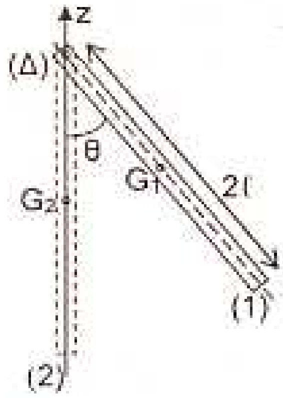
L'élève écarte le pendule d'un angle $\alpha = 40°$ par rapport à la verticale, puis il lâche la masse m sans vitesse initiale au point A. Lorsque le pendule passe par la position verticale, un clou C bloque le fil en son milieu, et la masse m remonte jusqu'à une position D faisant un angle θ avec la verticale avant de redescendre. Les élèves veulent déterminer la valeur de cet angle. Etant élève de 1ère C, tu es sollicité pour les aider.

Tu négligeras les forces de frottement et tu prendras $g = 10\ N.kg^{-1}$.

1. Calcule les hauteurs des points A et E par rapport à l'origine choisie au point O.
2. Calcule la vitesse de m lorsqu'elle passe au point E.
3. Montre, en justifiant ton raisonnement, que les points A et D sont à la même hauteur.
4. En déduis la valeur de l'angle θ.

Exercice 10 (1ère C uniquement)

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques, votre professeur de Physique-Chimie réalise l'expérience ci-contre.



Une règle homogène (masse m = 400 g ; longueur $2\ell = 1$ m), qui a la possibilité d'osciller autour d'un axe (Δ) horizontal, passe au voisinage de l'une de ses extrémités (voir figure ci-contre).

On suppose le mouvement sans frottement.

On lâche la règle sans vitesse initiale dans la position (1).

Le moment d'inertie de la règle par rapport à (Δ) est $J_\Delta = \frac{4}{3}m\ell^2$ et $g = 10\ m.s^{-2}$.

Le professeur demande à ton groupe de déterminer la vitesse angulaire et la vitesse linéaire de la règle. Tu es le rapporteur du groupe.

1- En prenant la position G_2 comme origine des énergies potentielles, exprime les énergies mécaniques Em_1 et Em_2 de la règle respectivement aux positions (1) et (2).

2- En utilisant la conservation de l'énergie mécanique, détermine la vitesse angulaire ω_2 de la règle lorsqu'elle passe à la position (2).

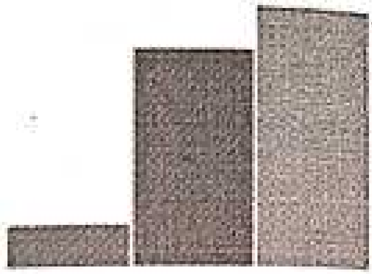
3- En déduis la vitesse linéaire V_G du centre d'inertie de la règle dans cette position.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Pour les cas suivants, coche la bonne réponse.

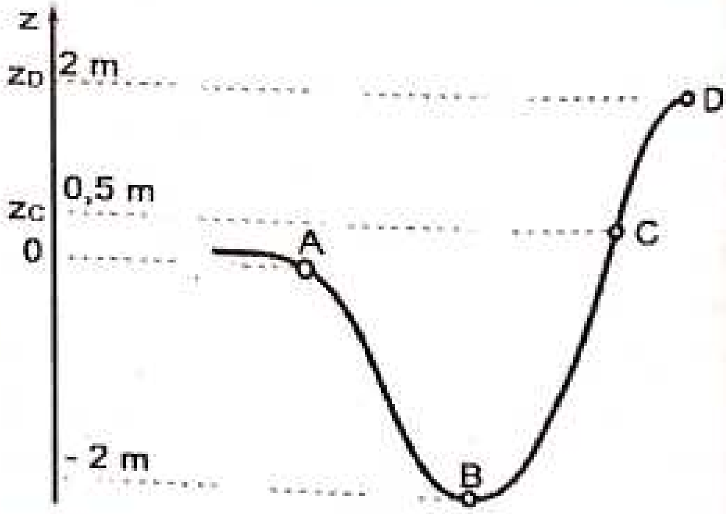
1. Un système est dit conservatif si :
   - ☐ son énergie cinétique se conserve
   - ☐ son énergie potentielle de pesanteur se conserve
   - ☐ il n'échange pas d'énergie avec le milieu extérieur
   - ☐ son énergie mécanique se conserve
2. Un objet tombe en chute libre. On a représenté sur l'histogramme de la photo ci-contre, l'énergie de potentielle de pesanteur, l'énergie cinétique et l'énergie mécanique mais on a oublié la légende.



   - ☐ L'énergie mécanique est représentée par la plus petite bande.
   - ☐ L'énergie mécanique est représentée par la bande moyenne.
   - ☐ L'énergie mécanique est représentée par la plus grande bande.

Exercice 2

Lors des JO de 2016 à Rio de Janeiro, un élève regarde à la télévision, le champion du monde de roller acrobatique aborder la piste de skateboard ci-dessous. Le système formé par l'athlète et le skate a une masse de 72,0 kg. La trajectoire représentée est celle du centre d'inertie du système, supposé comme un solide en translation. L'athlète doit atteindre le point D (V_D = 0 m/s). L'élève veut savoir la vitesse V_A que l'athlète doit appliquer en A pour y parvenir. Etant élève de 1ère D, tu es sollicité pour les aider.



1) Détermine l'énergie mécanique du système en D, en prenant comme énergie potentielle nulle le point B.
2) En supposant que l'énergie mécanique se conserve, détermine l'expression de la vitesse V_A de l'athlète pour atteindre le point D.
3) Calcule V_A.
4) En réalité, si l'athlète par avec cette vitesse V_A, il atteint seulement le point C d'altitude 0,5 m. Evalue dans ce cas le travail des forces de frottements.

Exercice 3

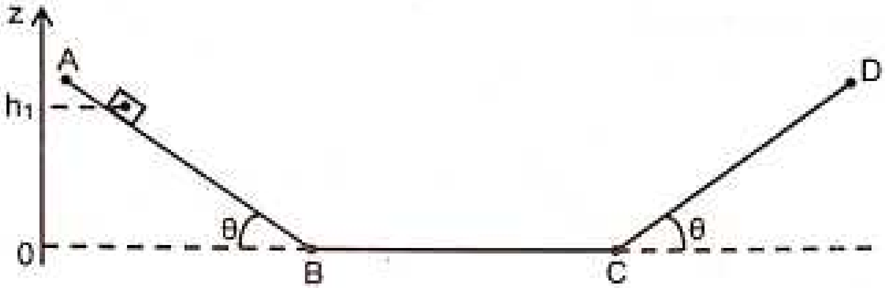
Le club scientifique de ton lycée veut expliquer lors d'une journée scientifique, la transformation de l'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique et inversement. Membre de ce club, tu es choisi pour animer ce stand où se trouve le dispositif décrit ci-dessous.

Un petit cube de masse m = 1 kg glisse le long du profil ABCD (voir figure). Les plans AB et CD sont inclinés du même angle $\theta = 30°$ par rapport à l'horizontale. Les déplacements du cube, sur les trajets AB et CD, s'effectuent sans frottement. Sur la partie horizontale BC, le cube est soumis à une force de frottement f = 3,92 N, parallèle au déplacement mais de sens opposé.

On donne : BC = L = 2 m et g = 9,8 N/kg.

On lâche le cube sans vitesse initiale sur le plan AB à partir d'une position où son centre d'inertie est situé à une hauteur h_1 = 1 m au dessus du niveau BC.

Etant un élève de cette classe, réponds à ce questionnaire.



1) En prenant le niveau BC comme origine des énergies potentielles :
   1.1. Calcule l'énergie potentielle de pesanteur E_{P1} du cube au départ du mouvement.
   1.2. En déduis l'énergie mécanique E_{m1} du cube.
   1.3. Donne la valeur de l'énergie mécanique du cube en B. Justifie ta réponse.

2)
   2.1. Calcule le travail effectué par la force de frottement sur le trajet BC.
   2.2. En utilisant les résultats des questions 1-c) et 2-a), détermine l'énergie mécanique Em_2 du cube en C.
   2.3. Calcule la vitesse du cube en C.

3) Calcule la hauteur h_2 à partir de laquelle le cube fera demi-tour le long du plan CD.

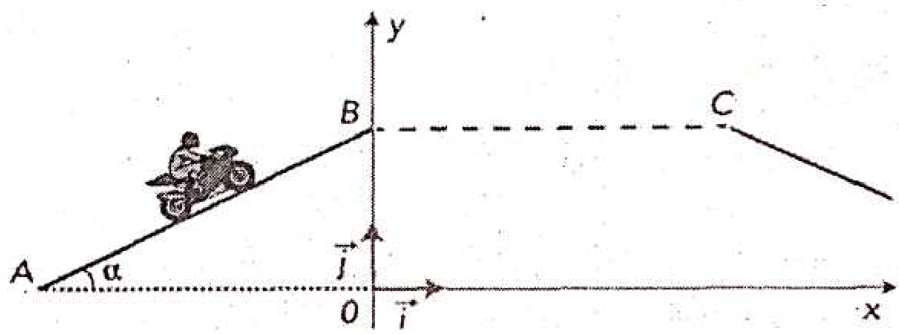
Exercice 4

Le 31 mars 2008, l'Australien Robbie Maddison a battu son propre record de saut en longueur à moto. Soit un tremplin incliné d'un angle $\alpha = 27,0°$ par rapport à l'horizontale. On considère que Maddison a parcouru le tremplin AB avec une vitesse de valeur constante égale à 160 $km.h^{-1}$. Au point B, il s'est envolé pour un saut d'une portée BC = 107 m. Entre B et C, toute force autre que le poids est supposée négligeable. Des élèves de 1ère D assistant à ce concours veulent déterminer la vitesse de l'althlète à l'arrivée au point C. Aide-les.

On te donne : g = 9,81 $N.kg^{-1}$; m = 180 kg ; AB = 7,86 m.

Tu choisiras l'altitude du point A comme référence des énergies potentielles de pesanteur.

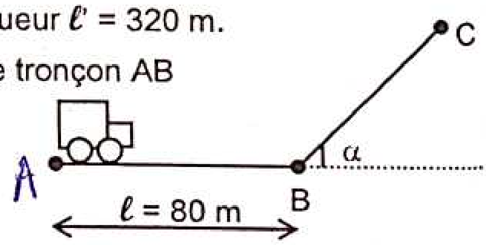
1. Exprime l'énergie mécanique du système {motard + moto} en fonction de la valeur de la vitesse V et de l'altitude y.
2. Calcule l'énergie cinétique du système au point A.
3.
   3.1. Exprime l'altitude y_B du point B en fonction de AB et de α.
   3.2. En déduis la variation d'énergie potentielle de pesanteur du système, lorsque le système passe du point A au point B.
   3.3. Indique la manière dont évolue l'énergie mécanique du système lorsqu'il passe de A à B. Justifie.
4. Indique la manière dont évolue l'énergie mécanique du système lorsqu'il passe de B à C. Justifie.
5. En déduis sa vitesse au point C.



Exercice 5(extrait Probatoire Blanc série D Cameroun 2009)

A la fin des cours, un élève de 1ère D, en route pour la maison, aperçoit un « wotrotiki » avec chariot de masse m = 100 kg qui est astreint à se déplacer en translation le long d'une voie composée de deux tronçons : AB, horizontal et de longueur ℓ = 80 m ; BC, incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale tel que sinα = 0,013 et de longueur ℓ' = 320 m.

Le pousse-pousse applique au chariot, uniquement sur le tronçon AB de la voie, une force $\vec{F}$ horizontale et constante.



On prend pour niveau de référence pour l'énergie potentielle de pesanteur le plan horizontal contenant le tronçon horizontal et pour intensité de la pesanteur g = 9,8 $N.kg^{-1}$.

L'élève voudrait déterminer l'intensité minimale de la force $\vec{F}$ pour que le chariot, partant du repos en A, arrive en C avec une vitesse nulle. Pour cela, il forme l'hypothèse que le chariot se déplace sur la piste sans frottements (sur les deux tronçons). Tu es sollicité pour l'aider.

1- En utilisant la conservation de l'énergie mécanique entre B et C, montre que la vitesse minimale du chariot en B pour qu'il atteigne C avec une vitesse nulle est V_{min} = 9 m/s.

2- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au chariot entre A et B, détermine la valeur F_{min} de l'intensité minimale de la force $\vec{F}$.

3- On constate que le chariot n'atteint C (avec une vitesse nulle) que si on lui applique une force $\vec{F}$ d'intensité plutôt égale à 91 N.

Montre si l'hypothèse formulée à la question 1 était valable. Justifie la réponse.

4- Un de tes camarades propose de modéliser la situation en appliquant au chariot une force f parallèle à la voie, d'intensité constante de sens contraire à celui du mouvement et qui s'exerce sur le chariot tout au long de son mouvement.

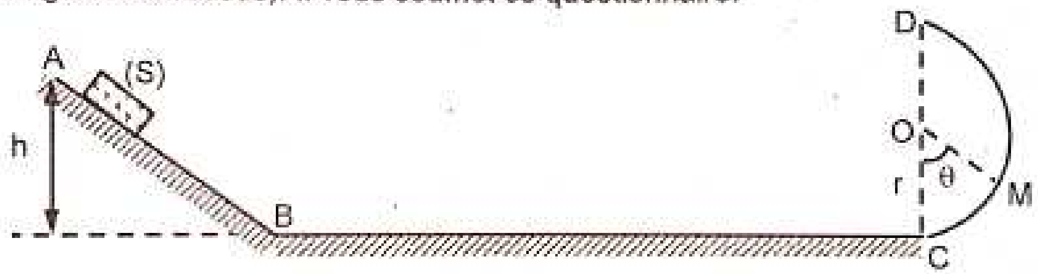
4-1. Fais le bilan des forces qui s'exercent sur le chariot sur le tronçon AB puis sur CB.

4-2. Calcule l'intensité de la force f.

Exercice 6

Au cours d'une évaluation, votre professeur de Physique-Chimie de 1ère C veut tester vos connaissances sur la conservation de l'énergie mécanique. Pour cela, il met à votre disposition le schéma représenté ci-dessous.

Un solide (S) de masse $m = 2$ kg descend un plan AB incliné d'un angle $\alpha = 30°$ avec l'horizontale. Arrivé au bas du plan incliné, il rencontre un plan horizontal BC où il subit des forces de frottements d'intensité constante f. En C, il monte sur une surface circulaire CD de rayon r (voir figure ci-dessous). Il vous soumet ce questionnaire.



Tu prendras comme origine des altitudes et comme position de référence le niveau du plan horizontal. **On te donne** : $g = 10$ N/kg ; $h = 2$ m ; $BC = 150$ m ; $r = 1$ m.

1)

1-1. Détermine l'énergie mécanique de (S) Dans la position initiale A.

1-2. Sachant que $\frac{1}{4}$ de l'énergie mécanique est perdue par frottement au cours du trajet AB, en déduis la vitesse V_B du solide (S) en B.

2)

2-1. Détermine et représente les forces agissant sur le solide pendant le tronçon AB.

2-2. Détermine l'intensité de f pour que le solide arrive en C avec 50% de sa vitesse en B.

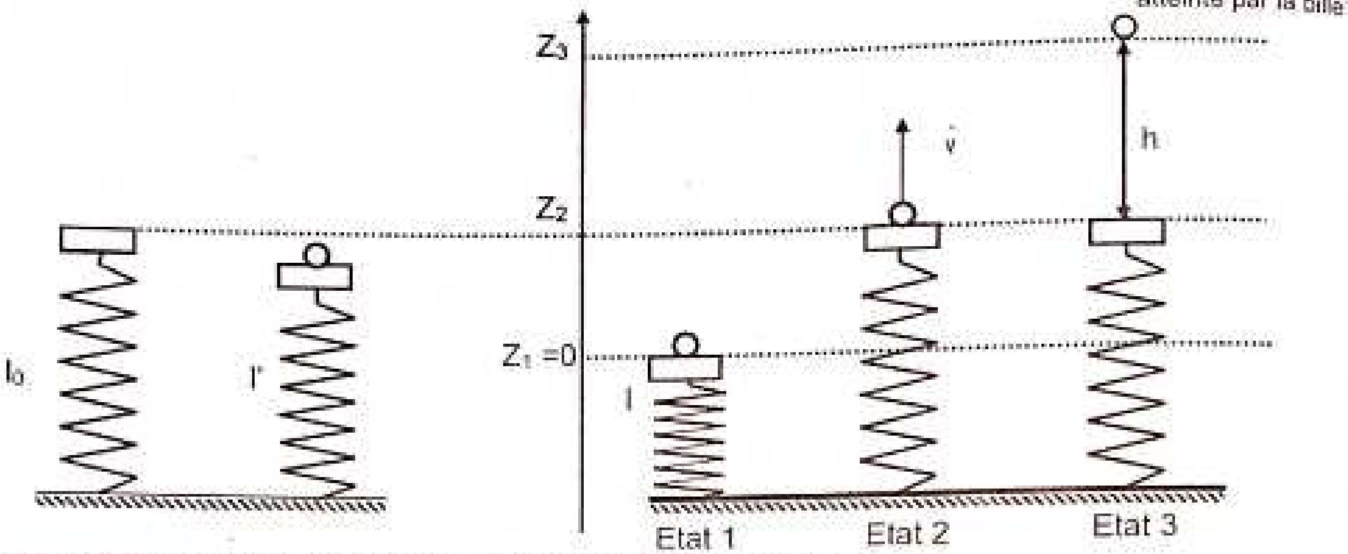
3) Exprime la vitesse V_M du solide en fonction de r, θ, V_B et g :

3-1. en utilisant le théorème de l'énergie cinétique ;

3-2. en utilisant la conservation de l'énergie mécanique.

Exercice 7 (1ère C uniquement)

Tes camarades de classe testent le ressort d'une voiturette abandonnée au laboratoire de physique-chimie. Ce ressort, de masse négligeable, de coefficient de raideur k, a une longueur à vide $\ell_0 = 20$ cm. Ils posent une bille de masse m = 100 g sur l'extrémité du ressort. Celui-ci se comprime jusqu'à atteindre une longueur $\ell' = 17,5$ cm.



Tu es désigné pour faire le rapport. On te donne $g = 10\ m.s^{-2}$.

1-

1.1. Représente les forces qui s'exercent sur la bille à l'équilibre.

1.2. Calcule le coefficient de raideur k du ressort.

2- Les élèves exercent une force $\vec{F}$, verticale vers le bas, sur la bille jusqu'à obtenir, après compression, un nouvel équilibre, tel que la longueur du ressort soit $\ell = 10$ cm.

Détermine l'intensité de la force $\vec{F}$.

3- Un dispositif de blocage permet de maintenir le ressort comprimé dans cette position 1.

Dès qu'on libère le ressort, il se détend et projette la bille verticalement.

3.1. Remplis le tableau ci-joint en exprimant littéralement les différentes énergies.

3.2. Calcule l'énergie mécanique E_m dans l'état 1.

3.3. Calcule la vitesse atteinte par la bille dans l'état 2.

3.4. Calcule la hauteur h atteinte par la bille dans l'état 3.

Energies / Etats	Energie potentielle de pesanteur	Energie potentielle élastique	Energie cinétique	Energie mécanique
Etat 1				
Etat 2				
Etat 3				

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Je choisis la bonne réponse dans les propositions :

La relation qui relie l'énergie mécanique Em, l'énergie cinétique Ec et l'énergie de potentielle Ep est :

c) $Ep = Em - Ec \Rightarrow Ep + Ec = Em$ ou $Em = Ep + Ec$

Exercice 2

1. Je relie chaque position du solide à la forme d'énergie qu'il possède.

Solide en A	énergie cinétique
Solide en I	énergie thermique
Solide en B	énergie mécanique
	énergie potentielle

2. Je relie chaque énergie à son expression

Énergie en A	$mgL\cos\alpha$
Énergie en I	$\frac{1}{2}mv^2$
Énergie en B	$mgL\sin\alpha$
	$\frac{1}{2}mv^2 + mgL\sin\alpha$

Exercice 3

Je choisis la bonne réponse dans les propositions :

1- L'expression de l'énergie mécanique E_{mA} en A est :

c) $mgh_A + \frac{1}{2}mV_A^2$

2- L'expression de la vitesse en B est :

b) $\sqrt{V_A^2 + 2gh_A}$

3- L'expression minimale de la hauteur en M, h_M, pour que le solide arrive avec une vitesse nulle en M est :

c) $h_A + \frac{V_A^2}{2g}$

Exercice 4

Je complète les phrases ci-dessous par les groupes de mots :

énergie cinétique ; énergie potentielle de pesanteur ; énergie mécanique.

- ✓ La parabole orientée vers le bas représente l'*énergie potentielle.*
- ✓ La courbe rectiligne représente l'*énergie mécanique.*
- ✓ La parabole orientée vers le haut représente l'*énergie cinétique.*

Exercice 5

1. **Calculons la valeur de la vitesse initiale V_A du solide en A sachant que Z_A = 20 cm.**

$$Em_A = Ec_A + Ep_A = \frac{1}{2}mV_A^2 + mgz_A \Rightarrow m\left(\frac{1}{2}V_A^2 + gz_A\right) = Em_A \Rightarrow \frac{1}{2}V_A^2 + gz_A = \frac{Em_A}{m}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}V_A^2 = \frac{Em_A}{m} - gz_A \Rightarrow V_A^2 = 2\left(\frac{Em_A}{m} - gz_A\right) \Rightarrow V_A = \sqrt{2\left(\frac{Em_A}{m} - gz_A\right)}$$

Application numérique : $V_A = \sqrt{2\times\left(\frac{12}{0,5} - 10\times 0,2\right)} = \underline{6,63\ m/s}$

2. **Calculons la valeur de la vitesse V_B du solide en B.**

En utilisant la conservation de l'énergie mécanique on a :

$$Em_A = Em_B \Rightarrow Em_A = Ec_B + Ep_B = \frac{1}{2}mV_B^2 + 0 \Rightarrow \frac{1}{2}mV_B^2 = Em_A \Rightarrow V_B = \sqrt{\frac{2Em_A}{m}}$$

Application numérique : $V_B = \sqrt{\frac{2\times 12}{0,5}} = \underline{6,93\ m/s}$

3. **En appliquant la conservation de l'énergie mécanique, entre B et C,**

3.1. calculons la valeur de la vitesse V_C du solide en C.

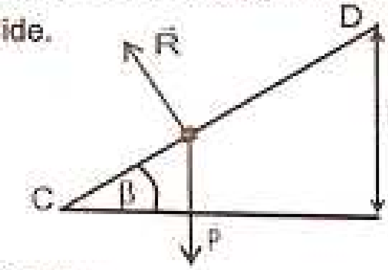
$$Em_C = Em_B \Rightarrow Ec_C + Ep_C = Ec_B + Ep_B \Rightarrow Ec_C + 0 = Ec_B + 0 \Rightarrow Ec_C = Ec_B$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mV_C^2 = \frac{1}{2}mV_B^2 \Rightarrow V_C^2 = V_B^2 \Rightarrow V_C = V_B = \underline{6,93\ m/s}$$

3.2. Donnons la nature du mouvement du solide entre B et C.

$V_C = V_B = 6,93\ m/s$ donc la vitesse entre B et C est constante. De plus la trajectoire est une droite ; d'où le mouvement du solide entre B et C est rectiligne uniforme.

4. **Calculons la distance d = CD parcourue par le solide.**



- **Système** : solide de masse
- **Bilan des forces :**
  - le poids $\vec{P}$ du solide ;
  - la réaction $\vec{R}$ de la piste ;

En utilisant le théorème de l'énergie cinétique entre C et D on a :

$$\Delta Ec_{C\to D} = \Sigma W_{C\to D}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_D - Ec_C = W_{C\to D}(\vec{P}) + W_{C\to D}(\vec{R}) \text{ avec } Ec_D = 0 \text{ et } W_{C\to D}(\vec{R}) = 0$$

$$\Rightarrow 0 - \frac{1}{2}mV_C^2 = -mgh + 0 \Rightarrow \frac{1}{2}mV_C^2 = mgd\sin\beta \Rightarrow gd\sin\beta = \frac{1}{2}V_C^2 \Rightarrow d = \frac{V_C^2}{2g\sin\beta}$$

Application numérique : $d = \frac{(6,93)^2}{2\times 10\times \sin 30°} = \underline{4,8\ m}$

Exercice 6

1. **Hypothèses du modèle de la chute libre.**

On va négliger le frottement de l'air sur la balle. Il s'agit d'un mouvement uniformément accéléré sous l'effet de l'accélération de la pesanteur g.

2. **Nature de l'énergie mécanique de la balle lors d'une chute libre.**

L'énergie mécanique de la balle reste constante Em = Ep + Ec = Cte.

3. **Valeur de la diminution de l'énergie potentielle de la balle entre la hauteur h et le sol.**

$\Delta Ep = Ep_{finale} - Ep_{initiale} = m \times g \times 0 - m \times g \times h = 0 - 45.10^{-3} \times 9{,}81 \times 10 = -4{,}41\ J$

4. **Déduction de la variation d'énergie cinétique de la balle.**

D'après le théorème de l'énergie cinétique on a : $\Delta Ec = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W(\vec{P})$

Puisque la balle de golf n'est soumise qu'à son poids lors de sa chute.

Or $W(\vec{P}) = -\Delta Ep$ donc $\Delta Ec = W(\vec{P}) = -\Delta Ep = -(-4{,}41) \Rightarrow \Delta Ec = 4{,}41\ J$

5. **Calcul de la valeur de la vitesse de la balle lorsqu'elle arrive au sol.**

Au début de la chute l'énergie cinétique est nulle et au niveau du sol elle est maximum.

$\Delta Ec = Ec_{finale} - Ec_{initiale} = \frac{1}{2}mV_f^2 - 0 = \frac{1}{2}mV_f^2 \Rightarrow V_f^2 = \frac{2\Delta Ec}{m} \Rightarrow V_f = \sqrt{\frac{2\Delta Ec}{m}}$

Application numérique : $V_f = \sqrt{\frac{2 \times 4{,}41}{45.10^{-3}}} = 14\ m/s$

Exercice 7

1) **Expression et calcul des énergies cinétique Ec_A, potentielle Ep_A et mécanique Em_A**

✓ $Ec_A = \frac{1}{2}mV^2 = 0{,}5 \times 65 \times 10^{-3} \times 5{,}0^2 = 8{,}1.10^{-1}\ J$;

✓ $Ep_A = mgh = 65 \times 10^{-3} \times 9{,}81 \times 4{,}5 = 2{,}9\ J$;

✓ $Em_A = Ec_A + Ep_A = 8{,}1.10^{-1} + 2{,}9 = 3{,}7\ J$.

2) **Nature de Em et valeur de ΔEm au cours du mouvement de la pierre.**

La valeur de Em reste constante au cours du mouvement de la pierre car les frottements sont négligeables. Il y a donc conservation de l'énergie mécanique : Em = cte.

$\Delta Em = Em_B - Em_A = 0$

3) **Valeur de l'énergie cinétique Ec_B de la pierre à cette hauteur.**

L'énergie cinétique de la pierre à cette hauteur est nulle ($Ec_B = 0\ J$) car sa vitesse s'annule avant de chuter.

4) **Déduction de la valeur de H.**

L'énergie mécanique se conserve donc $Em_A = Em_B = mgH$

d'où $mgH = Em_A \Rightarrow H = \frac{Em_A}{m \times g} = \frac{3{,}7}{65 \times 10^{-3} \times 9{,}81} = 5{,}8\ m$.

5) **Valeur de l'énergie potentielle Ep_C de la pierre au moment où elle pénètre dans l'eau.**

L'énergie potentielle de la pierre au moment où elle pénètre dans l'eau est nulle ($Ep_C = 0\ J$) car l'eau est l'origine des énergies potentielles.

6) **Expression puis calcul de la vitesse V_C en km/h de la pierre à cet instant.**

Les frottements sont négligeables donc $\Delta Em = 0\ J$ d'où $Em_A = Em_B = Em_C$

Soit $Em_A = Ec_C = \frac{1}{2}mV_C^2$

d'où $\frac{1}{2}mV_C^2 = Em_A \Rightarrow V_C^2 = \frac{2Em_A}{m} \Rightarrow V_C = \sqrt{\frac{2Em_A}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 3{,}7}{65 \times 10^{-3}}} \approx 11\ m/s$

Exercice 8

1. **Etude sur la partie rectiligne AB**

1.1. Je donne l'expression de l'énergie mécanique de l'enfant en A.

$$Em(A) = Ec(A) + Ep(A) = Ec(A) + 0 = Ec(A) = \frac{1}{2}mv_A^2$$

Le point A étant au niveau du sol donc $z_A = 0$ d'où $Ep(A) = 0$.

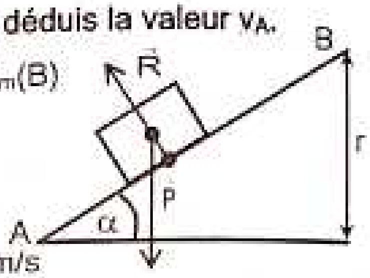
1.2. Je donne l'expression de l'énergie mécanique de l'enfant à son arrivée en B.

$$Em(B) = Ec(B) + Ep(B) = 0 + Ep(B) = Ep(B) = mgz_B = mgr$$

Le solide s'arrêtant en B donc $v_B = 0$ d'où $E_c(B) = 0$.

$$\sin\alpha = \frac{r}{AB} \Rightarrow r = AB\sin\alpha \Rightarrow Em(B) = mgAB\sin\alpha$$

1.3. En utilisant la conservation de l'énergie mécanique, j'en déduis la valeur v_A.



L'énergie mécanique se conserve donc on a : $E_m(A) = E_m(B)$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 = mgAB\sin\alpha \Rightarrow \frac{1}{2}v_A^2 = gAB\sin\alpha$$

$$\Rightarrow v_A^2 = 2gAB\sin\alpha \Rightarrow v_A = \sqrt{2gAB\sin\alpha}$$

Application numérique : $v_A = \sqrt{2\times10\times4\times\sin30^\circ} = \underline{6{,}32\ m/s}$

2. **Etude sur la partie circulaire BO.**

2.1. Calculons l'énergie mécanique en B.

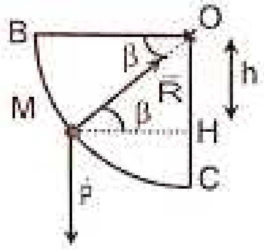
$$E_m(B) = E_c(B) + E_p(B)$$

La vitesse du skieur est nulle au départ donc $E_c(B) = 0$.

Ainsi on a : $E_m(B) = E_p(B) = mgr = mgAB\sin\alpha$

Application numérique : $E_m(B) = 0{,}1\times10\times4\times\sin30^\circ = 2\ J$.

2.2. Exprimons la vitesse v_M au point M en fonction de g, β et r.



- **système** : solide de masse m
- **bilan des forces :**
  - le poids $\vec{P}$ du solide ;
  - la réaction $\vec{R}$ de la demi-sphère.
- **théorème de l'énergie cinétique entre A et M :**

$$\Delta Ec_{A\to M} = \Sigma W_{A\to M}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_M - Ec_A = W_{A\to M}(\vec{P}) + W_{A\to M}(\vec{R})$$

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

- **Déterminons la hauteur h et déduisons l'expression de la vitesse v_M**

D'après les propriétés métriques du triangle rectangle OMH on a :

$$\sin\beta = \frac{OH}{OM} = \frac{h}{r} \Rightarrow h = r\sin\beta \Rightarrow v_M = \sqrt{2gr\sin\beta}$$

2.3. Exprimons l'énergie potentielle E_p au point M en fonction de m, g, β et r.

$$E_p = mgz_M = mgHC = mg(OC - OH) = mg(r - r\sin\beta) = mgr(1-\sin\beta) \Rightarrow E_p = mgr(1-\sin\beta)$$

2.4. Calculons la vitesse au point C

En C, $\beta = \frac{\pi}{2}$ or $\sin\frac{\pi}{2} = 1$ donc $v_C = \sqrt{2gr} = \sqrt{2gAB\sin\alpha}$

Application numérique : $v_C = \sqrt{2\times 10\times 4\times \sin 30°} = 6{,}32$ m/s

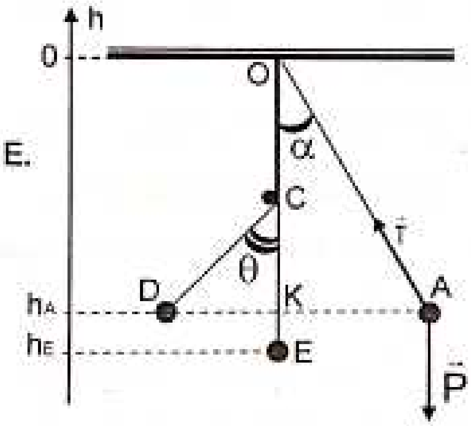
Exercice 9

1. **Calcul des hauteurs des points A et E par rapport à l'origine choisie au point O.**

➢ $h_A = -OK = -OA\times\cos\alpha = -L\times\cos\alpha$

A.N. : $h_A = -50\times\cos 40° = -38$ cm $= -0{,}38$ m

➢ $h_E = -OE = -L = -50$ cm $= -0{,}50$ m



2. **Calcul de la vitesse de m lorsqu'elle passe au point E.**

Système : { la bille de masse m }

Référentiel : terrestre

Forces extérieures :

➢ son poids $\vec{P}$;

➢ la tension du fil $\vec{T}$

La tension du fil ne travaille pas car elle est en tout point perpendiculaire à la trajectoire, donc la seule force qui travaille est le poids de la bille. On peut donc affirmer que l'énergie mécanique du système reste constante au cours du mouvement :

$Em_E = Em_A$ soit $Ec_E + Ep_E = Ec_A + Ep_A \Rightarrow Ec_E = Ec_A + Ep_A - Ep_E$

Application numérique :

➢ $Ec_A = 0$;

➢ $Ep_A = mgh_A = 0{,}200\times 10\times(-0{,}38) = -0{,}76$ J

➢ $Ep_E = mgh_E = 0{,}200\times 10\times(-0{,}50) = -1{,}0$ J.

Donc $Ec_E = -0{,}76 - (-1{,}0) = +0{,}24$ J

$Ec_E = \frac{1}{2}mV_E^2 \Rightarrow V_E = \sqrt{\frac{2\times Ec_E}{m}}$

Application numérique : $V_E = \sqrt{\frac{2\times 0{,}24}{0{,}2}} = 1{,}55$ m/s soit $V_E = 1{,}55$ m.s^{-1}

3. **Montrons, en justifiant, que les points A et D sont à la même hauteur.**

En l'absence de frottements, l'énergie mécanique se conserve.

$Em_D = Em_A$ soit $Ec_D + Ep_D = Ec_A + Ep_A$ avec $Ec_D = Ec_A = 0$ donc $Ep_D = Ep_A$

c'est-à-dire $mgh_D = mgh_A$ donc $h_D = h_A$: les points A et D sont à la même hauteur.

4. **Déduction de la valeur de l'angle θ.**

Le clou C bloque le fil en son milieu donc $OC = CE = CD = \frac{50}{2} = 25$ cm

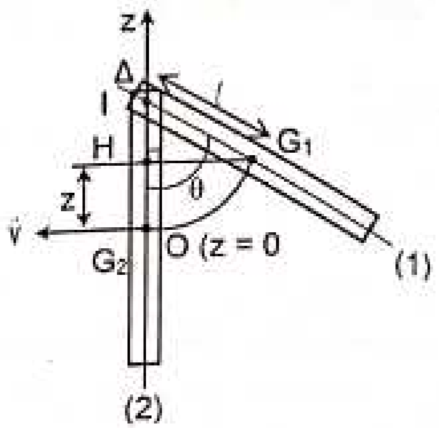
$CK = OK - OC = 38 - 25 = 13$ cm

Dans le triangle rectangle CDK on a : $\cos\theta = \frac{CK}{CD} = \frac{13}{25} = 0{,}52$

D'où $\theta = \cos^{-1}(0{,}52) = 59°$

Exercice 10 (1ère C uniquement)

1- J'exprime les énergies mécaniques Em_1 et Em_2 de la règle aux positions (1) et (2).



- Position (1) :
  - ✓ Energie cinétique : $Ec_1 = 0$ car la règle est immobile ;
  - ✓ Energie potentielle : $Ep_1 = Mgz$ avec $z = OH$;
  - ✓ Energie mécanique : $Em_1 = Ec_1 + Ep_1 = Mgz$.
- Position (2) :
  - ✓ Energie cinétique : $Ec_2 = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2$ avec ω la vitesse angulaire ;
  - ✓ Energie potentielle : $Ep_2 = 0$ car $z = 0$;
  - ✓ Energie mécanique : $Em_2 = Ec_2 + Ep_2 = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2$.

2- Je détermine la vitesse angulaire ω_2 de la règle lorsqu'elle passe à la position (2).

Il y a conservation de l'énergie mécanique lorsque la règle passe de la position (1) à la position (2) donc on a : $Em_1 = Em_2 \Rightarrow Ec_2 = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2 = Mgz$

- **Calcul de z**

  $z = OH = G_2H = OI - IH = \ell - OH$

  D'après les propriétés métriques du triangle rectangle IHG_1 on a :

  $$\cos\theta = \frac{IH}{IG_1} = \frac{IH}{\ell} \Rightarrow IH = \ell\cos\theta \Rightarrow z = \ell - \ell\cos\theta \Rightarrow z = \ell(1-\cos\theta)$$

  Ainsi on a : $Ec_2 = Mgz = Mg\ell(1 - \cos\theta)$

  Application numérique : $Ec_2 = 0{,}4\times9{,}8\times0{,}5\times(1 - \cos60°) = 0{,}98$ J

- **Calcul de la vitesse angulaire ω dans la position 2.**

  $$Ec_2 = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2 = \frac{1}{2}\times\frac{4}{3}M\ell^2\omega^2 = \frac{2}{3}M\ell^2\omega^2 \Rightarrow \omega^2 = \frac{Ec_2}{\frac{2}{3}M\ell^2} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{3Ec_2}{2M\ell^2}}$$

  Application numérique : $\omega = \sqrt{\frac{3\times0{,}98}{2\times0{,}4\times(0{,}5)^2}} \approx 3{,}84$ rad/s

3- J'en déduis la vitesse linéaire V_G du centre d'inertie de la règle dans cette position.

$V_G = \ell\omega = 0{,}5\times3{,}8 = 1{,}9$ m.s^{-1}.

THEME 2

ELECTRICITE ET ELECTRONIQUE

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

Leçon 1 : ESPACE CHAMP ELECTROSTATIQUE

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 détermine 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).

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	• la force électrostatique. • l'espace champ électrostatique. • le vecteur champ électrostatique.
Connaître	• la relation entre le champ électrostatique et la force électrostatique. • les caractéristiques du vecteur champ électrostatique.
Définir	une ligne de champ électrostatique.
Représenter	• les lignes de champ électrostatique : - pour une charge q positive ; - pour une charge q négative. • les lignes de champ électrostatique entre deux plaques parallèles.
Définir	le spectre de champ électrostatique.
Représenter	le vecteur champ électrostatique crée en un point de l'espace par une charge ponctuelle.
Déterminer	les caractéristiques du vecteur champ électrostatique uniforme.
Représenter	le vecteur champ électrostatique uniforme.

RAPPEL DE COURS

1. Charges électriques

1.1. Différents types de charges électriques

Il existe deux types de charges électriques : les charges **positives** et les charges **négatives.**

1.2. Interaction entre charges électriques

Deux corps chargés de **même signe** se repoussent : on dit qu'il y a **répulsion.**

Deux corps chargés de **signes contraires** s'attirent : on dit qu'il y a **attraction.**

2. Vecteur champ électrostatique

2.1. Définitions

- L'interaction entre deux charges électriques se traduit par l'existence d'une force à distance appelée force électrostatique.
- La région de l'espace où tout corps chargé est soumis à une force électrostatique est par contre appelée champ électrostatique.
- Il existe une relation vectorielle entre le champ électrostatique $\vec{E}$, la force électrostatique $\vec{F}$ et la charge électrique q telle que : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ ou $\vec{F} = q\vec{E}$.

2.2. Conséquences

- $\vec{E}$ et $\vec{F}$ ont la même direction : on dit qu'ils sont colinéaires.
- Leurs sens dépendent du signe de la charge électrique q :
  - 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.
- Leurs valeurs sont reliées par la relation : $E = \frac{F}{|q|}$ ou $F = |q|E$
  - F : valeur de la force en newton (N) ;
  - q : charge électrique en coulomb (C) ;
  - E : valeur du champ électrique en volt par mètre (V/m).

Remarque :

- e n'est pas l'abréviation de l'électron mais indique la charge élémentaire : $e = 1,6.10^{-19}$ C.
- Pour une particule X^{n+}, sa charge vaut : $q = +n \times e$ (où n est un nombre entier non nul).
- Pour une particule X^{m-}, sa charge vaut : $q = -m \times e$ (où m est un nombre entier non nul).
- Cas particuliers : charge du proton : $q = +e$; charge de l'électron : $q = -e$.

2.3. Topologie d'un champ électrostatique

2.3.1. Lignes de champ

C'est une ligne continue, tangente au vecteur champ électrostatique en chacun de ses points et orientée dans le sens du vecteur champ.

2.3.2. Spectre électrostatique

C'est l'ensemble des lignes de champ d'un espace champ électrostatique.

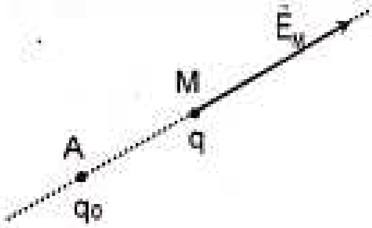
3. Exemples de champ électrostatique

3.1. Champ crée par une charge ponctuelle

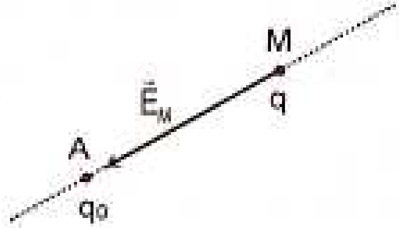
3.1.1. Définition

Autour d'un point A quelconque où est placée une charge ponctuelle q_0 immobile, il existe un champ électrostatique $\vec{E}$.

Quelle que soit la position d'un point M où est placée une charge q, le champ $\vec{E}_M$ crée par la charge q_0 au point M est colinéaire à $\overrightarrow{AM}$: on dit que le champ $\vec{E}_M$ est radial.

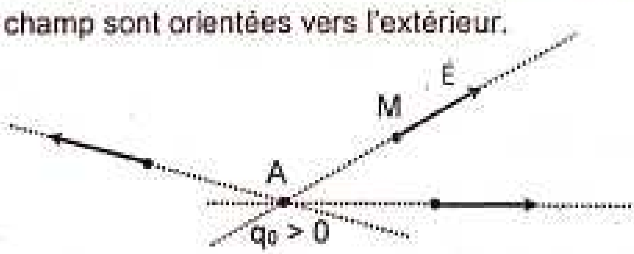


ou bien

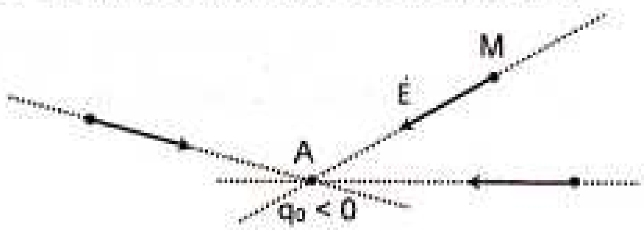


3.1.2. Conséquences

- si $q_0 > 0$, le champ crée par q_0 en M est divergent ou centrifuge (il fuit la charge q_0) et les lignes de champ sont orientées vers l'extérieur.



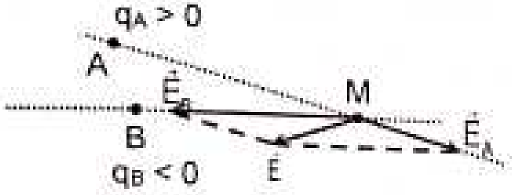
- si $q_0 < 0$, le champ crée par q_0 en M est convergent ou centripète (il va vers la charge q_0) et les lignes de champ sont orientées vers l'intérieur.



3.2. Distribution de charges ponctuelles

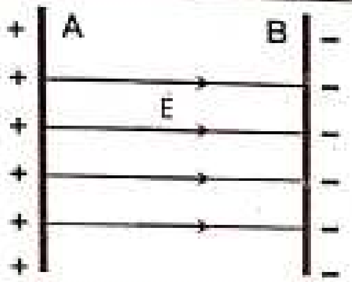
Le vecteur champ électrostatique crée en un point quelconque par un ensemble de charges est égal à la somme des vecteurs champs électrostatiques crées en ce point par chacune des charges : $\vec{E} = \Sigma\vec{E}_i$.

Exemple :



$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B$

3.3. Champ crée par deux plaques métalliques parallèles



- Les deux plaques métalliques A et B sont appelées armatures.
- Les lignes de champ sont parallèles entre elles et perpendiculaires aux armatures.
- Le vecteur champ électrostatique est uniforme (même direction, même sens et même valeur) en tout point et orienté de l'armature positive vers l'armature négative
- Un tel dispositif est appelé condensateur plan.

4. Conditions d'équilibre d'un solide soumis à trois forces

Soit un solide (S) soumis à trois forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$.

Le solide (S) est en équilibre si les trois conditions suivantes sont vérifiées :

- les forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ sont coplanaires (même plan) ;
- les supports ou direction ou droite d'action de ces forces sont concourants (se coupent en un point) ;
- la somme vectorielle des forces appliquées est nulle : $\Sigma\vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$.

5. Méthodes pratiques :

➢ **Comment déterminer la force électrostatique en utilisant les conditions d'équilibre d'un solide soumis à trois forces non parallèles ?**

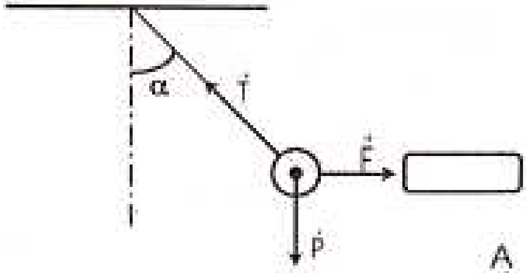
Exemple : une sphère de masse m d'une pendule électrostatique est attirée par une tige d'ébonite. La boule s'incline d'un angle α par rapport à la verticale.

5.1. Bilan et représentation des forces s'exerçant sur la sphère.

Système : solide de masse m

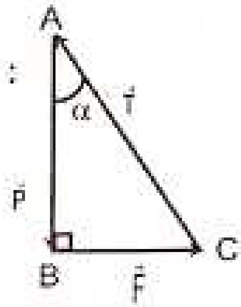
Bilan des forces :

- $\vec{P}$: poids de la sphère.
- $\vec{T}$: Tension du fil.
- $\vec{F}$: Force électrostatique.



5.2. Détermination de la valeur de la force électrostatique $\vec{F}$ en utilisant :

5.2.1. la méthode géométrique.

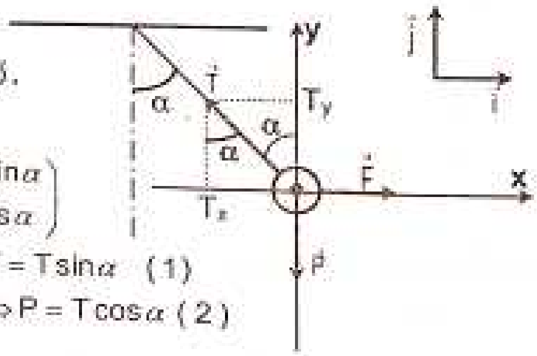


Les trois forces forment un triangle ABC rectangle en B.

$\tan\alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{F}{P} \Rightarrow F = P \times \tan\alpha = mg \times \tan\alpha \Rightarrow F = mg\tan\alpha$

5.2.2. la méthode analytique.

Considérons le repère $(O ; \vec{i} ; \vec{j})$



➢ Condition d'équilibre : $\vec{P} + \vec{T} + \vec{F} = \vec{0}$.

➢ Coordonnées des vecteurs :

$\vec{P}\begin{pmatrix} P_x = 0 \\ P_y = -P \end{pmatrix} ; \vec{F}\begin{pmatrix} F_x = F \\ F_y = 0 \end{pmatrix} ; \vec{T}\begin{pmatrix} T_x = -T\sin\alpha \\ T_y = T\cos\alpha \end{pmatrix}$

$\begin{cases} T_x + F_x + T_x = 0 \Leftrightarrow F - T\sin\alpha = 0 \Rightarrow F = T\sin\alpha \quad (1) \\ T_y + F_y + T_y = 0 \Leftrightarrow -P + T\cos\alpha = 0 \Rightarrow P = T\cos\alpha \quad (2) \end{cases}$

Dans (2), $T = \frac{P}{\cos\alpha} \Rightarrow T = \frac{mg}{\cos\alpha}$.

On remplace T dans (1) et on a :

$F = \frac{mg}{\cos\alpha} \times \sin\alpha = mg \times \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = mg \times \tan\alpha \Rightarrow F = mg\tan\alpha$

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des propositions suivantes, associe la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1) Quelque soit le signe de la charge, la force électrostatique et le champ électrostatique ont même direction.
2) L'unité de champ électrostatique est le V.m
3) Dans un champ uniforme, les lignes de champ sont parallèles.
4) Une ligne de champ est orientée vers les potentiels décroissants.
5) La force électrostatique est une force à distance.
6) L'électrostatique est l'étude des charges électriques en mouvement.
7) Un corps peut être électrisé seulement par frottement.

Exercice 2

1) Recopie la bonne expression.

   La relation vectorielle entre le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}$ est :

   a) $\vec{F} = qE$

   b) $\vec{F} = |q|\vec{E}$

   c) $\vec{F} = \vec{E} \times q$

2) Recopie et complète le texte ci-dessous avec les mots suivants :

   ligne(s) de champ ; champ électrostatique ; spectre électrostatique ;

   L'interaction entre deux charges électriques se traduit par l'existence d'une force à distance appelée force électrostatique.

   La région de l'espace où tout corps chargé est soumis à une force électrostatique est appelée .... Une .... est continue, tangente au vecteur champ électrostatique en chacun de ses points et orientée dans le sens du vecteur champ.

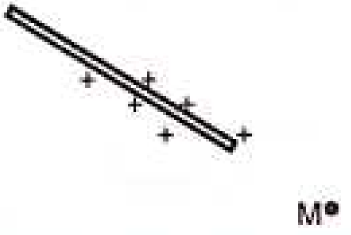
   Un .... est l'ensemble des .... d'un espace champ électrostatique.

Exercice 3

1-

1.1. Dessine, de façon approximative, quelques lignes du champ électrostatique produit par le bâton de verre A frotté avec un drap.

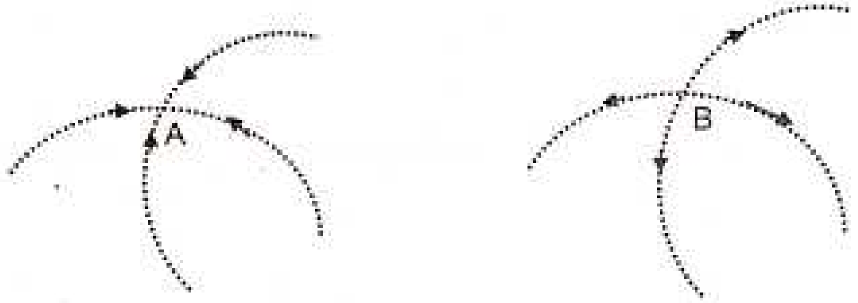
1.2. Représente le vecteur champ électrostatique en point M, placé dans le voisinage du bâton.



2- Deux charges ponctuelles q_A et q_B sont fixes en A et B.

On a dessiné quelques lignes du champ électrique produit par la source (q_A et q_B).

Détermine le signe de q_A et q_B.



Exercice 4

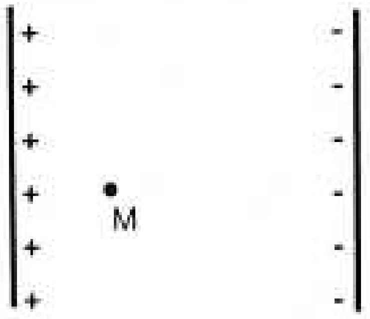
Un ion hélium He^{2+} est placé dans un champ électrostatique uniforme d'intensité $E = 10^4$ V/m.

1- Représente les lignes de champ entre A et B.

2- Représente le vecteur champ électrostatique en M. (Echelle : 1 cm $\longrightarrow$ 5.10^3 V/m).

3- Calcule l'intensité de la force électrostatique $\vec{F}_e$ qui s'exerce sur l'ion se trouvant en M. (On donne $e = 1{,}6.10^{-19}$ C).

4- Représente le vecteur $\vec{F}_e$ sur le schéma. (Echelle : 1 cm $\longrightarrow$ 8.10^{-15} N).



Exercice 5

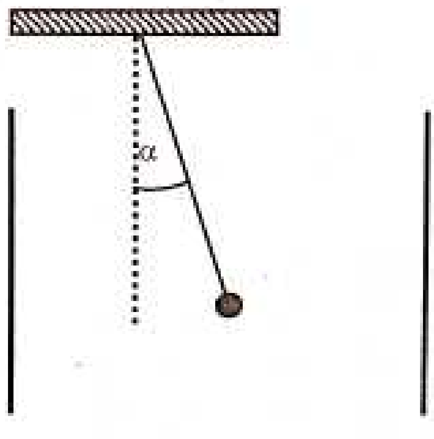
Soit quatre charges ponctuelles q_1, q_2, q_3 et q_4 disposées au sommet d'un carré de côté 6 cm. Au centre O du carré ces charges créent respectivement les champs électrostatiques $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$ de norme chacun $E_0 = 200$ V/m. Soit $\vec{E}$ la résultante de ces vecteurs champs électrostatiques.

1. Sachant que q_1 et q_2 sont positives et que q_3 et q_4 sont négatives :
   1.1. Trace le carré de 6 cm de côté en y représentant les charges q_1, q_2, q_3 et q_4.
   1.2. Représente à l'échelle de 1 cm $\longrightarrow$ 100 V/m les vecteurs $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$.
   1.3. Construis la résultante $\vec{E}$ sur la même figure.
   1.4. Exprime la norme de la résultante $\vec{E}$ en fonction de E_0 et calcule sa valeur.
   1.5. Retrouve graphiquement la norme de la résultante $\vec{E}$.
2. On suppose maintenant que les 4 charges ont le même signe.
   Donne, en justifiant, la valeur de la résultante $\vec{E}$ en O.

Exercice 6

Au cours d'une séance de travaux pratiques, ton professeur de Physique-Chimie demande à ton groupe de réaliser l'expérience ci-dessous. Un pendule électrique constitué d'une boule électrisée de charge positive, très légère, suspendue à un fil isolant plongé entre deux plaques chargée. Le fil du pendule dévie et prend une inclinaison α avec la verticale (voir figure ci-dessous). Le professeur demande à ton groupe de déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrostatique créé entre ces deux plaques. Etant le rapporteur du groupe, tu es sollicité pour répondre aux questionnaires suivants.

On te donne : m = 5 g ; $\alpha = 20°$; g = 10 N/kg ; q = 20 µC



1. Fais le bilan des forces extérieures qui s'exercent sur la boule.
2. Représente ces forces.
3. Calcule l'intensité de la force électrostatique à laquelle est soumise la boule A.
4. Déduis de ce qui précède les caractéristiques du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ créé entre ces deux plaques.
5. Représente le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ entre les deux plaques.
   Echelle : 1 cm $\longrightarrow$ 3.10^5 V/m

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Recopie la ou les bonne(s) réponse(s) pour chaque proposition, en écrivant le chiffre suivi de la lettre correspondante.

1- La force électrostatique est :

a) une force localisée.

b) une force à distance.

c) une force de contact.

2- Le vecteur champ électrostatique et le vecteur force électrostatique ont :

a) toujours la même direction.

b) toujours le même sens.

c) toujours des sens opposés.

3- Dans un champ électrostatique uniforme, les lignes de champ sont :

a) perpendiculaires entre elle.

b) parallèles entre elle.

c) perpendiculaires au vecteur champ.

4- Le champ électrostatique créé par une charge électrique :

a) ne dépend pas du signe de la charge.

b) dépend de la masse de la charge.

c) dépend du signe de la charge.

5- L'unité du champ électrostatique est :

a) V/m^{-1}.

b) $V.m^{-1}$.

c) V/m^{-1}

d) V.m.

Exercice 2

Dans le texte ci-dessous, recopie le numéro et écris en face le mot qui convient parmi les mots suivants : *centrifuge, signe, centripète, convergent, radial, divergent.*

Autour d'un point quelconque où est placée une charge ponctuelle immobile, il existe un champ électrostatique. Le champ électrostatique créé par cette charge ponctuelle est ......(1). Son sens dépend du .....(2) de la charge. Il est ....(3) à partir d'une source positive. Dans ce cas, le champ est dit ....(4). Le champ est aussi ....(5) vers une source négative. Il est dit ....(6) dans cet autre cas.

Exercice 3

1. Un proton portant la charge élémentaire $e = 1{,}6.10^{-19}$ C est placé dans un champ électrostatique de norme $E = 10^4$ V/m. On donne $m_p = 1{,}67.10^{-27}$ kg.
   1.1. Calcule la norme de la force électrostatique subit par cette particule.
   1.2. Compare le poids de cette particule à la force électrostatique.
2. Un ion sulfate SO_4^{2-} est soumis à une force électrostatique de norme $F_e = 3{,}84.10^{-17}$ N. Calcule la norme de $\vec{E}$.
3. Détermine le champ électrostatique (direction, sens et module) capable de produire sur un électron une force compensant son poids.
   On donne : masse de l'électron $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg ; intensité de la pesanteur $g = 10$ N/kg.

Exercice 4

Soit un losange ABCD de 3 cm de côté, dont l'angle est égal à 60°. Une charge électrique $q = 2$ C, placée en A créée au point D un champ électrostatique de valeur $E_1 = 2.10^4$ V.m^{-1}.
Détermine les caractéristiques (direction, sens et valeur) du champ $\vec{E}$ crée au point D pour les distributions de charges suivantes :

a) En A : $q_1 = 2$ C ; en B : $q_2 = 2$ C ; en C : $q_3 = 2$ C,
b) En A : $q_1 = -2$ C ; en B : $q_2 = 2$ C ; en C : $q_3 = -2$ C,
c) En A : $q_1 = -4$ C ; en B : $q_2 = -2$ C ; en C : $q_3 = -4$ C.

Tu feras un schéma dans chaque cas. On prendra l'échelle suivante : 1 cm pour 10^4 V.m^{-1}.

Exercice 5

Au cours d'une séance de TP au lycée scientifique de Yakro, les élèves d'une classe de 1ère C placent dans un champ électrostatique uniforme horizontal de valeur $E = 5.10^4$ V/m, un pendule électrostatique qui porte une boule de charge négative, de dimensions négligeables et de masse $m = 5$ g. Le fil s'écarte d'un angle α de la verticale et la boule est en équilibre. La charge de la boule vaut $q = -8$ µC. Les élèves veulent déterminer la valeur de l'angle α. On te demande de les aider. On te donne : $g = 10$ N/kg.

1) Fais l'inventaire des forces qui s'exercent sur la boule.
2) Représente-les sur un schéma.
3) Calcule la valeur de la force électrique $\vec{F}$.
4) Représente sur le schéma précédent le champ électrostatique $\vec{E}$.
5) Justifie son sens.
6) En utilisant la méthode analytique, exprime $\tan\alpha$ en fonction de q, E, m et g.
7) En déduis la valeur de l'angle α.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chaque proposition, j'associe la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1) Quelque soit le signe de la charge, la force électrostatique et le champ électrostatique ont même direction : F
2) L'unité de champ électrostatique est le V.m : F
3) Dans un champ uniforme, les lignes de champ sont parallèles : V
4) Une ligne de champ est orientée vers les potentiels décroissants : V
5) La force électrostatique est une force à distance : V
6) L'électrostatique est l'étude des charges électriques en mouvement : V
7) Un corps peut être électrisé seulement par frottement : F

Exercice 2

1) **Je recopie la bonne expression.**

   La relation vectorielle entre le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}$ est :

   c) $\vec{F} = q\vec{E}$

2) **Je recopie et je complète le texte avec les mots suivants :**

   ligne(s) de champ ; champ électrostatique ; spectre électrostatique ;

   L'interaction entre deux charges électriques se traduit par l'existence d'une force à distance appelée force électrostatique.

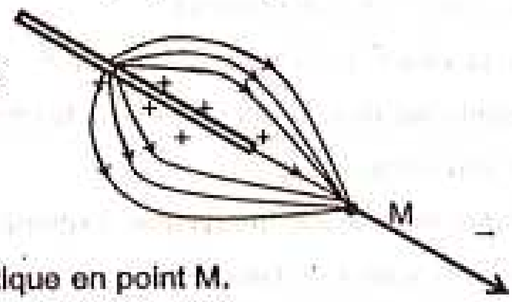
   La région de l'espace où tout corps chargé est soumis à une force électrostatique est appelée *champ électrostatique* Une *ligne de champ* est continue, tangente au vecteur champ électrostatique en chacun de ses points et orientée dans le sens du vecteur champ. Un *spectre électrostatique* est l'ensemble des *lignes de champ* d'un espace champ électrostatique.

Exercice 3

1-

1.1. Je dessine quelques lignes du champ électrostatique produit par le bâton de verre A.

La charge portée par le baton est positive donc les lignes de champ sont divergentes ou orientées vers l'extérieur (elles fuient la charge).



1.2. Je représente le vecteur champ électrostatique en point M.

Voir figure ci-contre.

2- **Je détermine le signe de q_A et q_B.**

> La charge q_A est négative ($q_A < 0$) car les lignes de champ produit par cette charge sont centripètes ou orientées vers l'intérieur.

> La charge q_B est positive ($q_B > 0$) car les lignes de champ produit par cette charge sont centrifuges ou orientées vers l'extérieur.

Exercice 4

1- **Je représente les lignes de champ entre A et B.**

Les lignes de champ sont orientées dans le sens des potentiels décroissants.

2- **Je représente le vecteur champ électrostatique en M.**

$$\text{Echelle : } \left.\begin{array}{l} 1\,\text{cm} \longrightarrow 5.10^3\ \text{V/m} \\ x(\text{cm}) \longrightarrow E = 10^4\ \text{V/m} \end{array}\right\} \Rightarrow x = \frac{10^4}{5.10^3} = 2\ \text{cm}$$

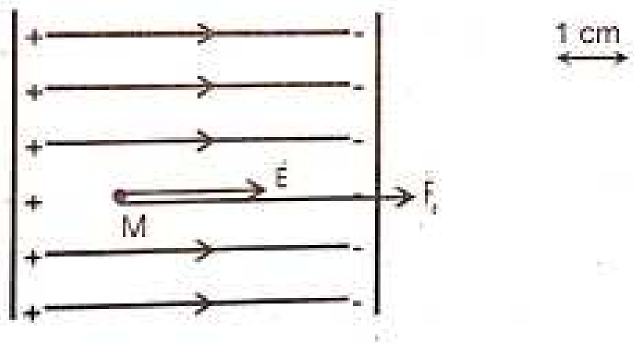
3- **Je calcule l'intensité de la force électrostatique $\vec{F}_e$ qui s'exerce sur l'ion se trouvant en M.**

$F_e = |q|E = |+2eE| = 2 \times 1{,}6.10^{-19} \times 10^4 = 3{,}2.10^{-15}$ N

4- **Je représente le vecteur $\vec{F}_e$ sur le schéma.**

$$\text{Echelle : } \left.\begin{array}{l} 1\,\text{cm} \longrightarrow 8.10^{-16}\ \text{N} \\ y(\text{cm}) \longrightarrow F_e = 3{,}2.10^{-15}\ \text{N} \end{array}\right\} \Rightarrow y = \frac{3{,}2.10^{-15}}{8.10^{-16}} = 4\ \text{cm}$$

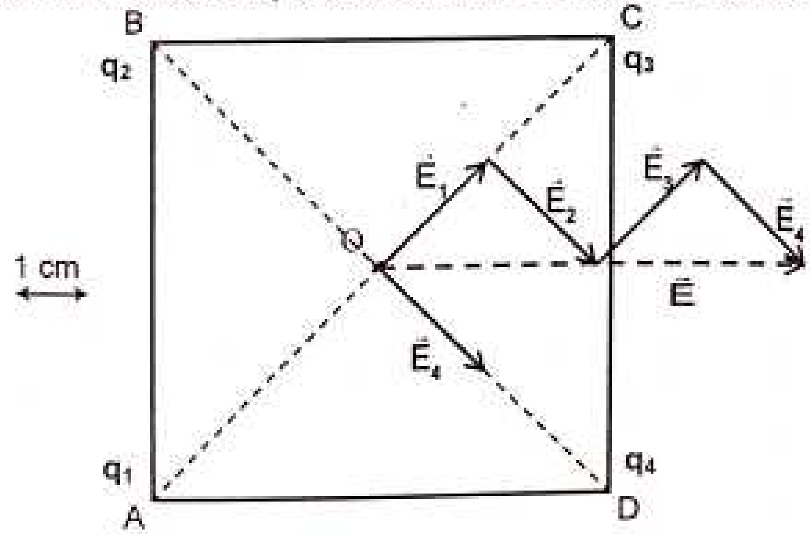
La charge est positive donc $\vec{F}_e$ et $\vec{E}$ ont le même sens.



Exercice 5

1. Sachant que q_1 et q_2 sont positives et que q_3 et q_4 sont négatives :

1.1. Je trace le carré de 6 cm de côté en y représentant les charges q_1, q_2, q_3 et q_4.



1.2. Je représente à l'échelle de 1 cm ⟶ 100 V/m les vecteurs $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$.

- Les charges q_1, q_2, q_3 et q_4 placées respectivement en A, B, C et D créent en O les champs électrostatiques $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$ de norme $E_0 = 200$ V/m chacun.
  D'après l'échelle la longueur des vecteurs champs $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$ est de 2 cm.
- $q_1 > 0$ et $q_1 > 0$ donc les champs $\vec{E}_1$ et $\vec{E}_2$ sont divergents.
- $q_3 < 0$ et $q_4 < 0$ donc les champs $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$ sont convergents.

1.3. Je construis la résultante $\vec{E}$ sur la même figure.

On détermine le champ $\vec{E}$ crée en O par l'ensemble des charges q_1, q_2, q_3 et q_4 en faisant la somme des champs $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$. On a donc : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$

1.4. J'exprime la norme de la résultante $\vec{E}$ en fonction de E_0 et je calcule sa valeur.

D'après la figure ci-dessus la norme de $\vec{E}$ représente deux fois l'hypoténuse du triangle rectangle formé par $\vec{E}_1$ et $\vec{E}_2$ ou $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$. Soit H l'hypoténuse du triangle rectangle.

$H^2 = E_1^2 + E_2^2 = E_0^2 + E_0^2 = 2E_0^2 \Rightarrow H = \sqrt{2E_0^2} = E_0\sqrt{2}$. Or $E = 2H$ donc $E = 2E_0\sqrt{2}$

Application numérique : $E = 2 \times 200 \times \sqrt{2} \approx \underline{565{,}7 \text{ V/m}}$

1.5. Je retrouve graphiquement la norme de la résultante $\vec{E}$.

D'après la figure ci-dessus je mesure la longueur de $\vec{E}$; je trouve 5,6 cm.

$$\left.\begin{array}{l}\text{Echelle : } 1 \text{ cm} \longrightarrow 100 \text{ V/m} \\ \qquad 5{,}6 \text{ cm} \longrightarrow E\end{array}\right\} \Rightarrow E = 5{,}6 \times 100 = 560 \text{ V/m}$$

2. Je donne, en justifiant, la valeur de la résultante $\vec{E}$ en O.

Si les 4 charges ont le même signe alors les 4 champs crées $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ et $\vec{E}_4$ sont opposés deux à deux ; c'est-à-dire $\vec{E}_1$ et $\vec{E}_3$ sont opposés et aussi $\vec{E}_2$ et $\vec{E}_4$ sont opposés.

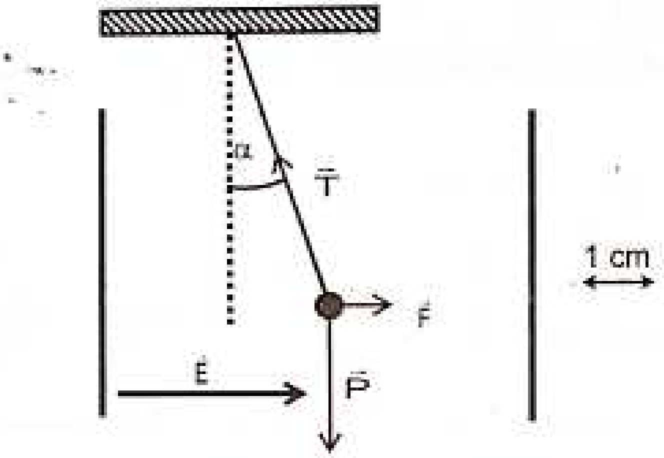
Ainsi $\vec{E}_1 + \vec{E}_3 = \vec{0}$ et $\vec{E}_2 + \vec{E}_4 = \vec{0}$ donc on a : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_3 + \vec{E}_2 + \vec{E}_4 = \vec{0} \Rightarrow \vec{E} = \vec{0}$

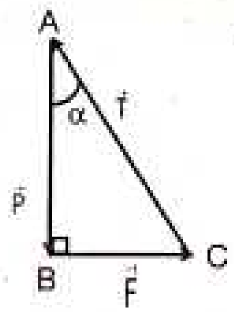
Exercice 6

1. Bilan des forces extérieures qui s'exercent sur la boule.

   - Système : boule de masse m
   - Bilan des forces :
     - $\vec{P}$: poids de la boule.
     - $\vec{T}$: Tension du fil.
     - $\vec{F}$: Force électrostatique.

2. Représentation des forces.





3. Calcul de l'intensité de la force électrostatique à laquelle est soumise la boule A.

   Les trois forces forment un triangle ABC rectangle en B (voir figure ci-dessus).

   $\tan\alpha = \dfrac{BC}{AB} = \dfrac{F}{P} \Rightarrow F = P \times \tan\alpha = mg\tan\alpha$

   $\Rightarrow F = 5.10^{-3} \times 10 \times \tan 20° = 0{,}0182\ N$ ou $1{,}82.10^{-2}\ N$

4. Caractéristiques du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ créé entre ces deux plaques.

   - Direction : celle de $\vec{F}$ c'est-à-dire horizontale ;
   - Sens : celui de $\vec{F}$ car $q > 0$.
   - Valeur : $E = \dfrac{F}{|q|} = \dfrac{1{,}82.10^{-2}}{20.10^{-6}} = 910\ V/m$

5. Représentation du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ entre les deux plaques.

   $$\left.\begin{array}{l} \text{Echelle : } 1\ cm \longrightarrow 364\ V/m \\ x(cm) \longrightarrow E = 910\ V/m \end{array}\right\} \Rightarrow x = \dfrac{910}{364} = 2{,}5\ cm$$

Leçon 2 : ENERGIE POTENTIELLE ELECTROSTATIQUE

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827)
Physicien Italien

Il est connu pour ses travaux sur l'électricité et pour l'invention de la première pile électrique, appelée pile voltaïque qu'il a mise au point le 17 mars 1800 : un empilement de couples de disques zinc-cuivre en contact direct, chaque couple étant séparé du suivant par un morceau de tissu imbibé de saumure (H_2O + NaCl). Il y souligne le fait que, lorsqu'on les sépare, la lame de cuivre prend une charge négative, et celle de zinc une charge positive. Le 7 novembre 1801, Volta présente sa pile devant l'Institut de France et y énonce la loi des tensions, ainsi que la valeur des tensions de contact des métaux classés par ordre d'électropositivité décroissante, du zinc à l'argent.
En 1881, l'unité de tension électrique, le volt (V), est ainsi nommée en son honneur.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Connaître	l'expression du travail de la force électrostatique dans un champ uniforme.
Définir	la différence de potentiel (d.d.p).
Connaitre	l'expression de l'énergie potentielle électrostatique.
Déterminer	l'énergie potentielle électrostatique d'une charge ponctuelle dans un champ électrostatique uniforme.
Utiliser	les relations : $W_{AB}(\vec{F}) = q\vec{E}.\vec{AB} = q(V_A - V_B)$; $Ep = qV$; $E = \frac{\lvert V_A - V_B \rvert}{d}$.
Connaître	le principe de fonctionnement d'un oscilloscope.

RAPPEL DE COURS

1. Travail de la force électrostatique dans un champ uniforme

- Une charge q, en mouvement dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$, est soumise à une force électrostatique constante $\vec{F}$ telle que : $\vec{F} = q\vec{E}$.
- 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 de la force $\vec{F}$ par le vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$:

$$\boxed{W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = q\vec{E}.\overrightarrow{AB}}$$

Le travail s'exprime en joule (J).

Remarque : le travail peut aussi s'exprimer en électronvolt (eV) ; 1eV = $1,6.10^{-19}$ J.

2. Différence de potentiel

2.1. Définition

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 $\overrightarrow{AB}$: $\boxed{V_A - V_B = U_{AB} = \vec{E}.\overrightarrow{AB}}$ La ddp s'exprime en volts (V).

Remarque : Le travail de la force $\vec{F}$ peut aussi s'écrire : $\boxed{W_{A\to B}(\vec{F}) = q(V_A - V_B) = qU_{AB}}$

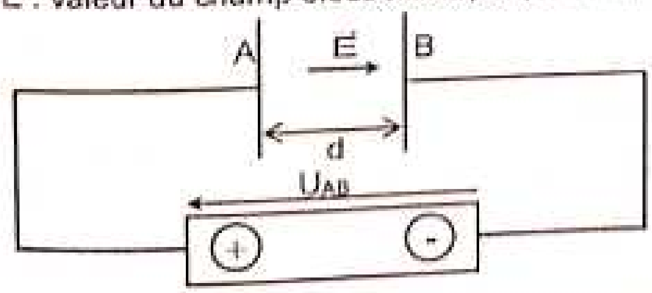
2.2. Surface équipotentielle

C'est l'ensemble des points d'un espace champ électrostatique ayant la même valeur de potentiel.

Remarque : les surfaces équipotentielles sont orthogonales aux lignes de champ.

2.3. Caractéristiques du champ électrostatique

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



3. Énergie potentielle électrostatique

3.1. Définition

Sous l'effet d'un potentiel électrique V_M, une charge électrique q est mise en mouvement, transformant ainsi l'énergie qu'elle possède appelée énergie potentielle électrique en énergie cinétique. Elle est donnée par la relation : $Ep_M = qV_M + cte$

L'énergie potentielle électrostatique est exprimée en joule(J).

3.2. Travail et énergie potentielle électrostatique

Le travail de la force électrostatique appliquée à une charge q entre deux points A et B est égal à l'opposée de la variation de l'énergie potentielle électrostatique de cette charge entre ces deux points : $W_{A\to B}(\vec{F}) = Ep_A - Ep_B = -\Delta Ep$

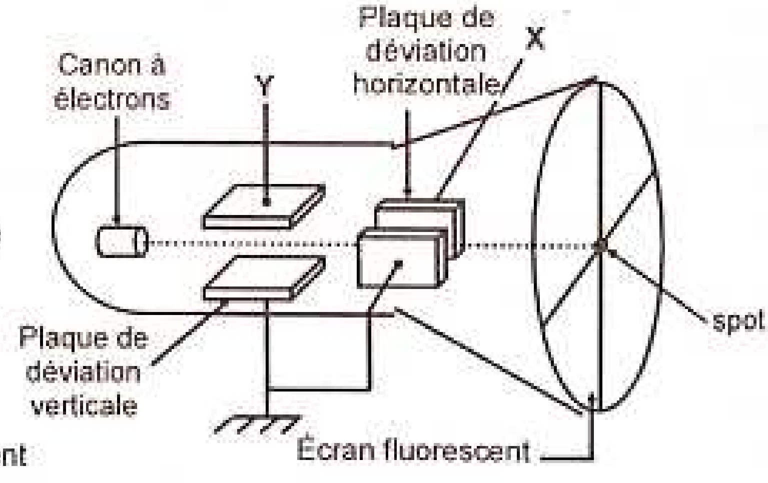
4. Principe de fonctionnement d'un oscilloscope

Un oscilloscope est un instrument de mesure destiné à visualiser un signal électrique variable au cours du temps. Le signal à mesurer est visualisé sur un tube cathodique. La trace de l'oscilloscope est déterminée par deux composantes : une horizontale et une verticale.

- ✓ La composante horizontale est en abscisse : c'est le temps.
- ✓ La composante verticale est en ordonnée : c'est la tension appliquée par l'utilisateur

La base de temps est caractérisée par une tension appliquée à deux plaques verticales.

En même temps, le canon à électrons projette un faisceau d'électrons entre les deux plaques :



- ✓ le champ électrique, créé par la tension entre les plaques, fait dévier les électrons de leur trajectoire d'origine ;
- ✓ l'abscisse de la nouvelle trajectoire dépend directement de la valeur de la tension ;
- ✓ afin que l'utilisateur puisse voir cette tension, les électrons percutent l'écran fluorescent de l'oscilloscope en produisant une tache lumineuse nommée spot ;
- ✓ sous l'action de la tension le spot se déplace à vitesse constante de gauche à droite puis revient brutalement à gauche, c'est le balayage.

De la même manière que pour la base de temps, la visualisation de la tension appliquée à l'entrée de l'oscilloscope par l'utilisateur se fait à l'aide des plaques horizontales qui font dévier la trajectoire des électrons verticalement. La position en ordonnée dépend directement de la tension appliquée par l'utilisateur. La base de temps fonctionnant en permanence, la tension d'entrée évolue au cours du temps.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des propositions suivantes, écris la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1) Les surfaces équipotentielles sont parallèles aux lignes de champ.
2) Le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}$ sont toujours colinéaires.
3) Le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}$ ont toujours le même sens.
4) Le champ électrostatique à l'intérieur des armatures a le sens des potentiels croissants.
5) L'énergie potentielle et le travail de la force électrostatique s'expriment en joule (J).

Exercice 2

Recopie la bonne expression.

1) Le travail de la force électrostatique $\vec{F}$ lors d'un déplacement d'un point A de potentiel V_A à un point B de potentiel V_B est :
   a) $W_{A\to B}(\vec{F}) = -q(V_B - V_A)$
   b) $W_{A\to B}(\vec{F}) = q(V_B - V_A)$
   c) $W_{A\to B}(\vec{F}) = q(V_A + V_B)$
2) La valeur du champ électrostatique entre deux plaques parallèles est :
   a) $E = \dfrac{d}{|U_{AB}|}$
   b) $E = \dfrac{U_{AB}}{d}$
   c) $E = \dfrac{|U_{AB}|}{d}$

Exercice 3

Une particule α est un noyau d'hélium constitué de 2 protons et de 2 neutrons. On place cette particule α entre les plaques d'un condensateur plan distantes de 10 cm et soumises à une tension de 1 kV. La masse de la particule α est de $6{,}6.10^{-27}$ kg. On donne : $e = 1{,}6.10^{-19}$ C.

1. Calcule son poids sachant que $g = 9{,}8\ N.kg^{-1}$.
2. Calcule la valeur de la force électrique s'exerçant sur la particule α.
3. Compare l'ordre de grandeur de ces forces et conclue.

Exercice 4

Une particule portant, la charge électronique $q = 10^{-8}$ C, placée dans un champ électrostatique uniforme, se déplace d'un potentiel $V_A = 80$ V à un potentiel $V_B = -120$ V.

On donne : charge élémentaire $e = 1{,}6.10^{-19}$ C ; 1 eV(électron-volts) = $1{,}6.10^{-19}$ J.

1) Calcule le travail de la force électrostatique au cours du déplacement AB.
2) Dis si le travail dépend du chemin suivi entre A et B.
3) Calcule en MeV, l'énergie acquise par une particule d'hélium ($^4_2He^{2+}$) accéléré sous une ddp (différence de potentiel) de 10^6V.

Exercice 5

La différence de potentiel entre deux plaques conductrices parallèles et distantes de d = 12 cm est $V_P - V_N = 600$ V.

1. Donne les caractéristiques (direction et sens) du vecteur champ $\vec{E}$ entre les plaques.
2. Calcule la norme de $\vec{E}$.
3. Fais le schéma et représente le champ $\vec{E}$.
4. Détermine la distance d' entre la plaque N et le plan équipotentielle 100 V.
   On prendra pour référence la plaque N (V_N =.0 V).

Exercice 6

Une particule de charge $q = 10^{-12}$ C est accélérée dans un champ électrique uniforme. Initialement au repos au point A, elle acquiert une énergie cinétique de 10 GeV au point B, après avoir parcouru une distance de 5 cm. On donne : 1 eV = $1,6.10^{-19}$ J.

1) Calcule la valeur de la différence de potentiel entre A et B.
2) En déduis l'intensité E du champ électrostatique.

Exercice 7

1. On applique entre 2 plaques parallèles A et B, distantes de 5 cm, la tension $U_{BA} = 20$ V.
   1.1. Fais un schéma du dispositif et représente les lignes de champ orientées.
   1.2. Détermine la valeur du champ électrostatique uniforme entre les plaques.
2. Un pendule électrostatique est constitué d'une petite sphère conductrice, de masse 0,2 g, portant une charge q positive, suspendu à l'extrémité O d'un fil isolant entre A et B. A l'équilibre le pendule fait 15° avec la verticale.
   2.1. Fais le schéma du dispositif et représente les forces qui s'exercent sur la sphère.
   2.2. Calcule la charge électrique portée par la sphère. On donne : g = 10 N/kg.

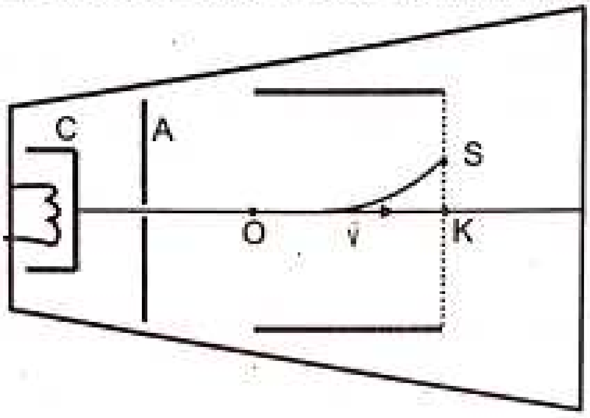
Exercice 8

Des élèves d'une classe de 1ère D assistent à un documentaire sur le fonctionnement de l'oscilloscope. Dans le canon à électron de cet oscilloscope, les électrons sortant de la cathode avec une vitesse supposée nulle, sont accélérés par une tension U = 1600 V appliquée entre la cathode C et l'anode A. Les électrons pénètrent avec une vitesse $V_0 = V_A$ entre les plaques de déviation horizontales en un point O situé à égale distance de chacune d'elle. Lorsque la tension U' = 500 V est appliquée à ces plaques distantes de d = 2 cm, les électrons sortant de l'espace champ en un point S tel que KS = L = 0,6 cm.

Etonnés de certaines informations, ils désirent appliquer ce qu'ils ont appris en classe.

Tu es parmi ces élèves. On te donne $e = 1,6.10^{-19}$ C. Réponds aux questionnaires suivants :

1. Calcule la vitesse V_A des électrons à la sortie du canon.
2. En déduis leur énergie cinétique Ec_A.
3. On prendra l'origine des potentiels au point O ($V_O = 0$).
   3.1. Calcule V_S potentiel du point S de l'espace champ.
   3.2. Détermine les énergies potentielles électrostatiques d'un électron en O puis en S et calcule leurs valeurs en joule et en keV.
   3.3. Déduis en l'énergie cinétique de sortie E_{cS} des électrons en keV.



Exercice 9

Dans un repère orthonormé $(O ; \vec{i} ; \vec{j})$ se trouvent deux plaques métalliques. L'une, M, confondue avec le plan vertical passant par O, l'autre, N, confondue avec le plan vertical d'abscisse x = 5 cm. La différence de potentiel entre les plaques est $V_M - V_N = -800$ V.

La longueur des plaques vaut 6 cm. On donne : g = 10 N/kg ; e = $1{,}6.10^{-19}$ C ; $m_{e^-} = 9{,}1.10^{-31}$ kg.

1) Calcule la valeur du champ électrostatique $\vec{E}$ qui règne l'intérieur des plaques
2) Donne son sens en justifiant ta réponse.
3) Dans le repère $(O ; \vec{i} ; \vec{j})$, représente les plaques M et N, les lignes de champ passant par les points A (1 cm ; 1 cm) et B (4 cm ; – 1 cm), et le champ l'électrostatique $\vec{E}$ (tu prendras pour échelle : 1 cm pour 8.10^3 V.m^{-1}).
   Marque sur le schéma les signes respectifs des plaques M et N.
4) Calcule le travail de la force l'électrostatique $\vec{F}$ qui s'exerce sur un électron lorsqu'il passe du point A à un point C (4 cm ; 1 cm).
5) Calcule la vitesse de l'électron en C sachant que sa vitesse (m/s) en A est $\vec{V}_A = 3.10^7\vec{i}$.
6) On introduit maintenant entre les plaques M et N, un pendule électrostatique dont la boule, de masse m, porte une charge q = – 5 C.
   Le pendule s'incline d'un angle α = 30° par rapport la verticale.
   6.1. Calcule la valeur de la force électrostatique $\vec{F}$ s'exerçant sur la boule et le représente sur le schéma précédent. Échelle : 1 cm pour 4.10^{-2} N.
   6.2. En déduis la valeur de m.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Pour chacune des propositions suivantes, associe la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1) Le travail de la force électrostatique dépend des chemins suivis par une charge pour aller de A et B.
2) Le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ en un point M perpendiculaire aux surfaces équipotentielles.
3) La variation de l'énergie potentielle ne dépend que du déplacement.
4) Le travail de la force électrostatique n'est jamais nul quand on place une charge soumise à un champ.
5) Un électron initialement au repos se déplace dans le sens des potentiels croissants.

Exercice 2

Trois points A, B et C situés dans cet ordre sur une droite (D) sont placés dans un champ électrique uniforme $\vec{E}$, parallèle à la droite (D) et orienté de A vers B.

On donne : AB = 30 cm, BC = 10 cm ; E = 1500 V/m.

Calcule les tensions U_{AB}, U_{BC} et U_{CA}.

Exercice 3

La différence de potentiel entre deux plans parallèles A et B uniformément chargés, distantes de 10 cm, est $V_A - V_B = 100$ V.

1) Représente le champ électrique uniforme entre les plaques A et B.
2) Calcule sa valeur.
3) Calcule le travail accompli par une charge q = 1 µc allant de A vers B puis de B vers A.

Exercice 4

On fait subir à des ions He^{2+} une tension accélératrice de $1{,}5.10^7$ V à partir du repos.

1) Calcule leur énergie cinétique en joule, en électronvolts, puis en kiloélectron-volts.
2) En déduis leur vitesse si la masse de la particule est de $6{,}68.10^{-27}$ kg.

On donne : 1 eV = $1{,}6.10^{-19}$ J ; la charge élémentaire e = $1{,}6.10^{-19}$ C.

Exercice 5

Un espace champ électrostatique est muni d'un repère orthonormé $(O ; \vec{i} ; \vec{j})$.

Dans cet espace, règne un champ électrostatique C tel que $\vec{E} = -E\vec{i}$ avec E = 400 V/m

Un électron se déplace du point A (- 3 ; 1) au point B(1 ; 0).

L'unité de longueur est le mètre. On donne e = $1{,}6.10^{-19}$ C ; q = - e ; m = $9{,}1.10^{-31}$ kg.

1) Vérifie que la tension électrique U_{AB} vaut - 1600 V.
2) Calcule le travail de la force électrostatique $\vec{F}$ entre A et B.
3) En déduis la variation d'énergie potentielle électrostatique ΔEp entre A et B.
4) Sachant que la vitesse de l'électron est nulle au point A, établis l'expression de la vitesse V_B de l'électron en B en fonction de ΔEp et m. Fais l'application numérique.

Exercice 6

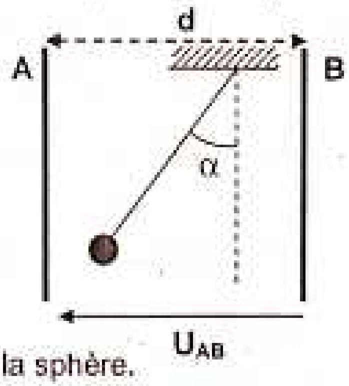
Au cours d'une séance de TP des élèves 1ère D d'un lycée constatent que dans le canon à électrons de l'oscillographe utilisé, les électrons sont émis par la cathode avec une vitesse négligeable. Ils appliquent une tension accélératrice $U = V_A - V_C = 1500$ V entre la cathode C et une anode A percée d'un trou. Ils veulent déterminer la vitesse des électrons à leur sortie du canon. Tu es sollicité pour les aider. On te donne charge élémentaire **e** = $1,6.10^{-19}$ C ; masse de l'électron m = $9,1.10^{-31}$ kg ; 1 eV = $1,6.10^{-19}$ J.

1) Fais un schéma en indiquant la force s'exerçant sur l'électron entre C et A.
2) Montre que la tension U permet d'augmenter la vitesse de l'électron.
3) Calcule, en keV, l'énergie cinétique de sortie des électrons du canon à électrons.
4) Calcule leur vitesse.

Exercice 7

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques, ton professeur de Physique-Chimie réalise une expérience au cours de laquelle une sphère métallique électrisée de masse m = 0,1 g est suspendue à un fil de soie. Il place la sphère entre deux plaques métalliques A et B parallèles, distantes de d = 5 cm et soumises à une d.d.p.$V_A - V_B = 100$ V. Le fil de soie s'incline d'un angle $\alpha = 30°$ par rapport à la verticale (voir figure ci-dessous). On te donne : g = 10 N/kg.

Le professeur demande à ton groupe de déterminer la valeur de ce champ électrostatique et celle de la charge électrique. **Tu es le rapporteur du groupe.**



1) Représente qualitativement le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ entre ces deux plaques et justifie ta réponse.
2) Fais l'inventaire des forces s'exerçant sur la sphère électrisée et représente-les sur un schéma.
3) Calcule :
   3.1. la valeur F de la force électrostatique $\vec{F}$ à laquelle est soumise la sphère.
   3.2. la valeur E du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$.
   3.3. Calcule la valeur absolue |q| de la charge électrique de la sphère.
4) Déduis la valeur algébrique de la charge électrique de la sphère et justifie ta réponse.

Exercice 8

On se déplace, dans un champ électrique uniforme $\vec{E}$, le long d'une ligne de champ graduée en cm. L'axe Ox est orienté dans le sens opposé au vecteur champ.

Soient A ($x_A = -2$ cm) et B ($x_B = 8$ cm) deux points de la ligne de champ tels que la tension entre ces points vaut $U_{AB} = -800$ V.

1) Représente le dispositif dans le repère $(O; \vec{i}; \vec{j})$ et calcule l'intensité du champ $\vec{E}$.

2) Calcule la valeur de la différence de potentiel $V_A - V_O$.

3) Une charge $q = 10^{-8}$ C se déplaçant de A vers M tel que $x_M = 5$ cm.

   3.1. Calcule le travail de la force électrique que subirait cette charge q.

   3.2. Déduis la variation de l'énergie potentielle électrostatique de q de A vers M.

   3.3. Etablis l'expression de la vitesse de q en M sachant que la vitesse en A est v_A.

Exercice 9

Le professeur de physique-chimie d'une classe de 1ère C a achevé la leçon sur l'énergie potentielle électrostatique. Il décide de vérifier les acquis de ses élèves pourtant sur les caractéristiques du vecteur champ électrostatique et celle de la force électrique agissant sur une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme. Pour cela il vous propose l'exercice suivant :

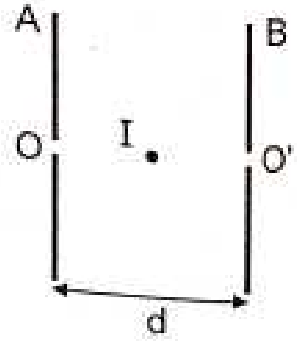
Deux plaques conductrices A et B, planes parallèles, distantes de d = 5 cm et disposées verticalement, sont soumises à une d.d.p $U_{AB} = U = V_A - V_B = 400$V.

On te donne : charge élémentaire : $e = 1{,}6.10^{-19}$ C ; masse de l'électron : $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg ; 1 eV = $1{,}6.10^{-19}$ J.

Etant un élève de cette classe, le professeur te sollicite pour répondre à ce questionnaire.

1) Détermine les caractéristiques (direction, sens et valeur) du champ électrostatique $\vec{E}$ régnant entre ces plaques et représente-le.

2) On place un électron entre ces deux plaques.
   Donne les caractéristiques (direction, sens et valeur) de la force électrostatique $\vec{F}_e$ qui s'exerce sur l'électron et représente-le.



3) On suppose que l'électron se déplace de O à O'.
   Sa vitesse en O est négligeable.

   3.1. Détermine l'énergie cinétique de l'électron en O' en fonction de e et U en appliquant le théorème de l'énergie cinétique.

   3.2. Calcule cette énergie cinétique en Joules (J), puis en électron-Volts (eV).

   3.3. Donne l'expression de sa vitesse en O' en fonction de m, e et U.

   3.4. Calcule sa valeur.

4) On donne $V_A = 200$ V, le potentiel au point A et l'énergie potentielle électrostatique est nulle en I milieu de [OO'].

4.1. Détermine les potentiels V_B et V_I respectivement au point B et au point I.

4.2. Calcule les énergies potentielles électrostatiques en A et B en joules, puis en électron-Volts.

Exercice 10

Au cours d'un devoir surveillé, votre professeur de Physique-Chimie veut tester vos connaissances sur la conservation de l'énergie mécanique dans le cas d'une particule chargée. Il met à votre disposition le schéma ci-dessous.

Tu négligeras le poids des particules devant la force électrostatique dans tout l'exercice.

Des ions bore (B^{3+}) de masse m sont produits dans une chambre d'ionisation. Ils partent du point O_1 avec une vitesse nulle et sont accélérés entre les plaques P et Q où ils arrivent en O_2 avec une vitesse v_2.

Etant un élève de la classe, le professeur te sollicite pour répondre à ce questionnaire.

1)

1.1. Donne le signe de la tension $U_1 = U_{PQ}$ créée entre les plaques P et Q.

1.2. Représente le champ électrostatique $\vec{E}_1$ qui y règne et calcule sa valeur E_1.

1.3. Exprime la vitesse v_2 d'un ion bore lorsqu'il arrive en O_2 en fonction de e, m et U_1.

1.4. Calcule sa valeur.

2) En O_2, les particules pénètrent dans un autrechamp $\vec{E}_2$ créé par les plaques M_1 et M_2 distantes de $d_2 = 10$ cm.

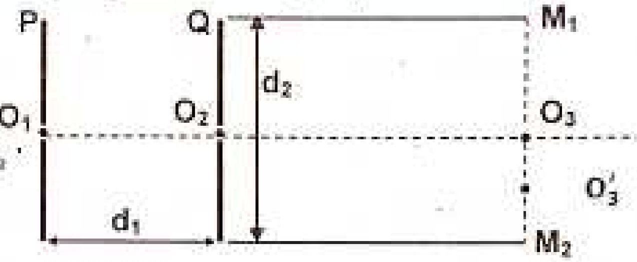
Les particules sortent par le point O'_3.

2.1. Donne le signe de la tension $U_2 = V_{M_1} - V_{M_2}$.

2.2. Justifie ta réponse.

2.3. Représente le champ électrostatique $\vec{E}_2$.

2.4. Calcule U_2 sachant que $O_3O'_3 = 4$ cm et $U_{O_3O'_3} = 10^4$ V.



3) On choisit l'horizontale passant par O_2O_3 comme référence de l'énergie potentielle électrostatique. Le point O_3 est équidistant des plaques M_1 et M_2.

3.1. Détermine les potentiels électriques des points O_2 ; M_1 ; O_3 ; O'_3 et M_2.

3.2. Calcule :

3.2.1. L'énergie mécanique d'un ion bore en O_2 et son énergie potentielle électrostatique en O'_3.

3.2.2. La vitesse v_3 de l'ion en O'_3 en utilisant la conservation de l'énergie mécanique.

On te donne : $m = 11{,}69.10^{-27}$ kg ; $e = 1{,}6.\ 10^{-19}$ C ; $U_1 = |U_{PQ}| = 450$ V ; $d_1 = 8$ cm

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

J'écris la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1) Les surfaces équipotentielles sont parallèles aux lignes de champ : F.
2) Le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}$ sont toujours colinéaires : V.
3) Le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}$ ont toujours le même sens : F.
4) Le champ électrostatique à l'intérieur des armatures a le sens des potentiels croissants : F.
5) L'énergie potentielle et le travail de la force électrostatique s'expriment en joule (J) : V.

Exercice 2

Je recopie la bonne expression.

1) Le travail de la force électrostatique $\vec{F}$ lors d'un déplacement d'un point A de potentiel V_A à un point B de potentiel V_B est :

   a) $W_{A\to B}(\vec{F}) = -q(V_B - V_A)$

2) La valeur du champ électrostatique entre deux plaques parallèles est :

   c) $E = \dfrac{|U_{AB}|}{d}$

Exercice 3

1. Calculons son poids sachant que $g = 9{,}8\ N.kg^{-1}$.

   $P = mg = 6{,}6.10^{-27} \times 9{,}8 = 64{,}68.10^{-27}\ N \approx 6{,}5.10^{-26}\ N$

2. Calculons la valeur de la force électrique s'exerçant sur la particule α.

   $$F = |q|E = |2e| \times \frac{|U|}{d} = 2e \times \frac{|U|}{d} = 2 \times 1{,}6.10^{-19} \times \frac{10^3}{0{,}1} = 3{,}2.10^{-15}\ N$$

3. Comparons l'ordre de grandeur de ces forces

   $$\frac{F}{P} = \frac{3{,}2.10^{-15}}{6{,}5.10^{-26}} \approx 1{,}6.10^{11} \Rightarrow F \approx 1{,}6.10^{11} \times P \Rightarrow F \gg P$$

   Conclusion

   F est très supérieure à P donc on peut négliger P devant F.

Exercice 4

1) **Calcul du travail de la force électrostatique au cours du déplacement AB.**

   $W_{A\to B}(\vec{F}) = q(V_A - V_B) = 10^{-8} \times (80 - (-120)) = \underline{2.10^{-6}\ J}$

2) **Dis si le travail dépend du chemin suivi entre A et B.**

   Non le travail ne depend pas du chemein suivi entre A et B.

3) **Calcul en MeV, de l'énergie acquise par une particule d'hélium.**

Système : ions He^{2+} ;

Bilan des forces : force électrostatique $\vec{F}$.

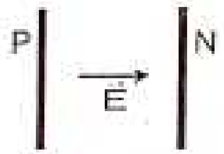
Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et B :

$\Delta Ec_{A\to B} = \Sigma W_{A\to B}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_B - Ec_A = W_{A\to B}(\vec{F}) \Rightarrow Ec_B - 0 = qU_{AB} \Rightarrow Ec_B = qU_{AB}$

- En joule : $Ec_B = +2\times 1{,}6.10^{-19}\times 10^6 = 3{,}2.10^{-13}$ J
- En électron-volt (eV) : $Ec_B = \dfrac{3{,}2.10^{-13}}{1{,}6.10^{-19}} = 2.10^6$ eV
- En mégaélectron-volt (MeV) : $Ec_B = \dfrac{2.10^6}{10^6} = \underline{2\ \text{MeV}}$

Exercice 5

1. **Caractéristiques (direction et sens) du vecteur champ $\vec{E}$ entre les plaques.**
   - Direction : le champ $\vec{E}$ est perpendiculaire aux plaques P et N.
   - Sens : $V_P - V_N = 600\ V > 0 \Rightarrow V_P > V_N$. Or le champ $\vec{E}$ décroit les potentiels donc $\vec{E}$ est orienté de P vers N.



2. **Calcul de la norme de $\vec{E}$.**

   $E = \dfrac{|V_P - V_N|}{d} = \dfrac{600}{12.10^{-2}} = \underline{5000\ V/m}$

3. **Schéma et représentation du champ $\vec{E}$: voir schéma ci-dessus**
4. **Détermination de la distance d' entre la plaque N et le plan équipotentielle 100 V.**

   Soit X le pan équipotentielle 100 V donc $V_X = 100$ V.

   $V_X - V_N = \vec{E}.\vec{XN} = E\times XN\times\cos 0° = E\times d' \Rightarrow d' = \dfrac{V_X - V_N}{E}$

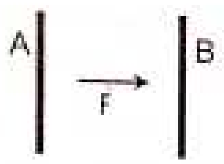
   Application numérique : $d' = \dfrac{100-0}{5000} = \underline{0{,}02\ m = 2\ cm}$

Exercice 6

1) **Calculons la valeur de la différence de potentiel entre A et B,**

Système : particule de charge q ;

Bilan des forces : force électrostatique $\vec{F}$.



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

$\Delta Ec_{A\to B} = \Sigma W_{A\to B}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_B - Ec_A = W_{A\to B}(\vec{F})$

$\Rightarrow Ec_B - 0 = q(V_A - V_B) \Rightarrow Ec_B = q(V_A - V_B) \Rightarrow V_A - V_B = \dfrac{Ec_B}{q}$

Application numérique : $V_A - V_B = \dfrac{10\times 10^9\times 1{,}6.10^{-19}}{10^{-12}} = 1600$ V

2) **Déduisons l'intensité E du champ électrostatique.**

$E = \dfrac{|V_A - V_B|}{d} = \dfrac{1600}{5.10^{-2}} = 32000\ V/m = 3{,}2.10^4\ V/m$

Exercice 7

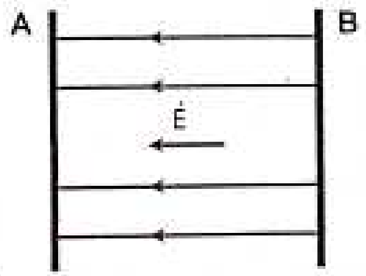
1. On applique entre 2 plaques parallèles A et B, distantes de 5 cm, la tension $U_{BA} = 20$ V.

1.1. Faisons un schéma du dispositif et représentons les lignes de champ orientées.

$U_{BA} = V_B - V_A = 20 \text{ V} > 0$ donc $V_B > V_A$.

Or le champ $\vec{E}$ décroit les potentiels.

Donc le champ $\vec{E}$ est orienté de B vers A de même que les lignes de champ.



1.2. Valeur du champ électrostatique uniforme.

$$E = \frac{|U_{BA}|}{d} = \frac{20}{5.10^{-2}} = 400 \text{ V/m}$$

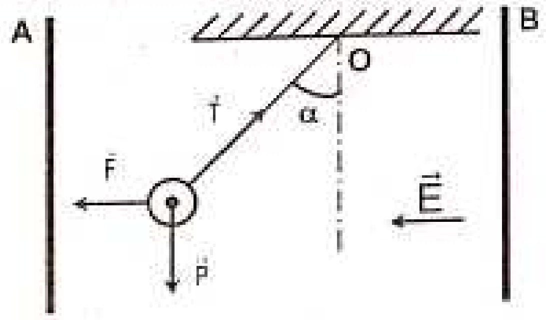
2. Un pendule électrostatique constitué d'une sphère est suspendu en O entre A et B

2.1. Schéma du dispositif et représentation des forces qui s'exercent sur la sphère

➢ Système : sphère de masse m

➢ Bilan des forces :

- $\vec{P}$: poids de la boule.
- $\vec{T}$: Tension du fil.
- $\vec{F}$: Force électrostatique.



➢ Représentation de la force $\vec{F}$

q > 0 donc $\vec{F}$ et $\vec{E}$ ont le même sens (de B vers A).

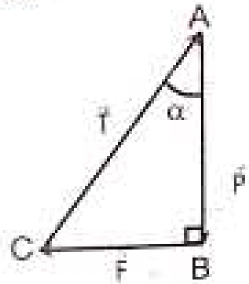
2.2. Calculons la charge électrique portée par la sphère du pendule

Les trois forces forment un triangle ABC rectangle en B.

$$\tan\alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{F}{P} \Rightarrow F = P \times \tan\alpha = mg \times \tan\alpha$$

Or $F = |q|E = qE$ car $q > 0 \Rightarrow qE = mg\tan\alpha \Rightarrow q = \dfrac{mg\tan\alpha}{E}$

$$\text{A.N : } q = \frac{0{,}2.10^{-3} \times 10 \times \tan 15°}{400} = 1{,}34.10^{-6} \text{ C}$$

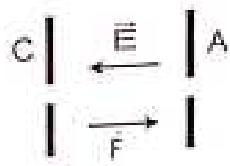


Exercice 8

1) Calcul de la vitesse V_A des électrons à la sortie du canon.

➢ Système : les électrons de masse m et de charge q = – e ;

➢ Bilan des forces : force électrostatique $\vec{F}$.



En utilisant le théorème de l'énergie cinétique entre C et A on a :

$$\Delta Ec_{C\to A} = W_{C\to A}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow \Delta Ec_{C\to A} = W_{C\to A}(\vec{F}) = q(V_C - V_A)$$

$$\Rightarrow \Delta Ec_{C\to A} = -e \times (-(V_A - V_C)) = e(V_A - V_C) = eU \Rightarrow \Delta Ec_{C\to A} = eU$$

$$\Delta Ec_{C\to A} = eU \Rightarrow Ec_A - Ec_C = eU \Rightarrow Ec_A - 0 = eU \Rightarrow Ec_A = eU \text{ avec } Ec_C = 0$$

$$Ec_A = eU \Rightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 = eU \Rightarrow v_A^2 = \frac{2eU}{m} \Rightarrow v_A = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

Application numérique : $v_A = \sqrt{\dfrac{2 \times 1{,}6.10^{-19} \times 1600}{9{,}1.10^{-31}}} = \underline{2{,}37.10^{7} \text{ m/s}}$

2) Déduction de leur énergie cinétique Ec_A.

$$Ec_A = eU = \frac{1}{2}mv_A^2 = 1{,}6.10^{-19} \times 1600 = \underline{2{,}56.10^{-16}\ J}$$

3) On prendra l'origine des potentiels au point O ($V_O = 0$).

3.1. Calcul de V_S potentiel du point S de l'espace champ.

La droite OK est perpendiculaire à la verticale donc O et K sont au même potentiel.

$$V_S - V_O = V_S - V_K = \vec{E'}.\vec{SK} = E' \times SK \times \cos 0° = E' \times KS = E'L \Rightarrow V_S = E'L + V_K$$

Application numérique : $V_S = 500 \times 0{,}6.10^{-2} + 0 = 3\ V$

3.2. Détermination des énergies potentielles électrostatiques d'un électron en O puis en S.

- $Ep_O = qV_O = -eV_O = -1{,}6.10^{-19} \times 0 = 0\ J = 0\ eV$
- $Ep_S = qV_S = -eV_S = -1{,}6.10^{-19} \times 3 = -4{,}8.10^{-19}\ J = -4{,}8\ eV$

3.3. Déduction de l'énergie cinétique de sortie E_{cs} des électrons en KeV.

$$Ec_S = eV_S = -Ep_S = 4{,}8.10^{-19} = 4{,}8.10^{-19}\ J = 4{,}8\ eV$$

Exercice 9

1) Calculons la valeur du champ électrostatique $\vec{E}$ qui règne l'intérieur des plaques.

$$E = \frac{|V_M - V_N|}{d} = \frac{|-800|}{5.10^{-2}} = 16000\ V/m$$

2) Donnons son sens en justifiant notre réponse

$V_M - V_N = -800\ V < 0$ donc $V_M < V_N$.

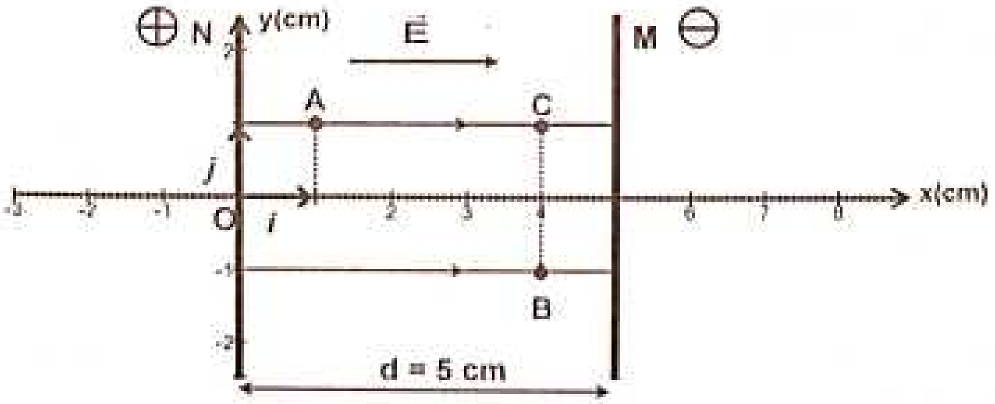
Or le champ $\vec{E}$ décroît les potentiels. Donc le champ $\vec{E}$ est orienté de N vers M.

3) Représentons :

- les plaques M et N : voir schéma ci-dessous ;
- les lignes de champ passant par les points A : voir schéma ci-dessous ;
- le champ l'électrostatique $\vec{E}$: voir schéma ci-dessous ;

$$\left.\begin{array}{l} 1\ cm \longrightarrow 8.10^3\ V.m^{-1} \\ x\ (cm) \longrightarrow 16.10^3\ V.m^{-1} \end{array}\right\} \Rightarrow x = \frac{16.10^3}{8.10^3} = 2\ cm$$

Marquons sur le schéma les signes respectifs des plaques M et N : voir schéma



4) **Travail de la force l'électrostatique qui s'exerce sur un électron lorsqu'il passe de A à C.**

$$W_{A\to C}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AC} = -F\times AC = -|q|E\times(x_C - x_A) = -|-e|E\times(x_C - x_A) = -eE(x_C - x_A)$$

$$W_{A\to C}(\vec{F}) = -1,6.10^{-19}\times 16000\times(4-1).10^{-2} = -76,8.10^{-18}\ J$$

Remarque : $q > 0$ donc $\vec{F}$ est de sens contraires à $\vec{E}$ (de M vers N) d'où $W_{A\to C}(\vec{F}) < 0$

5) **Calcul de la vitesse de l'électron en C sachant que sa vitesse (m/s) en A est $\vec{V}_A = 3.10^7\vec{i}$.**

$$\Delta Ec_{A\to C} = \Sigma W_{A\to C}(\vec{F}_{ext}) \Rightarrow Ec_C - Ec_A = W_{A\to C}(\vec{F}) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{A\to C}(\vec{F})$$

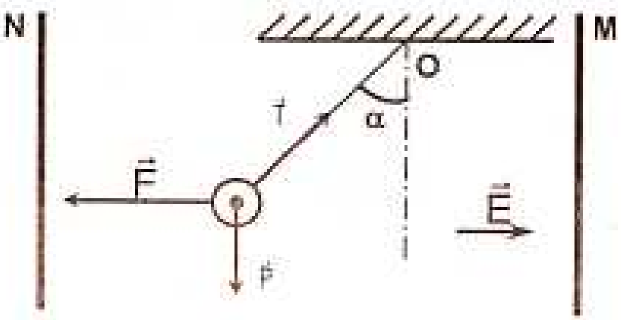
$$\Rightarrow v_C^2 - v_A^2 = \frac{2W_{A\to C}(\vec{F})}{m} \Rightarrow v_C^2 = \frac{2W_{A\to C}(\vec{F})}{m} + v_A^2 \Rightarrow v_C = \sqrt{\frac{2W_{A\to C}(\vec{F})}{m} + v_A^2}$$

$$v_C = \sqrt{\frac{2\times(-76,8.10^{-18})}{9,1.10^{-31}} + (3.10^7)^2} = 3,27.10^7\ m/s$$

6) **On introduit maintenant entre les plaques M et N, un pendule électrostatique**

6.1. Calculons la valeur de la force électrostatique $\vec{F}$ s'exerçant sur la boule

$F = |q|E = |-5.10^{-6}|\times 16000 = 8.10^{-2}$ N



➢ Représentation de la force $\vec{F}$

Système : sphère de masse m

Bilan des forces :

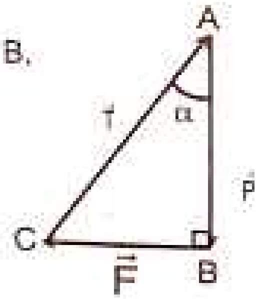
- $\vec{P}$: poids de la boule.
- $\vec{T}$: Tension du fil.
- $\vec{F}$: Force électrostatique.

$q > 0$ donc $\vec{F}$ est de sens contraires à $\vec{E}$ (de M vers N)

$$\left.\begin{array}{l} 1\ cm \longrightarrow 4.10^{-2}\ V.m^{-1} \\ x\ (cm) \longrightarrow 8.10^{-2}\ V.m^{-1} \end{array}\right\} \Rightarrow x = \frac{8.10^{-2}}{4.10^{-2}} = 2\ cm$$

6.2. Déduisons la valeur de m.

Les trois forces forment un triangle ABC rectangle en B.



$$\tan\alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{F}{P} \Rightarrow F = P\times\tan\alpha = mg\times\tan\alpha$$

$$F = mg\tan\alpha \Rightarrow m = \frac{F}{g\tan\alpha}$$

$$m = \frac{8.10^{-2}}{10\times\tan 30^\circ} \approx 1,4.10^{-2}\ g$$

Georg Simon Ohm
(1789-1854)
Physicien Allemand

Leçon 3 : PUISSANCE ET ENERGIE ELECTRIQUES

En utilisant du matériel de sa propre invention, il détermine qu'il y a une relation de proportionnalité directe entre la tension appliquée aux bornes d'un conducteur et le courant électrique qui le traverse, ce qu'on appelle maintenant la loi d'Ohm. Son nom fût donné à l'unité du système international pour la résistance, l'ohm (Ω).

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Connaître	la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique et pour un générateur.
Tracer	la caractéristique d'un électrolyseur.
Déterminer	la résistance interne et la force contre électromotrice d'un électrolyseur.
Connaître	la loi d'Ohm pour un récepteur autre que le conducteur ohmique.
Appliquer	la loi d'Ohm pour un récepteur et pour un générateur
Connaître	la loi de Pouillet.
Appliquer	la loi de Pouillet.
Définir	• les puissances générée et fournie par un générateur. • la puissance reçue par un récepteur. • la puissance utile.
Connaître	les expressions de : - la puissance électrique reçue par un récepteur. - la puissance utile d'un récepteur. - la puissance générée par un générateur. - l'énergie électrique fournie par un générateur.
Définir	l'effet Joule.
Déterminer	• la puissance reçue par un électrolyseur. • l'énergie reçue par un électrolyseur • la puissance fournie par un générateur. • l'énergie fournie par un générateur. • le bilan énergétique. • le rendement d'un récepteur. • le rendement d'un générateur. • le rendement d'un circuit.
Utiliser	les relations : $P_r = RI^2$; $P_r = E'I + r'I^2$; $P_f = U_G.I = E.I - rI^2$ $E_r = RI^2t$; $E_r = E'It + r'I^2t$; $E_f = EIt - rI^2t$

RAPPEL DE COURS

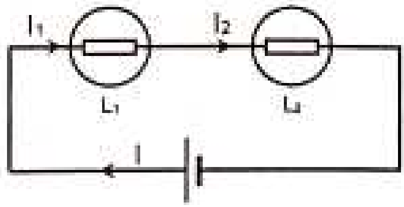
1. Propriétés

1.1. Loi des intensités

1.1.1. Montage en série

Dans un montage en série, l'intensité du courant est la même en chaque point du circuit.

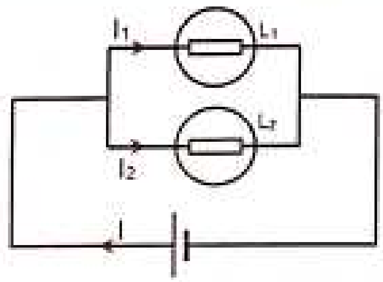
Exemple : Dans le circuit ci-contre, L_1 et L_2 sont en série. L'intensité du courant qui traverse L_1 est égale à celle qui traverse L_2 et est aussi égale à celle délivrée par le générateur ; c'est à dire que : $\boxed{I = I_1 = I_2}$.



1.1.2. Montage en dérivation (ou en parallèle)

Dans un montage en dérivation l'intensité totale est égale à la somme des intensités dans chaque branche

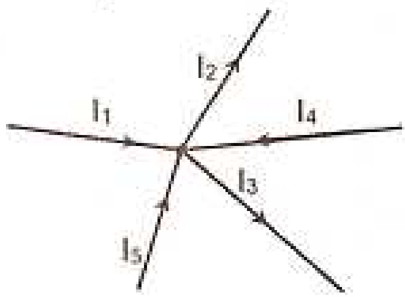
Exemple : Dans le circuit ci-contre, L_1 et L_2 sont en dérivation. L'intensité du courant délivrée par le générateur est égale à la somme de celle qui traverse L_1 et de celle qui traverse L_2 ; c'est à dire que : $\boxed{I = I_1 + I_2}$.



1.1.3. Loi des nœuds

La somme des courants qui arrive à un nœud est égale à la somme des courants qui y partent.

$\boxed{I_1 + I_5 + I_4 = I_2 + I_3}$

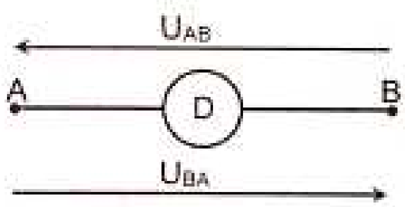


1.2. Lois des tensions

1.2.1. Grandeur algébrique

La tension est une grandeur algébrique.

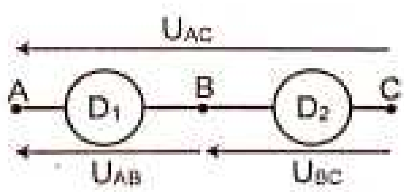
Exemple : pour un dipôle (A,B), $U_{AB} = - U_{BA}$



1.2.2. Additivité des tentions

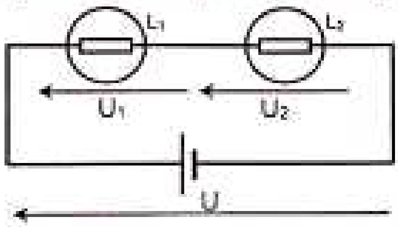
Les tensions U_{AB}, U_{BC} et U_{AC} entre trois points quelconques A, B et C d'un circuit sont additives :

$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$



1.2.3. Montage en série

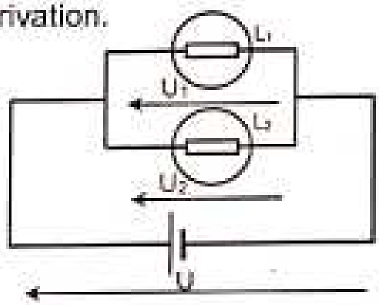
La tension aux bornes d'une association en série de plusieurs dipôles est égale à la somme des tensions aux bornes de chacun des pôles.



Exemple : Dans le circuit ci-contre, L_1 et L_2 sont en série. La tension aux bornes du générateur est égale à la somme de celle aux bornes de L_1 et de celle aux bornes de L_2 ; c'est à dire que : $\boxed{U = U_1 + U_2}$.

1.2.4. Montage en dérivation (ou en parallèle)

La tension est la même aux bornes de dipôles branchés en dérivation.



Exemple : Dans le circuit ci-contre, L_1 et L_2 sont en dérivation. La tension aux bornes de L_1 est égale à celle aux bornes de L_2 et est aussi égale à celle aux bornes du générateur ; c'est à dire que : $\boxed{U = U_1 = U_2}$.

2. Définitions

Un dipôle est un composant électrique possédant deux bornes. On en distingue deux types :

- dipôle passif ou récepteur : sa tension aux bornes en circuit ouvert est nulle et il convertit l'énergie électrique reçue en d'autres formes d'énergie (mécanique, chimique ou thermique...)

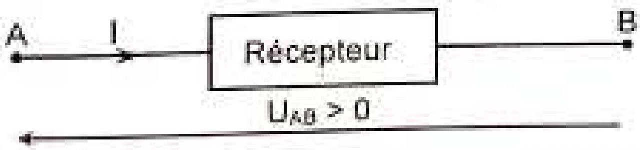
  Exemple : conducteur ohmique (récepteur particulier), électrolyseur, moteur...

- dipôle actif ou générateur : sa tension aux bornes en circuit ouvert n'est pas nulle et il convertit l'énergie mécanique, chimique ou lumineuse fournie en énergie électrique.

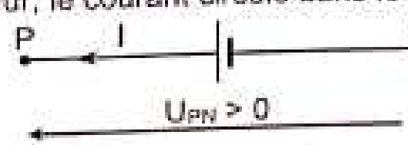
  Exemple : pile, batterie, génératrice de bicyclette (dynamo)...

3. Conventions

- Dans un récepteur, le courant circule dans le sens des potentiels décroissant.



- Dans un générateur, le courant circule dans le sens des potentiels croissant.



4. Puissance électrique

La puissance électrique $\mathscr{P}$ reçue ou fournie par un dipôle est donnée par la relation : $\mathscr{P} = U.I$

- U : tension aux bornes en volt (V) ;
- I : intensité du courant en ampère(A) ;
- $\mathscr{P}$: puissance électrique en watt (W).

5. Energie électrique

L'énergie électrique $\mathscr{E}$ reçue ou fournie par un dipôle pendant une durée Δt est : $\mathscr{E} = \mathscr{P}.\Delta t = U.I.\Delta t$

- $\mathscr{P}$: puissance électrique en watt (W) ;
- Δt : durée en seconde (s) ou en heure (h) ;
- $\mathscr{E}$: énergie électrique en joule (J) ou en wattheure (Wh).

6. Générateur

6.1. Définition et loi d'Ohm

- C'est un dipôle actif linéaire dont la caractéristique intensité-tension ne passe pas par l'origine des axes et de coefficient directeur négatif.
- Ce dipôle obéit à la loi d'ohm : $U_{PN} = E - rI$
  - U_{PN} : tension aux bornes (en V) ;
  - E : force électromotrice f.é.m. (en V) ;
  - r : résistance interne (en Ω) ;
  - I : intensité du courant (en A).

6.2. Etude énergétique

Générateur	Puissance fournie	Puissance totale	Puissance thermique	Bilan
Ex : Pile	$P_f = U_{PN}.I = EI - rI^2$	$P_t = EI$	$P_{th} = rI^2$	$P_c = P_f + P_{th}$

6.3. Rendement

$$\eta = \frac{\text{puissance fournie}}{\text{puissance chimique}} = \frac{P_f}{P_t} = \frac{U_{PN}I}{EI} = \frac{U_{PN}}{E} = \frac{E - rI}{E} = 1 - \frac{rI}{E}$$

Remarque : le rendement η est sans unité et est **toujours inférieur à 1.**

Il peut-être exprimé en pourcentage (%) en multipliant le résultat obtenu par 100.

7. Récepteurs

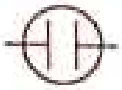
7.1. Conducteur ohmique

- C'est un dipôle passif linéaire et symétrique. Il obéit à la loi d'hom : $U = RI$
- Tout conducteur ohmique parcouru par un courant produit un dégagement de chaleur appelé effet Joule, provoqué par la résistance ohmique de ce conducteur : $\mathcal{P} = UI = RI^2$
- L'énergie reçue est intégralement transformée en chaleur (énergie calorifique ou thermique) : $\mathcal{E} = \mathcal{P}.\Delta t = RI^2\Delta t = Q_{chaleur}$.

7.2. Electrolyseur et moteur

7.2.1. Représentation symbolique

- L'électrolyseur transforme une partie de l'énergie électrique reçue en énergie chimique.



- Le moteur transforme une partie de l'énergie électrique reçue en énergie mécanique.

7.2.2. Loi d'Ohm

Les électrolyseurs et les moteurs obéissent à la loi d'ohm : $U_{AB} = E' + r'I$

- U_{AB} : tension aux bornes (en V) ;
- E' : force contre électromotrice f.c.é.m. (en V) ;
- r' : résistance interne (en Ω) ;
- I : intensité du courant (en A).

7.2.3. Etude énergétique

Récepteurs	Puissance reçue	Puissance utile	Puissance thermique	Bilan
Electrolyseur Moteur	$P_r = U_{AB}.I = E'I + r'I^2$	$P_u = E'I$	$P_{th} = r'I^2$	$P_r = P_u + P_{th}$

7.2.4. Rendement

$$\eta = \frac{\text{puissance utile(chimique ou mécanique)}}{\text{puissance réçue}} = \frac{P_u}{P_r} = \frac{E'}{E'+r'I}$$

Remarque : le rendement η est sans unité et est **toujours inférieur à 1.**

Il peut-être exprimé en pourcentage (%) en multipliant le résultat obtenu par 100.

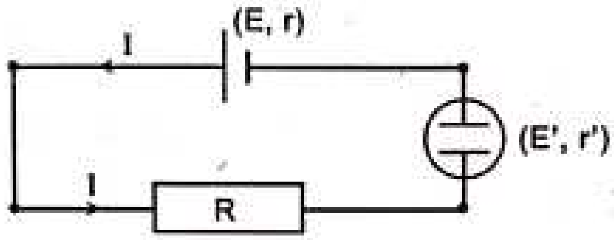
8. Bilan énergétique dans un circuit électrique - Loi de Pouillet

8.1. 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 :

$$I = \frac{\Sigma E - \Sigma E'}{\Sigma R}$$

Exemple : considérons le circuit ci-dessous :



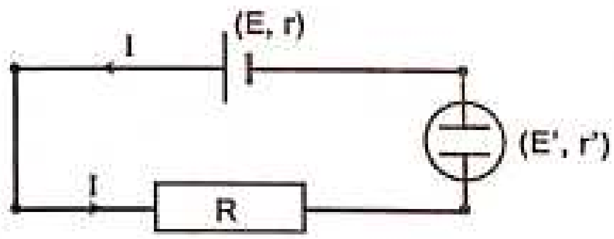
D'après la loi de Pouillet : $I = \frac{E - E'}{R + r + r'}$

8.2. Bilan énergétique

Dans un circuit électrique en série, la puissance chimique à l'intérieur du générateur est égale à la somme de la puissance utile (chimique ou mécanique) et de la puissance totale thermique.

$$P_c = P_u + P_{th}$$
$$\Sigma EI = \Sigma E'I + \Sigma RI^2$$

Exemple : considérons le circuit ci-dessous :



Puissance chimique	Puissance utile	Puissance totale thermique	Bilan
P_c	P_u	P_{th}	$P_c = P_u + P_{th}$
EI	$E'I$	$(R + r + r')I^2$	$EI = EI' + (R + r + r')I^2$

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des propositions suivantes, associe la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1. Tout dipôle parcouru par un courant produit un dégagement de chaleur, appelé effet Joule.
2. L'énergie reçue par un conducteur ohmique est intégralement transformée en chaleur.
3. Le moteur transforme une partie de l'énergie électrique reçue en énergie chimique.
4. L'électrolyseur transforme une partie de l'énergie électrique reçue en énergie mécanique.
5. La tension aux bornes d'un générateur diminue si l'intensité qu'il débite augmente.

Exercice 2

Complète le texte suivant avec les mots, groupe de mots et expresions qui conviennent :

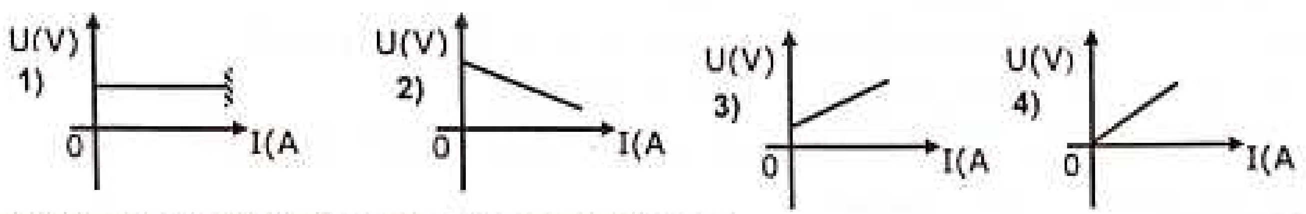
fournie ; reçue ; $U = E' + r'I$; $U = E - rI$; $U = RI$; générateur ; récepteur ; est nulle ; n'est pas nulle.

Un dipôle est un composant électrique possédant deux bornes. On en distingue deux types :

- le dipôle passif ou ....: sa tension aux bornes en circuit ouvert .... et il convertit l'énergie électrique .... en d'autres formes d'énergie. Il obéit à la loi d'hom .... Par contre d'autres dipôles passifs tels que les électrolyseurs et les moteurs obéissent à la loi d'ohm ....
- le dipôle actif ou ....: sa tension aux bornes en circuit ouvert .... et il convertit l'énergie mécanique, chimique ou lumineuse .... en énergie électrique. Il obéit à la loi d'ohm ....

Exercice 3

On dispose de quatre dipôles différents (*pile, électrolyseur, conducteur ohmique, générateur de tension*).



Identifie chaque dipôle à partir de sa caractéristique.

1) ....
2) ....
3) ....
4) ....

Exercice 4

Aux bornes d'un récepteur traversé par un courant d'intensité $I = 0{,}3$ A est appliquée une tension de 24 V.

1. Calcule la puissance électrique reçue par le récepteur.
2. Calcule l'énergie électrique reçue en wattheure puis en joule s'il fonctionne durant 3 h.

Exercice 5

Un électrolyseur de f.c.é.m. $E = 2$ V et résistance interne $r = 10\ \Omega$ est parcouru par un courant d'intensité 0,5 A.

1. Calcule la puissance électrique reçue par cet électrolyseur.
2. Calcule, en 2 h de fonctionnement :
   2.1. l'énergie électrique consommée ;
   2.2. l'énergie électrique utilisée pour provoquer les réactions chimiques ;
   2.3. la quantité de chaleur dégagée.
3. Calcule le rendement de l'électrolyseur.

Exercice 6

Une pile de force électromotrice f.é.m. $E = 4{,}5$ V et de résistance interne $r = 3\ \Omega$, débite un courant d'intensité $I = 0{,}5$ A.

1. Calcule la tension aux bornes de la pile.
2. Calcule la puissance engendrée par la pile.
3. Calcule la puissance dissipée sous forme thermique par effet joule à l'intérieur de la pile.
4. En déduis la puissance fournie par la pile et retrouve la valeur de la tension.
5. Calcule le rendement de cette pile.

Exercice 7

Un moteur de force contre électromotrice f.c.é.m. $E' = 10$ V et de résistance $r' = 6\ \Omega$ est branché aux bornes d'une pile de force électromotrice f.é.m $E = 12$ V et de résistance interne $r = 4\ \Omega$.

1- Fais le schéma du montage.
2- Donne l'expression de l'énergie fournie par la pile (P, N) au reste du circuit.
3- Donne l'expression de l'énergie reçue par le moteur (A,B).
4- En utilisant le bilan énergétique du circuit, calcule l'intensité du courant dans le circuit.

Exercice 8 (1ère C uniquement)

La tension aux bornes d'une dynamo tournant à 1500 tr/min est de 240 V pour une intensité débitée de 80 A. La résistance interne de la dynamo est de $0{,}1\ \Omega$.

1- Donne l'expression de la f.é.m de cette dynamo et calcule sa valeur;
2- Détermine le moment du couple mécanique que l'on doit appliquer sur l'arbre de la dynamo pour obtenir un tel courant.
3- Calcule le rendement de cette dynamo.

Exercice 9

Un groupe d'élèves de 1ère scientifique veut utiliser un petit moteur pour faire monter une charge de 2,5 kg sur une hauteur de 6 m avec vitesse constante V = 10 m/s. Il dispose d'un générateur de f.é.m. E = 120 V et de résistance interne r = 4 Ω. Le moteur électrique M a une force contre électromotrice f.c.é.m. E' = 70 V et de résistance interne r' = 2 Ω. Les fils de jonction ont une résistance totale R = 4 Ω. Tu es membre de ce groupe.

Tu prendras g = 10 N/kg.

1-

1.1. Fais le schéma du montage.

1.2. Calcule l'intensité débitée par le générateur.

1.3. Déduis-en les valeurs des tensions U_{PN} et U_{AB} aux bornes respectivement du générateur et du moteur.

2- Calcule la puissance électrique P_G fournie par le générateur, la puissance électrique P_M absorbée par le moteur.

3- Calcule la puissance mécanique fournie par le moteur.

4- Déduis-en le rendement du moteur.

5- Calcule l'énergie mécanique nécessaire pour faire monter la charge sur la hauteur de 6 m.

6- Dis en justifiant s'il est possible d'utiliser ce moteur pour réaliser cette opération.

Exercice 10

Au cours d'une séance de travaux pratiques un professeur de physique-chimie de 1ère D demande à ses élèves par poste de déterminer les caractéristiques d'un électrolyseur. Il met à la disposition de chaque groupe les matériels suivants : un générateur, un bouton-poussoir, un rhéostat, un électrolyseur, un ampèremètre et un voltmètre.

Afin d'étudier cet électrolyseur AB, ton groupe réalise les mesures (U_{AB}, I) suivantes :

U_{AB}(V)	0	0,5	1,0	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
I(A)	0	0	0	0	0,02	0,03	0,05	0,10	0,29	0,50	0,71	0,92	1,10	1,32

Tu es le rapporteur.

1. Fais le schéma du montage en mettant en place les appareils de mesure qui conviennent.
2. Trace la caractéristique intensité-tension de cet électrolyseur en prenant :
   Echelle : en abscisses : 1 cm pour 0,1 A et en ordonnées : 1 cm pour 0,5 V.
3. Donne l'équation de la partie affine de cette caractéristique sous la forme : $U_{AB} = a + bI$.
4. Déduis-en les valeurs de la f.c.é.m. E' et de la résistance interne r' de l'électrolyseur lorsqu'il fonction dans la partie affine de sa caractéristique.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Pour chacune des propositions suivantes, associe la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1. La puissance disponible aux bornes d'un générateur (E ; r) est P = E.I.
2. La puissance joule perdue dans un générateur (E ; r) est $r.I^2$.
3. Le rendement en puissance d'un générateur idéal est 100%.
4. L'énergie reçue par un moteur est toujours égale à l'énergie disponible aux bornes du générateur qui l'alimente.

Exercice 2

Dans le texte ci-dessous, recopie le numéro et écris en face le mot ou groupe de mots qui convient parmi les mots ou groupes de mots suivants : *engendrée, mécanique, croissants, disponible, chimique, thermique, décroissants, électrique, chaleur.*

On en distingue deux types de composants électriques : le récepteur et le générateur.

Dans un récepteur, le courant circule dans le sens des potentiels ...(1)... tandis que dans le générateur, le courant circule dans le sens des potentiels.....(2).

Un moteur électrique transforme une partie de l'énergie ...(3)... en énergie...(4)...

Un électrolyseur transforme une partie de l'énergie...(5) en énergie ...(6).

L'énergie cédée par un dipôle sous forme de ...(7) est l'énergie ...(8)... Un accumulateur transforme une puissance......(9) en puissance qui se répartit en puissance ...(10).... et en puissance...(11)......

Exercice 3

Coche la bonne réponse parmi les propositions suivantes.

Dans un circuit série comprenant des générateurs et des récpteurs,

1. la loi de Pouillet est donnée par la relation :
   a) $I = \frac{\Sigma E - \Sigma E'}{\Sigma R}$
   b) $I = \frac{\Sigma E' - \Sigma E}{\Sigma R}$
   c) $I = \frac{\Sigma E + \Sigma E'}{\Sigma R}$
2. Le bilan énergétique est donnée par la relation :
   a) $\Sigma RI^2 = \Sigma EI + \Sigma E'I$
   b) $\Sigma EI = \Sigma E'I + \Sigma RI^2$
   c) $\Sigma E'I = \Sigma RI^2 + \Sigma EI$

Exercice 4 (1ère C uniquement)

Un moteur de jouet soumis à une tension U = 2,4 V et parcouru par un courant d'intensité I = 2 A, tourne en raison de 5000 tr.min^{-1}. Le moment du couple moteur est 8.10^{-3} N.m.

Calcule pour ce moteur la puissance utile, la f.c.é.m. et la résistance interne.

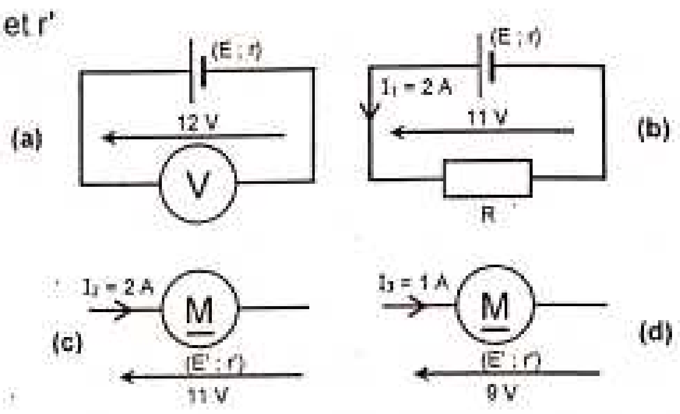
Exercice 5 (1ère C uniquement)

Un moteur électrique de résistance interne négligeable transforme 95% de l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie mécanique disponible. Le moment du couple développée par le moteur vaut $\mathcal{M}$ = 12 N.m pour un régime de rotation de 1200 tr/min.

1) Calcule la puissance électrique reçue par le moteur.
2) Détermine sa f.c.é.m. sachant qu'il est parcouru par un courant d'intensité I = 30 A.

Exercice 6

Pour déterminer les caractéristiques E, r, E' et r' d'un générateur et d'un moteur, des élèves de 1ère scientifique d'un lycée réalisent les montages (a), (b), (c) et (d). Tu es sollicité pour les aider.



1) Calcule E, r, E' et r'.
2) On monte en série :
   - un générateur (E = 12 V ; r = 0,5 Ω) ;
   - un moteur (E' = 7 V ; r' = 2 Ω) ;
   - un résistor R = 10 Ω.

   2.1. Calcule l'intensité I du courant dans le circuit.

   2.2. Calcule les tensions aux bornes de chaque appareil.

   2.3. Calcule la puissance mécanique fournie par le moteur et son rendement.

Exercice 7

Le laborantin de ton lycée veut déterminer la puissance reçue par un moteur M_1 (E_1' = 92 V ; r_1' = 1,5 Ω et celle utile d'un autre moteur M_2 (E_2' = 100V ; r_2' = 1 Ω). Pour cela, il monte en série les deux moteurs et les alimente avec un générateur (E = 260 V ; r = 0,9 Ω).

Etant un élève de 1èreC, il te sollicite pour l'aider à répondre à ce questionnaire.

1. Fais le schéma du montage et représenter les flèches des tensions pour chaque dipôle.
2. Exprime l'intensité I du courant dans le circuit en fonction de E, r, E_1', r_1', E_2', r_2'.
3. Calcule sa valeur.
4. Détermine :

   4.1. La puissance électrique fournie par le générateur au reste du circuit.

   4.2. La puissance reçue par le moteur M_1.

   4.3. La puissance utile du moteur M_2.

   4.4. La puissance totale dissipée par effet joule dans le circuit.

Exercice 8

Au cours d'une séance de TP, votre professeur de physique-chimie vous demande de déterminer la f.é.m. E et la résistance interne r d'un générateur. Il trace la caractéristique intensité-tension du générateur qui est une droite passant par les points suivants : ($I_1 = 0,2$ A ; $U_1 = 5,8$ V) et ($I_2 = 0,6$ A ; $U_2 = 5,4$ V). Il **vous soumet ce questionnaire.**

1) Détermine la f.é.m. E et la résistance interne r du générateur.
2) Il branche aux bornes de ce générateur, un électrolyseur de f.c.é.m. $E_1' = 2$ V et de résistance interne $r_1' = 1,5\ \Omega$ en série.
   2.1. Fais le schéma du montage.
   2.2. Exprime la puissance P_f fournie par le générateur ainsi que la puissance Pu_1 utilisée par l'électrolyseur.
   2.3. Ecris le bilan énergétique et déduis la valeur de l'intensité I du courant traversant le circuit.
   2.4. Détermine la valeur de la tension U_{AB} aux bornes de l'électrolyseur.
   2.5. Calcule le rendement η_1 de l'électrolyseur ainsi que le rendement η du circuit.

Exercice 9

Lors d'une séance de TP des élèves de 1ère scientifique d'un lycée d'Abidjan, voulant déterminer les caractéristiques d'un électrolyseur AB, réalisent les mesures (U_{AB}, I) suivantes :

U_{AB}(V)	0	1,0	1,5	2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
I(mA)	0	0	0	2	5	12	20	30	39	48

Ils te sollicitent pour les aider à rédiger leur rapport.

1. Trace la caractéristique intensité-tension de l'électrolyseur en prenant :
   Echelle : en abscisses : 2 cm pour 10 mA et en ordonnées : 2 cm pour 1 V.
2. Donne l'équation de la partie affine de cette caractéristique sous la forme : $U_{AB} = a + bI$.
3. En déduis les valeurs de la f.c.é.m. E' et de la résistance interne r' de l'électrolyseur lorsqu'il fonction dans la partie affine de sa caractéristique.
4. L'électrolyseur précédent est désormais branché en série aux bornes d'une pile de f.é.m. E = 4,5 V et de résistance interne r = 1,5 Ω.
   4.1. Calcule l'intensité I du courant électrique qui traverse l'électrolyseur.
   4.2. Calcule la puissance utile P_u dont dispose l'électrolyseur pour effectuer les réactions aux électrodes.
   4.3. Calcule la puissance électrique P_g générée par le générateur.
   4.4. Calcule la puissance électrique totale P_{th} dissipée par effet joule.
   4.5. Retrouve la relation mathématique qui existe entre ces trois puissances.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

J'associe la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1. Tout dipôle parcouru par un courant produit un dégagement de chaleur, appelé effet Joule : F.
2. L'énergie reçue par un conducteur ohmique est intégralement transformée en chaleur : V.
3. Le moteur transforme une partie de l'énergie électrique reçue en énergie chimique : F.
4. L'électrolyseur transforme une partie de l'énergie électrique reçue en énergie mécanique : F.
5. La tension aux bornes d'un générateur diminue si l'intensité qu'il débite augmente : V.

Exercice 2

Je complète le texte suivant avec les mots, groupe de mots et expresions qui conviennent : fournie ; reçue ; $U = E' + r'I$; $U = E - rI$; $U = RI$; générateur ; récepteur ; est nulle ; n'est pas nulle.

Un dipôle est un composant électrique possédant deux bornes. On en distingue deux types :

- le dipôle passif ou **récepteur** : sa tension aux bornes en circuit ouvert **est nulle** et il convertit l'énergie électrique **reçue** en d'autres formes d'énergie. Il obéit à la loi d'hom $U = RI$. Par contre d'autres dipôles passifs tels que les électrolyseurs et les moteurs obéissent à la loi d'ohm $U = E' + r'I$.
- le dipôle actif ou **générateur** : sa tension aux bornes en circuit ouvert **n'est pas nulle** et il convertit l'énergie mécanique, chimique ou lumineuse **fournie** en énergie électrique. Il obéit à la loi d'ohm $U = E - rI$

Exercice 3

J'identifie chaque dipôle à partir de sa caractéristique.

1) *générateur de tension*
2) *pile*
3) *électrolyseur*
4) *conducteur ohmique*

Exercice 4

1. **Calculons la puissance électrique reçue par le récepteur.**

   $P_r = U \times I = 24 \times 0{,}3 = 7{,}2$ W

2. **Calculons l'énergie électrique reçue en wattheure puis en joule s'il fonctionne durant 3 h.**

   $E_r = P \times \Delta t$

   Application numérique : $E_r = 7{,}2 \text{ W} \times 3 \text{ h} = 21{,}6 \text{ Wh}$

   $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ donc $E_r = 7{,}2 \text{ W} \times (3 \times 3600 \text{ s}) = 77\,760 \text{ J}$

Exercice 5

1. Calculons la puissance électrique reçue par cet électrolyseur.

   $P_r = U \times I$ or $U = E + rI$ Donc $P_r = (E + r\,I) \times I$

   Application numérique : $P_r = (2 + 10 \times 0,5) \times 0,5 = 3,5\ W$

2. En 2 h de fonctionnement, calculons les quantités :

   2.1. d'énergie électrique consommée

   $E_c = P_r \times \Delta t = 3,5 \times 2 \times 3600 = 25\ 200\ J$

   2.2. d'énergie électrique utilisée pour provoquer les ractions chimiques

   $P_u = E \times I = 2 \times 0,5 = 1\ W$

   $E_u = P_u \times \Delta t = 1 \times 2 \times 3600 = 7\ 200\ J$

   2.3. de chaleur dégagée

   $P_{th} = r \times I^2 = 10 \times (0,5)^2 = 2,5\ W$

   $E_{th} = P_{th} \times \Delta t = 2,5 \times 2 \times 3600 = 18\ 000\ J$

3. Calculons le rendement de l'électrolyseur.

   $$r = \frac{P_u}{P_r} = \frac{1}{3,5} = 0,28 \text{ soit } 28\%$$

Exercice 6

1. Calculons la tension aux bornes de la pile.

   $U_{PN} = E - rI = 4,5 - 3 \times 0,5 = 3\ V$

2. Calculons la puissance engendrée par la pile

   $P_e = EI = 4,5 \times 0,5 = 2,25\ W$

3. Calculons la puissance dissipée sous forme thermique par effet joule à l'intérieur de la pile

   $P_{th} = rI^2 = 3 \times (0,5)^2 = 0,75\ W$

4. Déduisons la puissance fournie par la pile et retrouvons la valeur de la tension.

   - Puissance électrique fournie par la pile au reste du circuit

     $P_e = P_f + P_{th} \Rightarrow P_f = P_e - P_{th} = 2,25 - 0,75 = 1,5\ W$

   - Valeur de la tension

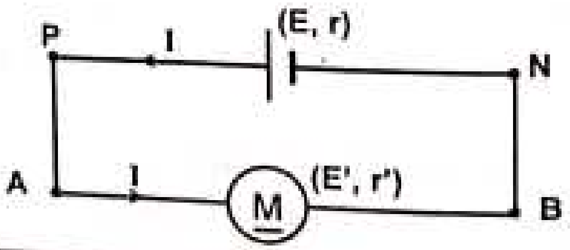
     $$P = UI \Rightarrow U = \frac{P_f}{I} = \frac{1,5}{0,5} = 3\ V$$

5. Calculons le rendement de cette pile.

   $$\eta = \frac{P_f}{P_e} = \frac{1,5}{2,25} = 0,67 \text{ soit } 67\%$$

Exercice 7

1- Schéma du montage.



2- Expression de l'énergie fournie par la pile (P, N) au reste du circuit.

$E_f = P_f \times \Delta t = U_{PN} \times I \times \Delta t = (E - rI) \times I \times \Delta t$

3- Expression de l'énergie reçue par le moteur (A,B).

$E_r = P_r \times \Delta t = U_{AB} \times I \times \Delta t = (E' + r'I) \times I \times \Delta t$

4- Calcul de l'intensité du courant dans le circuit en utilisant le bilan énergétique du circuit.

$E_f = E_r \Leftrightarrow (E - rI) \times I \times \Delta t = (E' + r'I) \times I \times \Delta t \Leftrightarrow E - rI = E' + r'I \Leftrightarrow E - E' = (r + r')I$

$$\Rightarrow I = \frac{E - E'}{r + r'} = \frac{12 - 10}{4 + 6} = \underline{0{,}2\ A}$$

Exercice 8 (1ère C uniquement)

1- Expression et valeur de la f.é.m de cette dynamo.

$U = E - rI \Leftrightarrow E = U + rI$

Application numérique : $E = 240 + 0{,}1 \times 80 = 248\ V$

2- Moment du couple à appliquer sur l'arbre de la dynamo pour obtenir un tel courant.

$$P_t = \mathcal{M} \times \omega = EI \quad \Rightarrow \mathcal{M} = \frac{EI}{\omega} = \frac{248 \times 80}{\frac{2 \times \pi \times 1500}{60}} = \underline{126{,}3\ N.m}$$

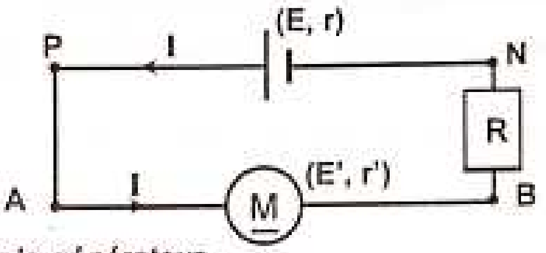
3- Calcul du rendement de cette dynamo.

$$\eta = \frac{P_f}{P_t} = \frac{UI}{EI} = \frac{U}{E} = \frac{240}{248} = \underline{0{,}97} \text{ soit } 97\%$$

Exercice 9

1-

1.1. Schéma du montage :



1.2. Calcul de l'intensité débitée par le générateur.

D'après la loi de Pouillet on a : $I = \frac{E - E'}{R + r + r'} = \frac{120 - 70}{4 + 4 + 2} = \underline{5\ A}$

1.3. Déduction des tensions U_{PN} et U_{AB} aux bornes du générateur et du moteur.

- ✓ Générateur : $U_{PN} = E - rI = 120 - 4 \times 5 = 100\ V$;
- ✓ Moteur : $U_{AB} = E' + r'I = 70 + 2 \times 5 = 80\ V$.

2- Calcul des puissances électriques :

➢ la puissance électrique P_G fournie par le générateur.

$P_G = U_{PN} \times I = 100 \times 5 = 500\ W$

➢ la puissance électrique P_M absorbée par le moteur.

$P_M = U_{AB} \times I = 80 \times 5 = 400\ W$

3- Calcul de la puissance mécanique fournie par le moteur.

$P_u = E'I = 70 \times 5 = 350\ W$

4- Déduction du rendement du moteur.

$$\eta = \frac{P_u}{P_M} = \frac{E'I}{U_{AB}I} = \frac{E'}{U_{AB}} = \frac{350}{400} = \underline{0{,}875} \text{ soit } 87{,}5\%$$

5- **Energie mécanique nécessaire pour faire monter la charge sur la hauteur de 6 m.**

$E_m = W(\vec{P}) = mgh = 2{,}5 \times 10 \times 6 = $ **150 J**

6- **Justifions que ce moteur peut réaliser cette opération.**

Calculons l'énergie W_m fournie par le moteur

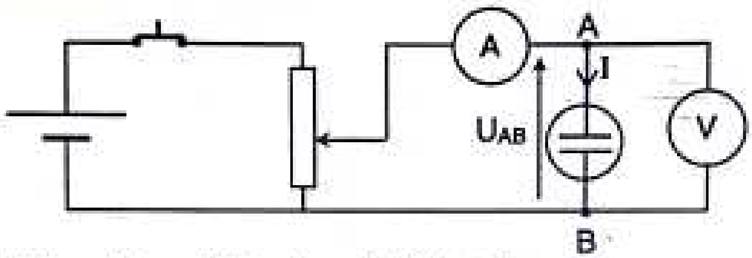
$$W_m = P_m \Delta t = P_m \times \frac{h}{V}$$

Application numérique : $W_m = 350 \times \frac{6}{10} = $ **210 J**

L'énergie W_m fournie par le moteur est supérieure à l'énergie E_m nécessaire pour faire monter la charge sur cette hauteur. Donc ce moteur peut réaliser cette opération.

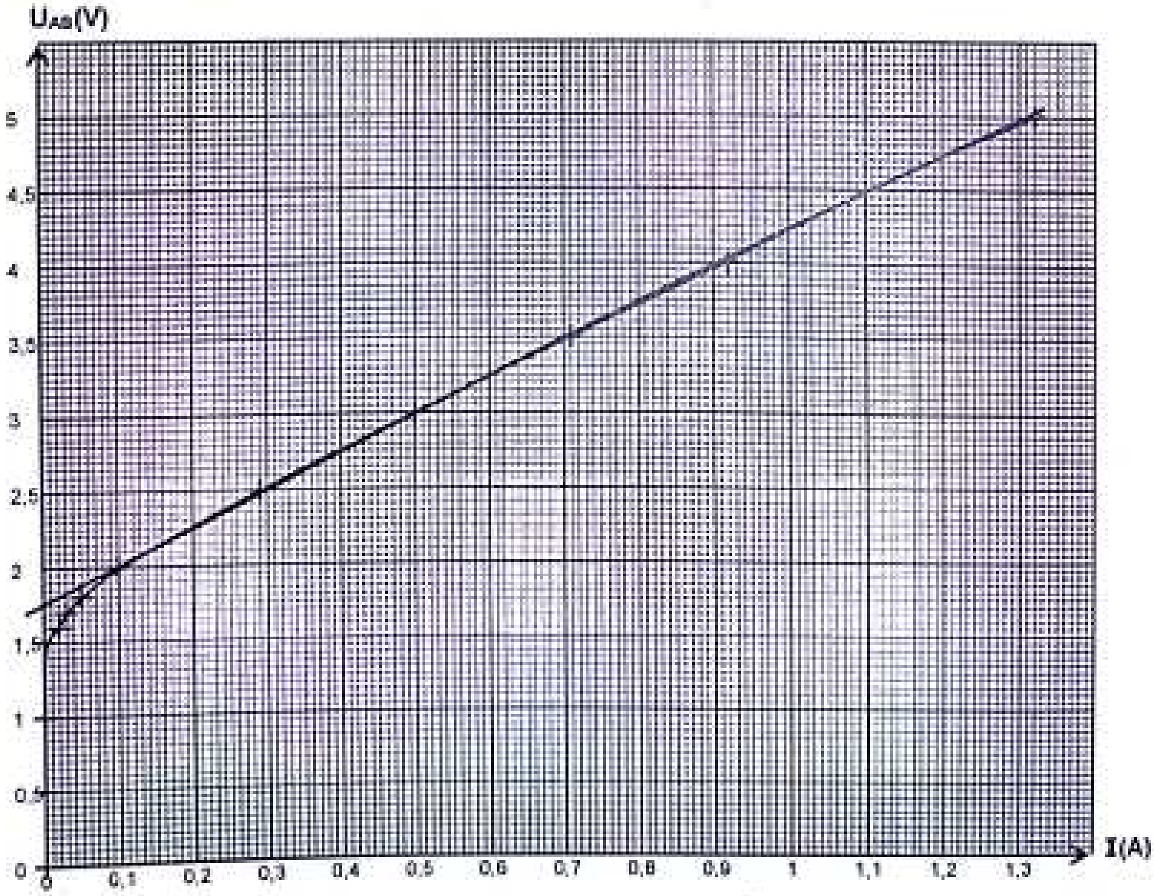
Exercice 10

1. **Le schéma du montage.**



2. **La caractéristique intensité-tension de l'électrolyseur**

Echelle : en abscisses : 1 cm pour 0,1 A et en ordonnées : 1 cm pour 0,5 V.



3. L'équation de la partie affine de cette caractéristique sous la forme : $U_{AB} = a + bI$.

   ✓ $a = 1,75\ V$

   ✓ $b = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{5-2}{1,32-0,1} = 2,46\ \Omega$

   Donc $U_{AB} = 1,75 + 2,46I$

4. Les valeurs de la f.c.é.m. E' et de la résistance interne r' de l'électrolyseur.

   $E' = a = 1,75\ V$; $r' = b = 2,46\ \Omega$

E4 : LES CONDENSATEURS

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. Il a donné son nom au farad(F), une unité de capacité électrique, ainsi qu'à une charge électrique, la constante de Faraday.

TABLEAU DES HABILETES

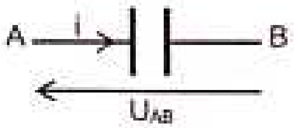
HABILETES	CONTENUS
Définir	un condensateur.
Connaître	le symbole d'un : - condensateur non polarisé ; - condensateur à capacité variable ; - condensateur électrolytique polarisé.
Interpréter	la charge et la décharge d'un condensateur.
Tracer	la courbe $q_A = f(U_{AB})$
Déterminer	• la capacité d'un condensateur. • la capacité d'une association de condensateurs.
Connaître	l'unité de capacité.
Connaître	la relation entre la charge du condensateur et la tension à ses bornes.
Définir	• la tension nominale. • la tension de claquage. • Le champ disruptif.
Exploiter	un oscillogramme relatif à la charge ou à la décharge d'un condensateur.
Connaître	les lois d'association des condensateurs.
Appliquer	les lois d'association des condensateurs.
Connaître	les expressions de l'énergie stockée par un condensateur.
Utiliser	les relations : * $E = \frac{1}{2}CU^2$; * $E = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$; * $E = \frac{1}{2}QU$.

RAPPEL DE COURS

1. Définition et symbole

Un condensateur est un composant électronique capable d'emmagasiner une charge électrique. Il se compose de deux plaques parallèles et conductrices (**armatures**), séparées par une couche isolante appelée **diélectrique**.

Le diélectrique peut être de l'air (du vide), du verre, du mica etc.



2. Caractéristiques d'un condensateur

2.1. 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 $i < 0$.

Remarque :

- 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.

2.2. 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 : $\boxed{Q = I \times \Delta t}$

- 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).

2.3. Capacité d'un condensateur

2.3.1. Définition

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 : $\boxed{Q_A = CU_{AB}}$

- Q_A : charge électrique en coulomb (C) ;
- C : capacité du condensateur en farad (F) ;
- U_{AB} : tension aux bornes du condensateur en volt (V)

2.3.2. Condensateur plan

La capacité C d'un condensateur plan est donnée par la relation suivante :

➢ si le diélectrique est le vide ou l'air, $\boxed{C = \varepsilon_0 \frac{S}{d}}$

- S : surface d'une armature (en m^2) ;
- d : épaisseur du diélectrique (en m) ;
- $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9}$: permittivité du vide (en F/m) ;
- C : capacité du condensateur en farad (F).

➢ si le diélectrique est quelconque, $\boxed{C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}}$

- ε_r : permittivité relative du diélectrique (en F/m).

3. Propriétés d'un condensateur

3.1. Énergie emmagasinée

L'énergie stockée ou emmagasinée par un condensateur est donnée par la relation :

$$\boxed{E_m = \frac{1}{2}QU_{AB} = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CU_{AB}^2}.$$

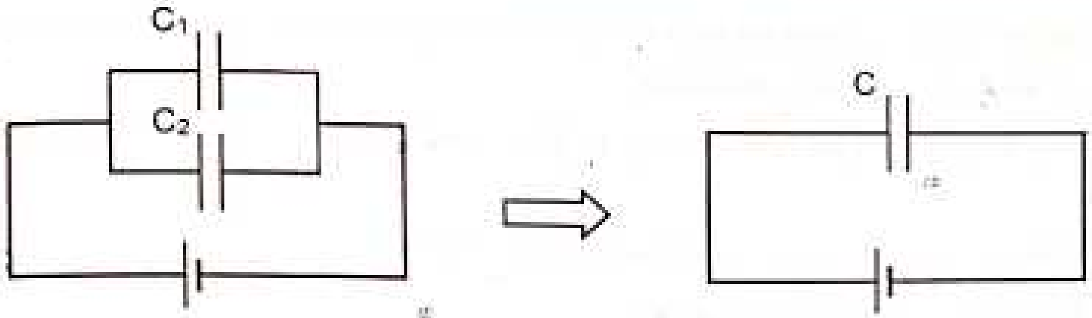
- Q : charge électrique en coulomb (C) ;
- C : capacité du condensateur en farad (F) ;
- U_{AB} : tension aux bornes du condensateur en volt (V)
- E_m : énergie stockée ou emmagasinée par le condensateur en joule (J).

3.2. Lois d'association des condensateurs

3.2.1. Association en parallèle (ou en dérivation)

La capacité équivalente C de plusieurs condensateurs montés en parallèle est égale à la somme des capacités de chaque condensateur : $C = \Sigma C_i$

Exemple : soient deux condensateurs de capacités C_1 et C_2 associés en dérivation

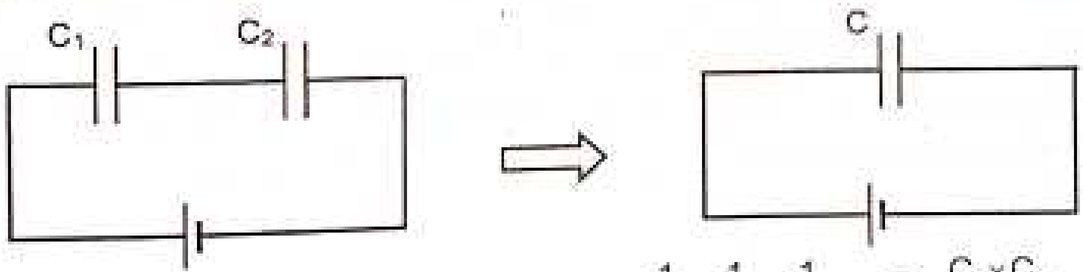


La capacité équivalente à cette association est : $C = C_1 + C_2$

3.2.2. Association en série

L'inverse de la capacité équivalente de plusieurs condensateurs montés en série est égal à la somme des inverses des capacités de chaque condensateur : $\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$

Exemple : soient deux condensateurs de capacités C_1 et C_2 associés en série



La capacité équivalente à cette association est : $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Associe à chaque chiffre la lettre F si la proposition est fausse ou la lettre V si elle est vraie.

1) A l'intérieur d'un condensateur, il règne un champ électrostatique uniforme.
2) Deux condensateurs en parallèles supportent des tensions différentes.
3) Dans un circuit associant des condensateurs en série, la capacité équivalente est égale à la somme des capacités de chaque condensateur.
4) Les charges électriques portées par les armatures d'un condensateur chargé sont égales et opposées.
5) Le milieu situé entre les armatures d'un condensateur est isolant.
6) Les armatures d'un condensateur sont isolantes.
7) L'unité de la capacité d'un condensateur est le volt.

Exercice 2

Dans le texte ci-dessous, recopie le numéro et écris en face le mot ou le groupe de mots qui convient parmi les mots ou groupes de mots suivants : **champ disruptif ; diélectrique, tension de claquage, tension nominale, champ électrostatique, armatures.**

Un condensateur est un composant électronique capable d'emmagasiner une charge électrique. Il se compose de deux plaques parallèles et conductrices appelées ...(1)... La ...(2)......... est la tension supportable par le condensateur qui permet son fonctionnement adéquat. Sa valeur limite au-delà de laquelle le condensateur est détruit est appelée ...(3)... Le ...(4)... est le ... (5)... au-delà duquel le ...(6)... perd son caractère d'isolant.

Exercice 3

Un condensateur, de capacité 3 mF, a été chargé par un courant constant de 2 mA pendant 3 minutes.

1) Calcule la charge de l'armature positive du condensateur.
2) En déduis la tension aux bornes du condensateur.

Exercice 4

1) Un condensateur est chargé sous une tension de 30 V.
   A la fin de la charge la quantité d'électricité emmagasinée est de 300 μC.
   1.1. Calcule la capacité de ce condensateur.
   1.2. En déduis l'énergie électrique emmagasinée.
2) On a utilisé un condensateur de capacité **C = 2200 μF** pour emmagasiner une énergie électrique E_m = 58,19 J. Calcule la tension U aux bornes du condensateur.

Exercice 5

Un condensateur plan est constitué de deux armatures A et B identiques circulaires de rayon $r = 3$ cm, séparées par de l'air. La distance entre les armatures est $e = 2$ mm.

On charge ce condensateur sous une tension $U_{AB} = 1,2$ kV.

On donne : permittivité du vide $\varepsilon_0 = 8,85.10^{-12}$ F/m.

1. Calcule la capacité de ce condensateur.
2. Calcule la charge de ce condensateur.
3. En déduis l'énergie emmagasinée dans ce condensateur.

Exercice 6

Les caractéristiques d'un condensateur sont les suivantes :

- ✓ capacité : $C = 0,12$ µF ;
- ✓ épaisseur du diélectrique $e = 0,2$ mm ;
- ✓ permittivité relative de l'isolant : $\varepsilon_r = 5$;
- ✓ tension de service : $U_s = 100$ V ;
- ✓ permittivité du vide : $\varepsilon_0 = 8,84\ 10^{-12}$ F/m.

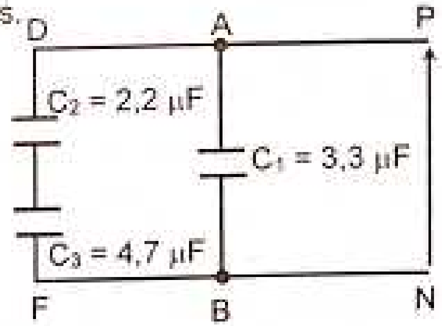
1) Calcule la surface des armatures ;
2) Calcule la charge du condensateur soumis à la tension de service ;
3) En déduis l'énergie emmagasinée dans ces conditions.

Exercice 7

Les condensateurs de la figure ci-dessous sont déchargés.

On impose une tension constante $U_{PN} = 12$ V.

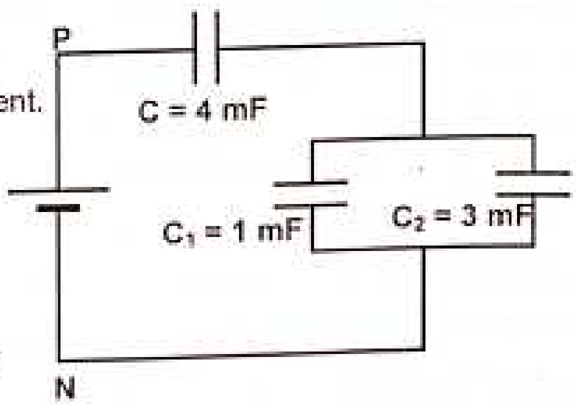
1) Calcule la capacité équivalente entre P et N.
2) Calcule à la fin de la charge :
   2.1. les charges q_1, q_2 et q_3 ;
   2.2. les tensions V_1, V_2 et V_3.



Exercice 8

On considère le circuit ci-dessous :

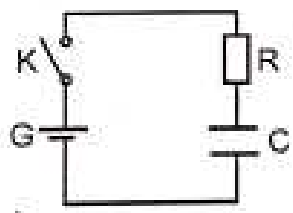
1) Calcule la capacité C_e du condensateur équivalent.
2) Calcule la tension aux bornes de chaque condensateur ainsi que sa charge finale sachant que $U_{PN} = 100$ V.
3) Calcule l'énergie emmengasinée par chaque condensateur et l'énergie totale emmengasinée dans l'association.



Exercice 9

A l'aide d'un générateur G de f.é.m. $E = 20$ V, on charge un condensateur de capacité $C = 1$ mF à travers un conducteur ohmique de résistance $R = 20$ kΩ.

1) Détermine, immédiatement, après la fermeture de l'interrupteur K, les valeurs de :
   1.1. la tension aux bornes du condensateur ;
   1.2. la tension aux bornes du générateur.
   1.3. la tension aux bornes du conducteur ohmique ;
   1.4. l'intensité au courant dans le circuit ;



2) Donne, à la fin de la charge :
   2.1. la tension aux bornes du condensateur ;
   2.2. la charge du condensateur ;
   2.3. l'intensité du courant dans le circuit ;
   2.4. la tension aux bornes du conducteur ohmique ;
   2.5. l'énergie emmagasinée dans le condensateur.

Exercice 10

Au cours d'une séance de TP, un groupe d'élèves de 1ère D d'un lycée d'Abidjan cherche à déterminer expérimentalement la capacité C d'un condensateur.

Pour cela, les élèves réalisent le montage suivant comportant :

- ✓ un générateur idéal de courant ;
- ✓ le condensateur de capacité C ;
- ✓ un interrupteur ;
- ✓ un générateur de grande résistance interne.

A $t = 0$, le groupe ferme le circuit. Un courant d'intensité $I_0 = 2$ µA parcourt alors le circuit.

Ils relèvent à certains instants t, la valeur de u_c :

t(s)	0	10	20	30	40	50	60	80
u_c (V)	0	2,1	4	5,9	7,8	10,2	11,9	15,6

Etant le rapporteur du groupe, tu es solicité pour repondre au questionnaire suivant.

1) Trace le graphe $u_c = f(t)$. Echelle : 1 cm pour 2 V et 1 cm pour 10 s.
2) En déduis la relation entre u_c et t.
3) Donne la relation qui existe entre la charge q du condensateur, l'intensité du courant qui parcourt le circuit et le temps.
4) En déduis la relation numérique existant entre q et u_c.
5) Détermine la capacité du condensateur.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Pour chacune des propositions suivantes, associe la lettre V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

1- Entre les armatures d'un condensateur, les électrons traversent le diélectrique.
2- La charge d'un condensateur est égale à la somme des charges portées par chaque armature.
3- La capacité d'un condensateur dépend de la tension à ses bornes.
4- La capacité d'un condensateur est égale : $C = QU$.
5- La capacité d'un condensateur plan augmente lorsqu'on rapproche les armatures.
6- Pour le condensateur d'armature A et B on a : $q_B = C.U_{BA}$.

Exercice 2

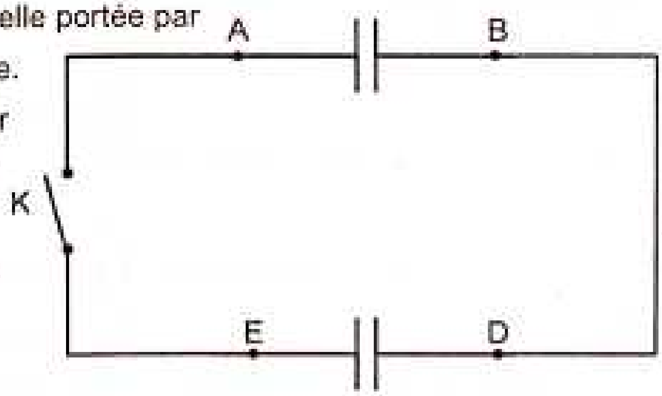
Après le cours sur le condensateur, un de tes amis décide de vérifier s'il a bien assimilé le cours. Pour cela il te sollicite afin de l'aider à faire l'exercice suivant :

Un condensateur de capacité $C_1 = 5\ \mu F$ est chargé sous une tension constante $U = 40$ V. Dès que la charge est terminée, on sépare le condensateur de la source de tension et on connecte ses armatures à celles d'un condensateur non chargé de capacité $C_2 = 20\ \mu F$.

1) Calcule la charge initiale Q_0 du condensateur de capacité C_1.
2) Détermine :
   2.1. La tension finale aux bornes de chaque condensateur.
   2.2. La charge finale de chaque condensateur.
   2.3. L'énergie initiale et l'énergie finale de l'ensemble des deux condensateurs associés.
   2.4. Calcule l'énergie perdue par les condensateurs.

Exercice 3

Un condensateur de capacité $C = 33\ \mu F$ est chargé sous une ddp $U_{AB} = 24$ V.



1) Calcule la charge portée par l'armature A et celle portée par l'armature B, ainsi que l'énergie emmagasinée.
2) On relie les bornes A et B de ce condensateur chargé aux bornes E et D d'un condensateur identique, mais complètement déchargé.
   2.1. En appliquant le principe de conservation de la charge, calcule la charge portée par l'armature A, puis par l'armature E.
   2.2. Calcule la nouvelle ddp entre les armatures de chaque condensateur.
   2.3. Calcule l'énergie emmagasinée dans les deux condensateurs.
   2.4. Dis s'il y a eu conservation de l'énergie au cours de la connexion.
   2.5. Calcule la quantité d'énergie dissipée par effet joule dans les fils de jonction.

Exercice 4

Un condensateur de 47 µF et un autre de 33 µF supportent la même tension maximale soit 25 V. On les branche en série puis en parallèle. Calcule dans chaque cas :

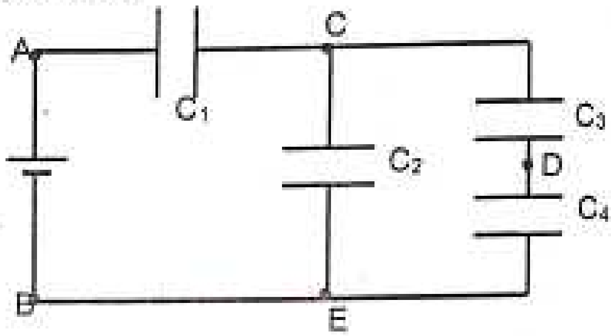
1) la capacité équivalente.
2) la tension maximale que peut supporter le groupement.
3) l'énergie emmagasinée par le groupement lorsqu'il est chargé sous la tension maximale.

Exercice 5

Au cours d'une évaluation, votre professeur de Physique-Chimie veut tester vos connaissances sur les lois d'association des condensateurs. Pour cela il met à votre disposition le schéma ci-dessous comprenant une association de quatre (4) condensateurs.

Etant un élève de cette classe, le professeur te sollicite pour répondre à ce questionnaire.

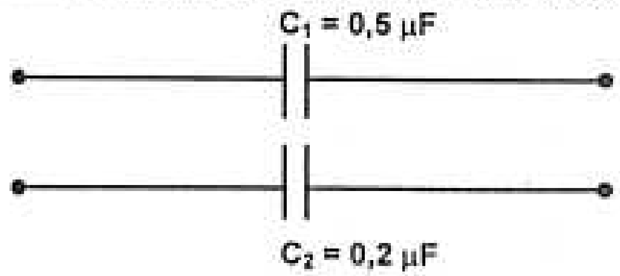
1) Calcule la capacité équivalente C à toute l'association.
2) Calcule :
   2.1. La charge finale Q du condensateur C équivalent.
   2.2. La charge Q_1 du condensateur C_1.
   2.3. Les tensions U_{AC} et U_{CE}.
   2.4. La charge Q_2 du condensateur C_2.



3) Sachant que la tension $U_{CD} = 60$ V, calcule les charges Q_3 et Q_4 respectivement des condensateurs C_3 et C_4.
4) Calcule l'énergie électrostatique totale emmagasinée par les quatre(4) condensateurs.
   On donne : $C_1 = 3{,}3$ µF ; $C_2 = C_4 = 4{,}7$ µF ; $C_3 = 1$ µF ; $U_{AB} = 200$ V.

Exercice 6(1ère C uniquement)

Les condensateurs C_1 et C_2 soumis respectivement aux tensions $U_{AA'} = 120$ V et $U_{BB'} = 50$ V, sont chargés par les générateurs. A la fin de leurs charges, on débranche les générateurs ; on relie par une chaîne conductrice les armatures A et B d'une part et A' et B' d'autre part.



1. Donne, avant la mise en place des chaînes conductrices, les valeurs des charges q_A portée par l'armature A, q_B portée par l'armature B.
2. Détermine les nouvelles valeurs des charges Q_A (armature A) et Q_B (armature B) lorsque les chaînes conductrices sont mis en place.

3. Calcule l'énergie électrostatique totale emmagasinée dans les deux condensateurs :
   3.1. avant la mise en place des chaînes conductrices ;
   3.2. après la mise en place des chaînes conductrices.
4.
   4.1. Vérifie s'il y a eu conservation d'énergie au cours de la connexion.
   4.2. Calcule la quantité d'énergie dissipée par effet joule dans les fils de connexion.
5. Les chaînes conductrices sont maintenant reliées entre les armatures A et B' d'une part A' et B d'autre part.
   Détermine les nouvelles charges portées par les armatures A (notée Q'_A) et B (notée Q'_B).

Exercice 7

Tu rends visite à ton ami apprenti-électronicien dans son atelier. Celui-ci veut remplacer un condensateur défaillant dans le circuit d'un poste radio. Il dispose de trois condensateurs dont les capacités ont pour valeurs respectives $C_1 = 6\ \mu F$; $C_2 = 40\ \mu F$ et $C_3 = 50\ \mu F$. Mais ne sachant pas les caractéristiques de ce condensateur, il te demande de l'aider à choisir le ou les condensateur(s) et le montage à réaliser. Pour cela il met à ta disposition un ancien relevé de mesures du condensateur défaillant lorsqu'il était branché aux bornes d'un générateur de courant débitant un courant d'intensité constant $I = 4{,}5\ \mu A$.

Le tableau ci-dessous donne la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps :

$U_{AB}(V)$	0,9	1,8	2,71	3,59	4,5	5,4	6,29	7,18	8,09	9,9
t(s)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$Q_A(C) = I.t$										

1. Indique le montage à réaliser pour faire les mesures consignées dans le tableau ci-dessus.
2. Reproduis, puis complète le tableau.
   2.1. Construis sur une feuille millimétrée la courbe $Q_A = f(U_{AB})$.
   Echelle : Abscisse : 1 cm → 1 V ; Ordonnée : 1 cm → 5.10^{-4} C.
   2.2. Donne la nature de la courbe $Q_A = f(U_{AB})$
   2.3. Détermine la capacité C du condensateur à partir de la courbe.
3. Détermine l'énergie électrique stockée dans ce condensateur lorsque la tension à ses bornes est $U_{AB} = 5$ V.
4. Précise le ou les condensateurs à choisir en justifiant ta réponse.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

J'associe à chaque chiffre la lettre F si la proposition est fausse ou la lettre V si elle est vraie.

1) A l'intérieur d'un condensateur, il règne un champ électrostatique uniforme : V.
2) Deux condensateurs en parallèles supportent des tensions différentes : F.
3) Dans un circuit associant des condensateurs en série, la capacité équivalente est égale à la somme des capacités de chaque condensateur : F.
4) Les charges électriques portées par les armatures d'un condensateur chargé sont égales et opposées : V.
5) Le milieu situé entre les armatures d'un condensateur est isolant : V.
6) Les armatures d'un condensateur sont isolantes : F.
7) L'unité de la capacité d'un condensateur est le volt : F.

Exercice 2

J'écris le mot ou le groupe de mots qui convient.

Un condensateur est un composant électronique capable d'emmagasiner une charge électrique. Il se compose de deux plaques parallèles et conductrices appelées **armatures**. La **tension nominale** est la tension supportable par le condensateur qui permet son fonctionnement adéquat. Sa valeur limite au-delà de laquelle le condensateur est détruit est appelée **tension de claquage**. Le **champ disruptif** est le champ électrostatique au-delà duquel le **diélectrique** perd son caractère d'isolant.

Exercice 3

1) **Calcul de la charge de l'armature positive du condensateur**

   Par définition, $Q = I \times \Delta t = 2.10^{-3} \times 3 \times 60 = 0{,}36\ C$

2) **Déduction de la tension aux bornes du condensateur**

   Par définition, $Q = CU \Rightarrow U = \frac{Q}{C} = \frac{0{,}36}{3.10^{-3}} = 120\ V$

Exercice 4

1) **Un condensateur est chargé sous une tension de 30 V.**

   1.1. **Calcul de sa capacité C.**

   Par définition, $Q = CU \Rightarrow C = \frac{Q}{U} = \frac{300.10^{-6}}{30} = 10^{-5}\ F = 10\ \mu F$

   1.2. **Déduction de l'énergie électrique emmagasinée**

   Par définition, $E_m = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2} \times 300.10^{-6} \times 30 = 4{,}5.10^{-3}\ J$

2) **Calcul de la tension U aux bornes du condensateur.**

   Par définition, $E_m = \frac{1}{2}CU^2 \Rightarrow \frac{2E_m}{C} = U^2 \Rightarrow U = \sqrt{\frac{2E_m}{C}} \Rightarrow U = \sqrt{\frac{2 \times 58{,}19}{2200.10^{-6}}} = 230\ V$

Exercice 5

1. Calculons la capacité de ce condensateur.

Par définition, $C = \varepsilon_0 \dfrac{S}{e} = \varepsilon_0 \dfrac{\pi r^2}{e} = 8{,}85.10^{-12} \times \dfrac{\pi \times (3.10^{-2})^2}{2.10^{-3}} = 1{,}25.10^{-11}$ F

2. Calculons la charge de ce condensateur.

Par définition, $Q = CU_{AB} = 1{,}25.10^{-11} \times 1{,}2.10^{3} = 1{,}5.10^{-8}$ C

3. Calculons l'énergie emmagasinée dans ce condensateur.

Par définition, $E_m = \dfrac{1}{2} QU = \dfrac{1}{2} \times 1{,}5.10^{-8} \times 1{,}2.10^{3} = 9.10^{-6}$ J

Exercice 6

1. Calcul de la surface des armatures ;

$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \dfrac{S}{e} \Rightarrow S = \dfrac{Ce}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \dfrac{0{,}12.10^{-6} \times 0{,}2.10^{-3}}{8{,}84\ 10^{-12} \times 5} = 0{,}543\ m^2$

2. Calcul de la charge du condensateur soumis à la tension de service ;

$q = CU_s = 0{,}12.10^{-6} \times 100 = 0{,}12.10^{-4}$ C = 12 μC.

3. Déduction de l'énergie emmagasinée dans ces conditions.

$E = \dfrac{1}{2} CU_s^2 = 0{,}5 \times 0{,}12.10^{-6} \times 100^2 = 0{,}6.10^{-3}$ J = 0,6 mJ.

Exercice 7

1) Calculons la capacité équivalente entre P et N.

- Les condensateurs de capacités C_2 et C_3 sont montés en série donc la capacité équivalente $C_{éq1}$ à cette association est telle que :

$\dfrac{1}{C_{éq1}} = \dfrac{1}{C_2} + \dfrac{1}{C_3} \Rightarrow C_{éq1} = \dfrac{C_2 \times C_3}{C_2 + C_3} = \dfrac{2{,}2 \times 4{,}7}{2{,}2 + 4{,}7} = 1{,}49\ \mu F$

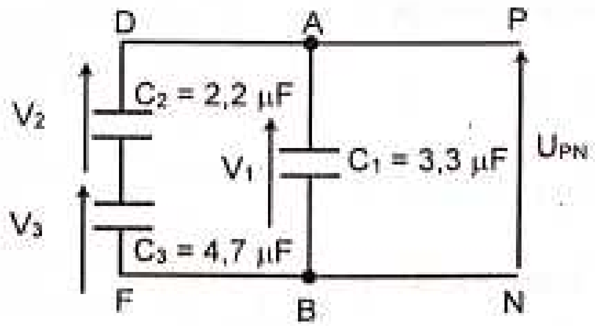
- Les condensateurs de capacités $C_{éq1}$ et C_1 sont montés en dérivation donc la capacité équivalente $C_{éq}$ à cette association est telle que :

$C_{éq} = C_{éq1} + C_1 = 1{,}49 + 3{,}3 = 4{,}79\ \mu F$

- La capacité C du condensateur équivalent entre P et N est : $C = C_{éq} = 4{,}79\ \mu F$

2) Calculons à la fin de la charge :

2.1. les charges q_1, q_2 et q_3 ;



➢ $q_1 = C_1V_1 = C_1U_{PN}$

$q_1 = 3{,}3\ \mu F \times 12\ V = 39{,}6\ \mu C$

➢ $q_2 = q_3 = C_{éq1}U_{PN}$

D'après la question 1) on a :

$C_{éq1} = 1{,}49\ \mu F$

Donc : $q_2 = q_3 = 1{,}49\ \mu F \times 12\ V = 17{,}88\ \mu C$

2.2. les tensions V_1, V_2 et V_3.

- $V_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{39{,}6\ \mu C}{3{,}3\ \mu F} = \underline{12\ V}$
- $V_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{17{,}88\ \mu C}{2{,}2\ \mu F} = \underline{8{,}13\ V}$
- $V_3 = \frac{q_3}{C_3} = \frac{17{,}88\ \mu C}{4{,}7\ \mu F} = \underline{3{,}80\ V}$

Exercice 8

1) **Calculons la capacité C_e du condensateur équivalent.**

- Les condensateurs de capacités C_1 et C_2 sont montés en dérivation donc la capacité équivalente $C_{éq1}$ à cette association est telle que :

  $C_{éq1} = C_1 + C_2 = 1 + 3 = 4$ mF
- Les condensateurs de capacités $C_{éq1}$ et C sont montés en série donc la capacité équivalente $C_{éq}$ à cette association est telle que :

  $$\frac{1}{C_{éq}} = \frac{1}{C_{éq1}} + \frac{1}{C} \Rightarrow C_{éq} = \frac{C_{éq1} \times C}{C_{éq1} + C} = \frac{4 \times 4}{4 + 4} = 2\ \text{mF}$$
- La capacité C_e du condensateur équivalent est : $\mathbf{C_e = C_{éq} = 2\ mF}$

2) **Tension aux bornes de chaque condensateur et charge finale sachant que U_{PN} = 100 V.**

$U_{PN} = U_C + U_{C1}$ avec $U_{C1} = U_{C2} \Rightarrow q_C = q_1 + q_2$

En outre : $q_T = C_{éq}U_{PN}$

Application numérique : $q_T = 2\ \text{mF} \times 100\ \text{V} = 200$ mC donc $q_C = q_T = 200$ mC

$$U_C = \frac{q_C}{C} = \frac{200\ \text{mC}}{4\ \text{mF}} = \underline{50\ V}$$

$U_{C1} = U_{C2}$ on sait que $U_{PN} = U_C + U_{C1} \Rightarrow U_{C1} = 100 - 50 = 50$ V

Donc : $q_1 = C_1 \times U_1 = 1\ \text{mF} \times 50 = 50$ mC

$q_2 = C_2 \times U_2 = 3\ \text{mF} \times 50 = 150$ mC

3) **Energie emmengasinée par chaque condensateur et l'énergie totale emmengasinée dans l'association.**

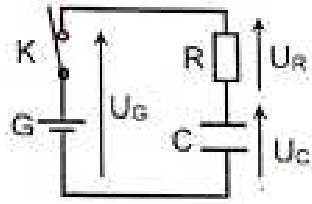
- Aux bornes de C : $E_m = \frac{1}{2}\frac{q_C^2}{C} = \frac{1}{2} \times \frac{(200.10^{-3})^2}{4.10^{-3}} = \underline{5\ J}$
- Aux bornes de C_1 : $E_{m_1} = \frac{1}{2}\frac{q_1^2}{C_1} = \frac{1}{2} \times \frac{(50.10^{-3})^2}{1.10^{-3}} = \underline{1{,}25\ J}$
- Aux bornes de C_2 : $E_{m_2} = \frac{1}{2}\frac{q_2^2}{C_2} = \frac{1}{2} \times \frac{(150.10^{-3})^2}{3.10^{-3}} = \underline{3{,}75\ J}$
- Energie totale : $E_T = \frac{1}{2}\frac{q_T^2}{C_e} = \frac{1}{2} \times \frac{(200.10^{-3})^2}{2.10^{-3}} = \underline{10\ J}$

Exercice 9

1) Déterminons immédiatement, après la fermeture de l'interrupteur K, les valeurs de :

1.1. la tension aux bornes du condensateur ;

Le condensateur n'est pas encore chargé donc q = 0 donc $U_C = \frac{q}{C} = 0$.



1.2. la tension aux bornes du générateur.

$U_G = E - rI$ or r = 0 donc $U_G = E = 20\ V$

1.3. la tension aux bornes du conducteur ohmique ;

D'après la loi des tensions dans un circuit en série, on a :

$U_G = U_R + U_C$ or $U_C = 0$ donc $U_R = U_G = E = 20\ V$

1.4. l'intensité au courant dans le circuit ;

$U_R = RI \Rightarrow I = \frac{U_R}{R} = \frac{20}{20.10^3} = 0{,}001\ A = 10^{-3}\ A$ soit I = 1 mA.

2) Donnons, à la fin de la charge :

2.1. la tension aux bornes du condensateur ;

$U_C = U_G = E = 20\ V$

2.2. la charge du condensateur ;

$q = CU_C = 1.10^{-3} \times 20 = 2.10^{-2}\ C$

2.3. l'intensité du courant dans le circuit,

$I = \frac{dq}{dt} = 0$ car la charge est constante

2.4. la tension aux bornes du conducteur ohmique

D'après la loi des tensions dans un circuit en série, on a : $U_G = U_R + U_C$

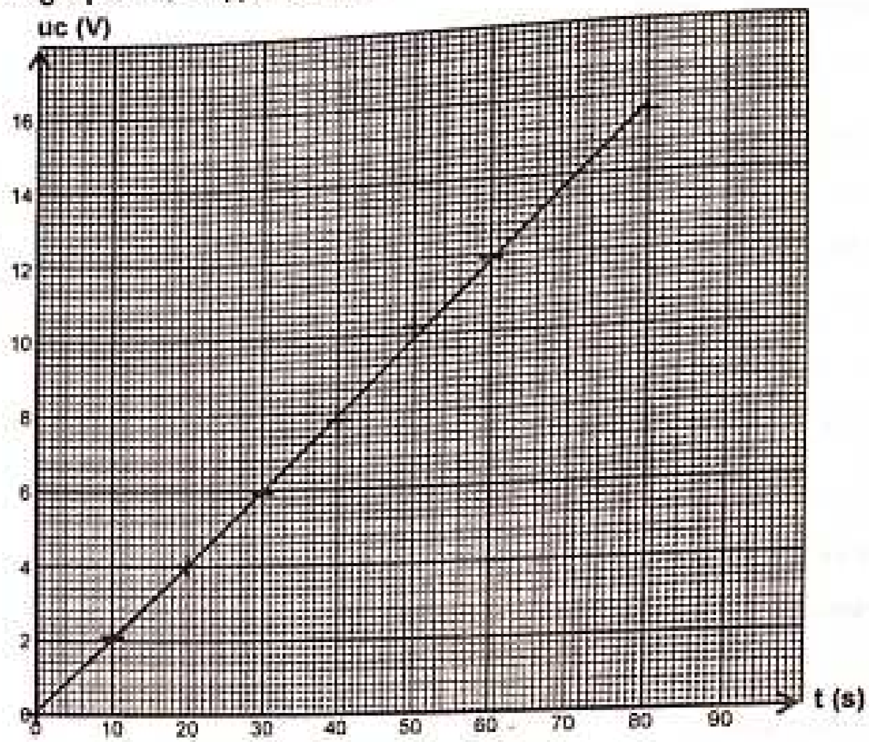
Or $U_C = U_G$ donc $U_R = 0\ V$

2.5. l'énergie emmagasinée dans le condensateur.

$E_m = \frac{1}{2} qU_C = \frac{1}{2} \times 2.10^{-2} \times 20 = 0{,}2\ J$

Exercice 10

1) Traçons le graphe $u_c = f(t)$. Echelle : 1 cm pour 2 V et 1 cm pour 10 s.



2) Déduisons la relation entre u_c et t.

On obtient une droite qui passe par l'origine donc u_c et t sont deux grandeurs proportionnelles ou $u_c = kt$; k étant le coefficient de proportionnalité.

$k = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{4-0}{20-0} = 0{,}2$ V/s donc $u_c = 0{,}2t$

3) Relation entre la charge q du condensateur, l'intensité I_0 du courant et le temps t.

$q = I_0 t$

4) Déduction de la relation numérique existant entre q et u_c.

$$\left.\begin{array}{l} u_c = 0{,}2t \\ q = I_0 t \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{q}{u_c} = \frac{I_0}{0{,}2} = \frac{2.10^{-6}}{0{,}2} = 10^{-5} \Rightarrow q = 10^{-5}u_c$$

5) Détermination de la capacité du condensateur.

$q = 10^{-5}u_c \Rightarrow C = 10^{-5}$ F

Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)
Physiden Allemand

Il est l'un des plus grands physiciens du XIXe 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.

E5 : L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	l'amplificateur opérationnel
Connaître	• le symbole de l'amplificateur opérationnel (A.O) • les propriétés d'un A.O idéal
Interpréter	les caractéristiques $U_s = f(U_e)$ des montages : - suiveur ; - amplificateur inverseur ; - amplificateur non inverseur. - sommateur inverseur.
Etablir	les relations entre les tensions d'entrée et de sortie d'un : - suiveur ; - amplificateur inverseur ; - amplificateur non inverseur ; - sommateur inverseur.
Utiliser	l'amplificateur opérationnel en régime saturé : • cas du comparateur.

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.

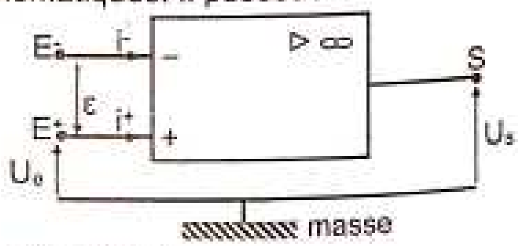
- D'après la loi des nœuds, la somme des courants partant d'un nœud est égale à la somme des courants qui y aboutissent.
- D'après la loi des mailles, la somme des tensions le long d'une maille est nulle.

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 $\varepsilon = 0$.

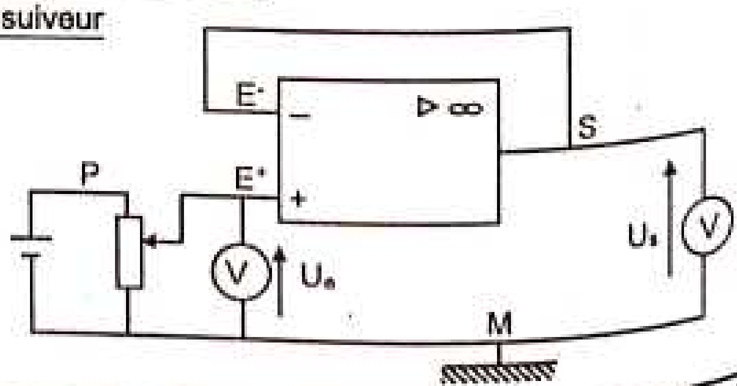
En régime linéaire, le gain en tension d'un montage avec un A.O. est le quotient $G = \frac{U_s}{U_e}$

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. Étude pratique de quelques montages

3.1. Le montage amplificateur suiveur

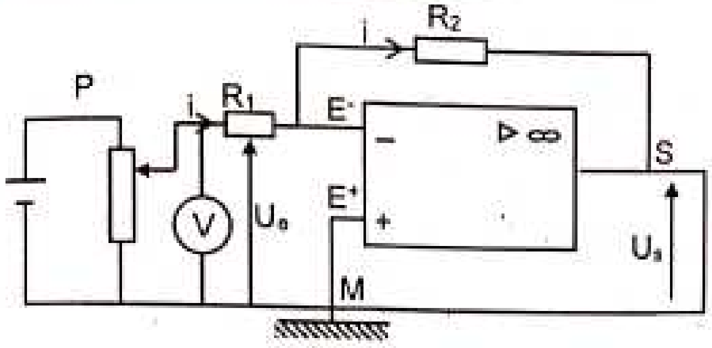


- Dans la maille ME^+E^-SM :

$U_{ME^+} + U_{E^+E^-} + U_{E^-S} + U_{SM} = 0 \Rightarrow -U_e + 0 + \varepsilon + 0 + U_s = 0 \Rightarrow U_e = U_s$ car $\varepsilon = 0$.

Ainsi : $G = \frac{U_s}{U_e} = 1$.

3.2. Le montage amplificateur inverseur



$R_1 = 10\ k\Omega$
$R_2 = 30\ k\Omega$

- Dans la maille MPE^-E^+M :

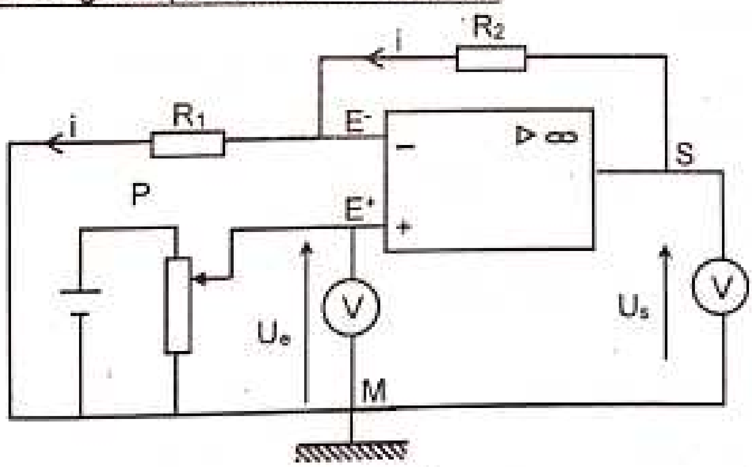
$U_{MP} + U_{PE^-} + U_{E^-E^+} + U_{E^+M} = 0 \Rightarrow -U_e + U_1 + \varepsilon + 0 = 0 \Rightarrow U_e = U_1 = R_1i$.

- Dans la maille ME^+E^-SM :

$U_{ME^+} + U_{E^+E^-} + U_{E^-S} + U_{SM} = 0 \Rightarrow 0 + \varepsilon + U_2 + U_s = 0 \Rightarrow U_s = -U_2 = -R_2i$.

Ainsi : $G = \frac{U_s}{U_e} = \frac{-R_2i}{R_1i} = -\frac{R_2}{R_1}$.

3.3. Le montage amplificateur non-inverseur



$R_1 = 10\ k\Omega$
$R_2 = 30\ k\Omega$

- Dans la maille MPE^+E^-M :

$U_{MP} + U_{PE^+} + U_{E^+E^-} + U_{E^-M} = 0 \Rightarrow -U_e + 0 + \varepsilon + U_1 = 0 \Rightarrow U_e = U_1 = R_1i$.

- Dans la maille ME^-SM :

$U_{ME^-} + U_{E^-S} + U_{SM} = 0 \Rightarrow -U_1 - U_2 + U_s = 0 \Rightarrow U_s = U_1 + U_2 = (R_1 + R_2)i$.

Ainsi : $G = \frac{U_s}{U_e} = \frac{(R_1+R_2)i}{R_1i} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Associe à chaque chiffre la lettre F si la proposition est fausse ou la lettre V si elle est vraie.

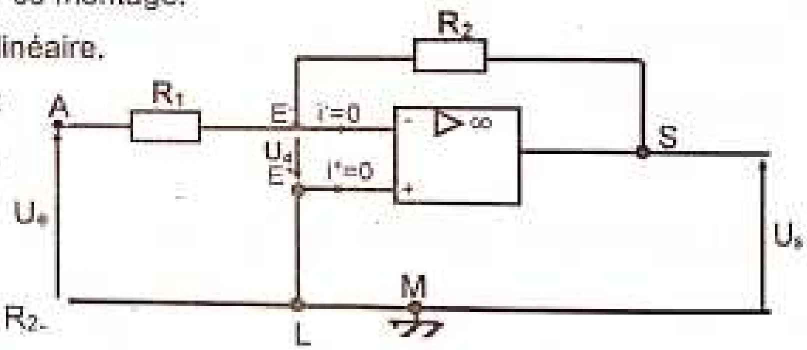
1) L'amplificateur opérationnel possède 3 bornes.
2) La borne E^- est la borne d'entrée non-inverseuse.
3) Un amplificateur opérationnel (A.O.) est un circuit intégré qui permet d'amplifier des courants électriques et de réaliser des opérations mathématiques
4) Pour un A.O idéal, les courants d'entrée et la ddp entre les bornes d'entrée sont nuls.
5) En régime linéaire, le gain en tension d'un montage avec un A.O. est le $G = \frac{U_s}{U_e}$
6) La tension de saturation V_{sat} de l'A.O est telle que $U_s < V_{sat}$.
7) En régime saturé, la tension de saturation Vs et la tension de sortie Us sont liées par la relation : $U_s = - V_{sat}$.

Exercice 2

Au cours d'une évaluation, votre professeur de physique-Chimie vous propose le montage ci-dessous. Il vous demande d'identifier ce montage.

L'AO est idéal et fonctionne en régime linéaire.

Les conducteurs ohmiques R_1 et R_2 ont pour résistances respectives $R_1 = 1\ k\Omega$ et $R_2 = 10\ k\Omega$. Etant un élève de la classe, réponds à ce questionnaire.

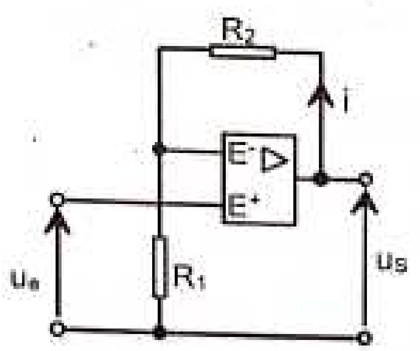


1) Exprime U_s en fonction de U_e, R_1 et R_2.
2) Déduis le gain en tension de ce montage.
3) Sur un voltmètre on lit la tension de sortie $U_s = 4{,}6$ V. Calcule la tension d'entrée U_e.
4) Donne le nom de ce montage et justifie ta réponse.

Exercice 3

On considère le montage amplificateur suivant :

On posera $+U_{sat} = 12$ V ; $- U_{sat} = - 12$ V.



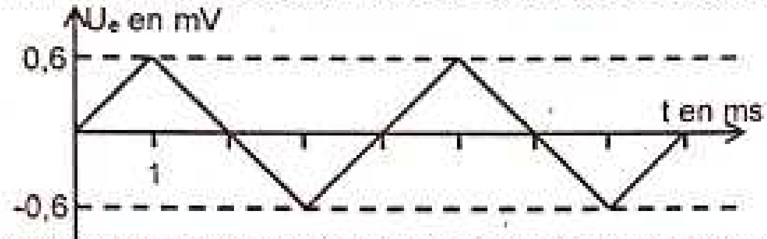
1) Sans faire de calculs, donne le nom de ce montage amplificateur et justifie ta réponse.
2) U_e est un signal sinusoïdal d'amplitude 0,8 V. On désire pour U_s un signal d'amplitude 5 V. Calcule le gain en tension G.
3) Calcule les résistances R_1 et R_2 afin que le courant I soit de 0,1 mA.

Exercice 4

Un amplificateur opérationnel est utilisé en amplificateur de tension selon le schéma de l'exercice précédent. Les résistances ont pour valeurs $R_1 = 1,5\ k\Omega$ et $R_2 = 21\ k\Omega$.

Un générateur de +15 V/-15 V alimente l'A.O.

1. Calcule la valeur numérique du gain en tension.
2. Un G.B.F. fournit une tension d'entrée U_e triangulaire représentée ci-dessous.



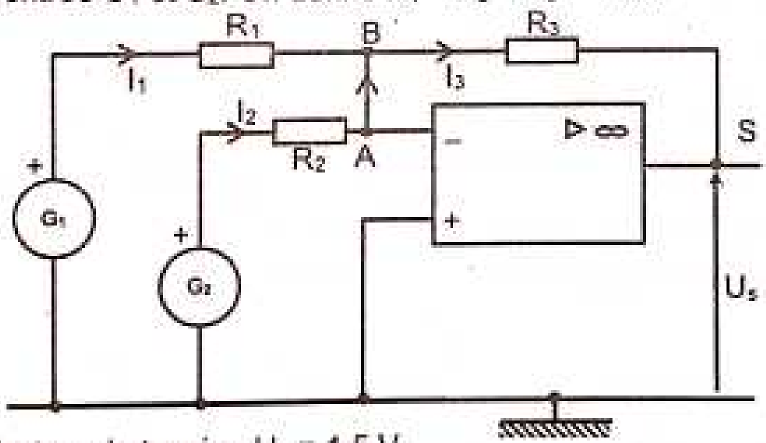
Complète le tableau et représente le graphe de la tension U_s en fonction du temps.

U_e (V)	0,0	0,3	0,6	0,0	– 0,3	– 0,6
U_s (V)						

3. Indique où et comment il faut brancher les entrées d'un oscilloscope bicourbe pour visualiser simultanément les deux tensions U_e et U_s.

Exercice 5

Soit le montage ci-dessous utilisant un amplificateur opérationnel et deux générateurs délivrant des tensions d'entrée U_1 et U_2. On donne $R_1 = R_2 = R_3 = 1\ k\Omega$.



G_1 est un générateur de tension $U_1 = 1,5$ V.

G_2 est un générateur de tension $U_2 = 4,5$ V.

1. Montre que l'intensité du courant circulant dans la branche AB est égale à I_2.
2. Indique à l'aide de flèches les tensions existant entre les bornes des résistantes.
3. Exprime ces tensions en fonction de chaque résistance et de l'intensité qui la traverse.
4. Détermine la valeur de l'intensité I_2.
5. Donne la valeur de la tension U_{AB}.
6. Détermine la valeur de l'intensité I_1.
7. Montre que la tension entre les bornes de R_3 est $U_{BS} = 6,0$ V.
8. En déduis la valeur de la tension U_s.
9. Justifie le nom donné à ce montage : « sommateur (ou additionneur) inverseur ».

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

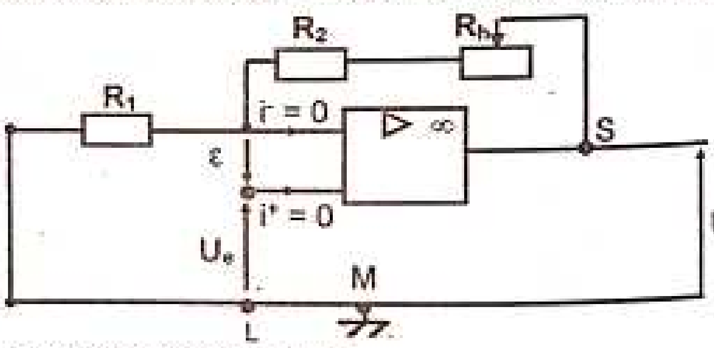
Exercice 1

A l'aide d'un amplificateur opérationnel fonctionnant en régime linéaire et deux conducteurs ohmiques R_1 et R_2, on réalise un montage **amplificateur inverseur.**

1) Fais un schéma du montage.
2) On applique à l'entrée du montage une tension sinusoïdale d'amplitude 5 V.
   On obtient à la sortie une tension d'amplitude $|U_s| = 10$ V.
   Trace l'oscillogramme obtenu sur une période (Echelle : 1 cm $\leftrightarrow$ 5 V).
3) Calcule le gain de ce montage.
4) Justifie le nom « amplificateur inverseur » donné à ce montage.
5) Donne les caractéristiques d'un amplificateur opérationnel idéal.
6) En déduis la relation entre U_s et U_e.
7) Sachant que la valeur de la résistance $R_1 = 2\ k\Omega$, donne celle de la résistance R_2.

Exercice 2

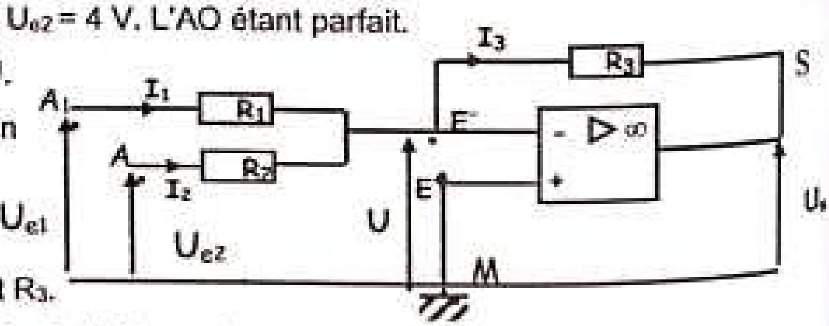
On réalise le montage amplificateur suivant : On donne : $R_1 = 1\ k\Omega$, $R_2 = 3\ k\Omega$, $R_{h\ total} = 10\ k\Omega$.



1) Donne le nom du montage. Justifie.
2) Indique le rôle du rhéostat placé en série avec le conducteur ohmique de résistance R_2.
3) Exprime le gain en tension en fonction de R_1, R_2 et R_3, valeur de la portion de la résistance du rhéostat mise dans le circuit.
4) Donne les valeurs extrêmes d'ajustement du gain en tension.

Exercice 3

On réalise le montage ci-dessous. Les résistances sont égales et on donne : $R_1 = R_2 = R_3 = 1\ k\Omega$; $U_{e1} = 12$ V et $U_{e2} = 4$ V. L'AO étant parfait.



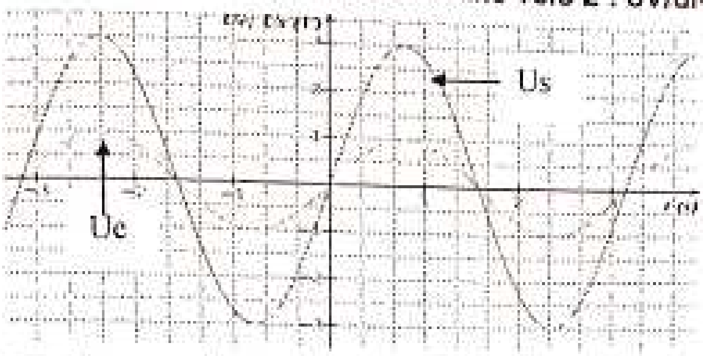
1) Donne la valeur de la tension U.
2) Exprime les intensités I_1 et I_2 en fonction de U_{e1}, U_{e2}, R_1 et R_2.
3) Calcule I_1 et I_2.
4) Exprime I_3 en fonction de Us et R_3.
5) Exprime I_3 en fonction de I_1 et I_2. Calcule sa valeur et déduis celle de Us.
6) Compare Us à ($U_{e1} + U_{e2}$) et établis la relation existant entre Us, U_{e1} et U_{e2} à partir des questions 4°) et 5°).
7) Donne le nom du montage et justifie ta réponse.

Exercice 4

On réalise un montage amplificateur à l'aide d'un AO et de deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2. Le conducteur ohmique de résistance R_2 est monté entre la sortie et l'entrée inverseuse de l'AO. Une tension sinusoïdale délivrée par un générateur basse fréquence (GBF) est appliquée à l'entrée du montage.

La voie 1 visualise la tension d'entrée $U_e(t)$ et la voie 2 visualise la tension de sortie $U_s(t)$.

Données : **Sensibilité voie 1 : 1 V/div et sensibilité voie 2 : 5V/div (1 div = 1 carreau)**

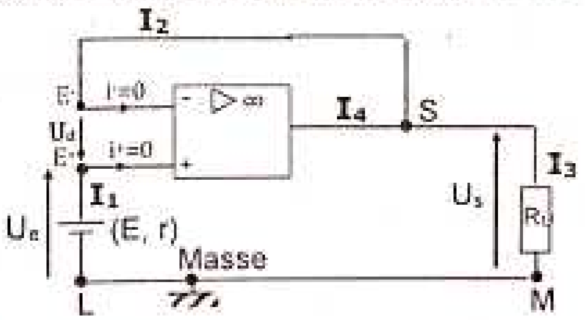


1) Donne le nom de ce montage.
2) Détermine les valeurs maximales de chacune des tensions visualisées.
3) Déduis le gain en tension de ce montage et la valeur de R_1 sachant que R_2 = 1 kΩ.

Exercice 5

Après le cours sur l'amplificateur opérationnel, un de tes amis décide de vérifier ses acquis sur ce cours. Pour cela il te sollicite afin de l'aider à faire l'exercice suivant. Le montage comprend un A.O, un générateur continu de f.é.m. E = 8 V et de résistance interne r = 10 Ω et une charge qui est constituée ici par un conducteur ohmique de résistance R_u = 5 kΩ. Les bornes E^- et S sont reliées par un fil de résistance négligeable. L'A.O étant parfait.

1) Calcule les intensités I_1 et I_2 des courants qui circulent respectivement entre M et E^+ puis entre E^- et S.



2) Déduis les valeurs numériques de la tension d'entrée U_e.
3) Montre, sans calcul que la tension de sortie U_s est égale à la tension d'entrée U_e.
4) Justifie le nom donné à ce montage.
5) Calcule l'intensité I_3 du courant qui circule dans la charge R_u.
6) Donne son sens dans le circuit.
7) Calcule l'intensité I_4 du courant qui sort de l'A.O.
8) Explique le fait qu'il sorte un courant de l'A.O alors qu'il n'entre aucun courant par les entrées E^+ et E^-.
9) Détermine la nouvelle valeur de I_4 si R_u = 500 Ω.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

J'associe à chaque chiffre la lettre F si la proposition est fausse ou la lettre V si elle est vraie.

1) L'amplificateur opérationnel possède 3 bornes : V.
2) La borne E^- est la borne d'entrée non-inverseuse : F.
3) Un amplificateur opérationnel (A.O.) est un circuit intégré qui permet d'amplifier des courants électriques et de réaliser des opérations mathématiques : F
4) Pour un A.O idéal, les courants d'entrée et la ddp entre les bornes d'entrée sont nuls : V.
5) En régime linéaire, le gain en tension d'un montage avec un A.O. est le $G = \frac{U_e}{U_s}$: F
6) La tension de saturation V_{sat} de l'A.O est telle que $U_s < V_{sat}$: F
7) En régime saturé, la tension de saturation Vs et la tension de sortie Us sont liées par la relation : $U_s = -V_{sat}$: F

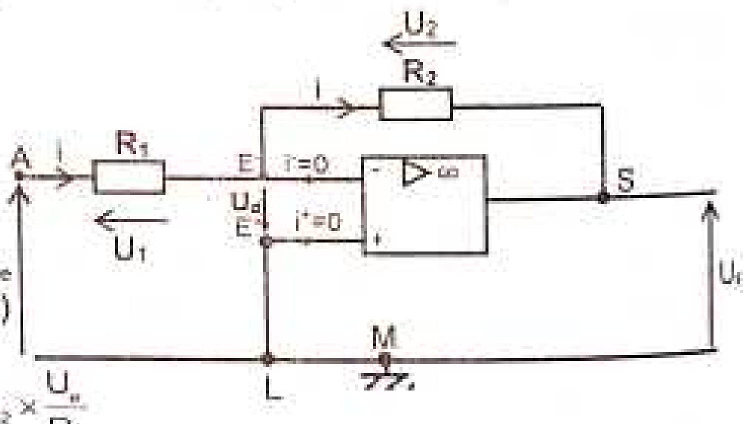
Exercice 2

1) Expression de U_s en fonction de U_e, R_1 et R_2.

➢ Dans la maille MLAE⁻E⁺LM :

$$U_{ML} + U_{LA} + U_{AE^-} + U_{E^-E^+} + U_{E^+M} + U_{LM} = 0 \Rightarrow 0 - U_e + U_1 + \varepsilon + 0 + 0 = 0$$

$$\Rightarrow U_e = U_1 = R_1 i \Rightarrow i = \frac{U_e}{R_1} \quad (1)$$



➢ Dans la maille MLE⁺E⁻SM :

$$U_{ML} + U_{LE^+} + U_{E^+E^-} + U_{E^-S} + U_{SM} = 0$$

$$\Rightarrow 0 + 0 + \varepsilon + U_2 + U_s = 0$$

$$\Rightarrow U_s = -U_2 = -R_2 i \Rightarrow i = -\frac{U_s}{R_2} \quad (2)$$

$$(1) = (2) \Rightarrow -\frac{U_s}{R_2} = \frac{U_e}{R_1} \Rightarrow U_s = -R_2 \times \frac{U_e}{R_1}$$

2) Déduction du gain en tension de ce montage.

$$U_s = -R_2 \times \frac{U_e}{R_1} \Rightarrow G = \frac{U_s}{U_e} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{10}{1} = -10$$

3) Sur un voltmètre on lit la tension de sortie $U_s = 4{,}6$ V. Calcul de la tension d'entrée U_e.

$$G = \frac{U_s}{U_e} \Rightarrow U_e = \frac{U_s}{G} \Rightarrow U_e = \frac{U_s}{G} = \frac{4{,}6}{-10} = \underline{-0{,}46\ \text{V}}$$

4) Nom de ce montage et justification de ma réponse.

C'est un montage amplificateur suiveur car G < 0.

Exercice 3

1) **Sans faire de calculs, déterminons le nom de cet amplificateur.**

Ce montage est un amplificateur non inverseur car le signal d'entrée à traiter U_e est appliqué sur l'entrée non inverseuse de la borne E^+.

2) **Calculons le gain en tension :** $G = \frac{U_s}{U_e} = \frac{5}{0,8} = 6,25$

3) **Calculons les résistances R_1 et R_2 afin que le courant I soit de 0,1 mA**

$$U_{e(eff)} = R_1 I_{eff} \Rightarrow R_1 = \frac{U_{e(eff)}}{I_{eff}} \quad \text{avec} \quad U_{e(eff)} = \frac{U_{e(max)}}{1,41} = \frac{0,8}{1,41} = 0,567\ V$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{0,567}{0,1.10^{-3}} = 5670\ \Omega = \underline{5,67\ k\Omega}$$

$$U_s = R_1 I_{eff} + R_2 I_{eff} = (R_1 + R_2) I_{eff} \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{U_{s(eff)}}{I_{eff}} \Rightarrow R_2 = \frac{U_{s(eff)}}{I_{eff}} - R_1$$

$$\text{avec} \quad U_{s(eff)} = \frac{U_{s(max)}}{1,41} = \frac{5}{1,41} = 3,54\ V$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{3,54}{0,1.10^{-3}} - 5670 = 29730\ \Omega = \underline{29,73\ k\Omega}$$

Exercice 4

1. **Calculons la valeur numérique du gain en tension.**

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{21}{1,5} = 15.$$

2. **Complétons le tableau et représentons graphiquement la tension de sortie $U_s = f(t)$.**

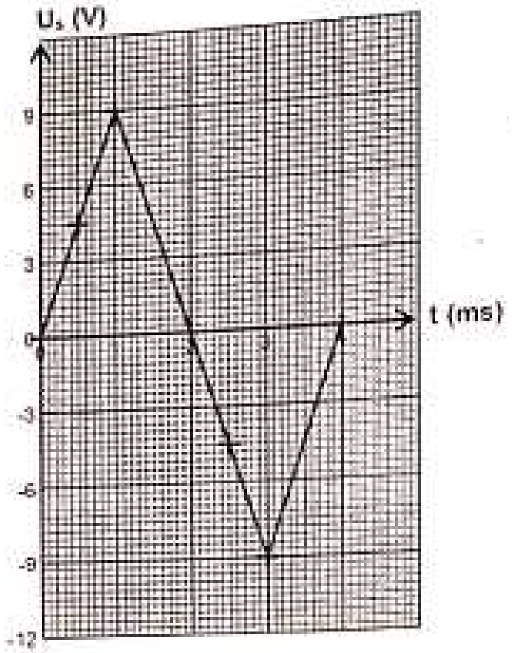
- Calcul de la tension de sortie U_s

$$G = \frac{U_s}{U_e} \Rightarrow U_s = G \times U_e = 15 U_e$$

U_e (V)	0,0	0,3	0,6	0,0	– 0,3	– 0,6
U_s (V)	0,0	4,5	9	0,0	– 4,5	– 9

- Représentation graphique de la tension de sortie $U_s = f(t)$

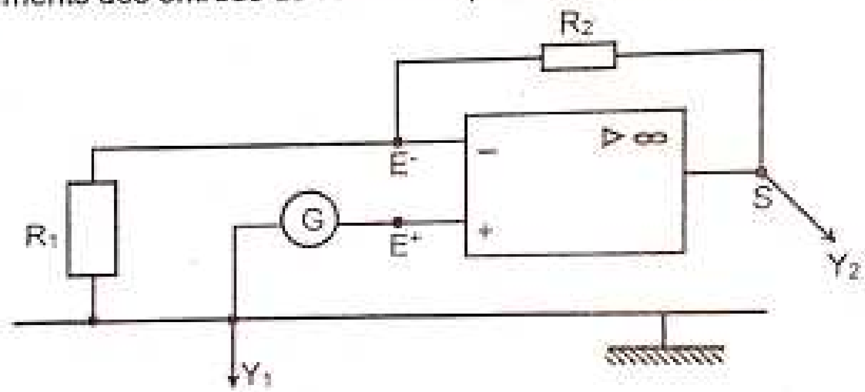
U_e (V)	0,0	0,3	0,6	0,0	– 0,3	– 0,6	0,0
U_s (V)	0,0	4,5	9	0,0	– 4,5	– 9	0,0
t (ms)	0,0	0,5	1	2	2,5	3	4



Echelle :

- ✓ 1 cm pour 3 V ;
- ✓ 1 cm pour 1 ms

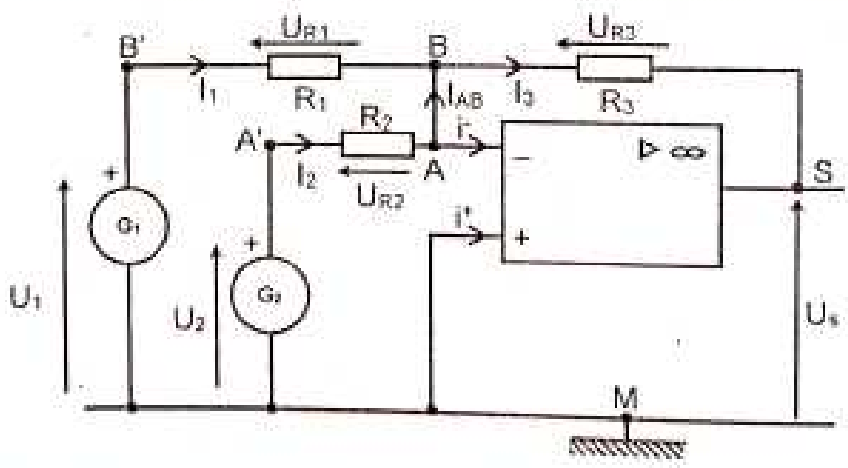
3. Branchements des entrées de l'oscilloscope pour visualiser les tensions U_e et U_s.



- ✓ Y_1 visualise la tension d'entrée U_e ;
- ✓ Y_2 visualise la tension de sortie U_s.

Exercice 5

1. Montrons que l'intensité du courant circulant dans la branche AB est égale à I_2.



D'après la loi des nœuds en A on a : $I_2 = I_{AB} + i^-$ or $i^- = 0$ donc $I_{AB} = I_2$

2. **Indiquons à l'aide de flèches les tensions existant entre les bornes des résistantes.**

   La flèche représentant la tension aux bornes d'une résistance est opposée au sens du courant qui la traverse : c'est la convention récepteur (voir schéma ci-dessus).

3. **Exprimons ces tensions en fonction de chaque résistance et de l'intensité du courant.**

   D'après la loi d'Ohm appliquée à aux résistances on a :

   ✓ $U_{R1} = R_1 I_1$;

   ✓ $U_{R2} = R_2 I_2$;

   ✓ $U_{R3} = R_3 I_3$;

4. **Déterminons la valeur de l'intensité I_2.**

   Dans la maille MAA'M :

   $U_{MA} + U_{AA'} + U_{A'M} = 0 \Rightarrow 0 - U_{R2} + U_2 = 0 \Rightarrow U_{R2} = U_2$.

   $\Rightarrow U_2 = R_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \dfrac{U_2}{R_2} = \dfrac{4{,}5}{10^3} = 4{,}5.10^{-3}\ A = 4{,}5\ mA$

5. **Déterminons la valeur de la tension U_{AB}**

   $U_{AB} = 0$ car il n'existe pas de dipôle entre A et B et la tension aux bornes d'un fil de connexion est nulle.

6. **Déterminons la valeur de l'intensité I_1.**

   Dans la maille MABB'M :

   $U_{MA} + U_{AB} + U_{BB'} + U_{B'M} = 0 \Rightarrow 0 + 0 - U_{R1} + U_1 = 0 \Rightarrow U_{R1} = U_1$.

   $\Rightarrow U_1 = R_1 I_1 \Rightarrow I_1 = \dfrac{U_1}{R_1} = \dfrac{1{,}5}{10^3} = 1{,}5.10^{-3}\ A = 1{,}5\ mA$

7. **Montrons que la tension entre les bornes de R_3 est $U_{BS} = 6{,}0\ V$.**

   D'après la loi des nœuds en B on a : $I_1 + I_2 = I_3 \Rightarrow \dfrac{U_1}{R_1} + \dfrac{U_2}{R_2} = \dfrac{U_{BS}}{R_3}$

   Or $R_1 = R_2 = R_3$ donc la relation devient : $U_{BS} = U_1 + U_2$

   Application numérique : $U_{BS} = 1{,}5 + 4{,}5 = 6{,}0\ V$

8. **Déduction de la valeur de la tension U_s**

   Dans la maille MABSM :

   $U_{MA} + U_{AB} + U_{BS} + U_{SM} = 0 \Rightarrow 0 + 0 + U_{BS} + U_s = 0 \Rightarrow U_s = -U_{BS}$.

   Application numérique : $U_s = -U_{BS} = -6{,}0\ V$

9. **Justifions le nom donné à ce montage : « sommateur (ou additionneur) inverseur ».**

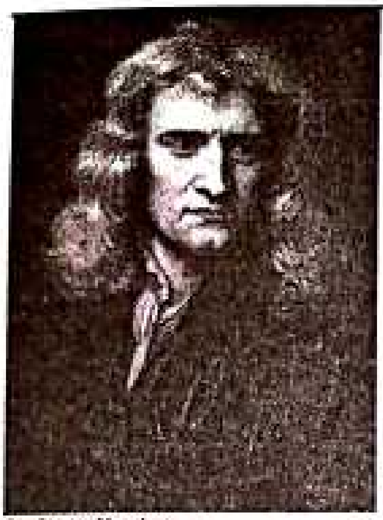
   $U_s = -U_{BS} = -(U_1 + U_2)$

   Ce montage est appelé « sommateur (ou additionneur) inverseur » car la tension de sortie est l'opposée de la somme des tensions d'entrée.

THEME 3

OPTIQUE

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



Sir Isaac Newton
(4 janvier 1643 – 31 mars 1727)
Philosophe, Mathématicien, Physicien, Alchimiste, Astronome et Théologien Anglais.
En optique, il développa une théorie de la couleur basée sur l'observation selon laquelle un prisme décompose la lumière blanche en un spectre visible. Il a aussi inventé le télescope à réflexion composé d'un miroir primaire concave appelé télescope de Newton.

01 : INTRODUCTION A L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	- une source de lumière ; - un récepteur de lumière ; - un faisceau lumineux ; - un rayon lumineux ; - un milieu de propagation ; - une lumière monochromatique ; - la célérité ; - la longueur d'onde ; - la fréquence d'une onde.
Définir	- un faisceau convergent ; - un faisceau divergent.
Distinguer	un faisceau convergent d'un faisceau divergent.
Connaitre	l'expression de la longueur d'onde.
Déterminer	la longueur d'onde.

RAPPEL DE COURS

1) Sources de lumière

1.1. Définition

Une source de lumière est un objet qui émet de la lumière (source lumineuse).

1.2. Les différents types de sources de lumière

Il y a deux types de source de lumière : les sources primaires et les sources secondaires.

1.2.1. Les sources primaires

Ce sont des objets qui produisent et émettent de la lumière.

Exemples : les étoiles ; une bougie allumée ; le soleil....

1.2.2. Les sources secondaires

Ce sont des objets qui ne produisent pas de lumière ; ils la reçoivent d'une source primaire et la diffusent dans toutes les directions : on les appelle **objets diffusants**.

Exemples : la lune ; un stylo ; une table....

2) Les récepteurs de lumière

Un récepteur de lumière est un dispositif sensible à la lumière qu'il reçoit.

Exemples : l'œil ; la diode électroluminescente (L.D.R.) ; la photopile.......

3) Propagation de la lumière

3.1. Propagation

- Dans le vide et dans tout milieu transparent et homogène, la lumière se propage en ligne droite et à vitesse constante.
- La vitesse de la lumière dans le vide est une constante appelée célérité ($c = 3.10^8$ m/s).
- Le trajet suivi par la lumière (représenté sous forme de trait rectiligne) est appelé rayon lumineux. L'ensemble des rayons lumineux est appelé faisceau lumineux.
- L'année lumière al est la distance parcourue par la lumière en une année dans le vide : $1\ al = c{\times}t = 365{,}25{\times}24{\times}3600{\times}3.10^8 = 9{,}46728.10^{12}\ km \approx 10^{13}\ km$.

3.2. Indice de réfraction

L'indice de réfraction n est une grandeur physique qui caractérise tout milieu transparent.

$$n = \frac{c}{c_i} = \frac{\text{célérité de la lumière dans le vide}}{\text{célérité de la lumière dans le milieu considéré}}$$ (n est sans unité).

Remarque : l'indice de réfraction n d'un milieu transparent est supérieur ou égal à 1 ($n \geq 1$).

Exemples :

Milieu	air	eau	alcool	verre
Indice n	1	1,33	1,36	1,5 à 1,7

4) Caractère ondulatoire de la lumière

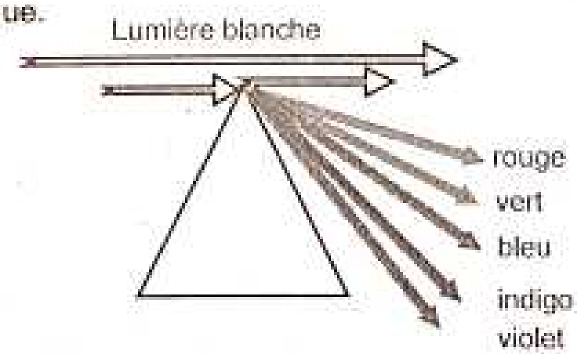
La lumière est une onde lumineuse caractérisée par :

- sa période T (s) : c'est la plus petite durée au cours de laquelle le phénomène se répète identique à lui-même ;
- sa fréquence N (Hz) : c'est le nombre de périodes par seconde ou son inverse avec $\boxed{N = \frac{1}{T}}$;
- sa longueur d'onde λ (m) : la distance parcourue par l'onde pendant une période avec $\boxed{\lambda = c \times T = \frac{c}{N}}$

Remarque : lors d'une transmission d'un milieu 1 à un milieu 2, les ondes incidente et transmise ont la même fréquence N, telle que : $N = \frac{1}{T} = \frac{c_1}{\lambda_1} = \frac{c_2}{\lambda_2}$

5) Dispersion de la lumière blanche

- Certains dispositifs permettent de décomposer la lumière blanche en spectre continu du rouge au violet. Exemple : le prisme.
- Un prisme est un milieu transparent limité par deux faces planes et non parallèles.
- La droite d'intersection des deux faces est appelée arête.
- Les rayons lumineux qui traversent le prisme sont déviés vers sa base : ce phénomène est appelé déviation ou dispersion. La figure colorée obtenue est appelée spectre.
- La lumière blanche est constituée de plusieurs lumières (ou radiations) colorées : on dit qu'elle est polychromatique.



Remarque : les arcs-en-ciel sont des exemples naturels de dispersion de la lumière.

6) Synthèse additive de la lumière blanche

La synthèse additive des couleurs est l'addition de plusieurs sources lumineuses colorées pour former une nouvelle couleur.

Exemple : la lumière blanche résulte de la superposition de plusieurs lumières monochromatiques qui sont le rouge, le bleu et le vert (RBV).

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Complète le texte ci-dessous par les mots ou groupes de mots suivants qui conviennent :

rayon lumineux ; fréquence ; sources primaires ; faisceau lumineux ; récepteur de lumière ; sources secondaires ; indice de réfraction ; constante ; ligne.

Une source de lumière est un objet qui émet de la lumière.

Les objets qui produisent et émettent de la lumière sont des …….

Les objets qui reçoivent de la lumière d'une source primaire et la diffusent dans toutes les directions sont des …. Un …. est un dispositif sensible à la lumière qu'il reçoit.

Dans le vide et dans tout milieu transparent et homogène, la lumière se propage en … droite et à vitesse ….. Le trajet suivi par la lumière est appelé ….. L'ensemble des rayons lumineux est appelé ……. L'…. est une grandeur physique qui caractérise tout milieu transparent.

Lors d'une transmission d'un milieu à un autre, les ondes incidente et transmise ont la même …

Exercice 2

Parmi les faisceaux émis par les dispositifs suivants indique ceux qui sont convergents, divergents ou parallèles.

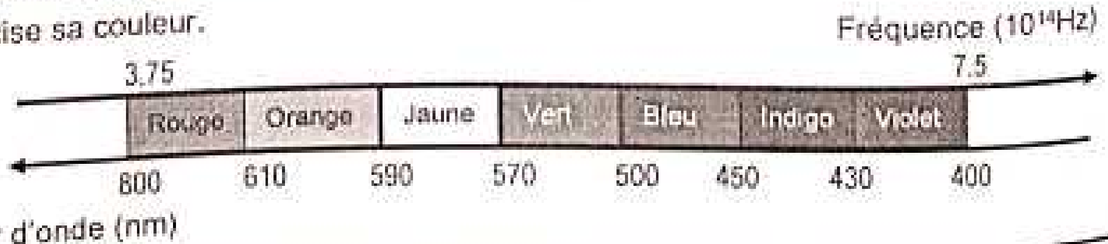
a) lampe à incandescence ; b) laser ;

c) phare à miroir parabolique ; d) lumière solaire traversant une loupe.

Exercice 3

Au cours d'une séance de travaux Pratiques d'Optique, votre professeur de Physique-Chimie met à la disposition de ton groupe une lampe à vapeur de lithium. Cette lampe émet une lumière monochromatique de période $T = 1,533.10^{-15}$ s. Il vous demande de déterminer les caractéristiques de cette lumière dans le vide et dans l'alcool.

1. Définis une lumière monochromatique.
2. Calcule :
   2.1. la fréquence de cette radiation ;
   2.2. sa longueur d'onde dans le vide.
3. Précise si cette radiation est visible. Si oui indique sa couleur.
4. Cette radiation se propage dans un verre d'indice n = 1,52.
   4.1. Détermine :
      4.1.1. sa fréquence ;
      4.1.2. sa longueur d'onde.
   4.2. Précise sa couleur.



EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Associe à chaque chiffre la lettre F si la proposition est fausse ou la lettre V si elle est vraie.

1. Un corps qui diffuse de la lumière est une source de lumière.
2. La nuit dans le ciel , les planètes sont visibles : elles sont des sources primaires de lumière.
3. Pour se propager, la lumière nécessite un milieu matériel.
4. La fréquence, la vitesse de propagation et la longueur d'onde sont liées par la relation $\lambda = \frac{c}{\upsilon}$

Exercice 2

Lors d'un orage, l'éclaire et le tonnerre sont produits simultanément.

On donne : célérité de la lumière : $c_1 = 3.10^8$ m/s ; célérité du son dans l'air $c_2 = 340$ m/s.

1) Indique la nature de ces deux phénomènes.
2)
   2.1. Calcule le temps mis pour qu'un observateur situé à 10 km de l'orage percoive l'éclaire après son émission.
   2.2. Vérifie si ce dernier entendra le tonnerre à l'instant où il verra l'éclaire.
   2.3. Indique ce que ces résultats te suggèrent.

Exercice 3

A la surface d'un liquide, des vibrations transversales entretenues provoquent une onde circulaire de longueur d'onde $\lambda = 5$ mm lorsque la fréquence du vibreur vaut 150 Hz.

Une seconde après le début de l'émission, celle-ci s'interrompt durant 0,4 s puis reprend.

1) Calcule la célérité de l'onde.
2) Calcule la différence des rayons des deux fronts d'ondes successives.

Exercice 4

Lors des recherches à la bibliothèque du lycée, un élève découve dans un livre les informations suivantes : des réflecteurs à rayon laser ont été déposés à la surface de la Lune lors des différentes missions lunaires Apollo. Depuis la Terre, on vise un réflecteur à l'aide d'un faisceau laser et on mesure la durée t séparant l'émission de la réception. Lors d'une expérience, on a trouvé : t = 2,51 s. De retour en classe, il te sollicite afin de l'aider à déterminer la distance entre les centres de ces deux astres.

On te donne : rayon de la Terre $R_T = 6,40.10^3$ km, rayon de la Lune $R_L = 1,74.10^3$ km.

1) Détermine la distance entre les surfaces des deux astres.
2) En déduis la distance entre leurs centres.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Je complète le texte par les mots ou groupes de mots qui conviennent.

Les objets qui produisent et émettent de la lumière sont des *sources primaires*.

Les objets qui reçoivent de la lumière d'une source primaire et la diffusent dans toutes les directions sont des *sources secondaires*. Un *récepteur de lumière* est un dispositif sensible à la lumière qu'il reçoit. Dans le vide et dans tout milieu transparent et homogène, la lumière se propage en *ligne* droite et à vitesse *constante*. Le trajet suivi par la lumière est appelé *rayon lumineux*. L'ensemble des rayons lumineux est appelé *faisceau lumineux*. L'*indice de réfraction* est une grandeur physique qui caractérise tout milieu transparent. Lors d'une transmission d'un milieu à un autre, les ondes incidente et transmise ont la même *fréquence*.

Exercice 2

Les faisceaux émis par les dispositifs suivants sont :

a) divergents pour une lampe à incandescence ;

b) parallèles pour le laser ;

c) parallèles pour un phare à miroir parabolique ;

d) convergents pour la lumière solaire traversant une loupe.

Exercice 3

1. Définition d'une lumière monochromatique.

   Une lumière monochromatique est une lumière constituée d'une seule radiation (caractérisée par une longueur d'onde unique).

2. Calcul de :

   2.1. la fréquence de cette radiation ;

   $$N = \frac{1}{T} = \frac{1}{1{,}533.10^{-15}} = 6{,}5.10^{14}\ \text{Hz}$$

   2.2. sa longueur d'onde dans le vide.

   $\lambda = c \times T = 3.10^{8} \times 1{,}533.10^{-15} = 4{,}599.10^{-7}\ \text{m} = 460\ \text{nm}$

3. Je précise si cette radiation est visible et j'indique sa couleur.

   La longueur d'onde est comprise entre 700 nm et 400 nm donc cette radiation est visible.

   Sa couleur est bleu.

4. Cette radiation se propage dans un verre d'indice $n = 1{,}52$.

   4.1. Détermine :

   4.1.1. sa fréquence ;

   $N = 6{,}5.10^{14}$ Hz car la fréquence est constante.

   4.1.2. sa longueur d'onde.

   $$n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{460}{1{,}52} = 302{,}6\ \text{nm}$$

   4.2. Je précise sa couleur.

   La couleur ne change pas car la fréquence est constante. Sa couleur reste donc bleu.

Leçon 2 : REFLEXION ET REFRACTION DE LA LUMIERE BLANCHE

René Descartes
(31 mars 1596 – 11 février 1650)
Mathématicien, Physicien et Philosophe Français.
En physique, il a apporté une contribution à l'optique et est considéré comme le fondateur du mécanisme.
En mathématiques, il est à l'origine de la géométrie analytique et l'utilise pour établir les lois de l'optique géométrique. Il découvre les lois de réfraction de la lumière qui porte son nom, lois de Descartes.

TABLEAU DES HABILETES

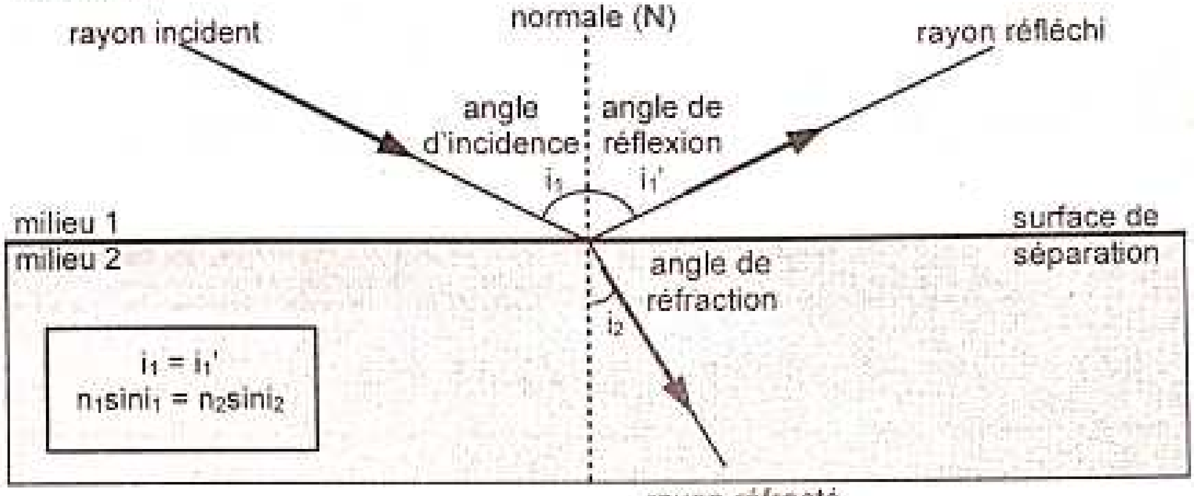
HABILETES	CONTENUS
Définir	• le rayon incident. • le rayon réfléchi. • l'angle d'incidence. • le plan d'incidence.
Connaitre	les lois de la réflexion.
Appliquer	les lois de la réflexion.
Définir	• le rayon réfracté. • l'angle de réfraction.
Connaître	les lois de la réfraction.
	l'indice de réfraction absolu.
Déterminer	l'angle limite de réfraction.
Appliquer	les lois de la réfraction.
Déterminer	l'angle de réfraction limite.
Expliquer	la réflexion totale.
Connaître	quelques applications de la réflexion totale.

RAPPEL DE COURS

1. Réflexion et réfraction

Quand la lumière arrive à la surface de séparation de deux milieux, on observe deux phénomènes :

- **la réflexion** : la lumière est renvoyée dans une direction privilégiée ;
- **la réfraction** : la lumière pénètre dans le second milieu en subissant généralement une déviation.

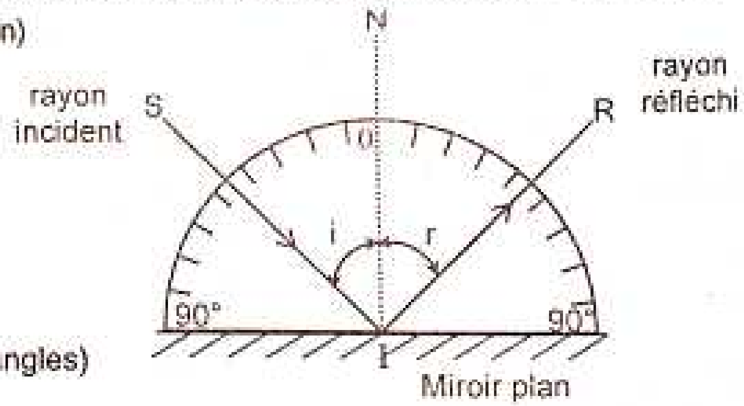


2. Lois de la réflexion

Un faisceau lumineux arrivant sur un miroir plan est réfléchi suivant les lois de Descartes.

- $1^{ère}$ loi de Descartes (loi du plan)

Le rayon incident SI, le rayon réfléchi IR et la normale NI à la surface réfléchissante sont situés dans le même plan appelé plan d'incidence (voir schéma).



- $2^{ème}$ loi de Descartes (loi des angles)

L'angle de réflexion r est égal à l'angle d'incidence i : $r = i$ (voir schéma).

3. Lois de la réfraction

Le phénomène de la réfraction obéit aux lois de Descartes-Snell.

- **Première loi de Descartes-Snell**

Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.

- **Deuxième loi de Descartes-Snell**

L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 sont liés par la relation : $\boxed{n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2}$

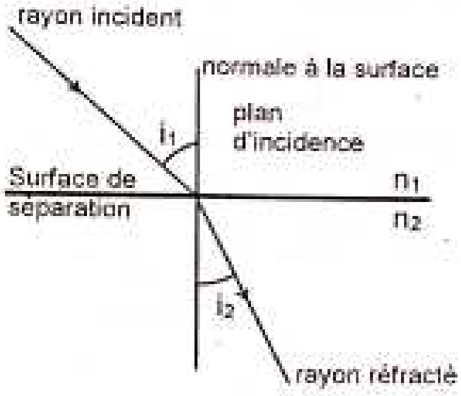
i_1 : angle d'incidence

i_2 : angle de réfraction.

n_1 : indice de réfraction du milieu 1

n_2 : indice de réfraction du milieu 2

Le plan contenant le rayon incident et la normale à la surface est le plan d'incidence.



4. Réflexion totale

4.1. Réfringence d'un milieu

La réfringence d'un milieu transparent est caractérisée par son indice de réfraction.

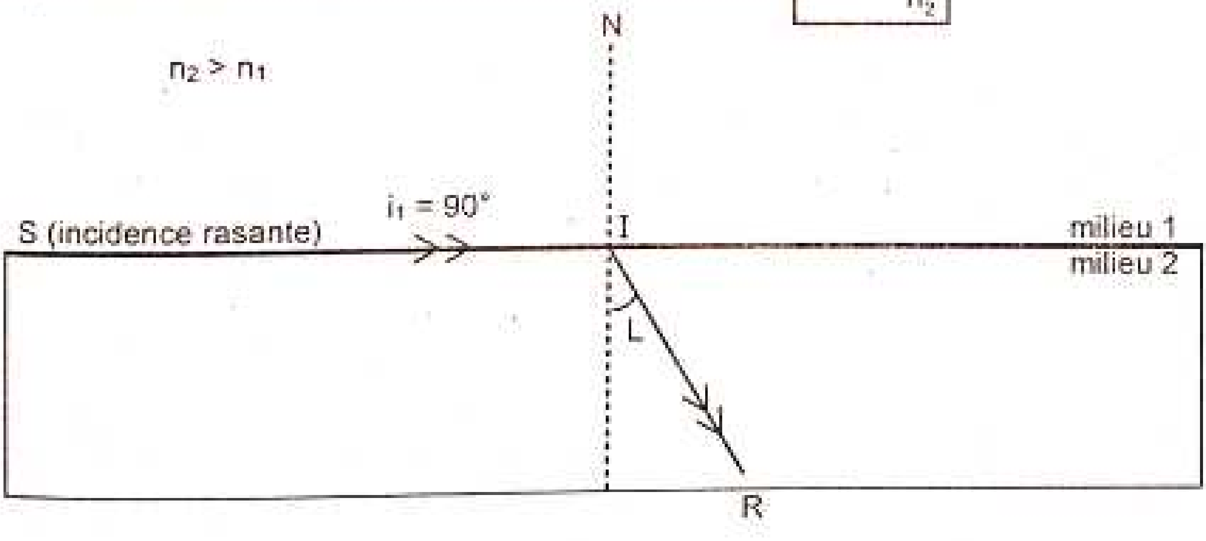
Un milieu 2 d'indice n_2 est plus réfringent qu'un milieu 1 d'indice n_1 si $n_2 > n_1$.

4.2. Angle de réfraction limite

4.2.1. Passage de la lumière d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent.

Lorsque la lumière passe d'un milieu moins réfringent (n_1) à un milieu plus réfringent (n_2) chaque rayon incident donne toujours naissance à un rayon réfracté qui se rapproche de la normale au point d'incidence.

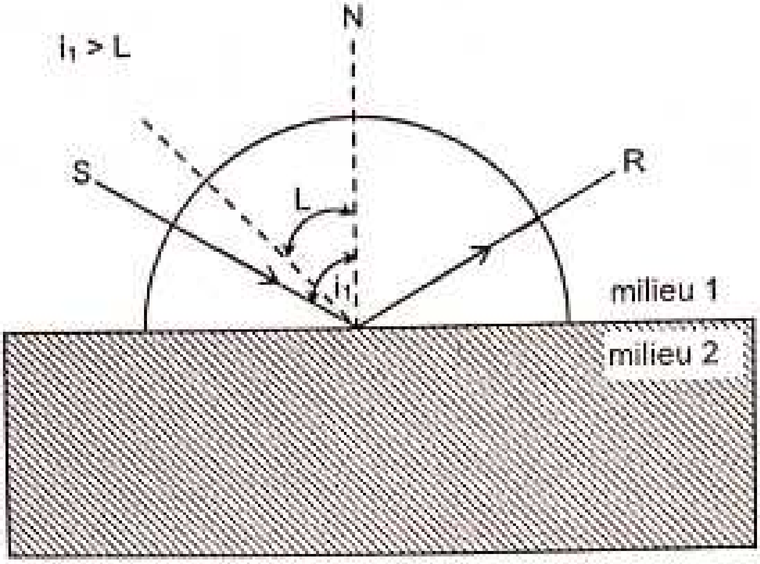
L'angle de réfraction tend vers une valeur **limite L** tel que : $\boxed{\sin L = \frac{n_1}{n_2}}$



4.2.2. Passage de la lumière d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent.

Lorsque la lumière passe d'un milieu plus réfringent (n_1) à un milieu moins réfringent (n_2) :

- il n'existe un réfracté que si : $i_1 < L$;
- si $i_1 > L$, le phénomène est appelé **réflexion totale** avec $\boxed{\sin L = \frac{n_2}{n_1}}$.



Réflexion totale

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1 : (réflexion et réfraction de la lumière)

Complète les phrases ci-dessous par les mots suivants : *incidence ; réfraction ; égal ; dioptre ; réflexion ; homogènes ; rayon ; séparation*.

Lorsqu'un .... lumineux traverse la surface de .... de deux milieux.............. ; transparents appelé.................. , il subit en général une.................... et une....................

L'angle de réflexion est...................... à l'angle d'.....................

Exercice 2 : (réfraction limite et réflexion limite)

Choisis la bonne réponse parmi les propositions suivantes :

1. Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent d'indice n_1 à un milieu transparent d'indice n_2 avec $n_2 > n_1$;
   a. Le rayon réfracté se confond avec la normale ;
   b. Le rayon réfracté se rapproche plus de la normale ;
   c. Le rayon réfracté s'écarte davantage de la normale.
2. Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent d'indice n_1 à un milieu transparent d'indice n_2 avec $n_1 > n_2$, il y a réflexion totale si :
   a. L'angle d'incidence est supérieur l'angle de réfraction limite ;
   b. L'angle d'incidence est inférieur l'angle de réfraction limite ;
   c. L'angle d'incidence est supérieur l'angle limite de réfraction.

Exercice 3 : (réflexion et réfraction de la lumière)

Un rayon incident SI aborde en un point I, la surface de séparation de deux milieux transparents d'indice de réfraction $n_1 = 1$ et $n_2 = 1{,}33$. L'angle d'incidence est $i_1 = 60°$.

1. Détermine l'angle de réfraction.
2. Construis sur un schéma clair les rayons incidents, réfléchis et réfractés.

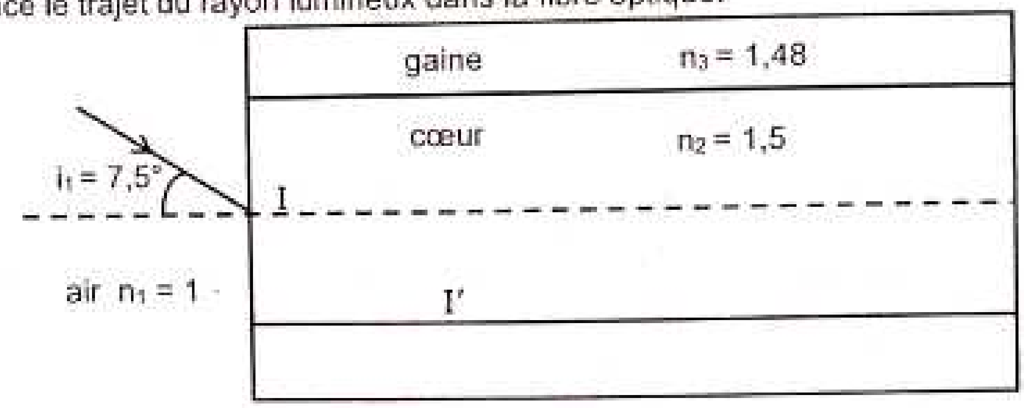
Exercice 4

Un élève de 1ère D découvre dans un manuel scientifique que l'un des moyens les plus efficaces des transmissions des données en télécommunication est le guidage de la lumière dans les fibres optiques par suite de réflexions totales.

Une fois en classe, il te sollicite afin de comprendre la notion de réflexion totale et de tracer le trajet du rayon lumineux dans la fibre optique à partir du schéma ci-dessous.

1. Donne :
   1.1. les lois de réflexion ;
   1.2. les lois de réfraction.

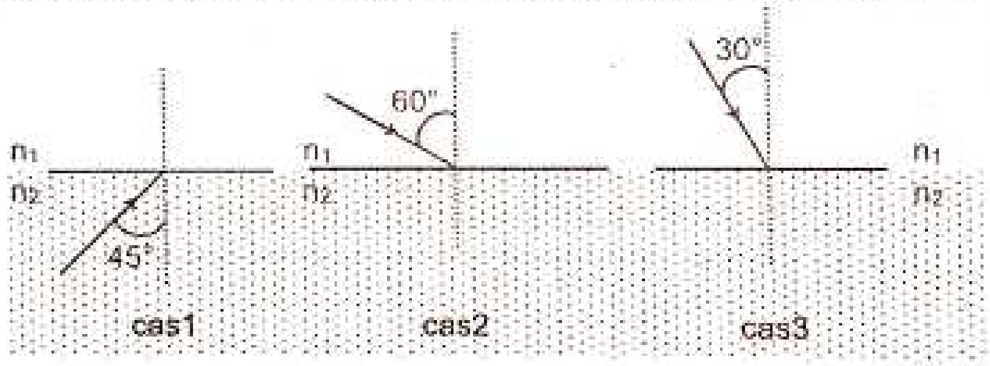
2. Calcule :
    2.1. L'angle de réfraction i_2 en I.
    2.2. L'angle d'incidence i_3 en I' du rayon lumineux à la surface de séparation cœur-gaine.
    2.3. L'angle limite de réfraction L à la surface de séparation cœur-gaine.
3. Explique le fait qu'il y'a suite de réflexions totales dans la fibre optique.
4. Trace le trajet du rayon lumineux dans la fibre optique.



Exercice 5

Dans les trois situations présentées sur les figures ci-dessous, détermine s'il y a réflexion totale ou non. Justifie ta réponse et trace le rayon correspondant.

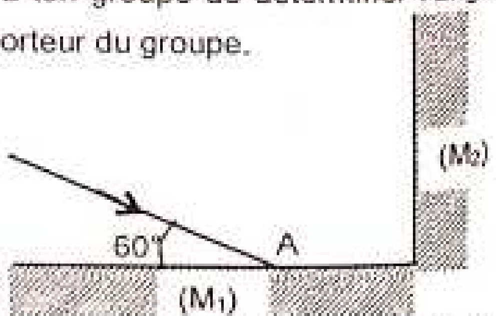
Tu indiqueras aussi les réflexions partielles. On te donne : $n_1 = 1,5$; $n_2 = 1,0$.



Exercice 6 (extrait Bac série L2 Sénégal 2009)

Lors d'une séance de TP, ton professeur dispose deux miroirs plans (M_1) et (M_2) perpendiculaires. Il fait arriver un rayon lumineux sur (M_1) en un point A comme indiqué sur le croquis ci-contre. Ce rayon fait un angle de 60° avec le miroir (M_1). Soit B le point de rencontre du rayon réfléchi par (M_1) avec le miroir (M_2). Il démande à ton groupe de déterminer l'angle formé par le rayon incident et le rayon réfléchi. Tu es le rapporteur du groupe.

1) Indique l'angle d'incidence du rayon sur le miroir (M_1).
2) Recopie le schéma sur ta feuille de copie et représente le rayon AB réfléchi par (M_1).
3) Trouve la valeur de l'angle d'incidence sur le miroir (M_2).
4) Représente le rayon BC réfléchi par le miroir (M_2).
5) Trouve l'angle formé par le rayon incident sur le miroir (M_1) et le rayon réfléchi par le miroir (M_2).

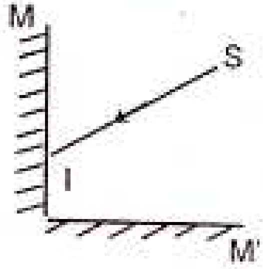


EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1 Réflexion sur un miroir plan

Un rayon lumineux se réfléchit successivement sur deux miroirs plans perpendiculaires.

Ce rayon est dans un plan perpendiculaire à l'intersection des deux miroirs.



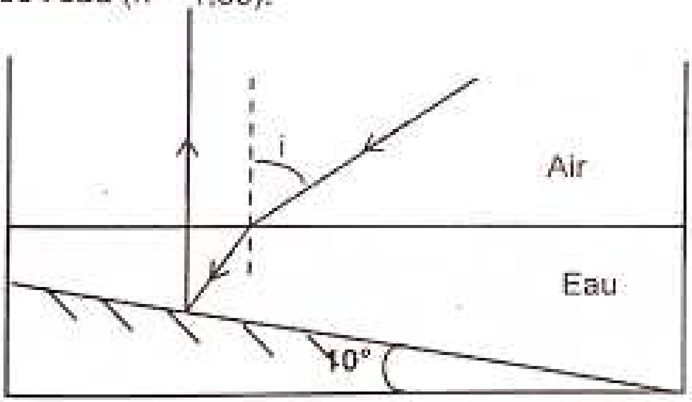
1- Dessine le rayon lumineux émergent après une reflexion sur le miroir M puis une reflexion sur le miroir M'.

2- Compare les directions et les sens des rayons incident et émergent.

3- Justifie ta réponse par le calcul.

Exercice 2 : Un miroir incliné

Un miroir incliné d'un angle α = 10° par rapport à l'horizontal est posé au fond d'un recipient contenant de l'eau (n = 1,33).



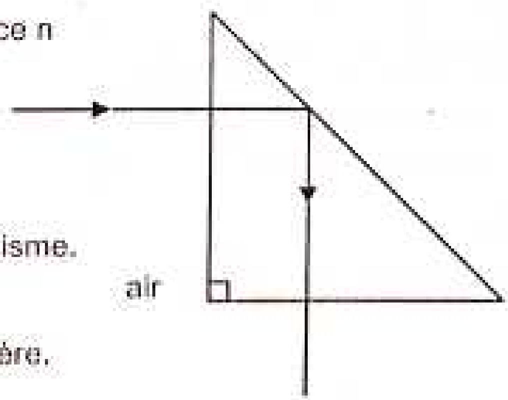
Calcule la valeur de l'angle d'incidence i d'un rayon lumineux pénétrant de l'air dans l'eau pour que ce rayon émerge perpendiculairement à la surface de l'eau.

Exercice 3 : Prisme à réflexion totale

1- Donne la relation à laquelle doit satisfaire l'indice n un prisme isocèle rectangle utilisé dans les conditions de la figure pour que l'on se trouve dans le cas d'une réflexion totale.

2- Indique la manière dont se comporte alors le prisme.

3- A partir de ce prisme, propose un montage permettant de renvoyer en sens inverse la lumière.



Exercice 4

Lors d'une séance de TP, un groupe d'élèves accole deux miroirs M_1 et M_2 de sorte que leurs surfaces réfléchissantes fasse un angle de α. Un rayon SI, parallèle à, M_2 frappe M_1 en I. Le second rayon réfléchi fait un angle de déviation δ avec le rayon incident en I.

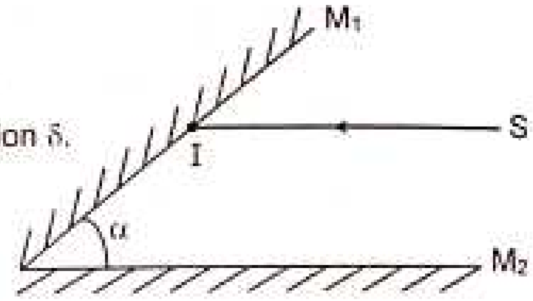
Les élèves veulent déterminer la valeur de l'angle δ. Tu es le rapporteur du groupe.

1) Trace le rayon réfléchi sur M_1 puis sur M_2.

2)

   2.1. Détermine en fonction de α l'angle de déviation δ.

   2.2. Calcule δ quand $\alpha = 50°$.

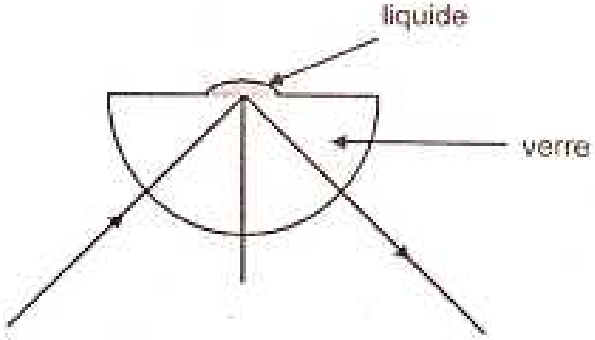


Exercice 5 Mesure d'un indice de réfraction

Une goutte d'un liquide dont on veut mesurer l'indice de réfraction est déposée sur la surface plane d'un demi cercle en verre d'indice de réfraction $n_1 = 1,60$.

La plus petite valeur de l'angle d'incidence qui provoque la réflexion totale à la surface de séparation verre-liquide d'indice inconnu est de 50,5°.

Exprime et calcule l'indice de réfraction de ce liquide .



Exercice 6 : Fibre optique

Une fibre optique à saut d'indice est constituée d'un cœur (cylindre très long de diamètre très faible) et d'une gaine (tube de matière transparente qui entoure le cœur).

On appelle **ouverture numérique ON** de la fibre, le sinus de l'angle d'incidence maximal pour lequel les rayons qui pénètrent dans le cœur sont transmis jusqu'à la sortie.

1. Exprime la valeur de ON pour une fibre connaissant n_C (indice du cœur) et n_g (indice de la gaine).
2. Fais l'application numérique pour $n_C = 1,48$ et $n_g = 1,46$.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1 : (réflexion et réfraction de la lumière)

Je complète les phrases ci-dessous par les mots suivants : *incidence ; réfraction ; égal ; dioptre ; réflexion ; homogènes ; rayon ; séparation.*

Lorsqu'un *rayon* lumineux traverse la surface de *séparation* de deux milieux *homogènes* ; transparents appelé *dioptre*, il subit en général une *réflexion* et une *réfraction*.

L'angle de réflexion est *égal* à l'angle d'*incidence*.

Exercice 2 : (réfraction limite et réflexion limite)

Je choisis la bonne réponse parmi les propositions suivantes :

1. Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent d'indice n_1 à un milieu transparent d'indice n_2 avec $n_2 > n_1$;
   b. Le rayon réfracté se rapproche plus de la normale.
2. Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent d'indice n_1 à un milieu transparent d'indice n_2 avec $n_1 > n_2$, il y a réflexion totale si :
   a. L'angle d'incidence est supérieur l'angle limite de réfraction.

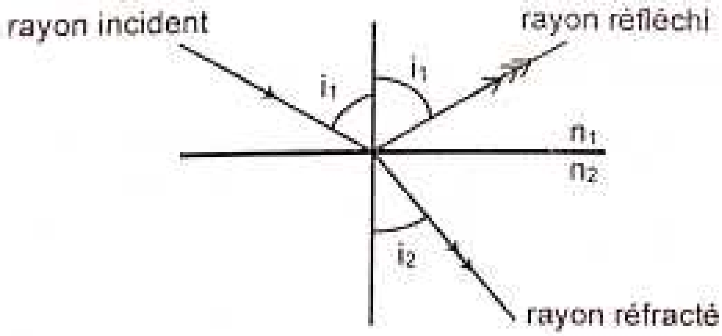
Exercice 3 : (réflexion et réfraction de la lumière)

1. Détermination de l'angle de réfraction.

   D'après la 2ème loi de Descartes-Snell, $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

   $$\Rightarrow \sin i_2 = \frac{n_1 \sin i_1}{n_2} = \frac{1 \times \sin 60°}{1{,}33} = 0{,}651 \Rightarrow i_2 = \sin^{-1}(0{,}651) \approx 41°$$

2. Construction sur un schéma clair des rayons incidents, réfléchis et réfractés.



Exercice 4

1. Je donne :

   1.1. les lois de réflexion ;

   ✓ 1ère loi de Descartes (loi du plan)

   Le rayon incident SI, le rayon réfléchi IR et la normale NI à la surface réfléchissante sont situés dans le même plan appelé plan d'incidence.

✓ **$2^{ème}$ loi de Descartes (loi des angles)**

L'angle de réflexion r est égal à l'angle d'incidence i : r = i.

1.2. les lois de réfraction.

✓ **Première loi de Descartes-Snell**

Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.

✓ **Deuxième loi de Descartes-Snell**

L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 sont liés par : $\mathbf{n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2}$

2. Je calcule :

2.1. L'angle de réfraction i_2 en I.

D'après la $2^{ème}$ loi de Descartes-Snell, $n_1\sin(90° - i_1) = n_2\sin i_2$

$$\Rightarrow \sin i_2 = \frac{n_1\sin(90 - i_1)}{n_2} = \frac{1 \times \sin(90° - 7{,}5)}{1{,}5} = 0{,}661 \Rightarrow i_2 = \sin^{-1}(0{,}661) \approx 41°$$

2.2. L'angle d'incidence i_3 en I' du rayon lumineux à la surface de séparation cœur-gaine.

i_2 et i_3 sont des angles alterne-interne donc $i_3 = i_2 = 41°$.

2.3. L'angle limite de réfraction L à la surface de séparation cœur-gaine.

$$\sin L = \frac{n_3}{n_2} = \frac{1{,}48}{1{,}5} = 0{,}987 \Rightarrow L = \sin^{-1}(0{,}987) \approx 81°$$

$i_3 < L$ donc il existe un rayon réfracté d'angle de réfraction L = 81°.

3. J'explique le fait qu'il y a suite de réflexions totales dans la fibre optique.

Le rayon lumineux passe de la gaine qui est plus réfringent ($n_3 = 1{,}48$) à l'air qui est moins réfringent ($n_1 = 1$).

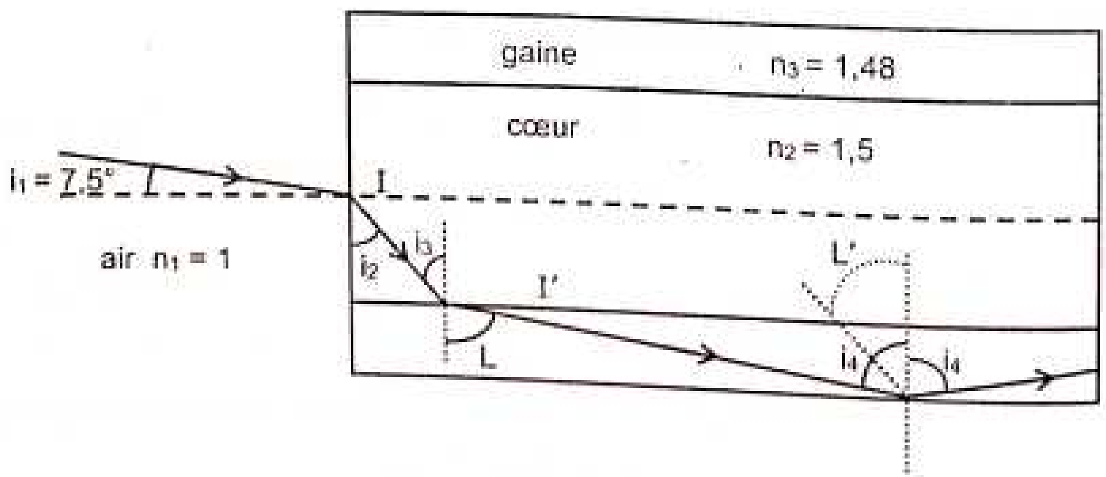
Calculons l'angle limite de réfraction L' à la surface de séparation gaine-air.

$$\sin L' = \frac{n_1}{n_3} = \frac{1}{1{,}48} = 0{,}676 \Rightarrow L' = \sin^{-1}(0{,}676) \approx 43°$$

L'angle d'incidence i_4 du rayon lumineux à la surface de séparation gaine-air est $i_4 = L = 81°$

Ainsi $i_4 > L'$, donc il y a **réflexion totale.**

4. Je trace le trajet du rayon lumineux dans la fibre optique.



Scanné avec CamScanner

Exercice 5

Dans les trois situations déterminons, en justifiant la réponse, s'il y a réflexion totale ou non.

$n_1 > n_2$ donc l'angle de réfraction limite L est tel que :

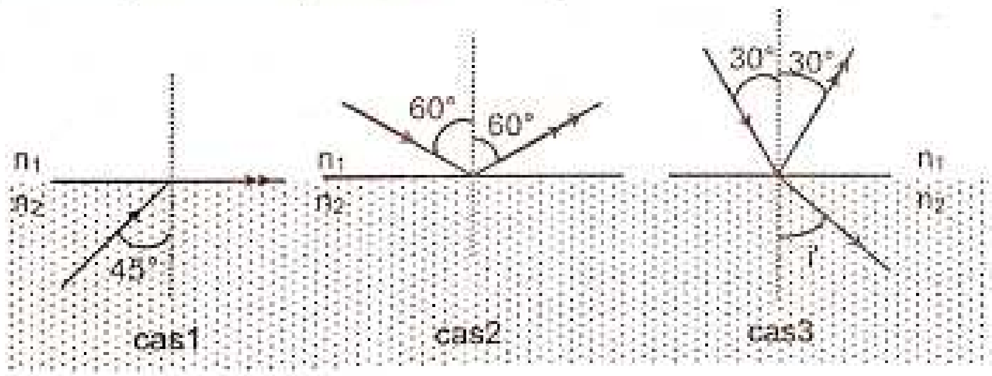
$\sin L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,0}{1,5} = 0,67 \Rightarrow L = \sin^{-1}(0,67) = 41°$

- Dans le 1er cas, la lumière passe d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent. On obtient donc une réfraction partielle mais rasante.
- Dans le 2ème cas, la lumière passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent et l'angle d'incidence i est supérieure à l'angle de réfraction limite L ($i > L$) donc il y a réflexion totale.
- Dans le 3ème cas, la lumière passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent et l'angle d'incidence i est inférieure à l'angle de réfraction limite L ($i < L$) donc il y a réflexion partielle. On obtient aussi un rayon réfracté.

  L'angle de réfraction i' est obtenu par la 2ème loi de Descartes-Snell : $n_1 \sin i = n_2 \sin i'$

  $\Rightarrow \sin i' = \frac{n_1 \sin i}{n_2} = \frac{1,5 \times \sin 30°}{1,0} = 0,75 \Rightarrow i' = \sin^{-1}(0,75) \simeq 48,6°$

Traçons les rayons correspondants.



Exercice 6 (extrait Bac série L2 Sénégal 2009)

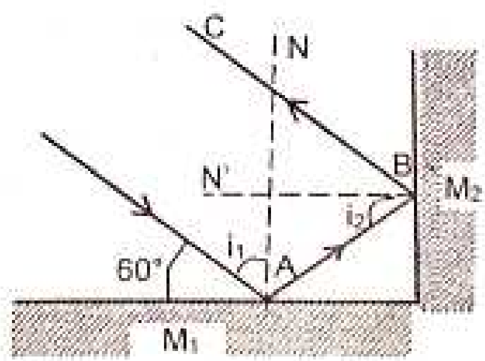
1) Angle d'incidence sur (M_1) : $i_1 = 30°$.
2) Représentation du rayon AB réfléchi par (M_1)

   Voir schéma ci-contre :
3) Valeur de l'angle d'incidence sur le miroir (M_2)

   $i_2 = 60°$.

   Représentation du rayon BC réfléchi par (M_2)

   Voir BC sur le schéma.



4) Angle formé par le rayon incident et le rayon réfléchi

   Le rayon réfléchi par le miroir (M_2) et le rayon incident sur le miroir (M_1) sont parallèles.

Johann Carl Friedrich Gauss
(30 avril 1777 – 23 février 1855)
Mathématicien, Astronome et Physicien Allemand.
Doté d'un grand génie, il a apporté de très importantes contributions à ces trois sciences.
Surnommé « le prince des mathématiciens », il est considéré comme l'un des plus grands mathématiciens de tous les temps. Il étudia l'optique, perfectionnant en particulier le fonctionnement des instruments formés de lentilles et de dioptres de même axe.

Leçon 3 : LES LENTILLES MINCES

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	une lentille mince.
Distinguer	les différents types de lentilles minces.
Connaître	• les symboles des lentilles minces. • les caractéristiques des lentilles minces : - axe principal ; - centre optique ; - foyers principaux objet et image ; - distances focales et vergences ; - plans focaux, foyers secondaires.
Déterminer	• les foyers objets et images. • la distance focale. • la vergence.
Connaître	les conditions de Gauss.
Construire	l'image d'un objet à travers une lentille mince.
Connaître	la formule de conjugaison.
Utiliser	la formule de conjugaison.
Déterminer	le grandissement.
Connaître	le théorème des vergences.
Appliquer	le théorème des vergences.

RAPPELS DE COURS

1) Généralités sur les lentilles

1.1. Définition

Une lentille est un milieu transparent et homogène (verre ou matière plastique) limité par deux surfaces toutes sphériques ou bien l'une sphérique et l'autre plane.

Exemples : les lunettes, les vitres, la loupe, l'œil, l'appareil photographique etc.

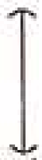
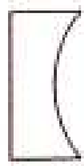
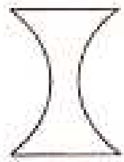
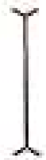
1.2. Différents types de lentilles

Il existe deux types de lentilles : les lentilles **convergentes** et les lentilles **divergentes**.

On reconnait une lentille par :

- sa forme, au toucher :
  - si le bord est plus mince que le centre, c'est une lentille **convergente**,
  - si le bord est plus épais que le centre, c'est une lentille **divergente**.
- la marche de la lumière, après la traversée de la lentille :
  - si les rayons lumineux émergents se rencontrent en un point : c'est une lentille **convergente**,
  - si les rayons lumineux émergents se dispersent : c'est une lentille **divergente**.

1.3. Représentation et symbole des lentilles

Lentilles convergentes	 plan-convexe	 biconvexe	 symbole
Lentilles divergentes	 plan-concave	 biconcave	 symbole

1.4. Foyers, distance focale et vergence d'une lentille

1.4.1. Foyers

- On appelle foyer principal objet, le point F de l'axe principal dont l'image est à l'infini sur l'axe. F est réel pour une lentille à bords minces et virtuel pour une lentille à bords épais.
- On appelle foyer secondaire objet, le point F_1 de l'axe secondaire (tout axe autre que l'axe principal passant par le centre optique) dont l'image est à l'infini sur cet axe.

  F_1 est réel pour une lentille convergente et virtuel pour une lentille divergente.

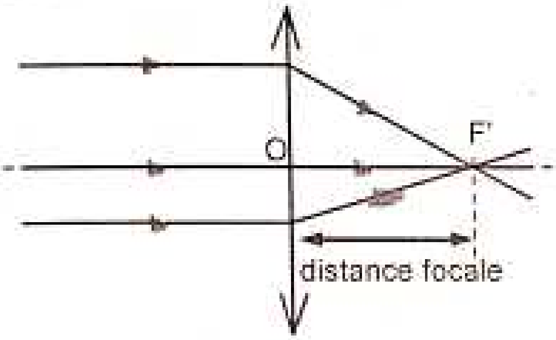
- Le point où focalisent des rayons qui se propagent parallèlement à l'axe optique est appelé foyer principal image F'.
- Tout rayon parallèle à un axe secondaire émerge en convergent à un point appelé foyer secondaire image.

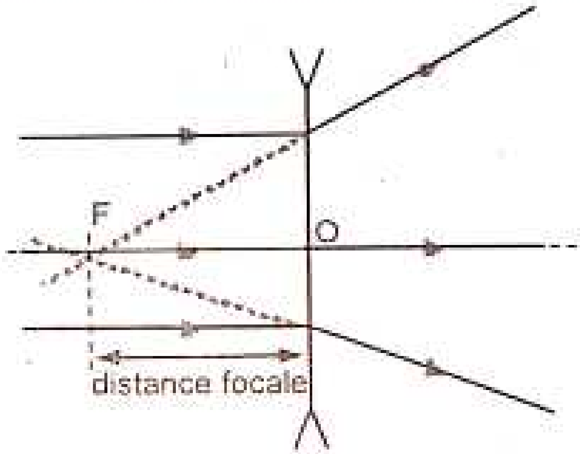
1.4.2. Distance focale

- La distance focale c'est la distance qui sépare l'un d'un foyer de la lentille au centre optique. Elle se note f et s'exprime en mètre(m) : $\boxed{f = OF = OF'}$.

1.4.3. Vergence

- La vergence est l'inverse de la distance focale. Elle se note C et s'exprime en dioptrie (δ) : $\boxed{C = \frac{1}{f}}$ avec f en mètre (m).

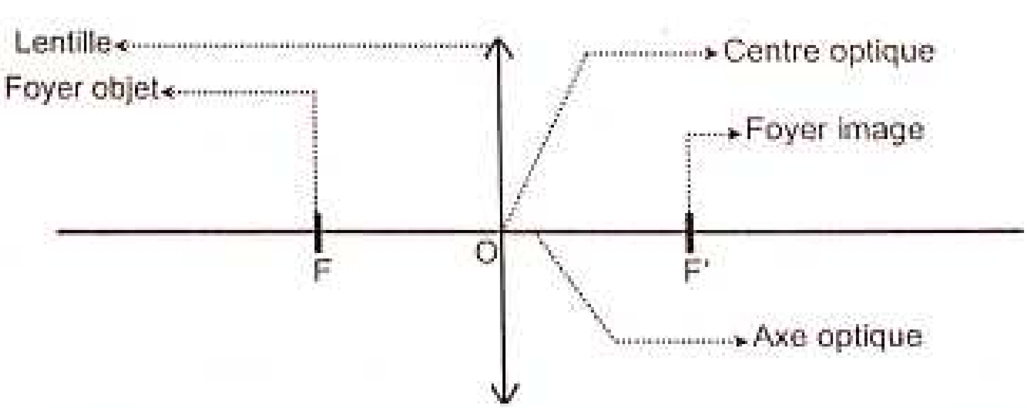




Remarque :

- Une lentille convergente a une vergence positive alors qu'une lentille divergente a une vergence négative.
- On peut déterminer la distance focale d'une lentille si on connait sa vergence : $\boxed{f = \frac{1}{C}}$
- De deux lentilles convergentes, la **plus convergente** est celle qui a la plus **petite distance focale** ou la plus **grande vergence.**

1.5. Représentation d'une lentille convergente



2) Formation d'une image à l'aide d'une lentille convergente

2.1. Caractéristique de l'image

L'image obtenue à partir d'une lentille convergente est **toujours renversée** par rapport à l'objet.

Remarque :

- L'image est dite réelle si elle apparaît sur un écran.
- L'image est dite virtuelle ou floue si elle n'est pas visible sur un écran.

2.2. Influence de la distance objet-lentille sur la formation de l'image

- Si l'objet est très éloigné de la lentille (à l'infini), son image se forme au foyer image F'.
- Si l'objet se trouve au foyer objet F, son image se forme à l'infini.
- Si l'objet se rapproche de la lentille, son image s'éloigne en grandissant donc l'objet et son image se déplacent dans le même sens.
- Si l'objet se trouve entre le foyer objet (F) et la lentille (L), il ne se forme pas d'image (l'image est floue).

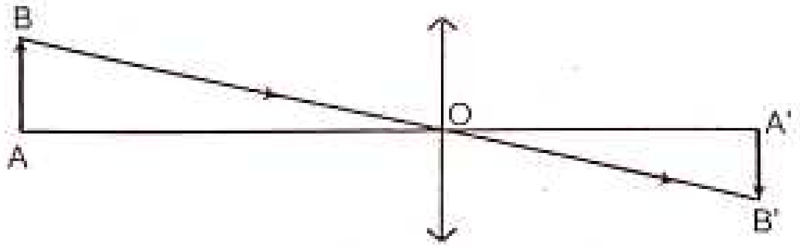
Remarque :

On obtient une image réelle d'un objet lumineux à travers une lentille convergente lorsque la distance objet-lentille est **supérieure** à la distance focale(f) de la lentille.

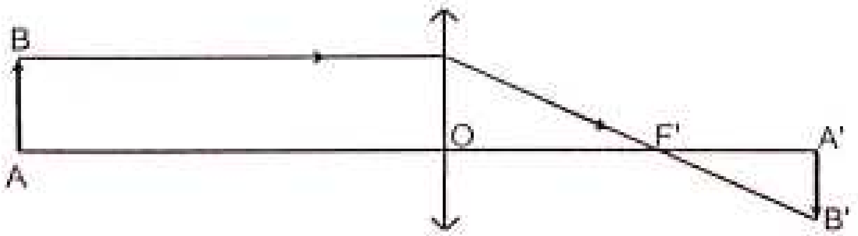
2.3. Construction géométrique de l'image d'un objet lumineux.

Pour construire l'image d'un objet, on utilise deux des trois rayons particuliers suivants :

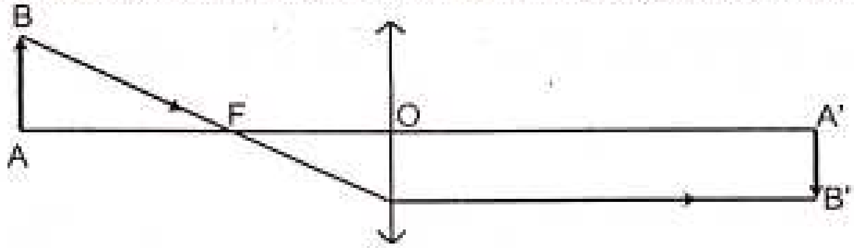
- Un rayon incident passant par le centre optique(O) n'est jamais dévié.



- Un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par le foyer image F'.



➢ Un rayon incident passant par le foyer objet F émerge parallèlement à l'axe optique.



3) Propriétés des lentilles minces

3.1. Formule de conjugaison

Lorsqu'une lentille mince donne d'un objet AB une image A'B', A et A' sont des points conjugués.

La relation qui donne la position A' en fonction de celle de A est appelée relation de conjugaison : $\boxed{\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}}$

3.2. Association de lentilles

Un système de deux lentilles minces accolées, de vergences respectives C_1 et C_2 équivaut à une lentille unique de même centre optique et de vergence $C = C_1 + C_2$.

3.3. Grandissement de la lentille

Le grandissement est donné par la relation : $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$

Le grandissement n'a pas d'unité.

- AB : taille de l'objet ;
- A'B' : taille de l'image ;
- OA : distance objet-lentille ;
- OA' : distance lentille-image ou lentille-écran.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Recopie et complète le texte avec les mots ou expressions qui conviennent :

convergente – foyer image – accolées – vergence – somme – centre optique ; divergentes.

Une lentille est un milieu transparent qui modifie la marche du faisceau lumineux.

L'intersection de l'axe optique avec le plan de la lentille est le …………………

Tout rayon lumineux incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par le …………..

Les lentilles à bords minces sont dites……………… et celles à bords épais sont …………..

Une lentille se caractérise par sa distance focale dont l'inverse est la ………………….

La vergence totale de deux lentilles convergentes …………………….. est la ………………. des vergences de ces lentilles.

Exercice 2

Choisis la bonne réponse parmi les propositions suivantes.

Une lentille (L) a une distance focale f = 40 cm. Sa vergence est :

a) 0,025 δ b) 2,5 m c) 0,5 δ c) 2,5 δ

Exercice 3

Une lentille placée à 25 cm d'un objet en donne une image qui se forme sur un écran situé à 1 m de la lentille.

Calcule la distance focale de cette lentille.

Exercice 4

Un timbre poste est observé à travers une lentille de vergence – 4.

1) Montre que cette lentille donne toujours d'un objet réel une image virtuelle.
2) Construis l'image A'B' de l'objet AB.
3) Indique la situation de l'objet par rapport à la lentille pour que l'image qu'elle en donne ait le grandissement 0,5.

Exercice 5 : Loupe

Un timbre poste est observé à travers une lentille convergente de distance focale +8 cm, faisant office de loupe.

Le timbre de dimensions (3 cm×2 cm) est situé à 6 cm de la lentille supposée mince.

1) Détermine les caractéristiques de l'image (position, nature, grandeur et sens par rapport à l'objet).
2) Trace la marche du faisceau lumineux issu d'un point de l'objet et pénétrant dans la lentille de diamètre 4 cm (échelle ½).

Exercice 6 : Lentilles mince

1) Soit une lentille de distance focale f' = +3 cm.

 1.1. On considère un objet perpendiculaire à l'axe optique de taille 2 cm respectivement à 4 cm et 2 cm en avant du centre optique.

 - Détermine graphiquement l'image de l'objet dans chaque cas (échelle 1/1).

 1.2. Même question avec un objet virtuel situé à 10 cm du centre optique.

2) Soit une lentille de distance focale f' = – 3 cm.

 2.1. Trouve l'image d'un objet réel de taille 2 cm situé à 5 cm du centre optique.

 2.2. Même question avec un objet virtuel situé à 1,5 cm puis 5 cm du centre optique.

3) Retrouve les résultats précédents par le calcul algébrique.

Exercice 7

Un élève souhaite observer un objet AB à travers une lentille de distance focale f' = 50 cm situé à 4 cm de l'œil. On considérera que l'élève à une vue normale : son punctum proximum est situé a 25 cm de ses yeux tandis que le punctum remotum (point le plus éloigné vu avec netteté) est à l'infini.

1) Complète le tableau suivant :

 NB : pour la dernière ligne du tableau, écris « oui » si l'observateur voit l'image A'B' et « non » si l'observateur ne voit pas l'image A'B'.

$\overline{OA}$ (cm)	– 30,0	– 5,1	– 4,9	– 3,0	– 0,8
$\overline{OA'}$ (cm)					
L'observateur voit l'image A'B'					

2) Indique la condition sur laquelle porte la position de l'objet AB pour que l'image A'B' soit vue nettement avec l'observateur.

3) Vérifie si l'objet AB est vu à travers la lentille. Si oui, indique le cas.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

1. Définis une lentille.
2. Donne les conditions pour qu'une lentille soit considérée comme mince.
3. Compare une lentille convergente à une lentille divergente.

Exercice 2

Le cristallin de l'œil est assimilable à une lentille mince dont la distance focale est variable.

L'image se force sur la rétine qui est à la distance d du centre optique O.

On donne : d = 15 mm pour un œil normal.

1) Un observateur possédant une vision normale regarde un objet de 10 cm de haut placé à 1 m de lui.

 1.1. Détermine la taille et le sens de l'image.

 1.2. Calcule la vergence du cristallin.

2) Calcule la vergence du cristallin lorsque l'œil regarde le même objet à 25 cm de lui.

Exercice 3

On dispose de quatre lentilles L_1, L_2, L_3 et L_x ayant respectivement pour distances focales :

$f_1 = 10$ cm, $f_2 = 40$ cm, $f_3 = 20$ cm, $f_x = x$ cm. La lentille Lx a pour vergence $C_x = -4\ \delta$.

1) Calcule la distance focale f_x.
2) Calcule les vergences des lentilles L_1, L_2 et L_3.
3) On accole la lentille L_1 à la lentille L_x.

 Calcule la vergence C et la distance focale f de la lentille équivalente L obtenue.

4) Détermine par construction graphique à l'échelle ¼ la taille et la nature de l'image A'B' d'un objet AB de 4 cm de haut, placé à 30 cm de la lentille L.

Exercice 4

Un système optique est constitué de deux lentilles convergentes L_1 et L_2 de même axe optique. Leurs distances focales sont respectivement de 2 cm et 5 cm. La distance O_1O_2 entre les centres optiques est égale à 9 cm. Un objet lumineux AB de 1 cm de haut est placé 3 cm devant L_1, perpendiculairement à l'axe optique, le point A étant situé sur cet axe.

1. Fais un schéma du dispositif et construis l'image A_1B_1 donnée par la lentille L_1.
2. Détermine graphiquement $\overline{O_1A_1}$ et $\overline{A_1B_1}$, puis retrouver ces résultats par le calcul.
3. L'image A_1B_1 est un objet réel par la lentille L_2.

 Construis son image A_2B_2 donnée par cette lentille.

4. Vérifie si l'image obtenue est réelle ou virtuelle. Droite ou inversée. Plus petite ou plus grande.
5. A l'aide de la formule de conjugaison, calcule $\overline{O_2A_2}$ et $\overline{A_2B_2}$.

Exercice 5

Tu rends visite à un ami chez lui à la maison. Ce dernier dispose d'un appareil photo dont l'objectif peut être assimilé à une lentille mince convergente L_1 de distance focale f'_1' = +105 mm. On note O le centre optique de la lentille.

Il te demande de l'aider à régler son appareil afin d'obtenir des images nettes.

1. Donne les caractéristiques d'une lentille mince.
2. On photographie un objet A_1B_1 de taille 1,80 m placé à 20 m de O et perpendiculaire à l'axe optique. Calcule la distance OA_1' entre O et la pellicule pour que l'image soit nette.
3. On modifie l'objectif de l'appareil en accolant à la lentille convergente L_1, une lentille divergente L_2 de distance focale f_2'= -111mm.
   3.1. Calcule la vergence de chacune des lentilles (au dixième près).
   3.2. En déduis :
      3.1.1. la vergence C de la lentille équivalente ;
      3.1.2. la distance focale f'.
4. On photographie avec l'objectif modifié un objet de hauteur A_2B_2 = 1 m situé à 5 m du centre optique O et on obtient une image nette sur la pellicule.
   4.1. Construis sur une feuille millimétrée à l'échelle 1/50, l'image $A_2'B_2'$ de l'objet A_2B_2.
   4.2. Calcule :
      4.1.1. le grandissement γ de l'objectif de l'appareil ;
      4.1.2. la distance OA_2' à laquelle est placée la pellicule du centre optique.

Exercice 6 (Bac série C Benin Juin 2009 Programme Intermédiaire)

Des élèves disposent de deux lentilles : l'une convergente L_1 et l'autre divergente L_2 dont on veut déterminer les distances focales f'_1 et f'_2. Pour cela, ils réalisent les expériences suivantes :

a- Lorsqu'un objet réel AB occupe une position OA_1 par rapport à L_1 on constate que l'image A'B' est réelle et deux fois plus grande que l'objet.

b- Lorsque l'objet AB est rapproché de L_1 de 2 cm, on constate que l'image $A'_1B'_1$ est réelle et trois fois plus grande que l'objet.

c- Lorsqu'on accole la lentille L_2 à la lentille L_1 on constate que l'image réelle $A'_2B'_2$ obtenue a la même taille que l'objet AB si la distance objet-image est de 96 cm.

1. Exploite la formule de conjugaison et celle du grandissement et les expériences a et b pour montrer que la distance focale f'_1 de la lentille L_1 est égale à + 12 cm.
2. Exploite l'expérience c pour déterminer la distance focale f'_2 de la lentille L_2.
3. Justifie qu'il s'agit effectivement d'une lentille divergente.
4. Les deux lentilles L_1 et L_2 ont le même axe optique et sont distantes l'une de l'autre de $\overline{O_1O_2}$ = 50 cm
   4.1. Construis à travers le système (L_1, L_2) l'image A"B" d'un objet réel AB placé à 18 cm en avant de L1 à l'échelle 1/5. On donne AB = 5 cm,
   4.2. En déduis les caractéristiques de cette image.
   4.3. Retrouve par calcul les caractéristiques de l'image A"B".

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Recopie et complète le texte avec les mots ou expressions qui conviennent :

convergentes – foyer image – accolées – vergence – somme – centre optique ; divergentes.

Une lentille est un milieu transparent qui modifie la marche du faisceau lumineux.

L'intersection de l'axe optique avec le plan de la lentille est le **centre optique.**

Tout rayon lumineux incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par le **foyer image.**

Les lentilles à bords minces sont dites **convergentes** et celles à bords épais sont **divergentes.**

Une lentille se caractérise par sa distance focale dont l'inverse est la **vergence.**

La vergence totale de deux lentilles convergentes **accolées** est la **somme** des vergences de ces lentilles.

Exercice 2

Je choisis la bonne réponse parmi les propositions suivantes.

Une lentille (L) a une distance focale f = 40 cm. Sa vergence est :

c) 2,5 δ

Exercice 3

Déterminons la distance focale f de cette lentille

D'après la relation de conjugaison : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$

$\Rightarrow \frac{1}{1} - \frac{1}{25.10^{-2}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow 1-4 = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{f'} = -3 \Rightarrow f' = \frac{1}{-3} = -0{,}33 \text{ m} \Rightarrow f = -f' = 0{,}33 \text{ m}$

Exercice 4

1) **Montrons que cette lentille donne toujours d'un objet réel une image virtuelle.**

C = – 4 δ ; il s'agit d'une lentille divergente ($f' = \frac{1}{C} = \frac{1}{-4} = f' = -25 \text{ cm} < 0$)

L'objet est réel donc $p < 0$.

Relation de conjugaison : $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'}$

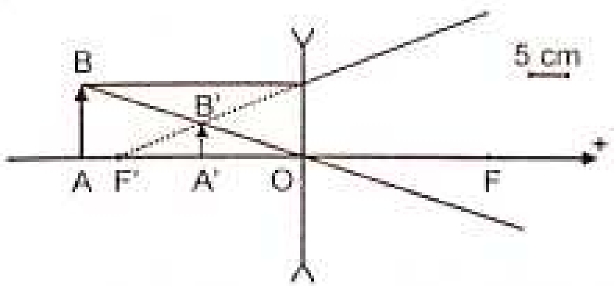
$p < 0$ et $f' < 0$ donc p' est négatif et l'image est nécessairement virtuelle.

2) **Construisons l'image A'B' de l'objet AB.**

f' = – 25 cm

AB est l'objet réel (le timbre)

de taille et de position quelconque :



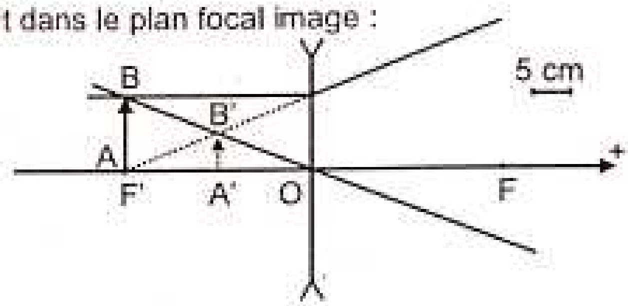
3) **Situation de l'objet par rapport à la lentille pour que le grandissement soit 0,5**

Utilisons les relations de conjugaison :

$\gamma = +0,5$ d'où $p' = 0,5p$

$\frac{1}{0,5p} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{0,5p} - \frac{0,5}{0,5p} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{0,5}{0,5p} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$ d'où : $p = f' = -25$ cm.

Il faut donc que l'objet soit dans le plan focal image :

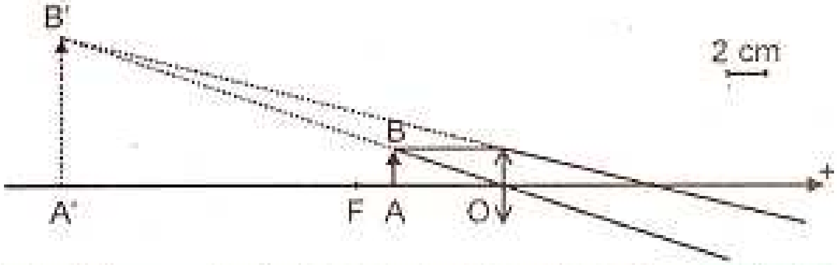


Exercice 5 : Loupe

1) **Les caractéristiques de l'image (position, nature, grandeur et sens par rapport à l'objet).**

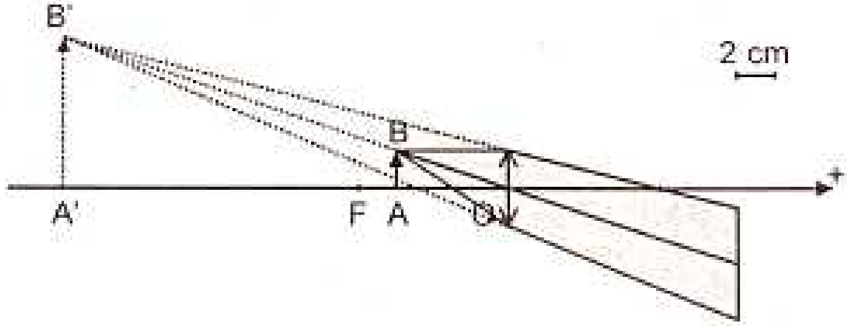
On utilise les relations de conjugaison :

- $f' = +8$ cm
- Timbre : objet réel AB : $p = -6$ cm d'où : $p' = -24$ cm (image virtuelle)
- Grandissement : $\gamma = +4$ (image droite)
- Taille de l'image du timbre : 12 cm×8 cm.



2) **Tracé de la marche du faisceau lumineux issu d'un point de l'objet.**

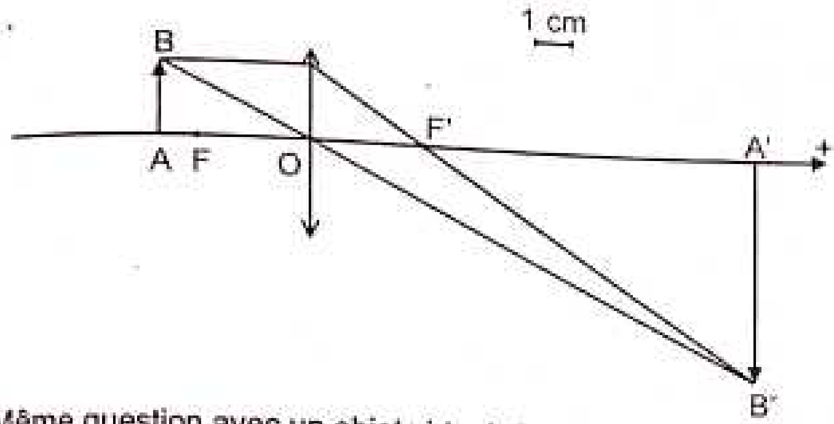
Intéressons-nous par exemple au point B du timbre (situé à 2 cm de l'axe) :



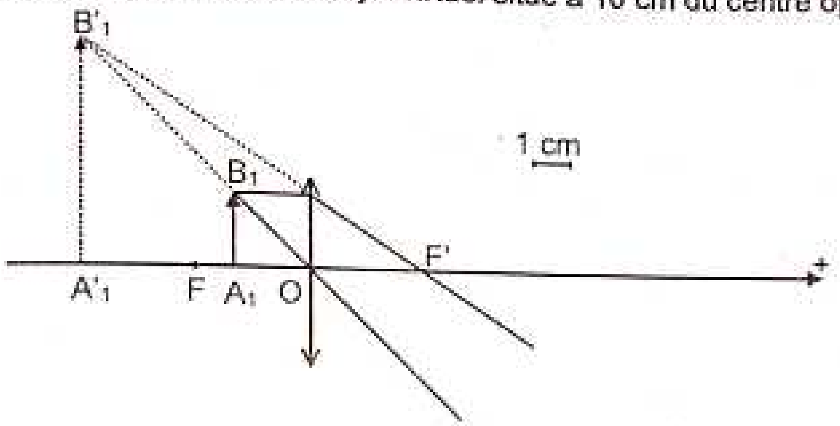
Exercice 6 : Lentilles minces

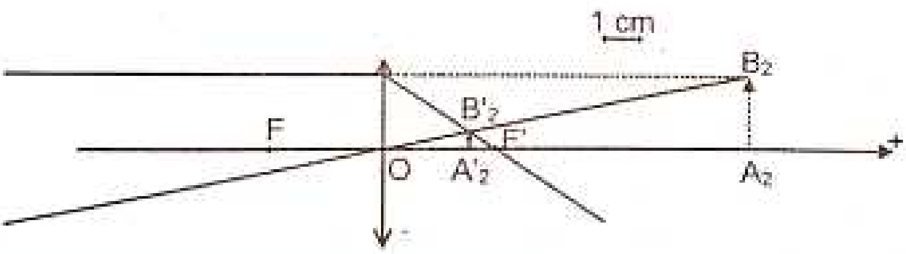
1) Soit une lentille de distance focale f' = +3 cm.

1.1. Déterminons graphiquement l'image de l'objet dans chaque cas (échelle 1/1).



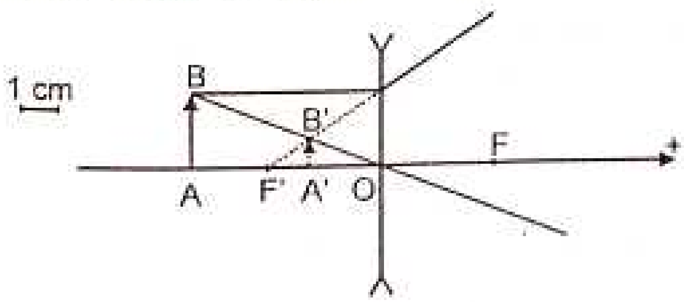
1.2. Même question avec un objet virtuel situé à 10 cm du centre optique.



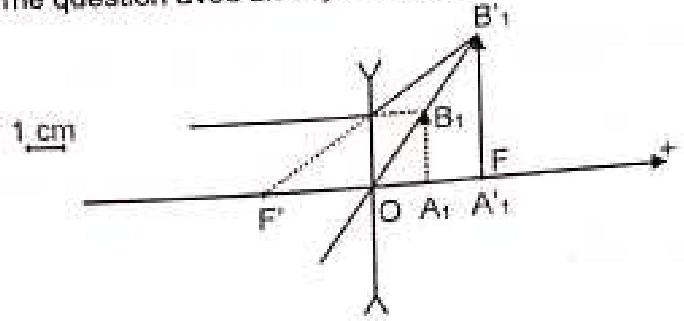


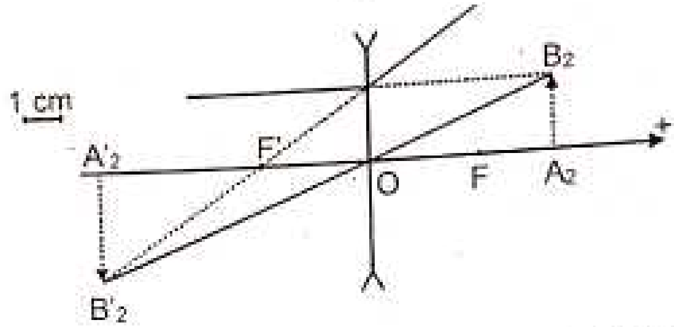
2) Soit une lentille de distance focale f' = – 3 cm.

2.1. Trouvons l'image d'un objet réel de taille 2 cm situé à 5 cm du centre optique.



2.2. Même question avec un objet virtuel situé à 1,5 cm puis 5 cm du centre optique.





3) Retrouvons les résultats précédents par le calcul algébrique.

On utilise les relations de conjugaison.

- $f' = +3$ cm
  - objet réel AB : $p = -4$ cm

    $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$ d'où : $p' = +12$ cm (image réelle)

    Grandissement : $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{p'}{p} = -3$

    L'image est 3 fois plus grande que l'objet ($A'B' = 3 \times 2 = 6$ cm) et renversée.
  - objet réel A_1B_1 : $p = -2$ cm d'où : $p' = -6$ cm (image virtuelle)

    Grandissement : $\gamma = +3$

    L'image est 3 fois plus grande que l'objet (6 cm) et de même sens (image droite).
  - objet virtuel A_2B_2 : $p = +10$ cm d'où : $p' \approx +2,3$ cm (image réelle)

    Grandissement : $\gamma \approx +0,23$

    L'image est droite et a une taille d'environ 0,46 cm.
- $f' = -3$ cm
  - objet réel AB : $p = -5$ cm d'où : $p' = -1,875$ cm (image virtuelle)

    Grandissement : $\gamma = +0,375$
  - objet virtuel A_1B_1 : $p = +1,5$ cm d'où : $p' = +3$ cm (image réelle)

Exercice 7

1) **Je complète le tableau**

D'après la formule de conjugaison : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA}}{1 + \frac{\overline{OA}}{f'}}$

Lorsque l'on regarde à travers une lentille, l'image que l'on voit est obligatoirement virtuelle (ce qui signifie que $\overline{OA'} < 0$).

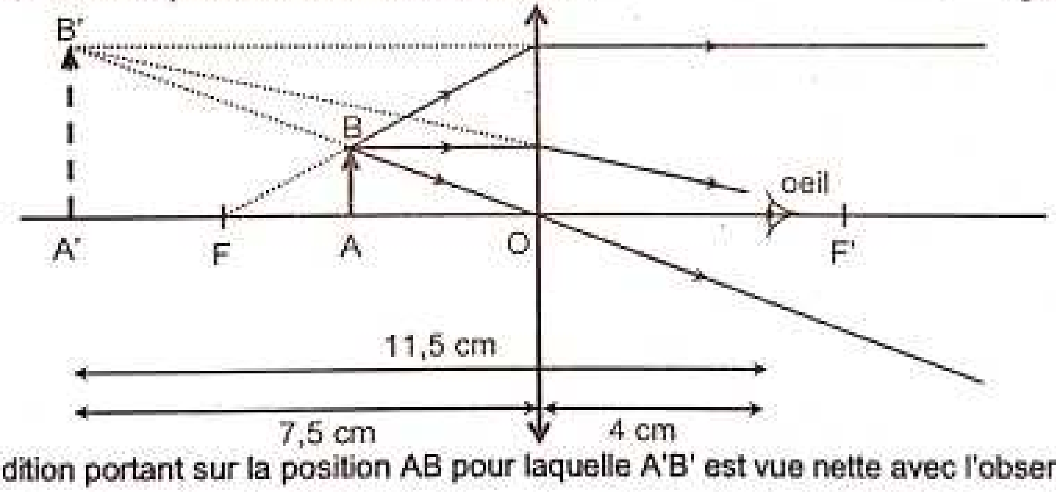
L'observateur voit l'image virtuelle A'B' de l'objet AB à condition qu'elle soit à au moins 25 cm de ses yeux, donc à au moins (25 – 4 =) 21 de la lentille. On a alors : $\overline{OA'} < -21$

$\overline{OA}$ (cm)	– 30,0	– 5,1	– 4,9	– 3,0	– 0,8
$\overline{OA'}$ (cm)	6,0	256	– 245	– 7,5(*)	– 0,95
L'observateur voit l'image A'B'	non(**)	non	oui	non	non

Remarque :

- (*) : $\overline{OA'} = -7,5$ cm). La distance (11,5 cm) entre l'œil et l'image (virtuelle) est inférieure à 25 cm. L'image n'est donc pas vue nette par l'observateur (voir figure 1).
- (**) : l'image est réelle et se forme derrière l'œil de l'observateur. On peut l'observer à condition de placer un écran à son niveau.

figure 1



2) **Condition portant sur la position AB pour laquelle A'B' est vue nette avec l'observateur.**

Calculons la position de l'objet AB donnant une image (virtuelle) A'B' à 21 cm de la loupe :

$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \overline{OA} = \frac{\overline{OA'}}{1 - \frac{\overline{OA'}}{f'}}$ avec $\overline{OA'} = -21\text{cm} \Rightarrow \overline{OA} = -4$ cm

L'image A'B' est vue nette à condition que l'objet AB soit situé à au moins 4,0 cm de la loupe.

3) **Vérifions si l'objet AB est vu ou non à travers la lentille. Si oui, indiquons le cas.**

Non, l'objet AB ne peut être vu à travers la lentille.

Par contre, son image peut l'être si les conditions énoncées ci-dessus sont satisfaites.

THEME 4

CHIMIE ORGANIQUE

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

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.

Leçon 1 : INTRODUCTION A LA CHIMIE ORGANIQUE : GENERALITES

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	un composé organique.
Montrer	la présence de l'élément carbone dans un composé.
Connaître	les autres éléments présents dans les composés organiques.
Déterminer	la composition centésimale massique d'un composé organique.
Utiliser	la relation $d = \frac{M}{29}$
Déterminer	la formule brute d'un composé organique.

RAPPEL DE COURS

1. Moles et grandeurs molaires

Grandeurs chimiques	Symbole	Unité	Formules
Constante d'Avogadro	$\mathcal{N}_a$	mol^{-1}	$N = n \times \mathcal{N}_a$
Nombre d'entités élémentaires	N	sans unité	$n = \frac{N}{\mathcal{N}_a}$
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. Composés organiques

2.1. Définition

Un composé organique est un composé dont l'un des éléments chimiques constitutifs est le carbone. Ce composé peut être d'origine naturelle ou produit par synthèse.

Outre le carbone, les composés organiques ne contiennent qu'un éventail réduit d'éléments :

- ✓ l'hydrogène (H), l'oxygène (O), l'azote (N) ou plus rarement le soufre (S) ou le phosphore (P), dans le cas des composés organiques naturels ;
- ✓ les composés synthétiques peuvent contenir d'autres éléments, comme les halogènes.

2.2. Structure

Les composés organiques ont une structure moléculaire.

3. Mise en évidence du carbone dans les composés organiques

3.1. Par la pyrolyse

La pyrolyse, ou thermolyse, est la décomposition chimique d'un composé organique par une augmentation importante de sa température pour obtenir d'autres produits qu'il ne contenait pas. L'opération est réalisée en l'absence d'oxygène pour éviter l'oxydation et la combustion.

Exemple : la pyrolyse du sucre donne un résidu solide noir qui est le carbone. On montre ainsi que le sucre contient du carbone.

3.2. Par la combustion

La combustion d'un corps est un phénomène résultant de la combinaison de ce corps avec l'oxygène de l'air et s'accompagnant d'un dégagement de chaleur avec ou sans flammes.

Exemple : la combustion du butane donne du dioxyde de carbone (CO_2) donc on en déduit que le butane contient du carbone.

4. Analyse d'un composé organique

4.1. Densité

➢ La densité d d'un liquide ou d'un solide est exprimée par rapport à l'eau : $d = \frac{\rho(\text{corps})}{\rho(\text{eau})}$

- $\rho(\text{corps})$: masse volumique du corps considéré (g/cm^3) ;
- $\rho(\text{eau})$: masse volumique de l'eau avec $\rho(\text{eau}) = 1\ g/cm^3$;
- d : densité du corps considéré (sans unité).

➢ La densité d d'un gaz est exprimée par rapport à l'air : $d = \frac{M}{M_{air}} = \frac{M}{29}$

- M : masse molaire du gaz considéré en g/mol ;
- $M_{air} = 29$ g/mol : masse molaire de l'air ;
- d : densité du gaz (sans unité).

4.2. Analyse élémentaire quantitative

4.2.1. 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.

4.2.2. 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.

4.2.3. Pourcentage massique à partir du nombre d'atomes

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 : $\frac{M}{100} = \frac{12x}{\%C} = \frac{y}{\%H} = \frac{16z}{\%O}$

4.2.4. Pourcentage massique à partir de la masse

La combustion d'un composé organique $C_xH_yO_z$ de masse m donne $m(CO_2)$ de dioxyde de carbone et $m(H_2O)$ d'eau.

- masse et pourcentage massique de carbone :
  il y a 12 g de C dans 44 g de CO_2 donc dans $m(CO_2)$ il y aura m(C) :
  $\Rightarrow m(C) = \frac{12 \times m(CO_2)}{44} = \frac{3m(CO_2)}{11}$ et $\%C = \frac{m(C)}{m} \times 100$
- masse et pourcentage massique d'hydrogène :
  il y a 2 g de H dans 18 g de H_2O donc dans $m(H_2O)$ il y aura m(H) :
  $\Rightarrow m(H) = \frac{2 \times m(H_2O)}{18} = \frac{m(H_2O)}{9}$ et $\%H = \frac{m(H)}{m} \times 100$
- pourcentage massique d'oxygène : $\%O = 100 - (\%C + \%H)$

4.3. Analyse eudiométrique

4.3.1. But

C'est l'analyse des mélanges gazeux à l'aide d'un eudiomètre (tube en verre gradué qui mesure la variation de volume d'un mélange gazeux à la suite d'une réaction chimique).

Elle consiste à déterminer les quantités des différents gaz d'un mélange à partir des équations de combustion et du volume molaire.

4.3.2. Equation-bilan de combustion d'un composé organique

$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right)O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$$

$$C_xH_yO_z + \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right)O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$$

5. Méthodes pratiques

5.1. Comment déterminer la masse molaire M d'un composé $C_xH_yO_z$?

- par la relation la liant à sa masse m et à sa quantité de matière n : $M = \frac{m}{n}$
- par sa densité par rapport à l'air : $M = 29d$
- par ses pourcentages massiques : $M = \frac{1200x}{\%C} = \frac{100y}{\%H} = \frac{1600z}{\%O}$

5.2. Comment déterminer la formule brute d'un composé $C_xH_yO_z$?

- par sa masse molaire : $12x + y + 16z = M$
- par le bilan molaire de l'équation de sa combustion dans l'oxygène de l'air :
  Exemple : $C_xH_yO_z + (x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2})\,O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$

$$\frac{n(C_xH_yO_z)}{1} = \frac{n(O_2)}{x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}} = \frac{n(CO_2)}{x} = \frac{n(H_2O)}{\frac{y}{2}}$$

- par ses pourcentages massiques : $x = \frac{\%C \times M}{1200}$; $y = \frac{\%H \times M}{100}$; $z = \frac{\%O \times M}{1600}$

6. Tableau de classification périodique des éléments chimiques

Classification périodique des éléments

Nombre de masse de l'isotope le plus abondant : A → X ← Numéro atomique : Z

M : Masse molaire atomique (g/mol) du mélange isotopique naturel.

Couche	Période	I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII
K	1	$^{1}_{1}H$ hydrogène 1.01																	$^{4}_{2}He$ hélium 4.00
L	2	$^{7}_{3}Li$ lithium 6.94	$^{9}_{4}Be$ béryllium 9.01											$^{11}_{5}B$ bore 10.8	$^{12}_{6}C$ carbone 12.0	$^{14}_{7}N$ azote 14.0	$^{16}_{8}O$ oxygène 16.0	$^{19}_{9}F$ fluor 19.0	$^{20}_{10}Ne$ néon 20.2
M	3	$^{23}_{11}Na$ sodium 23.0	$^{24}_{12}Mg$ magnésium 24.3	Éléments de transition										$^{27}_{13}Al$ aluminium 27.0	$^{28}_{14}Si$ silicium 28.1	$^{31}_{15}P$ phosphore 31.0	$^{32}_{16}S$ soufre 32.1	$^{35}_{17}Cl$ chlore 35.5	$^{40}_{18}Ar$ argon 39.9
N	4	$^{39}_{19}K$ potassium 39.1	$^{40}_{20}Ca$ calcium 40.1	$^{45}_{21}Sc$ scandium 45.0	$^{48}_{22}Ti$ titane 47.9	$^{51}_{23}V$ vanadium 50.9	$^{52}_{24}Cr$ chrome 52.0	$^{55}_{25}Mn$ manganèse 54.9	$^{56}_{26}Fe$ fer 55.8	$^{59}_{27}Co$ cobalt 58.9	$^{58}_{28}Ni$ nickel 58.7	$^{63}_{29}Cu$ cuivre 63.5	$^{64}_{30}Zn$ zinc 65.4	$^{69}_{31}Ga$ gallium 69.7	$^{74}_{32}Ge$ germanium 72.6	$^{75}_{33}As$ arsenic 74.9	$^{80}_{34}Se$ sélénium 79.0	$^{79}_{35}Br$ brome 79.9	$^{84}_{36}Kr$ krypton 83.8
O	5	$^{85}_{37}Rb$ rubidium 85.5	$^{88}_{38}Sr$ strontium 87.6	$^{89}_{39}Y$ yttrium 88.9	$^{90}_{40}Zr$ zirconium 91.2	$^{93}_{41}Nb$ niobium 92.9	$^{98}_{42}Mo$ molybdène 95.9	$_{43}Tc$ technétium 99.0	$^{102}_{44}Ru$ ruthénium 101.1	$^{103}_{45}Rh$ rhodium 102.9	$^{106}_{46}Pd$ palladium 106.4	$^{107}_{47}Ag$ argent 107.9	$^{114}_{48}Cd$ cadmium 112.4	$^{115}_{49}In$ indium 114.8	$^{120}_{50}Sn$ étain 118.7	$^{121}_{51}Sb$ antimoine 121.8	$^{128}_{52}Te$ tellure 127.6	$^{127}_{53}I$ iode 126.9	$^{129}_{54}Xe$ xénon 131.3
P	6	$^{133}_{55}Cs$ césium 132.9	$^{138}_{56}Ba$ baryum 137.3	57 à 71 lanthanides	$^{180}_{72}Hf$ hafnium 178.5	$^{181}_{73}Ta$ tantale 180.9	$^{184}_{74}W$ tungstène 183.9	$^{186}_{75}Re$ rhénium 186.2	$^{192}_{76}Os$ osmium 190.2	$^{193}_{77}Ir$ iridium 192.2	$^{195}_{78}Pt$ platine 195.1	$^{197}_{79}Au$ or 197.0	$^{202}_{80}Hg$ mercure 200.6	$^{205}_{81}Tl$ thallium 204.4	$^{208}_{82}Pb$ plomb 207.2	$^{209}_{83}Bi$ bismuth 209.0	$^{210}_{84}Po$ polonium 210	$^{210}_{85}At$ astate 210	$^{222}_{86}Rn$ radon 222
Q	7	$^{223}_{87}Fr$ francium 223	$^{226}_{88}Ra$ radium 226.1	89 à 103 actinides	$_{104}Ku$ kurtchatovium 260	$_{105}Ha$ hahnium 260													

$^{139}_{57}La$ lanthane 138.9	$^{140}_{58}Ce$ cérium 140.1	$^{141}_{59}Pr$ praséodyme 140.9	$^{144}_{60}Nd$ néodyme 144.2	$_{61}Pm$ prométhium 145	$^{152}_{62}Sm$ samarium 150.4	$^{153}_{63}Eu$ europium 152.0	$^{158}_{64}Gd$ gadolinium 157.3	$^{159}_{65}Tb$ terbium 158.9	$^{164}_{66}Dy$ dysprosium 162.5	$^{165}_{67}Ho$ holmium 164.9	$^{166}_{68}Er$ erbium 167.3	$^{169}_{69}Tm$ thulium 168.9	$^{174}_{70}Yb$ ytterbium 173.0	$^{175}_{71}Lu$ lutécium 175.0
$^{227}_{89}Ac$ actinium 227	$^{232}_{90}Th$ thorium 232.0	$^{231}_{91}Pa$ protactinium 231	$^{238}_{92}U$ uranium 238.0	$^{237}_{93}Np$ neptunium 237	$^{239}_{94}Pu$ plutonium 242	$_{95}Am$ américium 243	$_{96}Cm$ curium 247	$_{97}Bk$ berkélium 249	$_{98}Cf$ californium 249	$_{99}Es$ einsteinium 254	$_{100}Fm$ fermium 255	$_{101}Md$ mendélévium 256	$_{102}No$ nobélium 253	$_{103}Lw$ lawrencium 257

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

1. Donne la différence entre la pyrolyse et la combustion.
2. Soient les formules brutes suivantes : C_4H_{10} ; CO ; NH_3 ; C_2H_5ON ; H_2O.
   Cite celles qui correspondent aux composés organiques.
3. Décris une expérience mettant en évidence la présence du carbone dans un composé organique.
4. Donne la formule générale d'un composé organique contenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote.

Exercice 2

La thréonine est un acide aminé constitué de 40,3% de carbone ; 7,6% d'hydrogène ; 40,3% d'oxygène et 11,82 d'azote. Sa masse molaire est M = 119 g/mol.

On donne en g/mol les masses molaires atomiques : C(12) ; H(1) ; O(16) ; N(14).

La formule brute de la thréonine est :

a) $C_4H_9O_3N$ b) $C_2H_8O_2N$ c) $C_3H_9O_3N_2$

Entoure la bonne réponse et justifie ta réponse.

Exercice 3

Le saccharose a pour formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$.

1- Calcule sa masse molaire

2- Détermine la composition centésimale massique.

3- Calcule la densité par rapport à l'air de sa vapeur.

Exercice 4

Au cours d'une séance de travaux Pratiques, votre professeur de Physique-Chimique vous demande de déterminer la formule brute d'un composé organique. Pour cela vous soumettez à l'analyse la substance organique de masse m = 0,2523 g ne contenant que du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. Vous obtenez 0,1846 g d'eau (H_2O) et 0,4470 g de dioxyde de carbone(CO_2). La densité de vapeur de cette substance est d = 2,56. On vous donne en g/mol les masses molaires atomiques : C(12) ; H(1) ; O(16).

Tu es le rapporteur. Réponds aux questionnaires suivants

1. Définis un composé organique
2. Calcule la masse molaire de cette substance.
3. Détermine la composition centésimale massique de cette substance.
4. Déduis-en sa formule brute.

Exercice 5

La combustion complète de 3,6 g d'un hydrocarbure A de formule C_xH_y donne 11 g de dioxyde de carbone et 5,4 g d'eau. On donne : M(C) = 12 g/mol ; M(H) = 1 g/mol.

1- Écris l'équation bilan de la combustion de A.

2- Calcule les quantités d'eau et de dioxyde de carbone formées.

3- La masse molaire de A est 72 g/mol. En déduis sa formule brute.

Exercice 6

La combustion complète de 10 cm^3 d'un composé gazeux A ne comportant que du carbone et de l'hydrogène, nécessite 65 cm^3 de dioxygène et produit 40 cm^3 de dioxyde de carbone et de l'eau. Le volume molaire dans les conditions de l'expérience est V_m = 25 L/mol.

Détermine la formule brute du composé A.

Exercice 7

Un élève veut déterminer la formule brute d'un composé A de formule C_xH_yO. Pour cela, il analyse 2 g de ce dernier et obtient 50% d'oxygène et 2750 mg de dioxyde de carbone.

1. Détermine la masse molaire M du composé A.
2. Détermine les pourcentages massiques de carbone et d'hydrogène contenus dans A.
3. Détermine les nombres x et y. En déduis la formule brute du composé A.

On donne la masse molaire des éléments en $g.mol^{-1}$: C : 12 ; H : 1 ; O : 16.

Exercice 8

On donne la masse molaire des éléments en $g.mol^{-1}$: C : 12 ; H : 1 ; O : 16.

L'acide méthanoïque, appelé aussi acide formique car il se trouve dans le venin des fourmis, est composé de 26,1% de carbone, 4,3% d'hydrogène et 69,6% d'oxygène en masse.

1- Justifie que l'acide étudié contient uniquement du carbone, de l'hydrogène et d'oxygène.

2- Détermine la formule brute de cette molécule sachant qu'elle contient 1 atome de carbone.

Exercice 9

Au cours d'une séance de TD, un professeur de physique-Chimie au lycée départemental d'Abengourou demande à un groupe d'élèves de déterminer la formule brute d'un composé organique appelé la saccharine, Pour cela, il met à leur disposition les informations suivantes

Pourcentage en masse : %H = 2,7 ; %O = 26,2 ; %N = 7,7 ; %S = 17,5.

Un 5e élément chimique a été omis. On donne en g/mol : C(12) ; H(1) ; O(16) ; N(14) ; S(32).

1. Détermine le nom et la proportion centésimale de l'élément omis.
2. Sachant que la molécule comporte un seul atome de soufre, détermine la masse molaire de la saccharine et en déduis sa formule brute.

Exercice 10

Après un cours de Chimie sur les alcanes, tu es proposé en classe pour corriger l'exercice suivant : une substance renfermant 44,4% de carbone, possède entre autre, les éléments hydrogène et azote. On traite 0,25 g de la substance de façon à en libérer sous forme de diazote qui occupe 104 cm^3 mesuré dans les conditions normales. On te donne V_m = 22,4 L/mol

1. Détermine la quantité de matière (en mol) de diazote libéré.
2. Sachant qu'elle ne renferme qu'un seul atome d'azote,
   2.1. Calcule la masse de diazote et en déduis celle de l'azote contenue dans la substance.
   2.2. Calcule le pourcentage massique d'azote et en déduis la masse molaire de la substance
3. De tout ce qui précède, déduis la formule brute de la substance.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

La combustion complète de 0,825 g d'une substance organique dans le dioxygène donne 2,76 g de dioxyde de carbone et 0,645 g d'eau. Sa masse molaire moléculaire est M = 92 g/mol. On te donne : M(C) = 12 g/mol ; M(H) = 1 g/mol.

1) La masse de carbone contenu dans ce composé est :
   a) 0, 653 g b) 0,753 g b) 0,560 g
2) La masse d'hydrogène contenu dans ce composé est :
   a) 0,050 g b) 0,0650 g c) 0,072 g
3) Le pourcentage massique du carbone est :
   a) 81,3% b) 91,3% c) 75,3%
4) Le pourcentage massique de l'hydrogène est :
   a) 8,7% b) 18,7% c) 24,7%
5) La formule brute du composé est :
   a) C_7H_6 b) C_7H_9 c) C_7H_8

Exercice 2

La caféine est un stimulant que l'on retrouve dans le café, le thé et le chocolat. Elle contient, en masse, 49,48% de carbone, 5,15% d'hydrogène, 28,87% d'azote et 16,49% d'oxygène. La masse molaire de la caféine est égale a 194,2 g/mol.

Détermine la formule brute de la caféine.

Exercice 3

On veut déterminer la formule brute de la vitamine A de masse molaire 286,4 g/mol et de formule générale C_xH_yE, où E est un élément chimique inconnu. Elle contient en masse 83% de C et 10,56% de H.

1. Détermine les nombres entiers x et y.
2. Détermine la masse molaire de E.
3. En t'aidant du tableau de classification périodique des éléments, détermine l'élément chimique E.
4. En déduis la formule brute de A.

Exercice 4

Un corps pur A, a pour formule brute $CH_xC\ell_y$.

L'analyse de 500 mg d'un échantillon de A montre qu'il contient 70,5 mg de carbone.

1. Calcule le pourcentage en masse de carbone de A.
2. Détermine la masse molaire de A.
3. Détermine la formule brute du composé A ?

Exercice 5

Au cours d'une séance de travaux Pratiques, votre professeur de Physique-Chimique vous demande de déterminer la formule brute d'un composé organique sous la forme C_xH_YO. Pour cela on soumet à l'analyse la substance organique de masse m = 10 g ne contenant que du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. On obtient 11,7 g d'eau (H_2O) et 19,1 g de dioxyde de carbone(CO_2). La densité de vapeur de cette substance est d = 2,56.

On donne en g/mol les masses molaires atomiques : C(12) ; H(1) ; O(16).

1. Calcule la masse de carbone et d'hydrogène contenue dans le composé A.
2. Déduis le pourcentage en masse de carbone, d'hydrogène et d'oxygène de A.
3. Calcule la masse molaire moléculaire M de A.
4. Détermine les valeurs de X et Y ; puis déduis la formule brute de A.

Exercice 6

L'acétate d'isoamyle de formule brute $C_7H_{14}O_2$ est un aromatisant alimentaire au goût de banane. Données : M_C : 12 g/mol, M_H = 1 g/mol et M_O = 16 g/mol.

1) Détermine la masse molaire moléculaire de ce composé.
2) Détermine la composition centésimale massique (ou pourcentage massique de chaque élément) de ce composé.

Exercice 7

La combustion de 6,51 mg d'un composé organique oxygéné fournit 15,4 mg de dioxyde de carbone et 7,90 mg d'eau. A 200°C et sous une pression de 1,00 bar, une masse de 0,285 grammes de ce composé gazeux occupe un volume de 150 mL.

1. Calcule la masse molaire de ce composé organique.
2. Détermine la formule brute de la molécule.

Exercice 8

Sur un flacon de médicament, il est marqué « aspirine 500 ».

Des élèves d'une classe de 1ère D désirent savoir la signification de cette appellation. Le professeur de physique-chimie de la classe leur fournit les informations suivantes :

- La molécule d'aspirine contient uniquement du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène.
- Sa densité de vapeur est d = 6,21
- Il contient en masse 60% de carbone ; 4% d'hydrogène et 36% d'oxygène.
- La combustion complète d'un comprimé « d'aspirine 500 » produit 0,2 g d'eau et un dégagement de dioxyde de carbone.

Tu fais partir de ces élèves. Réponds aux questionnaires suivants.

1. Calcule la masse molaire de l'aspirine
2. Détermine sa formule brute.
3. Ecris l'équation bilan de la combustion complète de l'aspirine
4. Calcule masse d'un comprimé d'aspirine.
5. Justifie l'appellation « aspirine 500 ».

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

1. **Je donne la différence entre la pyrolyse et la combustion.**

   La différence est que la pyrolyse est réalisée en l'absence d'oxygène alors que la combustion, elle, est se fait en présence d'oxygène.

2. **Je cite les formules brutes qui correspondent aux composés organiques.**

   Ce sont : C_4H_{10} ; CO ; C_2H_5ON

3. **Je décris une expérience mettant en évidence la présence du carbone dans un composé.**

   La pyrolyse du sucre donne un résidu solide noir qui est le carbone. On montre ainsi que le sucre contient du carbone

4. **Je donne la formule générale d'un composé organique contenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote :** C_2H_5ON.

Exercice 2

J'entoure la bonne réponse.

La formule brute de la thréonine est :

$\boxed{\text{a) } C_4H_9O_3N}$ b) $C_3H_8O_2N$ c) $C_3H_9O_3N_2$

Justification de ma réponse

$$x = \frac{\%C \times M}{1200} = \frac{40,3 \times 119}{1200} \approx 4\ ; \qquad y = \frac{\%H \times M}{100} = \frac{7,6 \times 119}{100} \approx 9$$

$$z = \frac{\%O \times M}{1600} = \frac{40,3 \times 119}{1600} \approx 3\ ; \qquad z = \frac{\%N \times M}{1400} = \frac{11,82 \times 119}{1400} \approx 1$$

Donc la formule moléculaire brute de ce composé est : $C_4H_9O_3N$.

Exercice 3

1- **Calcul de sa masse molaire**

$M = 12 \times M(C) + 22 \times M(H) + 11 \times M(O) = 12 \times 12 + 22 \times 1 + 11 \times 16 = 342$ g/mol.

2- **Détermination de la composition centésimale massique.**

$$\%C = \frac{1200x}{M} = \frac{1200 \times 12}{342} = 42,11\%$$

$$\%H = \frac{100y}{M} = \frac{100 \times 22}{342} = 6,43\%$$

$$\%O = \frac{1600z}{M} = \frac{1600 \times 11}{342} = 51,46\%$$

ou bien : $\%O = 100 - (\%C + \%H) = 100 - (42,11 + 6,43) = 51,46\%$

3- **Calcul de la densité par rapport à l'air de sa vapeur.**

$$d = \frac{M}{29} = \frac{342}{29} \approx 11,8\%$$

Exercice 4

1. Définition d'un composé organique

Un composé organique est un composé dont l'un des éléments chimiques constitutifs est le carbone.

2. Calcul de la masse molaire de cette substance.

$d = \frac{M}{29} \Rightarrow M = 29d = 29 \times 2{,}56 = \underline{74{,}24\ g/mol}$

3. Détermination de la composition centésimale massique de cette substance.

- masse et pourcentage massique de carbone :

il y a 12 g de C dans 44 g de CO_2 donc dans $m(CO_2)$ il y aura m(C) avec :

$m(C) = \frac{12 \times m(CO_2)}{44} = \frac{3 \times 0{,}4470}{11} = 0{,}1219\ g$

$\Rightarrow \%C = \frac{m(C)}{m} \times 100 = \frac{0{,}1219}{0{,}2523} \times 100 = 48{,}32\%$

- masse et pourcentage massique d'hydrogène :

il y a 2 g de H dans 18 g de H_2O donc dans $m(H_2O)$ il y aura m(H) où :

$m(H) = \frac{2 \times m(H_2O)}{18} = \frac{0{,}1846}{9} = 0{,}0205\ g$

$\%H = \frac{m(H)}{m} \times 100 = \frac{0{,}0205}{0{,}2523} \times 100 = 8{,}13\%$

- pourcentage massique d'oxygène : %O = 100 – (48,32 + 8,13) = 43,55%

4. Déduction de sa formule brute.

$\%C = \frac{12x}{M} \times 100 \Rightarrow x = \frac{\%C \times M}{1200} = \frac{48{,}32 \times 74{,}008}{1200} = 2{,}98 \approx 3$

$\%H = \frac{y}{M} \times 100 \Rightarrow y = \frac{\%H \times M}{100} = \frac{8{,}13 \times 74{,}008}{100} = 6{,}0168504 \approx 6$

$\%O = \frac{16z}{M} \times 100 \Rightarrow z = \frac{\%O \times M}{1600} = \frac{43{,}55 \times 74{,}008}{1600} = 2{,}01440525 \approx 2$

Donc la formule brute de ce composé est : $C_3H_6O_2$.

Exercice 5

1- L'équation bilan de la combustion.

$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right)O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$$

2- Les quantités d'eau et de dioxyde de carbone formées.

$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{5{,}4}{1 \times 2 + 16} = 0{,}3\ mol$

$n_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} = \frac{11}{12 + 16 \times 2} = 0{,}25\ mol$

3- La masse molaire de A est 72 g/mol. Déduisons sa formule brute.

- D'après le bilan molaire de la réaction, on a : $\frac{n_A}{1} = \frac{n_{O_2}}{x+\frac{y}{4}} = \frac{n_{CO_2}}{x} = \frac{n_{H_2O}}{\frac{y}{2}}$

- Quantité de matière de l'hydrocarbure A : $n_A = \frac{m_A}{M_A} = \frac{3,6}{72} = 0,05\ \text{mol}$

- Déterminons les nombres entiers x et y :

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{CO_2}}{x} \Rightarrow xn_A = n_{CO_2} \Rightarrow x = \frac{n_{CO_2}}{n_A} = \frac{0,25}{0,05} = 5$$

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{H_2O}}{\frac{y}{2}} \Rightarrow \frac{y}{2}n_A = n_{H_2O} \Rightarrow y = \frac{2n_{H_2O}}{n_A} = \frac{2\times 0,3}{0,05} = 12$$

Donc la formule brute du composé A est : $\mathbf{C_5H_{12}}$.

Exercice 6

Déterminons la formule brute du composé A.

Soit C_xH_y la formule générale brute du composé A.

- L'équation bilan de la combustion : $C_xH_y + \left(x+\frac{y}{4}\right)O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$

- Les quantités de matière de A, de dioxygène et de dioxyde de carbone

$$n_A = \frac{V_A}{V_m} = \frac{10}{25} = 0,4\ \text{mol}$$

$$n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_m} = \frac{65}{25} = 2,6\ \text{mol}$$

$$n_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_m} = \frac{40}{25} = 1,6\ \text{mol}$$

- D'après le bilan molaire de la réaction, on a : $\frac{n_A}{1} = \frac{n_{O_2}}{x+\frac{y}{4}} = \frac{n_{CO_2}}{x} = \frac{n_{H_2O}}{\frac{y}{2}}$

- Déterminons les nombres entiers x et y :

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{CO_2}}{x} \Rightarrow xn_A = n_{CO_2} \Rightarrow x = \frac{n_{CO_2}}{n_A} = \frac{1,6}{0,4} = 4$$

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{O_2}}{x+\frac{y}{4}} \Rightarrow \left(x+\frac{y}{4}\right)n_A = n_{O_2} \Rightarrow x+\frac{y}{4} = \frac{n_{O_2}}{n_A} = \frac{2,6}{0,4} = 6,5 \Rightarrow x+\frac{y}{4} = 6,5$$

$$\Rightarrow \frac{y}{4} = 6,5 - x \Rightarrow \frac{y}{4} = 6,5 - 4 = 2,5 \Rightarrow y = 4\times 2,5 = 10$$

Donc la formule brute du composé A est : $\mathbf{C_4H_{10}}$.

Exercice 7

1. Déterminons la masse molaire M du composé A.

$$\%O = \frac{16\times1}{M_A}\times100 \qquad M_A = \frac{1600}{\%O} = \frac{1600}{50} = 32\ g/mol$$

2. Les pourcentages massiques de carbone et d'hydrogène contenus dans A.

- masse et pourcentage massique de carbone :

  il y a 12 g de C dans 44 g de CO_2 donc dans $m(CO_2)$ il y aura m(C) avec :

$$m(C) = \frac{12\times m(CO_2)}{44} = \frac{3\times2{,}75}{11} = 0{,}75\ g$$

$$\Rightarrow \%C = \frac{m(C)}{m}\times100 = \frac{0{,}75}{2}\times100 = 37{,}5\%$$

- pourcentage massique d'hydrogène :

$$\%H = 100-(\%C+\%O) = 100-(37{,}5+50) = 12{,}5\%$$

3. Déterminons les nombres x et y, puis déduisons la formule brute du composé A.

$$\%C = \frac{12x}{M}\times100 \Rightarrow x = \frac{\%C\times M}{1200} = \frac{37{,}5\times32}{1200} = 1$$

$$\%H = \frac{y}{M}\times100 \Rightarrow y = \frac{\%H\times M}{100} = \frac{12{,}5\times32}{100} = 4$$

Donc la formule brute de ce composé est : CH_4O.

Exercice 8

1- Je justifie que le composé contient uniquement du carbone, de l'hydrogène et d'oxygène.

$$\%C+\%H+\%O = 26{,}1+4{,}3+69{,}6 = 100\%$$

2- Détermination de la formule brute de cette molécule

✓ La masse molaire M du composé

La molécule contient 1 atome de carbone donc on a :

$$\%C = \frac{12\times1}{M}\times100 \Rightarrow M = \frac{1200}{\%C} = \frac{1200}{26{,}1} = 45{,}977\ g/mol \simeq 46\ g/mol$$

✓ La formule brute de ce composé.

Soit CH_xO_y la formule générale brute du composé A.

$$\%H = \frac{12x}{M}\times100 \Rightarrow x = \frac{\%H\times M}{100} = \frac{4{,}3\times46}{100} = 1{,}978 \simeq 2$$

$$\%O = \frac{y}{M}\times100 \Rightarrow y = \frac{\%O\times M}{1600} = \frac{69{,}6\times46}{1600} = 2{,}001 \simeq 2$$

Donc la formule brute de ce composé est : CH_2O_2.

Exercice 9

1. **Je détermine le nom et la proportion centésimale de l'élément omis.**

   L'élément omis est le carbone (C) car un composé organique au moins l'élément carbone.

   %C = 100 – (%H + %O + %N + %S) = 100 – (2,7 + 26,2 + 7,7 + 17,5) = 45,9%

2. **Je détermine la masse molaire de la saccharine et j'en déduis sa formule brute.**

   ✓ Masse molaire de la saccharine

   La molécule comporte un seul atome de soufre donc on a :

   $$\%S = \frac{3200\times1}{M} \Rightarrow M = \frac{3200}{\%S} = \frac{3200}{17,5} = 182,86 \text{ g/mol}$$

   ✓ Formule brute : soit $C_xH_yO_zN_tS$ cette formule brute

   - $x = \frac{\%C\times M}{1200} = \frac{45,9\times182,86}{1200} \approx 7$
   - $y = \frac{\%H\times M}{100} = \frac{2,7\times182,86}{100} \approx 5$
   - $z = \frac{\%O\times M}{1600} = \frac{26,2\times182,86}{1600} \approx 3$
   - $t = \frac{\%N\times M}{1400} = \frac{7,7\times182,86}{1400} \approx 1$

   Donc la formule brute de la saccharine est : $C_7H_5O_3NS$

Exercice 10

1. **Détermination de la quantité de matière (en mol) de diazote libéré.**

   $$n(N_2) = \frac{V(N_2)}{V_m} = \frac{104.10^{-3}}{22,4} = 4,64.10^{-3} \text{ mol}$$

2.

   2.1. Masse de diazote et d'azote

   $m(N_2) = n(N_2)\times m(N_2) = 4,64.10^{-3}\times28 = 0,13$ g

   Dans 28 g de N_2 il y a 14 g de N donc $m(N) = \frac{28\times m(N_2)}{14} = \frac{0,13}{2} = 0,065$ g

   2.2. Pourcentage d'azote et masse molaire de la substance

   $$\%N = \frac{m(N)}{m}\times100 = \frac{0,065}{0,25}\times100 = 26\%$$

   La substance ne renferme qu'un seul atome d'azote donc on a :

   $$\%N = \frac{1400\times1}{M} \Rightarrow M = \frac{1400}{\%N} = \frac{1400}{26} = 53,85 \text{ g/mol}$$

3. **Déduction de la formule brute de la substance.**

   Soit C_xH_yN, la formule brute de la substance

   $$x = \frac{\%C\times M}{1200} = \frac{44,4\times53,85}{1200} \approx 2$$

   $\%H = 100 - (\%C + \%N) = 100 - (44,4 + 26) = 29,6\% \Rightarrow y = \frac{\%H\times M}{100} = \frac{29,6\times53,85}{100} \approx 16$

   La formule brute de la substance est donc : $C_2H_{16}N$.

Leçon 2 : LES ALCANES

Donald James Cram
(1919-2001)
Chimiste Américain

Il proposa la représentation en perspective des liaisons chimiques qui porte son nom : représentation de Cram. C'est une représentation de la molécule dans l'espace. Elle s'emploie à chaque fois que la stéréochimie des composés organiques ou inorganiques doit être précisée. C'est le cas les composés chiraux qui possèdent des carbones asymétriques, des jonctions de cycles, des isomères cis/trans par rapport à des cycles, etc. Il obtint le prix Nobel de Chimie en 1987.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	un alcane.
Connaître	• la structure des alcanes. • la formule générale : - des alcanes non cycliques ; - des alcanes cycliques.
Connaître	l'isomérie de chaîne.
Ecrire	les formules développées et semi-développées de quelques alcanes.
Nommer	• un alcane à chaîne carbonée linéaire. • un alcane à chaîne carbonée ramifiée. • un alcane à chaîne carbonée cyclique. • un dérivé substitué.
Interpréter	quelques réactions chimiques des alcanes : - combustion complète; - combustion incomplète - substitution.
Ecrire	• l'équation-bilan de la combustion complète et incomplète d'un alcane. • l'équation-bilan d'une réaction de substitution.
Exploiter	l'équation-bilan : - de la combustion complète ou incomplète d'un alcane. - d'une réaction de substitution sur un alcane.
Connaître	• l'intérêt des alcanes : combustibles, carburants. • l'intérêt des dérivés substitués. • les dangers liés à l'utilisation des alcanes et de leurs dérivés

RAPPEL DE COURS

1. Définition

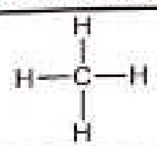
Ceux sont les hydrocarbures saturés (toutes les liaisons sont simples) de formule générale C_nH_{2n+2}.

2. Structure

2.1. Liaison covalente

La liaison covalente entre deux atomes consiste en la mise en commun, par ces atomes, d'une ou plusieurs paires d'électrons appelés doublets liants. On forme ainsi une molécule.

Exemple : formation de la molécule de CH_4

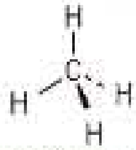
Nom de la molécule	Formule	Représentation de Lewis des atomes de la molécule	Représentation de Lewis de la molécule
méthane	CH_4	C (Z = 6) K^2L^4 : •Ċ• H (Z = 1) K^1 : H•	

2.2. Structure de l'atome de carbone

Dans une molécule d'alcane, l'atome de carbone est lié à quatre éléments chimiques : on dit alors qu'il est **tétragonal**.

Le carbone tétragonal à une structure **tétraédrique**.

Carbone tétragonal représentation spatiale selon Cram



Représentation spaciale de la molécule de méthane

2.3. Structure des chaînes carbonées

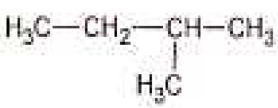
2.3.1. Chaîne linéaire

Dans cette chaine, chaque atome de carbone est lié à deux autres atomes de carbone sauf s'il est en bout de chaîne.

Exemple : $H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$

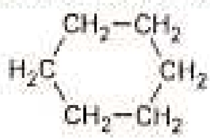
2.3.2. Chaîne ramifiée

Dans cette chaine, un atome de carbone est au moins lié à trois autres atomes de carbone.

Exemple : 

2.3.3. Chaîne cyclique

Ici, la chaine carbonée est fermée.

Exemple: 

3. Formule

3.1. Formule brute

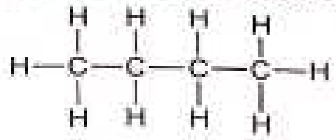
Cette formule ne met en évidence aucune liaison de la molécule.

Exemple : C_4H_{10}

3.2. Formule développée

Cette formule met en évidence toutes les liaisons de la molécule.

Exemple :



3.3. Formule semi-développée

Cette formule ne met en évidence que les liaisons carbone-carbone de la molécule.

Exemple : $H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$

4. Nomenclature

4.1. 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_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}
Nom	méthane	éthane	propane	n-butane	n-pentane

Nbre d'atome de carbone	6	7	8	9	10
Formule brute	C_6H_{14}	C_7H_{16}	C_8H_{18}	C_9H_{20}	$C_{10}H_{22}$
Nom	n-hexane	n-heptane	n-octane	n-nonane	n-décane

4.2. 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
	$-\underset{\underset{CH_3}{\vert}}{CH}-CH_3$	1-méthyléthyle ou méthyléthyle ou isopropyle
4	$-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	butyle
	$-\underset{\underset{CH_3}{\vert}}{CH}-CH_2-CH_3$	1-méthylpropyle
	$-CH_2-\underset{\underset{CH_3}{\vert}}{CH}-CH_3$	2-méthylpropyle
	$-\overset{\overset{CH_3}{\vert}}{\underset{\underset{CH_3}{\vert}}{C}}-CH_3$	1,1-diméthyléthyle ou diméthyléthyle

4.3. Alcane à chaîne ramifiée

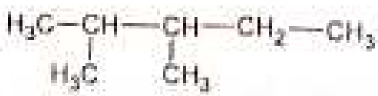
Son nom est constitué des noms des groupes alkyles (privés de la voyelle e) précédés de leur indice de position et suivis du nom de l'alcane linéaire de même chaîne principale.

Le principe est le suivant :

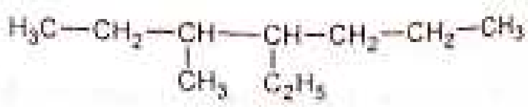
- chercher la chaîne carbonée la plus longue, appelée chaîne principale : le nombre d'atome de cette chaîne détermine le nom de l'alcane ;
- déterminer la position des groupes alkyles en numérotant les atomes de carbone de la chaîne principale. Cette numérotation se fait dans n'importe quel sens de telle 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

4.4. Alcane cyclique

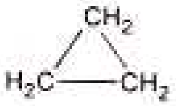
On les appelle **cyclane** ou **cycloalcane** de formule générale C_nH_{2n}.

Ce ne sont donc pas des alcanes mais ils ont des propriétés voisines de ceux-ci.

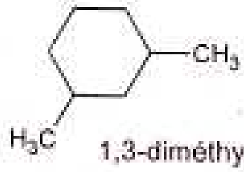
Pour nommer un cyclane, on utilise le nom de l'alcane possédant le même nombre d'atome de carbone précédé du préfixe cyclo-

Pour les cyclanes à chaîne ramifiées, on utilise les règles appliquées aux alcanes ramifiées.

Exemples :

 ou 

cyclopropane



1,3-diméthylcyclohexane

5. Isomérie

Deux composés sont dits isomères lorsqu'ils ont la même formule brute mais des formules développées ou semi-développées différentes.

Exemple :

$$H_3C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$$

2-méthylbutane

$$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$$

n-pentane

6. Propriétés chimiques

6.1. Combustion complète d'un alcane : exemple du butane

- La combustion complète du gaz butane de laboratoire donne :
  - une flamme bleue (présence d'un excès d'oxygène donc combustion complète) ;
  - un dépôt de buée sur les parois du verre (formation de molécules d'eau) ;
  - un dégagement gazeux qui trouble l'eau de chaux (formation du dioxyde de carbone) ;
- L'équation-bilan de la combustion réalisée est :

$$C_4H_{10} + \frac{13}{2}O_2 \longrightarrow 5CO_2 + 4H_2O$$

- L'équation-bilan générale de la combustion complète d'un alcane.

$$C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2}O_2 \longrightarrow nCO_2 + (n+1)H_2O$$

Bilan molaire : $\dfrac{n_{C_nH_{2n+2}}}{1} = \dfrac{n_{O_2}}{\dfrac{3n+1}{2}} = \dfrac{n_{CO_2}}{n} = \dfrac{n_{H_2O}}{n+1}$

6.2. Combustion incomplète du butane

- S'il n'y a pas assez de dioxygène pour brûler tout le butane, il se produit une combustion incomplète. En plus des produits indiqués, il apparaît alors :
  - ➢ un composé solide noir : du carbone ;
  - ➢ un composé gazeux incolore, inodore et surtout très toxique : du monoxyde de carbone.
- La réaction devient alors :

Butane + dioxygène → dioxyde de carbone + eau + carbone + monoxyde de carbone.

6.3. Chloration : exemple du méthane

- Au cours de cette réaction chimique, les atomes de chlore ont successivement remplacé les atomes d'hydrogène pour formé successivement quatre produits :
  - ➢ le gaz monochlorométhane (CH_3Cl) ;
  - ➢ le liquide dichlorométhane (CH_2Cl_2) ;
  - ➢ le liquide trichlorométhane ($CHCl_3$) ;
  - ➢ le liquide tétrachlorométhane (CCl_4).
- Les équations-bilans des réactions qui ont eu lieu sont :

$$CH_4 + Cl{-}Cl \longrightarrow CH_3Cl + HCl$$

$$CH_3Cl + Cl{-}Cl \longrightarrow CH_2Cl_2 + HCl$$

$$CH_2Cl_2 + Cl{-}Cl \longrightarrow CHCl_3 + HCl$$

$$CHCl_3 + Cl{-}Cl \longrightarrow CCl_4 + HCl$$

- De telles réactions sont appelées **réactions de substitutions**.

6.4. Intérêts des alcanes et leurs dérivés substitués

- Les alcanes gazeux tels que le butane sont utilisés comme combustibles domestiques.
- D'autres sont utilisés comme comburants (essence, gasoil, kérosène etc.)

6.5. Dangers liés à l'utilisation des alcanes et leurs dérivés

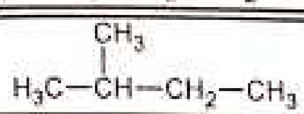
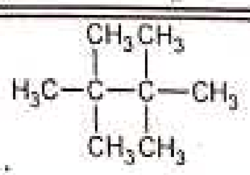
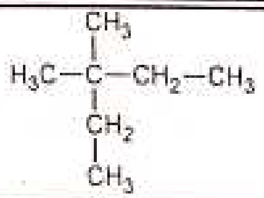
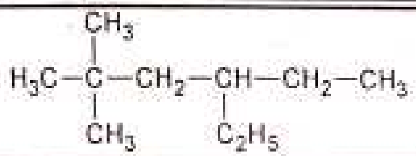
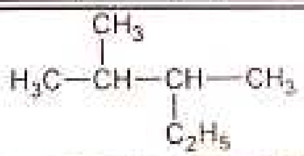
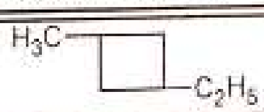
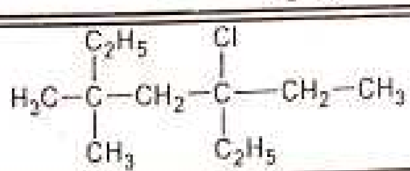
Les risques professionnels présentés par les alcanes et leurs dérivés, utilisés de façon massive dans tous les secteurs, sont de deux ordres :

- le risque pour les gaz et les liquides volatils d'asphyxie et d'incendie ou d'explosion, car la plupart des hydrocarbures sont inflammables,
- la toxicité (par inhalation, ingestion, contact cutané), qui est variable selon les produits, parfois élevée, avec risque cancérogène pour certains d'entre eux.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Complète le tableau ci-dessous en nommant les composés suivants :

Composé	Nom
$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	
	
	
	
	
	
$CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$	
	
	

Exercice 2

Écris les formules semi-développées des composés suivants :

a) 2,3-diméthylbutane

b) 2,2,3-triméthylpentane.

c) 3-éthyl-2-méthylhexane

d) 4-éthyl-2,5-méthylheptane

e) 1,2-dibromocyclohexane.

f) 1,2,2-trichloro-3-méthylheptane.

Exercice 3

Un alcane A de masse molaire M = 44 g/mol est traité par le dichlore. A donne des dérivés monochlorés. On te donne les masses molaires en $g.mol^{-1}$: M(C) = 12 ; M(H) = 1.

1. Détermine la formule brute de l'alcane.
2. En déduis sa formule semi-développée possible.
3. Ecris les formules semi-développées et noms des dérivés monochlorés obtenus.

Exercice 4

Un hydrocarbure appartient à une famille dont la formule brute générale est C_nH_{2n+2}.

Sa masse molaire est M = 58 g/mol. Données : M_C = 12 g/mol ; M_H = 1 g/mol.

1) Donne le nom de cette famille.
2) Calcule, en fonction de n, la masse molaire de cet hydrocarbure et en déduis le nombre n d'atomes de carbone.
3) Écris sa formule brute.
4) Donne les formules semi-développées de ses deux isomères et précise le nom de chacun.

Exercice 5

Equilibre les équations bilan suivantes :

a) ....C_3H_8 + ...O_2 $\longrightarrow$ ....CO_2 + ...H_2O

b) ....C_5H_{12} + ...O_2 $\longrightarrow$ ....CO_2 + ...H_2O

c) ....C_2H_2 + ...O_2 $\longrightarrow$ ....CO_2 + ...H_2O

d) ....CH_4 + ...O_2 $\longrightarrow$ ....CO_2 + ...H_2O

e) ....C_2H_6 + ...O_2 $\longrightarrow$ ....CO_2 + ...H_2O

Exercice 6

Un hydrocarbure a pour formule brute C_7H_{16}.

1) Indique le nom de sa famille. Justifie ta réponse.
2) Donne son nom
3) Calcule sa masse molaire moléculaire.
4) Écris et équilibre l'équation-bilan de sa combustion complète.
5) Calcule la masse de dioxygène nécessaire pour réagir avec 1 mole de cet hydrocarbure.

Données : M_C = 12 g/mol ; M_O = 16 g/mol ; M_H = 1 g/mol.

Exercice 7

Le dibrome (Br_2) réagit sur un alcane linéaire A de masse molaire 58 g/mol.

On obtient le corps pur B de masse molaire 216 g/mol.

1. Ecris l'équation-bilan de la réaction avec les formules générales des composés.
2. Trouve les formules brutes des composés A et B.
3. Ecris les différentes formules semi-développées possibles pour B.

On donne les masses molaires en g/mol : C : 12 ; H : 1 ; Br : 80.

Exercice 8

La combustion complète de 10 cm^3 d'un mélange de méthane et de butane fournit 20 cm^3 de dioxyde de carbone. On considère que les volumes sont mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression.

1. Écris les équations-bilans des deux combustions.
2. Calcule le volume de chacun des alcanes du mélange.
3. En déduis le volume d'air nécessaire à la combustion.

Exercice 9

Après un cours de Chimie sur les alcanes, tu es proposé en classe pour corriger l'exercice suivant : la combustion complète d'un alcane A donne 11 g de dioxyde de carbone et 5,4 g d'eau. On te donne les masses molaires en $g.mol^{-1}$: M(C) = 12 ; M(H) = 1 ; M(O) = 16.

1. Donne la formule générale des alcanes.
2. Ecris l'équation-bilan de sa combustion complète .
3. Calcule les quantités de matière de l'eau et de dioxyde de carbone.
4. En déduis que la formule brute de l'alcane A est C_5H_{12}.
5. Ecris les formules semi-développées de tous les isomères et nomme-les.
6. Un des isomères donne un seul dérivé lors de la réaction de monobromation.
   6.1. Donne la formule semi-développée de cet isomère.
   6.2. Ecris l'équation-bilan de cette réaction avec les formules brutes.
   6.3. Donne la formule semi-développée du dérivé et nomme-le.

Exercice 10

Un groupe d'élèves de première scientifique désire déterminer la formule semi-développée d'un hydrocarbure A non cyclique à partir des informations ci-dessous.

- La combustion complète de 4,3 g de l'hydrocarbure A donne 13,2 g de dioxyde de carbone et 6,3 g d'eau. On te donne (g/mol) : C : 12 ; H : 1.
- La densité de vapeur A vaut d = 2,966.
- A est ramifié et sa monochloration ne donne que trois produits.

Tu fais partir de ce groupe. Réponds aux questionnaires suivants :

1.
   1.1. Donne la formule générale d'un hydrocarbure.
   1.2. Ecris l'équation-bilan de sa combustion complète.
   1.3. Calcule les quantités de matière de dioxyde de carbone et d'eau.
2. Détermine la formule brute de A et donne le nom de sa famille.
3. Écris et nomme les formules semi-développées possibles de A.
4.
   4.1. Détermine l'isomère correspondant aux caractéristiques spécifiées.
   4.2. Donne les noms et formules semi-développées des produits issus de la monochloration.

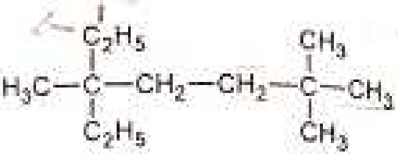
EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

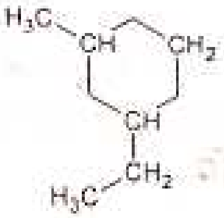
Exercice 1

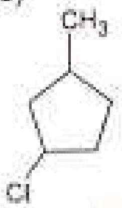
1) Nomme les composés suivants :

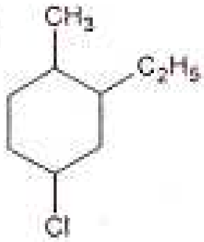
a) 

b) 

c) 

d) 

e) 

f) 

2) Ecris les formules semi-développées des alcanes dont les noms suivent :

   a) 2-méthylbutane b) 2,4-diméthylpentane c) 3,4-diéthylhexane

   d) 2,3,6-triméthyloctane e) 3-éthyl-2,3-diméthyloctane f) 2,3,4-triméthylhexane

   g) 3-éthyl-2-méthylpentane ; h) 1-chloro-2-méthylpropane ;

   i) 1,2-dichloro-2-méthylpropane ; j) 2-chloro-4-éthylheptane ;

   k) 3-bromo-2-méthylpentane ; l) 1-bromo-4-propyloctane

Exercice 2

1) Un alcane gazeux a une densité égale à 1,034.

   1.1. Détermine sa formule brute.

   1.2. Donne sa formule semi-développée et son nom.

2) On fait réagir du dichlore sur cet alcane.

   On obtient un produit contenant 55,04% en masse de chlore.

   2.1. Détermine la formule brute de ce produit.

   2.2. Nomme ce composé.

   2.3. Écris l'équation-bilan de la réaction qui a lieu.

Exercice 3

Des élèves de 1ère D procèdent à la microanalyse d'un corps A qui est un produit de substitution monochlorée d'un alcane. Les pourcentages en masse trouvés pour les éléments C et Cl présents dans A sont : %C = 45,86 ; %Cl = 45,21. Ils veulent l'identifier. Aide-les.

1) Détermine la formule C_xH_yCl.

2) Détermine la formule semi-développée de A sachant que sa molécule possède deux groupes méthyles.

3) Donne son nom.

Exercice 4

La combustion complète d'un volume V d'alcane nécessite cinq volumes (5 V) de dioxygène, les deux volumes étant mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression.

1. Détermine la formule brute, la formule semi-développée et le nom de cet alcane.
2. Détermine les produits obtientenus par monochloration de celui-ci.

Exercice 5

1. La combustion totale de 5 cm³ d'un alcane gazeux A nécessite 40 cm³ de dioxygène.
   1.1. Détermine la formule brute de A.
   1.2. Donne ses formules semi développées possibles et leurs noms.
2. La chloration de A donne un composé organique B dont la proportion en masse de chlore est 50,35%.
   2.1. Détermine la formule brute de B.
   2.2. Sachant qu'il n'existe que deux isomères possibles de B, donne leurs formules semi-développées ainsi que leurs noms.
   2.3. En déduis la formule semi-développée précise de A.
   On donne Masse molaire (en g/mol) : H = 1 ; C = 12 ; O = 16 ; Cl = 35,5.

Exercice 6

Au cours d'une séance de TP un groupe d'élèves veut identifier un alcane A. Pour cela il brule complétement une masse m_1 de A, puis il recueille une masse m_2 = 13,2 g de dioxyde de carbone et une masse m_3 = 6,30 g d'eau. Etant élève de 1ère, tu es sollicité pour aider le groupe

1) Ecris l'équation bilan de la combustion complète d'un alcane ayant n atomes de carbone.
2) Détermine les quantités de matière de dioxyde de carbone et d'eau obtenues.
3) Déduis la valeur de n et la formule brute de A.
4) Ecris les formules semi-développées de tous les isomères de A.
5) Identifie A sachant que sa chaîne carbonée est linéaire.

Exercice 7

Lors d'une séance de TP, un élève fait réagir un hydrocarbure A avec le dichlore pour donner un corps B. Le composé A renferme en masse 7,7% d'hydrogène et une mole de ce composé pèse 78 g. Par ailleurs l'analyse de B montre que sa molécule renferme 6 atomes de chlore et qu'il contient en masse 24,7% de carbone et 2,11% d'hydrogène. L'élève désire identifier les composés A et B. Tu es sollicité pour l'aider.

1. Donne la nature de l'action du dichlore sur A.
2. Ecris l'équation-bilan de la réaction.
3. L'étude de B montre qu'il ne réagit pas par addition.
   3.1. Donne sa formule semi-développée et son nom sachant que sa molécule est cyclique.
   3.2. Indique le procédé par lequel on peut passer du cyclohexane au composé B.

Exercice 8

Un groupe d'élèves veut identifier un hydrocarbure A non cyclique, de masse molaire moléculaire M = 72 $g.mol^{-1}$. Pour cela le groupe l'analyse et constate qu'il renferme en masse 5 fois plus de carbone que d'hydrogène. Par ailleurs, en présence de lumière, le groupe fait réagir le dichlore sur l'hydrocarbure A. Tu es le rapporteur du groupe.

1. Détermine la formule brute de A. **Données** : M(C) = 12 $g.mol^{-1}$; M(H) = 1 $g.mol^{-1}$.
2. Ecris toutes les formules semi-développées possibles de A et nomme-les.
3. Identifie A sachant qu'il comporte une seule ramification.
4. En supposant qu'ils ne substituent qu'un seul atome d'hydrogène de l'hydrocarbure A,

   4.1. écris l'équation-bilan de la réaction entre le dichlore et l'hydrocarbure A ;

   4.2. écris toutes les formules semi-développées possibles du dérivé chloré et nomme-les

Exercice 9

Lors d'une séance de TP un groupe d'élèves analyse un alcane A et constate qu'il est composé en masse de 82,76% de carbone. Les élèves désirent identifier A en faisant agir sur lui du dichlore. Tu es sollicité pour les aider. On te donne : M_C = 12 g/mol et M_H = 1 g/mol.

1. Donne la formule générale de A.
2. Détermine le pourcentage massique en hydrogène de A.
3. En déduis la formule brute de A.
4. Ecris les formules semi-développées et les noms des isomères de A.
5. Ecris les formules semi-développées et les noms des dérivés monochlorés des isomères de A.
6. Identifie l'alcane A, sachant que sa monochloration donne quatre (4) produits monochlorés.

Exercice 10

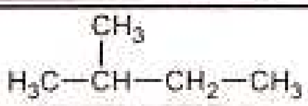
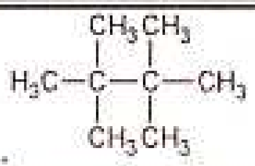
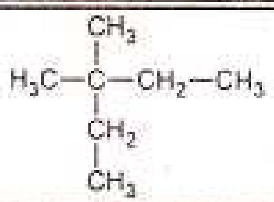
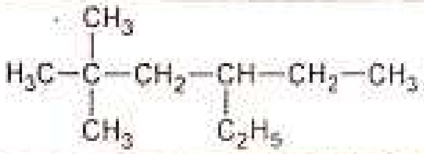
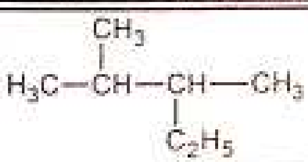
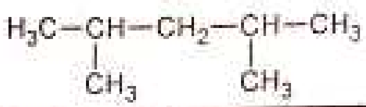
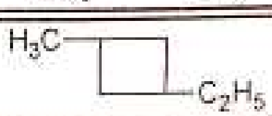
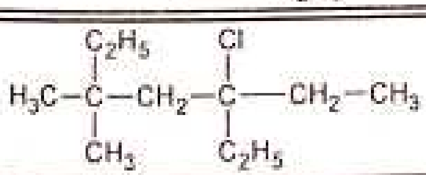
Lors d'une séance de TP des élèves de 1ère D introduisent dans un eudiomètre 12 cm^3 d'un mélange de propane et de butane. Ils ajoutent 100 cm^3 de dioxygène et ils provoquent la combustion complète en faisant jaillir une étincelle. Après retour aux conditions initiales, l'eau s'étant condensée, ils constatent qu'il reste 42 cm^3 de dioxyde de carbone et 31 cm^3 de dioxygène. Ils désirent déterminer la composition du mélange initial en volume. Aide-les.

1) Écris les équations de combustion.
2) En désignant par V_1 le volume de propane et par V_2 celui du butane, exprime en fonction de V_1 et V_2 le volume de dioxygène consommé.
3) Exprime en fonction de V_1 et V_2 le volume de dioxyde de carbone obtenu.
4) Détermine la composition en volume du mélange initial.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

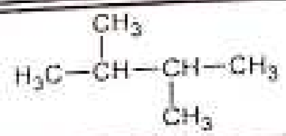
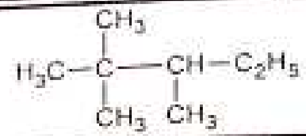
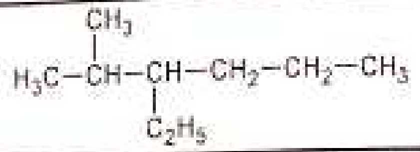
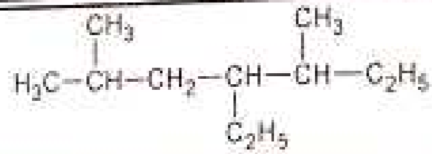
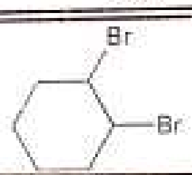
Exercice 1

Complétons le tableau ci-dessous en nommant les composés.

Formule semi-développée	Nom
$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	n-pentane
	2-méthylbutane
	2,2,3,3-tétraméthylbutane
	3,3-diméthylpentane
	4-éthyl-2,2-diméthylhexane
	2,3-diméthylpentane
$CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$ ou 	2,4-diméthylpentane
	1-éthyl-3-méthylcyclobutane
	4-chloro-4-éthyl-2,2-diméthylheptane

Exercice 2

Ecriture des formules semi-développées des composés suivants :

Nom	Formule semi-développée
a) 2,3-diméthylbutane	
b) 2,2,3-triméthylpentane	
c) 3-éthyl-2-méthylhexane	
d) 4-éthyl-2,5-diméthylheptane	
e) 1,2-dibromocyclohexane.	
f) 1,2,2-trichloro-3-méthylheptane.	

Exercice 3

1. Déterminons la formule brute de l'alcane .

   $M(C_nH_{2n+2}) = n\times M_C + (2n+2)\times M_H = 12n + 2n + 2 = 14n + 2 \Rightarrow M(C_nH_{2n+2}) = 14n + 2$

   Or $M(C_nH_{2n+2}) = M \Rightarrow 14n + 2 = 44 \Rightarrow n = \dfrac{44-2}{14} = 3$

   La formule brute de l'alcane est obtenue en faisant : $C_3H_{2\times 3+2}$; ce qui donne $\mathbf{C_3H_8}$.

2. Déduction de sa formule semi-développée possible.

   $CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH_3$

3. Formules semi-développées et noms des dérivés monochlorés obtenus.

Formule semi-développée	Nom
$H_3C-CH_2-CH_2Cl$	1-chloropropane
$H_3C-CHCl-CH_3$	2-chloropropane

Exercice 4

1) Donnons le nom de cette famille.

Cet hydrocarbure de formule brute générale C_nH_{2n+2} appartient à la famille des alcanes.

2) La masse molaire en fonction de n puis le nombre n d'atomes de carbone.

- Masse molaire en fonction de n :

$M(C_nH_{2n+2}) = n \times M_C + (2n + 2) \times M_H = 12n + 2n + 2 = 14n + 2 \Rightarrow M(C_nH_{2n+2}) = 14n + 2$

- Nombre n d'atomes de carbone : $M(C_nH_{2n+2}) = M \Rightarrow 14n + 2 = 58 \Rightarrow n = \frac{58-2}{14} = 4$

3) Écrivons sa formule brute.

Sa formule brute est obtenue en faisant : $C_4H_{2 \cdot 4 + 2}$; ce qui donne C_4H_{10}.

4) Les formules semi-développées de ses deux isomères et le nom de chacun.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
C_4H_{10}	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$	n-butane
	$H_3C-CH(CH_3)-CH_3$	2-méthylpropane

Exercice 5

Equilibrons les équations bilan suivantes :

a) $C_3H_8 + 5\,O_2 \longrightarrow 3\,CO_2 + 4\,H_2O$

b) $C_5H_{12} + 8\,O_2 \longrightarrow 5\,CO_2 + 6\,H_2O$

c) $C_2H_2 + \frac{5}{2}\,O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + H_2O$

d) $CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$

e) $C_2H_6 + \frac{7}{2}\,O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + 3\,H_2O$

Exercice 6

1) Nom de la famille de l'hydrocarbure en justifiant.

$C_7H_{2 \cdot 7 + 2}$ donne C_7H_{16} donc la formule brute de cet hydrocarbure respecte la formule brute générale des alcanes (C_nH_{2n+2}). Il appartient donc à la famille des alcanes.

2) Nom de l'hydrocarbure

C'est l'heptane.

3) Calculons sa masse molaire moléculaire.

$M(C_7H_{16}) = 7 \times M_C + 16 \times M_H = 7 \times 12 + 16 \times 1 = 100 \Rightarrow M(C_7H_{16}) = 100$ g/mol

4) Écrivons et équilibrons l'équation-bilan de sa combustion complète.

$C_7H_{16} + 11\,O_2 \longrightarrow 7\,CO_2 + 8\,H_2O$

5) Masse de dioxygène nécessaire pour réagir avec 1 mole de cet hydrocarbure

D'après l'équation-bilan on a : $\frac{n_{C_7H_{16}}}{1} = \frac{n_{O_2}}{11} = \frac{n_{CO_2}}{7} = \frac{n_{H_2O}}{8}$

$\Rightarrow \frac{n_{O_2}}{11} = n_{C_7H_{16}} \Rightarrow n_{O_2} = 11 \times n_{C_7H_{16}} = 11 \times 1 = 11 \Rightarrow n_{O_2} = 11\,mol$

$\Rightarrow m_{O_2} = n_{O_2} \times M_{O_2} = 11 \times 32 = 354\ g \Rightarrow m_{O_2} = 354\ g$

Exercice 7

1. Equation-bilan de la réaction avec les formules générales des composés.

   $C_nH_{2n+2} + Br_2 \longrightarrow C_nH_{2n}Br_2 + H_2$

2. Trouvons les formules brutes des composés A et B.

   $M_A = 14n + 2 \Rightarrow 14n + 2 = 58 \Rightarrow n = \frac{58-2}{14} = 4$

   Donc la formule brute de A est C_4H_{10} et celle de B est $C_4H_8Br_2$.

3. Les différentes formules semi-développées possibles pour B.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
$C_4H_8Br_2$	$H_3C-CH_2-CH_2-CHBr_2$	1,1-dibromobutane
	$H_3C-CH_2-CBr_2-CH_3$	2,2-dibromobutane
	$H_3C-CH_2-CHBr-CH_2Br$	1,2-dibromobutane
	$H_3C-CHBr-CH_2-CH_2Br$	1,3-dibromobutane
	$BrH_2C-CH_2-CH_2-CH_2Br$	1,4-dibromobutane
	$H_3C-CHBr-CHBr-CH_3$	2,3-dibromobutane

Exercice 8

1. Equations-bilans des deux combustions.

   $CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$

   $C_4H_{10} + \frac{13}{2}\,O_2 \longrightarrow 4\,CO_2 + 5\,H_2O$

2. Le volume de chacun des alcanes du mélange.

   Soient V_1 le volume de méthane et V_2 le volume de butane.

   $CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$

   $V_1 \quad 2\,V_1 \quad V_1 \quad 2\,V_1$

   $C_4H_{10} + \frac{13}{2}\,O_2 \longrightarrow 4\,CO_2 + 5\,H_2O$

   $V_2 \quad \frac{13}{2}\,V_2 \quad 4\,V_2 \quad 5\,V_2$

Le volume de dioxyde de carbone formé est : $V_{CO_2} = V_1 + 4V_2 = 20\ cm^3$

Par ailleurs on a : $V_1 + V_2 = 10\ cm^3$.

On obtient donc le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} V_1 + 4V_2 = 20\ cm^3 & (1) \\ V_1 + V_2 = 10\ cm^3 & (2) \end{cases}$$

$(2): V_1 + V_2 = 10\ cm^3 \Rightarrow V_2 = 10 - V_1$

$(1): V_1 + 4 \times (10 - V_1) = 20\ cm^3 \Rightarrow V_1 - 4V_1 + 40 = 20 \Rightarrow -3V_1 = -20 \Rightarrow V_1 = \frac{20}{3} = 6{,}67\ cm^3$

$\Rightarrow V_2 = 10 - V_1 = 10 - 6{,}67 = 3{,}33\ cm^3$

3. **Le volume d'air nécessaire à la combustion.**

   Le volume de dioxygène nécessaire est : $V_{O_2} = 2V_1 + \frac{13}{2}V_2 = 2 \times 6{,}67 + \frac{13}{2} \times 3{,}33 = 35\ cm^3$

   Le volume d'air nécessaire est : $V_{Air} = 5 \times V_{O_2} = 5 \times 35 = 175\ cm^3$

Exercice 9

1. **Formule générale des alcanes**

   La formule générale brute d'un alcane est : C_nH_{2n+2}.

2. **L'équation bilan de sa combustion complète.**

   $$C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2} O_2 \longrightarrow n\,CO_2 + (n+1)\,H_2O$$

3. **Calcul des quantités de matière de l'eau et de dioxyde de carbone**

   - $n'_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{5{,}4}{1 \times 2 + 16} = 0{,}3\ mol$
   - $n'_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} = \frac{11}{12 + 16 \times 2} = 0{,}25\ mol$

4. **Déduction de la formule brute de l'alcane A.**

   Appliquons le bilan molaire de l'équation-bilan :

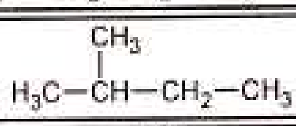
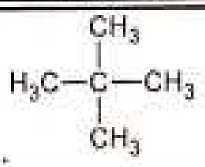
   D'après l'équation-bilan on a : $\frac{n'_{C_nH_{2n+2}}}{1} = \frac{n'_{O_2}}{\frac{3n+1}{2}} = \frac{n'_{CO_2}}{n} = \frac{n'_{H_2O}}{n+1}$

$\frac{n'_{CO_2}}{n} = \frac{n'_{H_2O}}{n+1} \Rightarrow \frac{0{,}25}{n} = \frac{0{,}3}{n+1} \Rightarrow 0{,}25 \times (n+1) = 0{,}3n \Rightarrow 0{,}25n - 0{,}3n = -0{,}25$

$\Rightarrow n = \frac{-0{,}25}{-0{,}05} = 5$

Donc la formule brute de cet alcane est : C_5H_{12}.

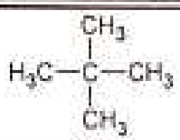
5. Formules semi-développées de tous les isomères et noms.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
C_5H_{12}	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	n-pentane
		2-méthylbutane
		2,2-diméthylpropane

6. Un des isomères donne un seul dérivé lors de la réaction de monobromation.

6.1. Formule semi-développée de cet isomère.

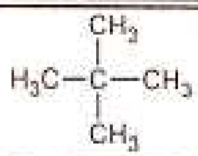
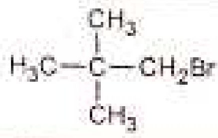
L'isomère pouvant donner un dérivé monochloré est le 2,2-diméthylpropane.

Formule semi-développée	Nom
	2,2-diméthylpropane

6.2. Equation-bilan de cette réaction avec les formules brutes.

$C_5H_{12} + Br_2 \longrightarrow C_5H_{11}Br + HBr$

6.3. Nom et formule semi-développée du dérivé.

	Isomère	Composé monochloré
Formule semi-développé		
Nom	2,2-diméthylpropane	1-bromo-2,2-diméthylpropane

Exercice 10

1.

1.1. Formule générale d'un hydrocarbure.

C_xH_y où x et y sont des entiers naturels non nuls.

1.2. Equation-bilan de sa combustion complète.

$$C_xH_y + \left(x+\frac{y}{4}\right)O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$$

1.3. Calculons les quantités de matière de dioxyde de carbone et d'eau.

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{6,3}{1\times 2+16} = 0,35\text{ mol}$$

$$n_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} = \frac{13,2}{12+16\times 2} = 0,3\text{ mol}$$

2. Déterminons la formule brute de A .

$M = 29d = 29\times 2,966 = 86,014$ g/mol ≈ 86 g/mol.

- Bilan molaire de la réaction : $\frac{n_A}{1} = \frac{n_{O_2}}{x+\frac{y}{4}} = \frac{n_{CO_2}}{x} = \frac{n_{H_2O}}{\frac{y}{2}}$
- Quantité de matière de A : $n_A = \frac{m_A}{M_A} = \frac{4,3}{86} = 0,05\text{ mol}$
- Déterminons les nombres entiers x et y :

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{CO_2}}{x} \Rightarrow xn_A = n_{CO_2} \Rightarrow x = \frac{n_{CO_2}}{n_A} = \frac{0,3}{0,05} = 6$$

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{H_2O}}{\frac{y}{2}} \Rightarrow \frac{y}{2}n_A = n_{H_2O} \Rightarrow y = \frac{2n_{H_2O}}{n_A} = \frac{2\times 0,35}{0,05} = 14$$

Donc la formule brute du composé A est : C_6H_{14}.

- Nom de sa famille.

A appartient à la famille des **alcanes** car sa formule brute respecte la formule générale brute des alcanes C_nH_{2n+2}.

3. Écrivons et nommons les formules semi-développées possibles de A.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
C_6H_{14}	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	n-hexane
	$H_3C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-CH_2-CH_3$	2-méthylpentane
	$H_3C-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-CH_3$	3-méthylpentane
	$H_3C-\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{C}}}}-CH_2-CH_3$	2,2-diméthylbutane
	$H_3C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-CH_3$	2,3-diméthylbutane

4.

4.1. Déterminons l'isomère correspondant aux caractéristiques spécifiées.

L'isomère ramifié pouvant donner trois (3) dérivés monochlorés différents est le 2,2-diméthylbutane.

4.2. Noms et formules semi-développées des produits issus de la monochloration.

Formule semi-développée	Nom
$ClH_2C-\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{C}}}}-CH_2-CH_3$	1-chloro-2,2-diméthylbutane
$H_3C-\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{C}}}}-CHCl-CH_3$	2-chloro-3,3-diméthylbutane
$H_3C-\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{C}}}}-CH_2-CH_2Cl$	1-chloro-3,3-diméthylbutane

CO3 : LES ALCENES ET LES ALCYNES

Karl Waldemar Ziegler
(1898-1973)
Chimiste Allemand
Il mit au point un procédé de fabrication à basse pression des polyéthylènes. Il fût le premier (vers 1928) à proposer une explication des réactions qui se produisent au cours de la synthèse du caoutchouc.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Connaître	• la structure des alcènes, des alcynes. • la formule générale des alcènes, des alcynes.
Ecrire	• les formules développées et semi-développées de quelques alcènes et de quelques alcynes.
Connaître	• les règles de nomenclature des alcènes et des alcynes.
Nommer	• un alcène : - à chaîne carbonée linéaire ; - à chaîne carbonée ramifiée. • un alcyne : - à chaîne carbonée linéaire ; - à chaîne carbonée ramifiée.
Connaître	• l'isomérie de position et l'isomérie Z – E
Connaître	• quelques réactions chimiques des alcènes : - réactions de combustion (complète et incomplète) - réactions d'addition - réactions de polymérisation • quelques réactions chimiques des alcynes - réactions de combustion (complète et incomplète) - réactions d'addition
Ecrire	• l'équation-bilan de la réaction : - de combustion (complète et incomplète) d'un alcène et d'un alcyne. - de la réaction d'addition de H_2, Br_2, HCl, et H_2O sur un alcène. - de la réaction de polymérisation. - de la réaction d'addition de H_2, Br_2, Cl_2 et H_2O sur l'acétylène.
Montrer	• l'importance industrielle des alcènes, des alcynes, des polymères.

RAPPEL DE COURS

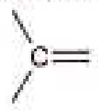
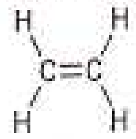
1. Alcènes

1.1. 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 C=C.

1.2. Structure du carbone

- Le carbone est **trigonal** (lié à trois éléments chimiques).
- Le carbone trigonal a une géométrie **plane**.

Carbone trigonal	**Exemple** : l'éthylène
	

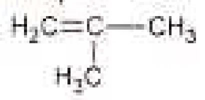
1.3. Nomenclature

Le nom d'un alcène comporte toujours la terminaison «–ène» précédé de l'indice de position de la double liaison C=C dans la chaîne principale.

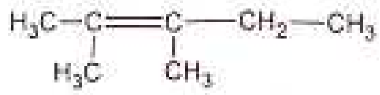
Le principe est le suivant :

- on détermine la chaîne carbonée la plus longue (chaîne principale) contenant la double liaison ;
- on numérote 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 d'atomes de carbone de la chaine principale et le suffixe «–ène» ;
- pour les alcènes ramifiés, on procède comme chez les alcanes.

Exemples :



2-méthylpropène



2,3-diméthylpent-2-ène

$H_3C-CH_2-CH_2-CH=CH-CH_2-CH_3$

hept-3-ène

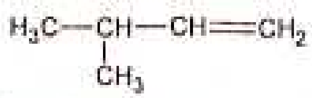
1.4. Isomérie

1.4.1. Isomérie de constitution

a) Isomérie de chaîne

Ces isomères ne diffèrent que par leur chaîne carbonée.

Exemple :



3-méthylbut-1-ène

$H_3C-CH_2-CH_2-CH=CH_2$

pent-1-ène

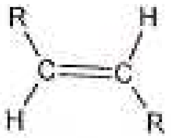
b) Isomérie de position

Ces isomères ne diffèrent que par la position de la double liaison.

Exemple : $H_3C-CH_2-CH=CH_2$ (but-1-ène) $H_3C-CH=CH-CH_3$ (but-2-ène)

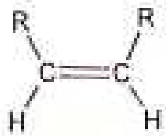
1.4.2. Isomérie E-Z

Ces isomères ne diffèrent que par la position des groupes alkyles par rapport à l'axe de la double liaison C=C.



Isomère E

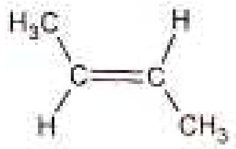
Les groupes alkyles sont de part et d'autre de la double liaison C=C



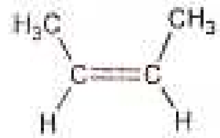
Isomère Z

Les groupes alkyles sont du même coté de la double liaison C=C

Exemple :



(E)but-2-ène



(Z)but-2-ène

2. Alcynes

2.1. Définition

Ceux sont des hydrocarbures insaturés de formule générale C_nH_{2n-2} avec $n \geq 2$.

Ils comportent une seule triple liaison $C \equiv C$.

2.2. Structure

- Le carbone participant à la triple liaison est **digonal** (lié à deux éléments chimiques) différent du carbone trigonal des alcènes.
- Le carbone digonal a une structure linéaire

Carbone digonal	**Exemple** : l'acéthylène
$-C\equiv$	$H-C\equiv C-H$

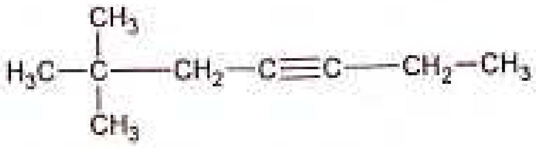
2.3. Nomenclature

Le nom d'un alcyne comporte toujours la terminaison «–yne» précédé de l'indice de position de la triple liaison C≡C dans la chaîne principale.

Le principe est le même que chez les alcènes.

propyne

4-méthylpent-2-yne



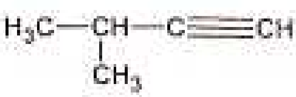
6,6-diméthylhept-3-ène

2.4. Isomérie

2.4.1. Isomérie de chaîne

Ces isomères ne diffèrent que par leur chaîne carbonée.

Exemple :



3-méthylbut-1-yne

pent-1-yne

2.4.2. Isomérie de position

Ces isomères ne diffèrent que par la position de la triple liaison.

Exemple :

but-1-yne

but-2-yne

3. Propriétés chimiques

3.1. Réactions de combustion

- Tout comme les alcanes, les alcènes et les alcynes brûlent également dans le dioxygène. Lorsque la combustion est complète, il se forme du dioxyde de carbone et de l'eau.
- Les équation-bilans générales des combustions complètes sont :
  - ✓ alcènes : $C_nH_{2n} + \frac{3n}{2}O_2 \longrightarrow nCO_2 + nH_2O$
  - ✓ alcynes : $C_nH_{2n-2} + \frac{3n-1}{2}O_2 \longrightarrow nCO_2 + (n-1)H_2O$

3.2. Réactions d'addition

3.2.1. Action du dihydrogène : hydrogénation

a) Cas des alcènes.

- En présence de nickel (Ni), les alcènes réagissent avec le dihydrogène pour donner des alcanes. L'équation-bilan générale de cette réaction est : $C_nH_{2n} + H_2 \xrightarrow{Ni} C_nH_{2n+2}$

  Exemple : équation-bilan de la réaction de l'éthylène sur le dihydrogène.

  $C_2H_4 + H_2 \xrightarrow{Ni} C_2H_6$

b) Cas des alcynes

- En présence de nickel, l'hydrogénation d'un alcyne conduit, par deux réactions successives, à un alcane. Les équations-bilans générales de ces réactions sont :

$C_nH_{2n-2} + H_2 \xrightarrow{Ni} C_nH_{2n}$

$C_nH_{2n} + H_2 \xrightarrow{Ni} C_nH_{2n+2}$

- Mais en présence de palladium, l'hydrogénation des alcynes s'arrête aux alcènes.

Exemple : équation-bilan de la réaction de l'acétylène sur le dihydrogène.

$CH\equiv CH + H_2 \xrightarrow{Pd} CH_2 = CH_2$

3.2.2. Addition du dichlore sur l'éthylène

- On reprend l'expérience déjà réalisé avec le méthane mais en remplaçant le méthane par l'éthylène. Contrairement à la réaction avec le méthane, celle-ci peut se produire dans l'obscurité. Le liquide huileux obtenu est le 1,2-dichloroéthane.

L'équation-bilan de la réaction est : $CH_2 = CH_2 + Cl-Cl \longrightarrow CH_2Cl-CH_2Cl$

3.2.3. Addition du chlorure d'hydrogène

a) Cas des alcènes

- L'addition du chlorure d'hydrogène sur l'éthylène conduit au chloroéthane.

Ce produit est exploité industriellement.

L'équation-bilan de la réaction est : $CH_2 = CH_2 + H-Cl \longrightarrow CH_3-CH_2Cl$

b) Cas des alcynes

- L'addition du chlorure d'hydrogène, comme l'hydrogénation, sur l'acétylène se fait en deux étapes et conduit successivement au chloroéthylène (ou chlorure de vinyle) puis au 1,1-dichloroéthane. Les équations-bilans de ces deux réactions sont :

$CH\equiv CH + H-Cl \longrightarrow CH_2 = CHCl$

$CH_2 = CHCl + H-Cl \longrightarrow CH_3-CHCl_2$

3.2.4. Addition de l'eau : hydratation

a) Cas des alcènes

- En présence d'acide sulfurique concentré, les alcènes réagissent avec l'eau pour donner des alcools. Dans le cas de l'éthylène, on obtient l'éthanol.

L'équation-bilan de la réaction est : $CH_2 = CH_2 + H-OH \xrightarrow{H_2SO_4\ concentré} CH_3-CH_2-OH$

b) Cas des alcynes

- En présence de sulfate de mercure II et d'acide sulfurique, l'hydratation des alcynes conduit aux aldéhydes ou aux cétones.
- Dans le cas de l'acétylène, on obtient l'éthanal (aldéhyde).

L'équation-bilan de la réaction est : $CH\equiv CH + H-OH \xrightarrow[HgSO_4]{H_2SO_4} CH_3-CH=O$

3.3. Réaction de polymérisation ou de polyaddition

3.3.1. Principe

- Elle consiste en l'addition, les unes à la suite des autres, d'un grand nombre de molécules d'alcènes identiques appelées **monomères** ou motif.
  Le produit obtenu est appelé **polymère**.
- Le nombre **n** de monomères associés est indiqué en indice dans le polymère.
  Il est appelé degré ou indice de polymérisation.
- Lors de cette réaction, il y a ouverture des doubles liaisons C=C et formation de liaisons simples C—C.

Exemple : le polyéthylène est obtenu par polymérisation de l'éthylène $CH_2{=}CH_2$.

Ethylène Polyéthylène

La formule du polyéthylène est : $-(CH_2-CH_2)_n-$; son motif est : $-(CH_2-CH_2)-$.

De la même façon, on obtient le polychlorure de vinyle (PVC) par polymérisation du chlorure de vinyle (ou chloroéthylène) $CH_2 = CHCl$ dont la formule est :

$$\left(-CH_2-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-\right)_n$$

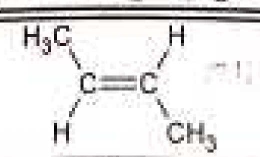
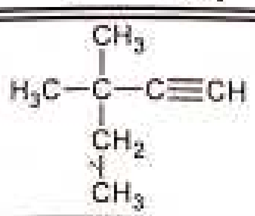
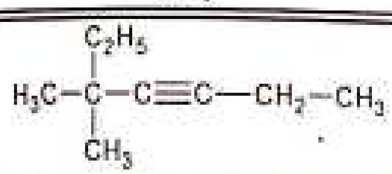
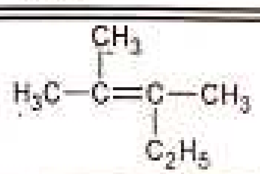
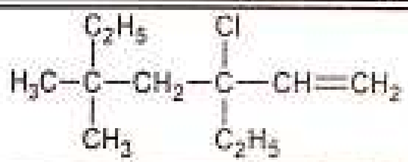
3.3.2. Quelques exemples de polymères et leurs applications

Formule et nom du monomère	Equation-bilan de la réaction Nom du polymère	Applications du polymère dans la vie courante
$CH_2{=}CH_2$ éthylène	$nCH_2 = CH_2 \longrightarrow -(-CH_2-CH_2-)_n-$ Polyéthylène (P.E.)	➢ Récipients ménagers ➢ Sachets d'emballage
$CH_2{=}CH\text{-}Cl$ chlorure de vinyle	$nCH_2 = CHCl \longrightarrow -(-CH_2-CHCl-)_n-$ Polychlorure de vinyle (P.V.C.)	➢ Canalisations d'eau ➢ bouteilles d'eau ➢ bouteilles de lait ➢ films d'emballage transparents (clichés)
$CH_2{=}CH\text{-}C_6H_5$ styrène	$nCH_2{=}CHC_6H_5 \longrightarrow -(-CH_2-CHC_6H_5-)_n-$ Polystyrène (P.S.)	➢ intérieures des réfrigérateurs ➢ coffres pour appareils électroménagers

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

1. Complète le tableau ci-dessous en nommant les composés.

Composé	Nom
$H_2C{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	pent-1-ène
	$CH_3-CH=CH-CH_3$
	
	
	2,3-[illegible]but-2-ène
	

Exercice 2

Écris les formules semi-développées des composés suivants :

a) but-1-yne

b) 2,3-diméthylbut-1-ène

c) 4,4-diméthylpent-2-yne.

d) (E) hex-3-ène

e) 4-éthyl-5-méthylhex-2-yne

f) méthylpropène

g) 3-éthyl-2-méthylpent-2-ène

h) (Z) 2,5-diméthylhex-3-ène

Exercice 3

Un hydrocarbure A contenant 85.71% en masse de carbone a une masse molaire M = 56 g/mol. Masse molaire en g.mol^{-1} : M(C) = 12 ; M(H) = 1

1. La formule brute de A est :

   a) C_4H_6 b) C_4H_8 c) C_4H_{10}

2. L'hydrocarbure A appartient à la famille des :

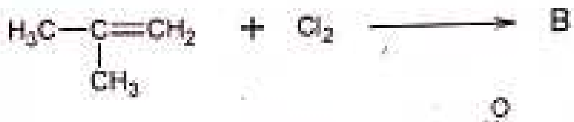
   a) alcènes b) alcanes c) alcynes

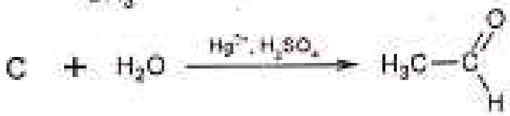
Coche la bonne réponse.

Exercice 4

Donne la formule semi-développée et le nom des composés A, B, C, D, E et F qui manquent.

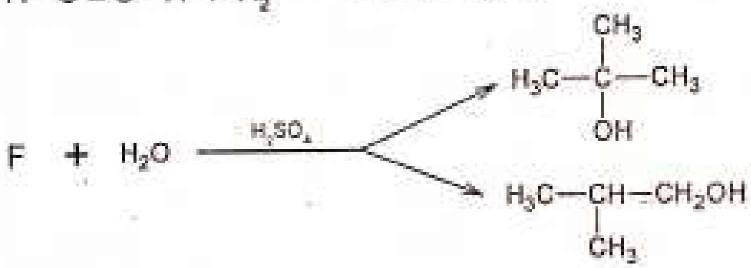
a) $CH \equiv C-CH_3 + H_2 \xrightarrow{Pd} A$

b) 

c) 

d) $CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} D$

e) $H-C\equiv C-H + H_2 \xrightarrow{Pt\ ou\ Ni} E$

f) 

(majoritaire)

(minoritaire)

Exercice 5

L'addition du dichlore sur un alcène donne un composé contenant en masse 62,8% de chlore.

On donne : M_{Cl} = 35,5 g/mol ; M_C = 12 g/mol ; M_H = 1 g/mol.

1. Ecris l'équation-bilan de la réaction.
2. Donne la masse molaire M du produit obtenu en fonction du nombre n d'atomes de carbone.
3. Calcul le nombre n d'atomes de carbone contenu dans le produit obtenu.
4. En déduis la formule brute de l'alcène utilisé.
5. Donne son nom et sa formule semi-développée.

Exercice 6

La composition d'un alcyne est telle que la masse de carbone qu'il contient est 7,5 fois celle de l'hydrogène. On donne : M_C = 12 g/mol ; M_H = 1 g/mol ; $\mathcal{N}_a = 6{,}02.10^{23}$ mol^{-1}.

1. Donne sa formule brute.
2. En déduis ses formules semi-développées possibles.

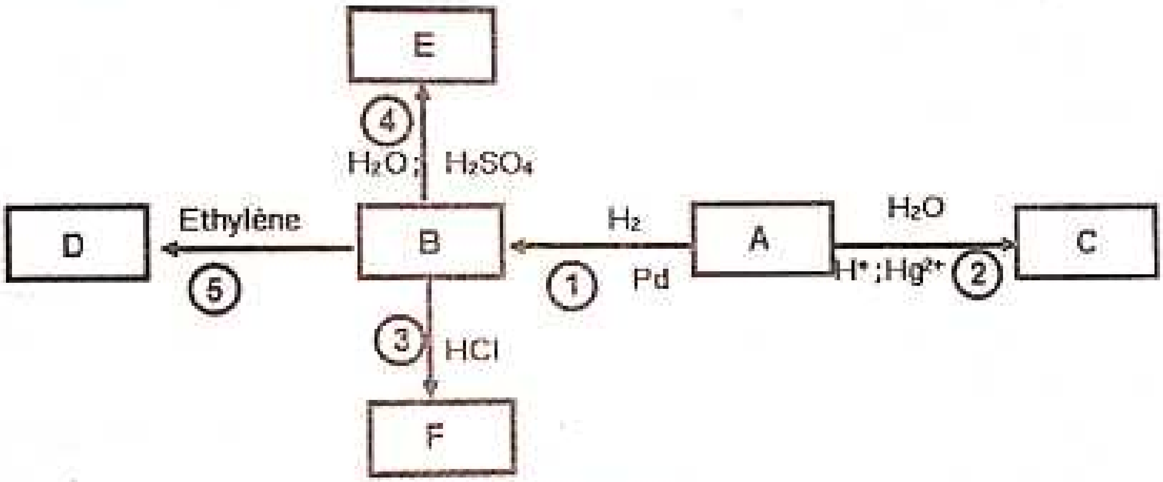
Exercice 7

La déshydratation d'un alcool saturé non cyclique est une réaction d'élimination d'eau (H_2O) conduisant à un alcène. On peut par exemple obtenir par déshydratation les alcènes suivants : but-1-ène ; but-2-ène et 2-méthylprop-1-ène.

1. Donne les formules semi-développées de ces alcènes.
2. Parmi ces alcènes, identifie la(les) molécule(s) qui présentent l'isomérie Z/E. Justifie.
3. Donne les noms et les formules semi-développées de ces isomères.

Exercice 8

Ton professeur de Physique-Chimie, pour tester vos connaissances en chimie organique, met à la disposition de ton groupe d'étude le schéma réactionnel 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.



A est un alcyne. Sa masse molaire est $M_A = 26$ g.mol $^{-1}$.

On vous donne les masses molaires : H : 1 ; C : 12 (en g.mol $^{-1}$).

Etant le rapporteur du groupe, tu es sollicité pour repondre aux questions suivantes.

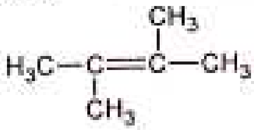
1.
   1.1. Détermine la formule brute de A.
   1.2. Donne sa formule semi-développée et son nom.
2. Après analyse du schéma réactionnel, détermine la formule semi-développée et le nom de chacun des composés organiques B, C, D, E et F.
3. Le composé D est beaucoup utilisé dans l'industrie.
   Sa masse molaire est $M_D = 56{,}28.10^3$g.mol $^{-1}$.
   3.1. Donne son motif.
   3.2. Calcule son degré de polymérisation.
   3.3. Enumère trois produits manufacturés obtenus à partir du composé D.

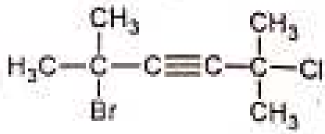
EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

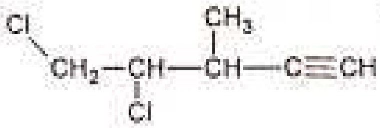
Exercice 1

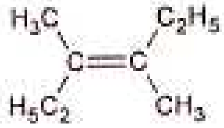
1) Nomme les composés ci-dessous :

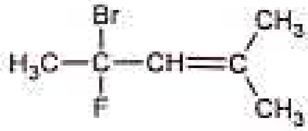
a) 

b) 

c) 

d) 

e) 

f) 

2) Représente la formule semi-développée des hydrocarbures suivants :

   a) 3-méthylpent-1-ène
   b) 4-éthyl-5,5-diméthylhept-2-yne
   c) (E)-hex-2-ène
   d) 3-éthyl-5-méthylcyclohexène
   e) (Z)-4,5-diméthylhex-2-ène
   f) 2,5-diméthylhex-3-yne

Exercice 2

1. Donne la définition de la réaction de substitution dans le cas de la chloration ou de la bromation d'un alcane. Indique le rôle de la lumière dans ces réactions de substitution.
2. Donne les noms et les formules semi-développées des produits issus de la mono chloration du 2-methylbutane.
3. Explique le fait qu'on dit que les alcènes et les alcynes sont des hydrocarbures insaturés.
4. Enonce la règle d'orientation de l'addition sur les alcènes non symétrique en prenant comme exemple l'addition du chlorure d'hydrogène sur le propène
5. Donne le produit final de l'hydratation du but-1-ène.

Exercice 3

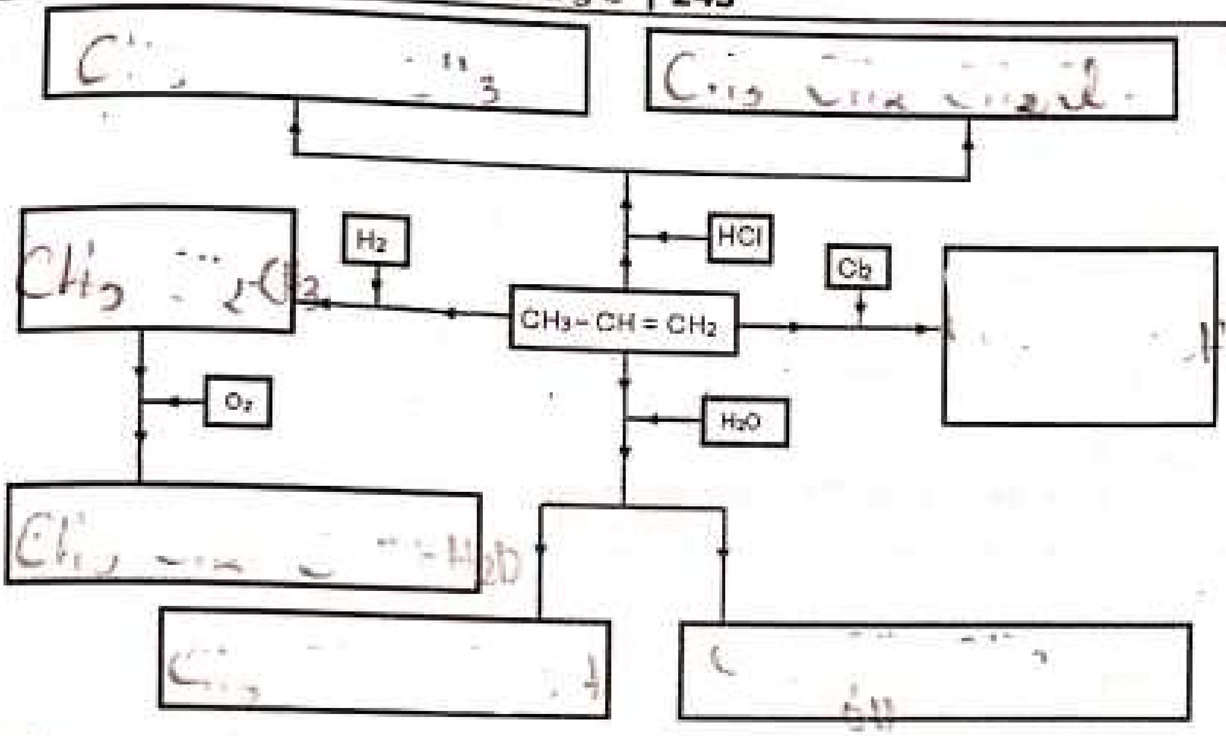
La chloration de 28 g d'un alcène A nécessite 35,5 g de dichlore.

1. Ecris l'équation bilan de cette réaction en utilisant la formule générale de l'alcène.
2. Calcule la quantité de dichlore qui a été utilisé.
3. En déduis la quantité d'alcène.
4. Détermine la masse molaire de l'alcène. En déduis sa formule brute.
5. Ecris les formules semi-développées possibles pour l'alcène et nomme-les.

On donne la masse molaire des éléments en $g.mol^{-1}$: C : 12 ; H : 1 ; Cl : 35,5.

Exercice 4

Complète les cases vides par les formules semi développées et les noms des composés organiques formés, puis écris les formules brutes des composés non-organiques.



Exercice 5

Au cours d'une séance d'exercices de classe le professeur de physique-chimie met à votre disposition des informations sur un hydrocarbure A qu'il vous demande de déterminer

L'hydrocarbure A contient 85,71% en masse de carbone et a une densité d = 1,93 par rapport à l'air. Tu es désigné pour traiter l'exercice.

1.

   1.1. Justifie que la formule de A est C_4H_8.

   1.2. Détermine la famille d'hydrocarbure à laquelle appartient A.

   1.3. Donne les formules semi-développées de tous les isomères de A et nomme-les.

2. A réagit avec le chlorure d'hydrogène (HCl) et donne un composé B unique.

   2.1 Donne la formule semi développée et le nom de B.

   2.2 Déduis en la formule semi-développée de A.

Exercice 6

Un élève de 1ère D veut identifier un alcyne A de masse molaire 82 g/mol. Pour cela il réalise l'hydrogénation de A. Si elle se fait en présence de palladium, A donne un corps B qui présente l'isomérie Z/E. Mais si l'hydrogénation se fait en présence de nickel, A conduit à un corps D.

Tu es sollicité pour l'aider.

1. Détermine sa formule brute.
2. Représente et nomme tous les isomères de A.
3. Donne les familles respectives des corps B et D.
4. Identifie les corps A, B et D par leur formule semi-développée et leur nom.
5. Ecris l'équation bilan de la réaction de A en B et celle de A en D.
6. Représente et nomme les isomères de B.

On donne la masse molaire des éléments en $g.mol^{-1}$: C : 12 ; H : 1.

Exercice 7

Un groupe d'élèves veut identifier les isomères de position d'un alcène ayant une densité de vapeur égale à 2,4. Ces isomères de position notés A, B et C donnent le même alcane par hydrogénation. Par hydratation A et B donnent le même alcool. Tu es sollicité pour les aider.

1. Détermine les formules développées de ces trois isomères A, B et C et nomme-les.
2. Indique l'alcane obtenu par hydrogénation.
3. Sachant qu'au cours de l'hydratation l'atome d'hydrogène se fixe sur le carbone le plus hydrogéné, précise l'isomère C.

Exercice 8

Au cours d'une séance de TD, votre professeur de physique-Chimie vous demande de déterminer la formule brute d'un composé organique de formule brute C_xH_y constitué en masse de 85,7% de carbone. Il vous soumet ce questionnaire.

1- Calcule le rapport $\frac{x}{y}$.

2- Déduis la famille de ce composé sachant que sa chaîne carbonée n'est pas cyclique.

3- Ecris et nomme toutes les formules semi-développées possibles de cet hydrocarbure pour x = 4. Précise les isomères (Z/E).

4- On s'intéresse à l'isomère C donnant par hydrogénation un alcane ramifié.

4.1. Ecris l'équation-bilan de cette hydrogénation en précisant le catalyseur utilisé.

4.2. Donne le nom de cet alcane obtenu.

Exercice 9

Lors d'un stage pratique, un groupe d'élèves de la 1ère C du Lycée Moderne d'Abengourou visite une unité industrielle chimique située à la zone industrielle de yopougon, spécialisée dans la fabrication des sacs d'emballage plastique. Le responsable de la production met à la disposition du groupe un volume V d'éthylène en vue d'obtenir une masse molaire de 280 kg/mol et de déterminer le degré de polymérisation de ce plastique.

Tu es le rapporteur du groupe. On te donne les masses molaires (g/mol) : C : 12 ; H : 1.

1. Donne :

   1.1. la formule générale des alcènes ;

   1.2. la formule semi-développée de l'éthylène.

2. Ecris :

   2.1. le motif du polymère qui a servi à la fabrication de ce plastique ;

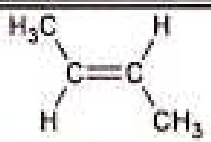
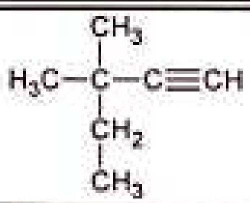
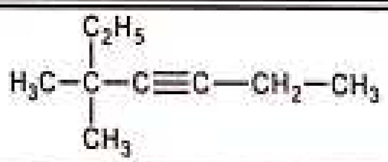
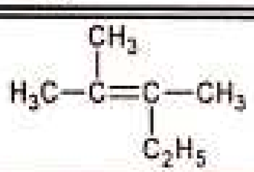
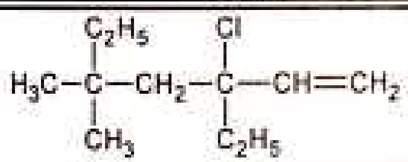
   2.2. l'équation de polymérisation.

3. Détermine le degré de polymérisation.
4. Enumère trois produits manufacturés obtenus à partir de polymère.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

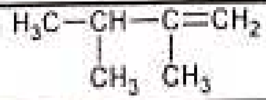
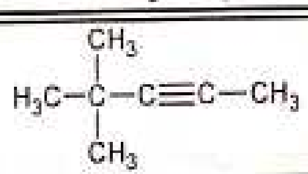
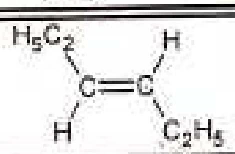
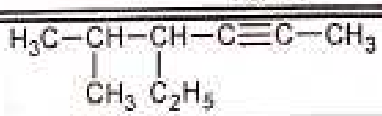
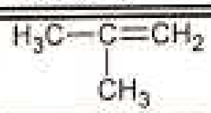
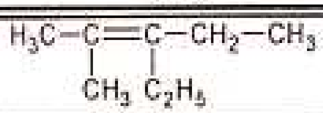
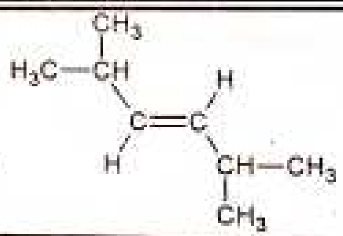
Exercice 1

1. Complétons le tableau ci-dessous en nommant les composés.

Composé	Nom
$H_2C{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	pent-1-ène
	(E) but-2-ène
	3,3-diméthylpent-1-yne
	5,5-diméthylhept-3-yne
	2,3-diméthylpent-2-ène
	3-chloro-3-éthyl-5,5-diméthylhept-1-ène

Exercice 2

Écrivons les formules semi-développées des composés suivants :

Composé	Formule semi-développé
a) but-1-yne	$H_2C{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$
b) 2,3-diméthylbut-1-ène	
c) 4,4-diméthylpent-2-yne.	
d) (E) hex-3-ène	
e) 4-éthyl-5-méthylhex-2-yne	
f) méthylpropène	
g) 3-éthyl-2-méthylpent-2-ène	
h) (Z) 2,5-diméthylhex-3-ène	

Exercice 3

Je coche la bonne réponse.

1. La formule brute de A est :

   b) C_4H_8

   Justification :

   Soit C_xH_y sa formule générale brute ; on a :

   ✓ $x = \frac{\%C \times M}{1200} = \frac{85,71 \times 56}{1200} \approx 4$

   ✓ $y = \frac{\%H \times M}{100} = \frac{(100 - 85,71) \times 56}{1200} \approx 8$

2. L'hydrocarbure A appartient à la famille des :

   a) alcènes

Exercice 4

Formule semi-développée et nom des composés A, B, C, D, E et F qui manquent.

Composé	Formule semi-développée	Nom
A	$CH_2=CH-CH_3$	propène
B	$H_3C-C(CH_3)Cl-CH_2Cl$	1,2-dichloro-(2)-méthylpropane
C	$CH\equiv CH$	acéthylène ou éthyne
D	CH_3-CH_2OH	éthanol
E	CH_3-CH_3	éthane
F	$H_3C-C(CH_3)=CH_2$	méthylpropène

Exercice 5

1. **Equation-bilan de la réaction**

   $C_nH_{2n} + Cl_2 \longrightarrow C_nH_{2n}Cl_2$

2. **Masse molaire du produit obtenu en fonction du nombre n d'atomes de carbone**

   $M = 12n + 2n + 2\times35{,}5 = 14n + 71$

3. **Calcul du nombre n d'atomes de carbone contenu dans le produit obtenu**

   $$\frac{M}{100}=\frac{2\times M_{Cl}}{\%Cl} \Rightarrow \frac{14n+71}{100}=\frac{71}{62{,}8} \Rightarrow (14n+71)\times62{,}8=71\times100$$

   $$\Rightarrow 14n+71=\frac{7100}{62{,}8} \Rightarrow n=\frac{1}{14}\times\left(\frac{7100}{62{,}8}-71\right)=3$$

4. **La formule brute de l'alcène utilisé.**

   D'aprés l'équation-bilan précédente c'est le même nombre d'atomes de carbone que contient l'alcène donc sa formule brute est : C_3H_6.

5. **Nom et formule semi-développée de cet alcène**

   C'est le propène : $CH_3-CH=CH_2$.

Exercice 6

1. Formule brute

La formule générale d'un alcyne est : C_nH_{2n-2}.

Soient :

- m : masse de l'atome considéré (g) ;
- n' : quantité de matière de l'atome considéré (mol) ;
- M : masse molaire de l'atome considéré (g/mol) ;
- N : nombre d'atome considéré ;
- $\mathcal{N}_a$: nombre d'Avogadro (mol^{-1}).

On a : $m_C = 7{,}5\times m_H \Rightarrow n'_C\times M_C = 7{,}5\times n'_H\times M_H \Rightarrow \dfrac{N_C}{\mathcal{N}_a}\times M_C = 7{,}5\times\dfrac{N_H}{\mathcal{N}_a}\times M_H$

$\Rightarrow N_C\times M_C = 7{,}5\times N_H\times M_H \Rightarrow n\times 12 = 7{,}5\times(2n-2)\times 1 \Rightarrow 12n = 15n - 15$

$\Rightarrow 12n - 15n = -15 \Rightarrow -3n = -15 \Rightarrow n = \dfrac{-15}{-3} = 5$

La formule brute de l'alcyne est : C_5H_8.

2. Formules semi-développées possibles

Formule brute	Composé	Nom
C_5H_8	$HC\equiv C-CH_2-CH_2-CH_3$	pent-1-yne
	$H_3C-C\equiv C-CH_2-CH_3$	pent-2-yne
	$H_3C-CH(CH_3)-C\equiv CH$	3-méthylbut-1-yne

Exercice 7

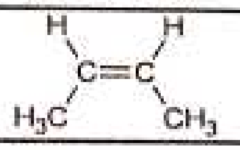
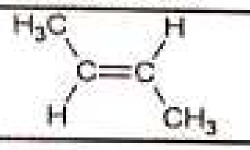
1. Donnons les formules semi-développées de ces alcènes.

Nom	but-1-ène	but-2-ène	2-méthylprop-1-ène
Formule semi-développée	$CH_2=CH-CH_2-CH_3$	$CH_3-CH=CH-CH_3$	$H_3C-C(CH_3)=CH_2$

2. Parmi ces alcènes, identifions la(les) molécule(s) qui présentent l'isomérie Z/E et justifions.

La molécule qui présente l'isomérie Z/E est le **but-2-ène** car c'est un alcène symétrique.

3. Noms et formules semi-développées de ces isomères.

Nom	(Z)but-2-ène	(E)but-2-ène
Formule semi-développée		

Exercice 8

1. A est un alcyne. Sa masse molaire est $M_A = 26\ g.mol^{-1}$

   1.1. Détermination de la formule brute de A.

   $M_A = M(C_nH_{2n-2}) = 12\times n + 2n - 2 = 14n - 2$

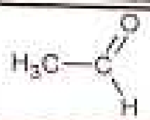
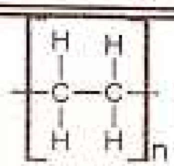
   $M_A = 26 \Rightarrow 14n - 2 = 26 \Rightarrow n = \frac{26+2}{14} = 2$

   Donc sa formule brute est $C_2H_{2\times2-2}$, c'est-à-dire : C_2H_2.

   1.2. Formule semi-développée et nom de A.

   $CH \equiv CH$; acéthylène ou éthyne.

2. Formule semi-développée et nom de chacun des composés organiques B, C, D, E et F.

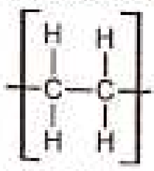
Composé	Formule semi-développée	Nom
A	$CH \equiv CH$	acéthylène ou éthyne
B	$CH_2 = CH_2$	éthylène
C		éthanal
D		polyéthylène
E	$CH_3 - CH_2OH$	éthanol
F	$CH_3 - CH_2Cl$	chloroéthane

3. D est beaucoup utilisé dans l'industrie. Sa masse molaire est $M_D = 56{,}28.10^3 g.mol^{-1}$.

   3.1. Je donne son motif.

   La réaction ⑤ est une réaction de polymérisation pour l'obtention du polyéthylène.

   Donc son motif est : $-(CH_2 - CH_2)-$ ou



   3.2. Je calcule son degré de polymérisation.

   $$n = \frac{M(\text{polymère})}{M(\text{motif})} = \frac{56{,}28.10^3}{28} = 2010$$

   3.3. J'énumère trois produits manufacturés obtenus à partir du composé D.

   ✓ Sac plastique ;

   ✓ Sac poubelle ;

   ✓ bouteille de produit d'entretien.

C04 : LE BENZENE

Friedrich August Kekulé von Stradonitz
(1829-1896)
Chimiste Allemand

Il est célèbre pour la découverte de la tétravalence du carbone et de la structure chimique cyclique de la molécule de benzène.

En 1857-58 Kekulé développe la théorie de la structure chimique, basée sur deux notions : la tétravalence du carbone, et la capacité des atomes de carbone de former des liaisons entre eux. Cette théorie de structure permet la compréhension des molécules organiques et de leurs réactions, et conduit à une véritable explosion de recherche en synthèse chimique des composés organiques à partir de 1860.

En 1865, il travaille depuis des semaines sur la formule développée du benzène dont il possède la formule brute C_6H_6. Il propose enfin une structure cyclique - la première dans l'histoire de la chimie - avec un anneau de six carbones liés par des liaisons simple et double en alternance.

La proposition de Kekulé permet le développement d'une nouvelle branche de la chimie organique, à savoir la chimie des molécules aromatiques qui contiennent un anneau ou noyau benzénique.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Connaître	• la structure du benzène. • les formules brute et développée du benzène. • les caractéristiques du noyau benzénique.
Ecrire	les formules brutes et développées d'autres composés aromatiques : - phénol ; - styrène ; - naphtalène ; - toluène.
Connaître	quelques propriétés chimiques du noyau benzénique : - réaction de substitution. - réaction d'addition.
Connaître	les isomères ortho, méta et para.
Ecrire	les équations-bilans : - des réactions de substitution. - des réactions d'addition.
Exploiter	les équations-bilans: - des réactions de substitution ; - des réactions d'addition.
Connaître	la toxicité du benzène.

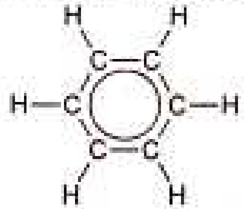
RAPPEL DE COURS

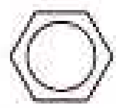
1. Définition

Le benzène est un hydrocarbure liquide à la température ordinaire de formule brute C_6H_6.

2. Structure

- La molécule du benzène est plane et a la forme d'un hexagone régulier.

Sa formule développée est : 

ou simplement 

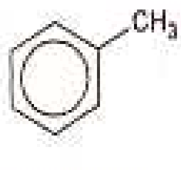
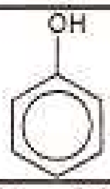
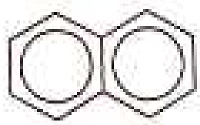
- Le cercle symbolise le nuage de six (6) électrons délocalisés sur le cycle carboné du benzène appelé noyau **benzénique** ou **aromatique**.

3. Composés aromatiques

3.1. Définition

Ceux sont des composés dérivés du benzène comportant un noyau benzénique.

3.2. Quelques exemples

Nom	Formule développée	Applications
Toluène ou méthylbenzène		➢ matières plastiques ➢ colorants ➢ explosifs ➢ solvants
Phénol		➢ résines ➢ explosifs ➢ colorants
Styrène		➢ matières plastiques
Naphtalène		➢ insecticides ➢ colorants ➢ solvants

4. Propriétés chimiques

4.1. Réactions de combustion

4.1.1. Combustion dans le dioxygène

Le benzène brûle dans le dioxygène de l'air pour donner du dioxyde de carbone et de l'eau.

$$C_6H_6 + \frac{15}{2}O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 3H_2O \quad \text{ou} \quad 2C_6H_6 + 15O_2 \longrightarrow 12CO_2 + 6H_2O$$

4.1.2. Combustion dans le dichlore

Le benzène brûle dans le dichlore pour donner du carbone et du chlorure d'hydrogène.

$$C_6H_6 + 3Cl_2 \longrightarrow 6C + 6HCl$$

4.2. Réactions d'addition

4.2.1. Hydrogénation

En présence de nickel le benzène réagit avec le dihydrogène pour donner le cyclohexane.

$$C_6H_6 + 3H_2 \xrightarrow{Ni} C_6H_{12}$$

4.2.2. Chloration

En présence de lumière le benzène réagit avec le dichlore pour donner un solide blanc appelé le lindane ou le 1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane.

Il est utilisé pour fabriquer des insecticides.

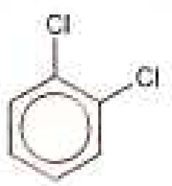
4.3. Réactions de substitution

4.3.1. Chloration

En présence de chlorure de fer III ($FeCl_3$) la chloration du benzène s'effectue en deux étapes :

- 1ère étape : une première substitution conduit au monochlorobenzène.

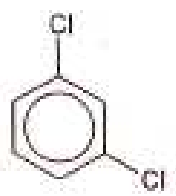
- 2ème étape : une deuxième substitution conduit au dichlorobenzène qui possède trois (3) isomères.



1,2-dichlorobenzène

ou

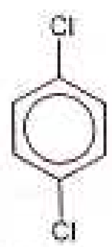
orthodichlorobenzène



1,3-dichlorobenzène

ou

metadichlorobenzène



1,4-dichlorobenzène

ou

paradichlorobenzène

4.3.2. Nitration

La nitration du benzène se fait avec l'acide nitrique (HNO_3). Ainsi :

- à basse température, la nitration du benzène conduit au mononitrobenzène.

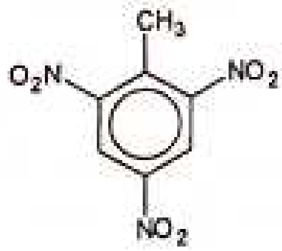
- si la température est élevée on obtient successivement : le 1,3-dinitrobenzène ou métadinitrobenzène puis le 1,3,5-trinitrobenzène.

1,3-dinitrobenzène ou métadinitrobenzène

1,3,5-trinitrobenzène

Remarque :

A haute température la nitration du toluène conduit au 2,4,6-trinitrotoluène (TNT) qui est un produit très utilisé pour la fabrication des explosifs.

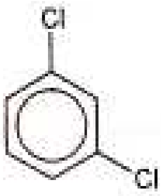
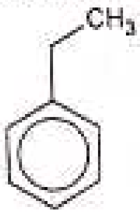
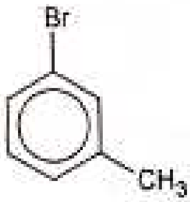
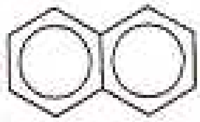


2,4,6-trinitrotoluène

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Donne les noms des composés suivants :

a) 
b) 
c) 
d) 

Exercice 2

Donne les formules semi-développées et les noms des différents isomères du composé aromatique de formule brute C_8H_{10}.

Exercice 3

Donne la formule semi-développée des composés suivants :

a) 1,2-diméthylbenzène ; b) métadiéthylbenzène ; c) paradibromobenzène ;

d) 1-bromo-2,6-dinitrobenzène ; e) 1,2,5-trichlorobenzène ;

f) 1,3,5-trinitrobenzène ; g) 2,4,6-trinitrotoluène.

Exercice 4

1. Recopie et complète le tableau ci-dessous.

	Réaction	Catalyseur	Produits de la réaction	Nature de la réaction
a)	C_6H_6 + Cl_2	lumière		
b)	C_6H_6 + Cl_2	$FeCl_3$		
c)	$C_6H_5-CH_3$ + H_2	Nickel		
d)	C_6H_6 + HNO_3	H_2SO_4		
e)	C_6H_5-Cl + H_2	Nickel		

2. Ecris l'équation bilan de chacune des réactions dans le tableau ci-dessus.

Exercice 5

On obtient le même composé par action du dichlore sur le cyclohexane et sur le benzène en présence d'une lumière vive.

1. Donne la formule développée et le nom de ce composé.
2. Ecris l'équation-bilan de ces réactions.
3. Donne la différence entre ces deux réactions.

Exercice 6

1) Ecris l'équation-bilan de la réaction de la combustion complète du benzène.
2) On effectue la combustion de 5 cm³ de benzène.
   2.1. Calcule le volume de dioxygène nécessaire.
   2.2. En déduis le volume d'air nécessaire (dans les conditions normales).

Exercice 7

Lors d'une sortie scientifique dans une usine de la place, un groupe d'élèves de 1ère C découvre un composé organique contenant un noyau benzénique qui est utilisé pour la fabrication de résines. Ce dernier a une masse molaire de 94 g/mol et sa composition massique est de : 76,6% de carbone ; 6,4% d'hydrogène et 17% d'oxygène. Par contre son nom est illisible. De retour en classe, les élèves décident d'identifier ce composé. Tu es sollicité pour les aider.

1. Détermine sa formule brute.
2. Donne sa formule semi-développée et son nom.

Exercice 8

Lors d'une séance de TP un groupe d'élèves de 1ère D réalise la nitration à froid de 8 g de benzène sous l'assistance de leur professeur de Physique-chimie. Ce dernier leur demande de déterminer le nom et la masse du produit obtenu. Tu es le rapporteur du groupe.

1. Ecris l'équation bilan de cette réaction.
2. Donne le nom du produit principal obtenu.
3. Détermine la masse du produit obtenu.
4. Indique les produits successivement obtenus si la nitration se fait à chaud.

On te donne les masses molaires atomiques en g/mol : C : 12 ; H : 1 ; N : 14 ; O : 16.

Exercice 9

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques, ton professeur de Physique-Chimie réalise l'expérience suivante.

Il fait réagir, dans des conditions appropriées, du dichlore sur 7,8 g de benzène. Il obtient 8,8 g d'un composé de masse molaire M = 147 g/mol qui se solidifie à la température ordinaire et un gaz dont la solution est acide. Il te demande de déterminer la formule brute du composé utilisé et d'écrire l'équation-bilan de la réaction qui s'est produite.

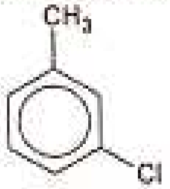
Il te donne en g.mol $^{-1}$: C :12 ; H : 1 ; Cl : 35,5. Il te soumet ce questionnaire.

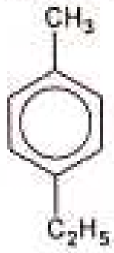
1- Détermine la formule brute du composé obtenu et écris l'équation-bilan de la réaction.
2- Ecris les formules semi-développées et les noms de tous ses isomères à la formule brute déterminée.
3- Calcule le rendement de la réaction.

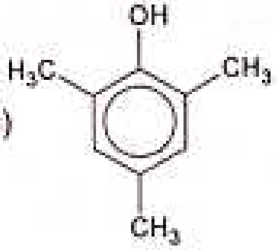
EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

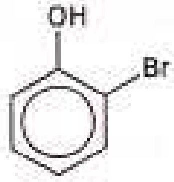
Exercice 1

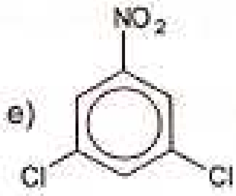
1) Donne les noms des composés suivants.

a) 

b) 

c) 

d) 

e) 

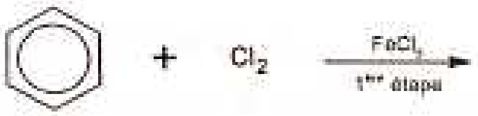
2) Ecris les formules semi-développées des composés dont les noms suivent :

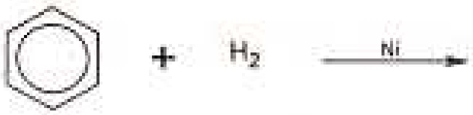
a°) 1,3,5-triéthylbenzène   b°) 2,4,6-trichlorotoluène   c°) orthodipropylbenzène

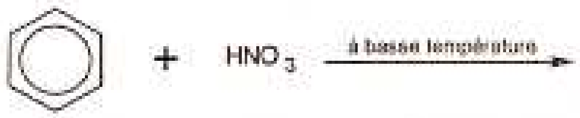
d°) 2,4,6-trinitrotoluène   e°) 1,2-diméthylbenzène ;   f°) orthodiméthylbenzène

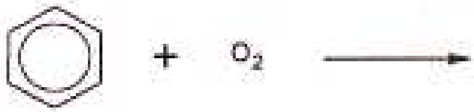
Exercice 2

Complète et équilibre les équations suivantes, puis donne les noms des produits obtenus :

a) 

b) 

c) 

d) 

Exercice 3

1) La formule $C_6H_3N_3O_6$ est celle d'un dérivé trinitré du benzène.
Ecris toutes les formules semi-développées possibles et propose un nom pour chacun des isomères.

2) Un hydrocarbure aromatique A a pour formule brute C_8H_{10}.
   2.1. Ecris toutes les formules semi-développées possibles et propose un ou plusieurs noms pour les composés correspondants.
   2.2. Donne toutes les formules semi-développées des dérivés obtenus par mononitration des composés écris à la question 2.1).
   2.3. Détermine la formule semi-développée de A sachant que sa mononitration ne peut donner naissance qu'à un seul isomère.

Exercice 4

Le 2,4,6-trinitrotoluène est un explosif obtenu par substitution de trois atomes d'hydrogène portés par le noyau aromatique par action de l'acide nitrique HNO_3, avec production d'eau.

1) Donne la formule du 2,4,6-trinitrotoluène et l'équation-bilan de la réaction.
2) Détermine la masse de toluène nécessaire pour obtenir 100 g de cet explosif si le rendement de la réaction est de 60%.

Exercice 5

Lors d'une séance de TP un groupe d'élèves de 1ère D verse quelques gouttes de benzène dans un flacon contenant 500 mL de dichlore. Les élèves exposent ensuite le flacon à la lumière et ils observent l'apparition de fumées blanches. Ils veulent savoir la nature et les applications de cet produit. Tu est le rapporteur du groupe.

1. Donne la nature de la réaction qui s'est produite.
2. Ecris son équation-bilan et nomme le produit obtenu.
3. Détermine la masse de benzène nécessaire pour que la réaction soit totale.
4. Donne une application du produit formé dans la vie courante.

On te donne : volume molaire : V_m = 25 L/mol ;
masse molaire atomique en g/mol : C : 12 ; H : 1 ; Cl : 35,5.

Exercice 6

Lors d'un stage pratique dans une unité industrielle chimique spécialisée dans la fabrication des produits insecticides, le responsable de la production met à ta disposition 20 g de benzène afin d'étudier quelques unes de ses propriétés.

On te donne les masses molaires en $g.mol^{-1}$: M(C) = 12 ; M(H) = 1 ; M(N) = 14 ; M(O) = 16.

Il te demande de déterminer le volume minimal de chlore à utiliser pour la chloration et la masse minimale d'acide nitrique utilisée pour la nitration.

1) La chloration de 12 g de benzène se fait en présence de chlorure de fer III ($FeCl_3$).
   Dans les conditions de l'expérience seule la première substitution a lieu.
   1.1. Ecris l'équation-bilan de la réaction.
   1.2. Détermine le volume minimal de chlore à utiliser. V_m = 22,4 $L.mol^{-1}$.
2) On réalise la nitration à froid du reste de benzène.
   2.1. Donne le nom et la formule du produit obtenu.
   2.2. Ecris l'équation-bilan de la réaction.
   2.3. Détermine la masse minimale d'acide nitrique utilisé.

Exercice 7

Afin de déterminer la formule développée d'un composé aromatique A, de formule brute C_8H_{10}, un élève de 1ère D se sert de ses propriétés qui sont les suivantes :

- ✓ en présence de brome et avec du fer, A donne un produit de substitution contenant 43% de brome ;
- ✓ par hydrogénation de A, en présence d'un catalyseur on obtient C_8H_{16}.
- ✓ quand on effectue une déshydrogénation de A en B ; ce dernier corps a pour formule C_8H_8 et décolore l'eau de brome.

Tu es sollicité pour l'aider.

1) Montre que l'action du brome est une monosubstitution.
2) Propose les différentes formules développées de A. Montre qu'il y en a quatre.
3) Précise la formule de B.
4) On t'indique que B est le styrène. Précise la formule de A.
5) Ecris les formules développées des dérives monobromés de A (bromation sur le cycle aromatique).

Exercice 8

Au cours d'une séance de TD, un élève de 1ère C veut identifier trois hydrocarbures aromatiques A, B et C possédant chacun sept atomes de carbone et ayant les caractéristiques suivantes :

- ✓ leurs compositions centésimales massiques en hydrogène sont : 8,69% ; 14,28% ; 16% ;
- ✓ le composé B peut donner par hydrogénation catalytique le composé A ;
- ✓ les composés A et C donnent des réactions de substitutions mais ne donnent pas des réactions d'addition ;
- ✓ le composé B peut donner à la fois des réactions de substitutions et des réactions d'addition ;
- ✓ En présence du tribromure de fer III ($FeBr_3$), B réagit avec le bromométhane pour donner un composé D ;
- ✓ la monochloration de D en présence de ($AlCl_3$) ne peut donner qu'un seul isomère.

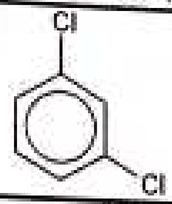
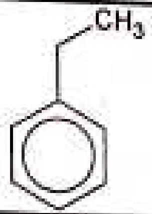
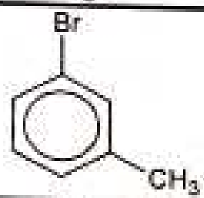
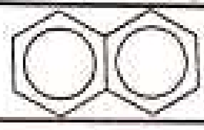
Tu es sollicité pour l'aider.

1) Donne les formules brutes qui correspondent à ces hydrocarbures.
2) Identifie C par sa formule brute.
3) Donne les formules semi-développées et les noms de A et B.
4) Ecris les formules semi-développées possibles de D et nomme-les.
5) Détermine la formule semi-développée précise de D.
6) En déduis l'équation-bilan de la monochloration de D.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

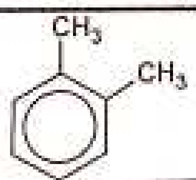
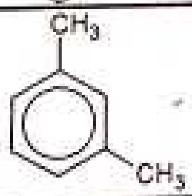
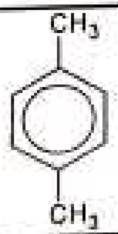
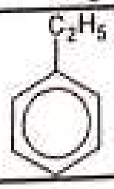
Exercice 1

Donnons les noms des corps suivants :

Question	Formule développée	Nom
a)		1,3-dichlorobenzène
b)		éthylbenzène
c)		1-bromo-3-méthylbenzène
d)		Naphtalène

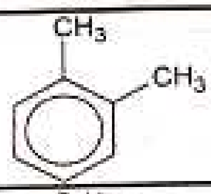
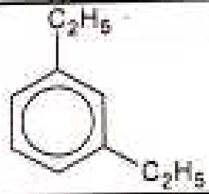
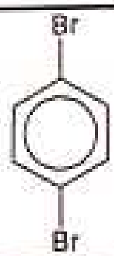
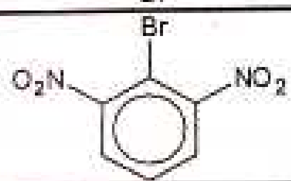
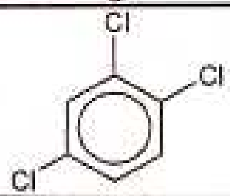
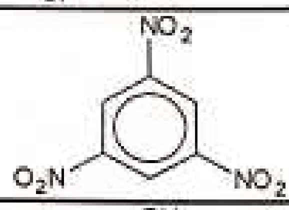
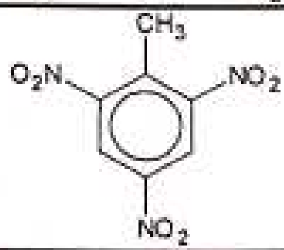
Exercice 2

Formules semi-développées et noms des isomères du composé de formule brute C_8H_{10}.

Formule développée	Nom
	1,2-diméthylbenzène ou orthodiméthylbenzène
	1,3-diméthylbenzène ou métadiméthylbenzène
	1,4-diméthylbenzène ou paradiméthylbenzène
	éthylbenzène

Exercice 3

Donnons la formule semi-développée des composés suivants :

Question	Nom	Formule développée
a)	1,2-diméthylbenzène	
b)	métadiéthylbenzène	
c)	paradibromobenzène	
d)	1-bromo-2,6-dinitrobenzène	
e)	1,2,5-trichlorobenzène	
f)	1,3,5-trinitrobenzène	
g)	2,4,6-trinitrotoluène	

Exercice 4

1. Je recopie et je complète le tableau ci-dessous.

	Réaction	Catalyseur	Produits de la réaction	Nature de la réaction
a)	C_6H_6 + Cl_2	lumière	$C_6H_6Cl_6$	addition
b)	C_6H_6 + Cl_2	$FeCl_3$	C_6H_5Cl	substitution
c)	$C_6H_5-CH_3$ + H_2	Nickel	$C_6H_{11}-CH_3$	addition
d)	C_6H_6 + HNO_3	H_2SO_4	$C_6H_5NO_2$	substitution
e)	C_6H_5-Cl + H_2	Nickel	$C_6H_{11}-Cl$	addition

2. J'écris l'équation bilan de chacune des réactions dans le tableau ci-dessus.

a) $C_6H_6 + 3\,Cl_2 \xrightarrow{\text{lumière}} C_6H_6Cl_6$

b) $C_6H_6 + Cl_2 \xrightarrow{FeCl_3} C_6H_5Cl + HCl$

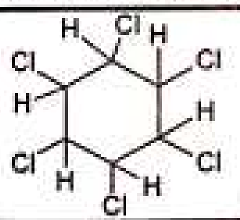
c) $C_6H_5-CH_3 + 3\,H_2 \xrightarrow{\text{Nickel}} C_6H_{11}-CH_3$

d) $C_6H_6 + HNO_3 \xrightarrow{H_2SO_4} C_6H_5NO_2 + H_2O$

e) $C_6H_5-Cl + 3\,H_2 \xrightarrow{\text{Nickel}} C_6H_{11}-Cl$

Exercice 5

1. Formule développée et nom du composé.

Formule développée	Nom
	1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane

2. Equation-bilan des réactions.

✓ Action du dichlore sur le cyclohexane : $C_6H_{12} + 3\,Cl_2 \longrightarrow C_6H_6Cl_6 + 3\,H_2$

✓ Action du dichlore sur le benzène en présence de lumière vive :

$C_6H_6 + 3\,Cl_2 \xrightarrow{\text{lumière}} C_6H_6Cl_6$

3. Différence entre ces deux réactions.

L'action du dichlore sur le cyclohexane est une réaction de substitution alors que celle du dichlore sur le benzène en présence de lumière vive est une réaction d'addition.

Exercice 6

1) Equation-bilan de la réaction de la combustion complète du benzène.

$$C_6H_6 + \frac{15}{2}O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 3H_2O$$

2) On effectue la combustion de 5 cm³ de benzène.

2.1. Le volume de dioxygène nécessaire

$$\left.\begin{array}{l} 1\,cm^3 \text{ de } C_6H_6 \longrightarrow \frac{15}{2}\,cm^3 \text{ de } O_2 \\ 5\,cm^3 \text{ de } C_6H_6 \longrightarrow V_{O_2} \text{ de } O_2 \end{array}\right\} \Rightarrow V_{O_2} = \frac{5\times\frac{15}{2}}{1} = 37{,}5\,cm^3$$

2.2. Le volume d'air nécessaire (dans les conditions normales).

$$V_{air} = 5\times V_{O_2} = 5\times 37{,}5 = 187{,}5\,cm^3$$

Exercice 7

1. Déterminons sa formule brute.

Soit $C_xH_yO_z$ la formule brute générale de ce composé organique.

$$\%C = \frac{xM_C}{M}\times 100 \Rightarrow x = \frac{\%C\times M}{M_C\times 100} = \frac{76{,}6\times 94}{12\times 100} = 6{,}0003 \approx 6$$

$$\%H = \frac{yM_H}{M}\times 100 \Rightarrow y = \frac{\%H\times M}{M_H\times 100} = \frac{6{,}4\times 94}{1\times 100} = 6{,}016 \approx 6$$

$$\%O = \frac{zM_O}{M}\times 100 \Rightarrow z = \frac{\%O\times M}{M_O\times 100} = \frac{17\times 94}{16\times 100} = 0{,}99875 \approx 1$$

La formule brute du composé organique est : C_6H_6O

2. Formule semi-développée et nom.

Le composé contient un noyau benzénique donc sa formule contient : C_6H_5-

Sa formule semi-développée est donc **C_6H_5-OH** : c'est le phénol.

Exercice 8

1. Equation bilan de la réaction de nitration à froid du benzène.

2. Nom du produit obtenu

C'est le mononitrobenzène de formule C_6H_5-NO_2.

3. Déterminons la masse du produit obtenu.

D'après le bilan molaire on a :

$$\frac{n_{benzène}}{1} = \frac{n_{produit}}{1} \Rightarrow \frac{m_{benzène}}{M_{benzène}} = \frac{m_{produit}}{M_{produit}} \Rightarrow m_{produit} = \frac{m_{benzène}\times M_{produit}}{M_{benzène}}$$

Application numérique : $m_{produit} = \frac{8\times 123}{78} = 12{,}6\,g$

4. Produits obtenus successivement si la nitration se fait à chaud.

. si la nitration se fait à chaud on obtient successivement : le 1,3-dinitrobenzène ou métadinitrobenzène puis le 1,3,5-trinitrobenzène.

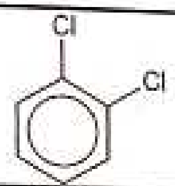
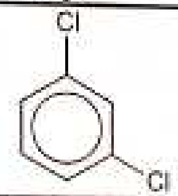
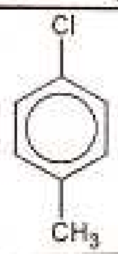
Exercice 9

1- Formule brute du composé obtenu et équation-bilan de la réaction.

✓ La formule brute du produit est : $C_6H_4Cl_2$ car $M(C_6H_4Cl_2) = 6\times12+4+2\times35,5 = 147$ g/mol.

✓ L'équation bilan est : $C_6H_6 + 2\,Cl_2 \longrightarrow C_6H_4Cl_2 + 2\,HCl$

2- Formules semi-développées et noms de tous ses isomères à la formule brute déterminée.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
$C_6H_4Cl_2$		1,2-dichlorobenzène ou othodichlorobenzène
		1,3-dichlorobenzène ou métadichlorobenzène
		1,4-dichlorobenzène ou paradichlorobenzène

3- Calcul du rendement de la réaction.

$$r = \frac{n_{produit}}{n_{benzène}} = \frac{\dfrac{m_{produit}}{M_{produit}}}{\dfrac{m_{benzène}}{M_{benzène}}} = \frac{m_{produit}}{M_{produit}} \times \frac{M_{benzène}}{m_{benzène}}$$

Application numérique : $r = \dfrac{8,8}{147} \times \dfrac{(6\times12+6\times1)}{7,8} = 0,5986$ soit envrion 60%

CO5 : PETROLE ET GAZ NATURELS

Edwin Laurentine Drake
(1819-1880)
Entrepreneur Américain

Il fora le premier véritable puits de pétrole le 27 août 1859, près de Titusville en Pennsylvanie (Amérique du Nord).
Ce puits provoqua une "ruée vers l'or noir" et la véritable naissance de l'industrie pétrolière.
Le pétrole du puits de Drake et de tous ceux de l'époque était surtout destiné à produire du kérosène, qui remplaçait peu à peu l'huile de baleine pour l'éclairage.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Connaître	les opérations de base de l'industrie du pétrole et des gaz naturels : - fractionnement du pétrole brut - craquage - reformage
Expliquer	• le fractionnement du pétrole brut • le craquage et le reformage
Connaître	quelques produits dérivés du pétrole
Montrer	l'importance de quelques produits dérivés du pétrole
Connaître	l'impact de quelques produits dérivés du pétrole sur l'environnement.

RAPPEL DE COURS

1) Définition et constitution

- Le pétrole et les gaz naturels sont des mélanges constitués d'hydrocarbures principalement utilisé comme source d'énergie.
- Les gaz naturels sont essentiellement constitués de méthane.

2) Raffinage

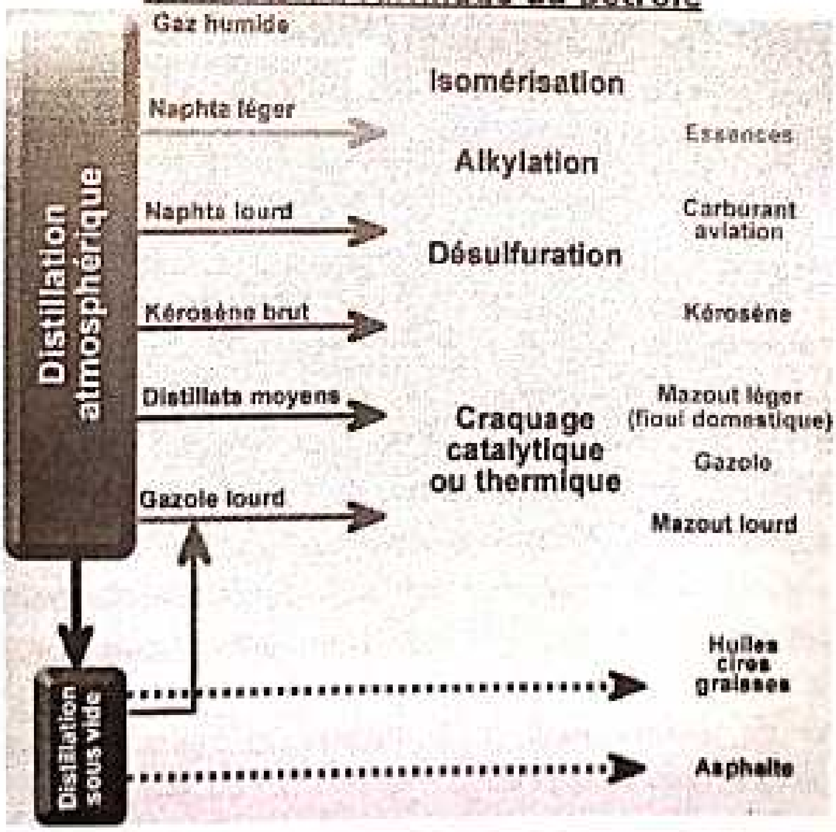
Elle se fait en plusieurs étapes.

2.1. La distillation fractionnée

La distillation fractionnée du pétrole brut donne des coupes (mélanges complexes d'hydrocarbures aux propriétés voisines). Les fractions les plus légères sont en haut de la colonne. Les produits lourds (les résidus) sont soutirés en bas de la colonne.
Ainsi on distingue par température d'ébullition croissante :

- les gaz (besoins domestiques et carburant pour les véhicules à gaz) et essences ;
- la coupe de naphta (matière première de la pétrochimie) ;
- le kérosène (carburant dans l'aviation) ;
- le gasoil ou gazole (carburant pour les automobiles) ;
- le fioul domestique (combustible de chauffage) ;
- les résidus lourds (redistillés sous vide pour permettre l'obtention des fiouls lourds, des huiles pour les lubrifiants et des bitumes pour recouvrir les routes).

Produits du raffinage du pétrole



Certains de ces produits sont inadaptés au marché. L'industrie pétrolière doit donc procéder à des réactions de craquage et de reformage.

2.2. Craquage

Le craquage consiste à fractionner les grosses molécules des fractions lourdes en molécules plus petites. On en distingue plusieurs types :

- Dans le craquage thermique, la transformation des molécules est effectuée par l'action de la chaleur.
- Le craquage catalytique permet de décomposer les fractions lourdes en présence d'un catalyseur, qui active la rupture des liaisons entre les atomes de carbone.
- L'hydrocraquage consiste à faire agir de l'hydrogène à forte pression (de 50 à 150 bars) et à des températures allant de 250 à 400 °C.
- Enfin, au cours du vapocraquage, les réactions ont lieu en présence d'eau à très haute température (de l'ordre de 900 °C).

2.3. Reformage

Le reformage catalytique permet de convertir le naphta ou les essences provenant de la distillation en des essences de qualité supérieure, à haut indice d'octane (I.O.).

Lors de ce procédé on modifie la structure de l'hydrocarbure en le rendant plus ramifié.

Ce procédé permet aussi d'obtenir des bases pour la pétrochimie.

Remarque : l'indice d'octane (I.O.) d'une essence traduit sa capacité à supporter la compression par le piston du moteur sans s'enflammer avant l'allumage. Plus il est élevé mieux l'essence résiste à la compression.

2.4. Autres procédés

Il existe d'autres procédés de raffinage, comme l'isomérisation et l'alkylation, qui permettent d'obtenir des essences à indice d'octane élevé, indispensable pour les essences sans plomb. Les produits subissent d'autres traitements permettant d'agir sur leur couleur, leur stabilité, leur odeur et leur teneur en hétéroatomes, comme le soufre et l'azote.

3) Exploitation, utilisation et importance

- On emploie le pétrole comme matière première dans l'industrie chimique et dans la production de carburants. Le pétrole et ses dérivés sont utilisés dans la production de médicaments, de produits agrochimiques et alimentaires, de matières plastiques, de matériaux de construction, de peintures et de fibres synthétiques, de détergents et de caoutchouc, ainsi que dans la production électrique.
- L'exploitation du gaz naturel commence généralement par une extraction en phase liquide du butane, du propane et des essences naturelles. Le gaz résiduel, appelé gaz sec, est constitué principalement de méthane (70 à 95 % en volume) et d'éthane. Le gaz sec est principalement utilisé pour le chauffage ou comme carburant, mais il sert également de base pour la fabrication de matières plastiques ou de produits pharmaceutiques. Le gaz naturel est une source de combustibles actuellement en constant développement.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Recopie et complète les pointillés par le groupe de mots qui convient :

le craquage ; le reformage ; la distillation fractionnée.

Le raffinage du pétrole brut se fait en plusieurs étapes. ………………… consiste à séparer les constituants du pétrole brut selon la température d'ébullition. Les grosses molécules des fractions lourdes sont fractionnées en molécules plus petites sous l'effet de la chaleur ou d'un catalyseur : c'est ……………………… En modifiant la structure de l'hydrocarbure pour le rendre plus ramifié sous l'effet d'un catalyseur, on réalise ………………………………

Exercice 2

Au cours du raffinage du pétrole brut on obtient les réactions suivantes :

a) $H_3C-(CH_2)_3-CH_3 \longrightarrow H_3C-CH_2-\overset{\overset{\displaystyle CH_3}{|}}{C}H-CH_3$

b) $H_3C-(CH_2)_6-CH_3 \longrightarrow C_6H_6 + C_2H_6 + 3H_2$

c) $H_3C-(CH_2)_4-CH_3 \longrightarrow C_3H_6 + C_3H_8$

d) $C_3H_8 \longrightarrow C_2H_4 + CH_4$

e) $H_3C-(CH_2)_3-CH_3 \longrightarrow H_3C-\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{C}H-CH_2-\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{C}H-CH_3$

1) Regroupe ces réactions en deux types et donne leur nom.
2) Cite d'autres procédés de raffinage.

Exercice 3

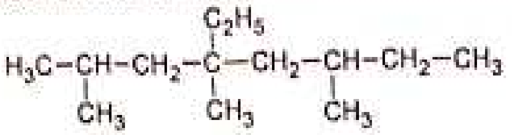
Lors d'une visite d'étude à la Société Ivoirienne de Raffinage (SIR), les élèves d'une classe de 1ère scientifique assistent à la distillation d'un mélange contenant quatre (4) alcanes linéaires : le nonane, l'octane, l'heptane et l'hexane. Leurs températures d'ébullition, relevées dans le désordre, sont : 98°C ; 126°C ; 170°C ; 69°C. Par ailleurs, l'opération est arrêtée lorsque la température en tête de colonne est de 150°C. Revenus en classe, ils décident d'attribuer à chaque alcane sa température d'ébullition et de prévoir les produits restant dans le ballon à l'arrêt. Tu es sollicité pour l'aider.

1) Donne les formules semi-développées des quatre (4) alcanes.
2) Attribue à chaque alcane sa température d'ébullition. Justifie ta réponse.
3) Indique le ou les alcanes restant dans le ballon à l'arrêt. Justifie ta réponse.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

On considère un alcane X de formule semi-développée :



1. Nomme ce composé et donne sa formule brute.
2. On réalise une transformation sur X et on obtient un mélange équimolaire des produits suivants : C_2H_4, C_3H_6, C_5H_{10} et du propane.
   2.1. Écris l'équation bilan de la réaction avec les formules brutes des composés.
   2.2. Donne le nom de cette réaction.

Exercice 2

1) Le reformage du pentane permet de le transformer en ses isomères ramifiés A et B. Ecris les formules semi-développées de A et de B.
2) La monochloration de A fournit 4 isomères, alors que celle de B n'en fournit qu'un seul : D.
   2.1. Identifie B.
   2.2. Représente et nomme les cinq isomères monochlorés formés.
3) La séparation par distillation des différents isomères monochlorés montre qu'il s'est formé, en moles, 47% de D lors de la monochloration complète du mélange de A et de B. La réaction de reformage étant supposée totale, en déduis la composition du reformat.

Exercice 3

Lors d'une visite d'étude dans une société de raffinage un élève de 1ère C assiste à la distillation fractionnée d'un mélange constitué de 20 mL de pentane, 30 mL d'hexane et 20 mL d'heptane, et quelques grains de pierre ponce. Sous la pression atmosphérique normale, les températures d'ébullition de ces trois alcanes sont respectivement : 36,1°C ; 68,7°C ; 98,4°C. Dans un premier flacon on recueille un premier distillat. On recueille en poursuivant le chauffage, une seconde fraction. Après avoir isolé le pentane, on réalise son craquage. On obtient du méthane CH_4 et un alcène de nom inconnu. Intrigué, l'élève veut savoir la nature et la température des différentes fractions et aussi identifier l'alcène inconnu. Tu es sollicité pour l'aider.

1)
   1.1. Indique le liquide correspondant au premier distillat.
   1.2. Donne la température indiquée par le thermomètre durant la distillation de la 1ère fraction
2)
   2.1. Donne le liquide correspondant à la seconde fraction.
   2.2. Indique la température recueillie.
3) Donne la nature du résidu dans le ballon.
4)
   4.1. Donne la formule brute de l'alcène.
   4.2. Donne les formules semi-développées et les noms des quatre isomères possibles.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Je recopie et je complète les pointillés par le groupe de mots qui convient :

le craquage ; **le reformage ; la distillation fractionnée.**

Le raffinage du pétrole brut se fait en plusieurs étapes. **La distillation fractionnée** consiste à séparer les constituants du pétrole brut selon la température d'ébullition. Les grosses molécules des fractions lourdes sont fractionnées en molécules plus petites sous l'effet de la chaleur ou d'un catalyseur : c'est **le craquage.** En modifiant la structure de l'hydrocarbure pour le rendre plus ramifié sous l'effet d'un catalyseur, on réalise **le reformage.**

Exercice 2

Au cours du raffinage du pétrole brut on obtient les réactions suivantes :

a) $H_3C-(CH_2)_3-CH_3 \longrightarrow H_3C-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$

b) $H_3C-(CH_2)_6-CH_3 \longrightarrow C_6H_6 + C_2H_6 + 3H_2$

c) $H_3C-(CH_2)_4-CH_3 \longrightarrow C_3H_6 + C_3H_8$

d) $C_3H_8 \longrightarrow C_2H_4 + CH_4$

e) $H_3C-(CH_2)_3-CH_3 \longrightarrow H_3C-CH(CH_3)-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$

1) **Regroupons les réactions en deux types et donnons leur nom.**

Les deux types de réaction sont : le craquage et le reformage.

Types de réaction	Craquage	Reformage
Réaction	b) ; c) ; d)	a) ; e)

2) **Citons d'autres procédés de raffinage.**

On peut citer **l'isomérisation et l'alkylation.**

Exercice 3

1) Les formules semi-développées des quatre (4) alcanes.

Nom	Formule semi-développée
nonane	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
octane	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
heptane	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
hexane	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

2) J'attribue à chaque alcane sa température d'ébullition en justifiant ma réponse.

La température d'ébullition d'un alcane est d'autant plus élevée que le nombre d'atomes de carbone de l'alcane est grand.

Nom	Température d'ébullition
nonane	170°C
octane	126°C
heptane	98°C
hexane	69°C

3) En justifiant ma réponse, je donne le nom du résidu dans le ballon à l'arrêt.

Lorsque la température en tête de colonne est de 150°C, seuls les corps dont les températures d'ébullition sont inférieures à 150°C auront été recueillis.

Il restera dans le ballon, uniquement du nonane dont la température d'ébullition ($t_{éb}$ = 170°C) est supérieure à 150°C.

Gilbert Newton Lewis
(23 octobre 1875 - 23 mars 1946)
Physicien et Chimiste Américain

CO6 : QUELQUES COMPOSES ORGANIQUES OXYGENES

Il a expliqué plusieurs aspects de la valence des éléments chimiques à l'aide des théories électroniques par la représentation qui porte son nom (représentation de Lewis). En 1904, il proposa la règle d'octet qui décrit la tendance des atomes des éléments représentatifs à s'entourer par huit (8) électrons de valence. En 1916, il identifia la liaison covalente comme un partage d'électrons entre deux atomes, idée développée aussi par le physico-chimiste américain Irving Langmuir. En 1923, il proposa une théorie électronique des acides et des bases, selon laquelle les acides et les bases sont respectivement accepteur et donneur d'une paire d'électrons. Enfin, en 1944, il démontra avec son étudiant Michael Kasha que la phosphorescence des molécules organiques implique un état excité état triplet avec deux électrons de spins parallèles.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Connaître	les formules générales de quelques composés organiques oxygénés : - alcool ; - éther-oxyde ; - aldéhyde ; - cétone ; - acide carboxylique ; - ester.
Connaître	les règles de nomenclature de quelques composés organiques oxygénés
Nommer	quelques composés organiques oxygénés : - alcool ; - éther-oxyde ; - aldéhyde ; - cétone ; - acide carboxylique ; - ester.
Ecrire	les formules semi-développées de quelques composés organiques oxygénés : - alcool ; - éther-oxyde ; - aldéhyde ; - cétone ; - acide carboxylique ; - ester.
Dégager	l'intérêt de quelques composés organiques oxygénés.

RAPPEL DE COURS

1. Valence d'un atome

La valence d'un atome est le nombre d'électrons célibataires dans la représentation de Lewis de cet atome ou bien c'est le nombre de doublets liants qu'un atome peut former.

Exemple :

Atome	Numéro atomique Z	Formule électronique	Représentation de Lewis	Valence
Oxygène (O)	8	K^2L^6	·Ō· ou ⟨O:	2 (divalent)
Carbone (C)	6	K^2L^4	·Ċ·	4 (tétravalent)

2. Définition des composés oxygénés

Ce sont des molécules organiques comportant un ou plusieurs atomes d'oxygène. L'oxygène est lié aux autres atomes par deux types de liaisons covalentes :

- deux liaisons simples – O – ;
- une liaison double O=.

3. Composés contenant un atome d'oxygène lié par 2 liaisons simples

3.1. Alcool

3.1.1. Définition

C'est un composé organique comportant un groupement fonctionnel hydroxyle (–OH).
Sa formule générale est $C_nH_{2n+2}O$ ou R–OH où R est un groupe carboné.

3.1.2. Nomenclature

Pour nommer un alcool, on remplace le « e » final de l'alcane correspondant par le suffixe « –ol » puis on indique, si nécessaire, le numéro de l'atome de carbone où le groupe hydroxyle est fixé appelé carbone fonctionnel. Si la molécule est ramifiée on procède comme suit :

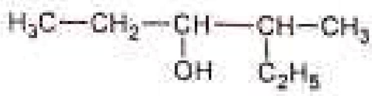
- on détermine la chaîne principale contenant le carbone fonctionnel ;
- on indique, si nécessaire, l'indice du carbone fonctionnel. Cet indice doit être le plus bas possible et est placé entre le nom de l'alcane correspondant à la chaîne principale (privé de la voyelle « e ») et le suffixe « –ol ».

Exemples :

H_3C-CH_2-OH

éthanol

3-méthylpentan-2-ol



3-méthylhexan-3-ol

3.1.3. Propriétés physiques

- Aucun alcool n'est gazeux à la température ordinaire.
- Ils sont liquides ou solides selon leur masse molaire et selon la position du groupement hydroxyle dans la molécule.

3.2. Ether oxyde

3.2.1. Définition

C'est un composé organique comportant un groupement fonctionnel oxyde (–O–).
Sa formule générale est $C_nH_{2n+2}O$ ou R–O–R' où R et R' sont des groupes carbonés.

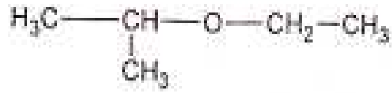
3.2.2. Nomenclature

Le nom de l'éther oxyde est obtenu en faisant précéder par « **oxyde de** » les noms des groupements rattachés à l'atome d'oxygène énoncés dans l'ordre alphabétique.

__Exemples__ :

oxyde de diméthyle

oxyde d'éthyle et de méthyle



oxyde d'éthyle et d'isopropyle

3.2.3. Propriétés physiques

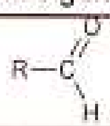
- Ils sont tous liquides à température ordinaire à l'exception de l'oxyde de diméthyle qui est gazeux.
- La plupart des éthers ne sont pas miscibles à l'eau.

4. Composés carbonylés

4.1. Aldéhyde

4.1.1. Définition

C'est un composé organique comportant un groupement fonctionnel carbonyle en bout de chaîne. Sa formule générale est $C_nH_{2n}O$ ou R-CHO où R est un groupe alkyle ou un atome d'hydrogène.

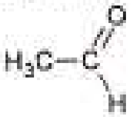
Groupe fonctionnel carbonyle	Formule générale
	

4.1.2. Nomenclature

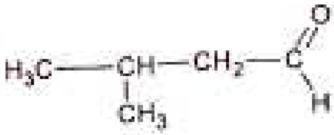
Pour nommer un aldéhyde, on remplace le « **e** » final de l'alcane correspondant par le suffixe « **–al** ».
Si la molécule est ramifiée on procède comme suit :

- on détermine la chaîne principale contenant le carbone fonctionnel ;
- on numérote les atomes de carbone de la chaîne principale en commençant par le carbone fonctionnel.

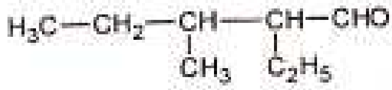
Exemples :



éthanal



3-méthylbutanal



2-éthyl-3-méthylpentanal

4.1.3. Propriétés physiques

- Le méthanal ou formol est gazeux.
- A température ordinaire, tous les autres sont liquides ou solides si leur masse molaire est élevée.
- Les molécules de moins de quatre atomes de carbones sont solubles dans l'eau.
- A partir de cinq atomes de carbone, la solubilité est presque nulle.

4.2. Cétone

4.2.1. Définition

C'est un composé organique comportant un groupement fonctionnel carbonyle en milieu de chaîne. Sa formule générale est $C_nH_{2n}O$ ou R-CO-R' où R et R' sont des groupes alkyles.

Groupe fonctionnel carbonyle	Formule générale
$-\underset{\underset{O}{\parallel}}{C}-$	$R-\underset{\underset{O}{\parallel}}{C}-R'$

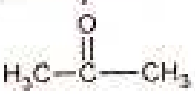
4.2.2. Nomenclature

Pour nommer une cétone, on remplace le « e » final de l'alcane correspondant par le suffixe « –one » puis on indique, si nécessaire, le numéro de l'atome de carbone fonctionnel.

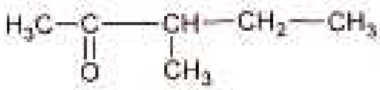
Si la molécule est ramifiée on procède comme suit :

- 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 il est placé entre le nom de l'alcane correspondant à la chaîne principale (privé de la voyelle « e ») et le suffixe « –one ».

Exemples :



propanone



3-méthylpentan-2-one

4-méthylhexan-3-one

4.2.3. Propriétés physiques

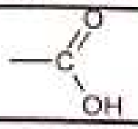
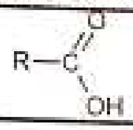
- A température ordinaire, les cétones sont liquides ou solides selon la valeur de leur masse molaire.
- Leur solubilité est comparable à celle des aldéhydes.

5. Composés comportant deux atomes d'oxygènes

5.1. Acide carboxylique

5.1.1. Définition

C'est un composé organique comportant un groupement fonctionnel carboxyle. Sa formule générale est $C_nH_{2n}O_2$ ou R-COOH où R est un groupe carboné ou un atome d'hydrogène.

Groupe fonctionnel carboxyle	Formule générale
	

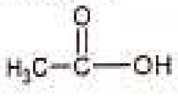
5.1.2. Nomenclature

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** ».

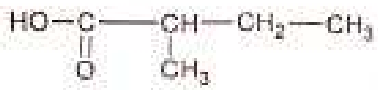
Si la molécule est ramifiée on procède comme suit :

- on détermine la chaîne principale contenant le carbone fonctionnel ;
- on numérote les atomes de carbone de la chaine principale en commençant par le carbone fonctionnel.

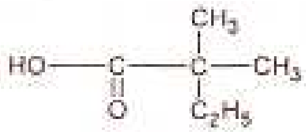
Exemples :



acide éthanoïque



acide 2-méthylbutanoïque



acide 2,2-diméthylbutanoïque

5.1.3. Propriétés physiques

- Jusqu'à l'acide butanoïque, ils sont complètement miscibles à l'eau.
- Les acides les plus lourds sont, en revanche insolubles.
- Les acides carboxyliques ne se dissocient pas totalement dans l'eau : ils sont dits acides faibles.

5.2. Ester

5.2.1. Définition

C'est un dérivé d'acide carboxylique R-COOH.

Sa formule générale est $C_nH_{2n}O_2$ ou R-COO-R' où R' est un groupe carboné.

5.2.2. Nomenclature

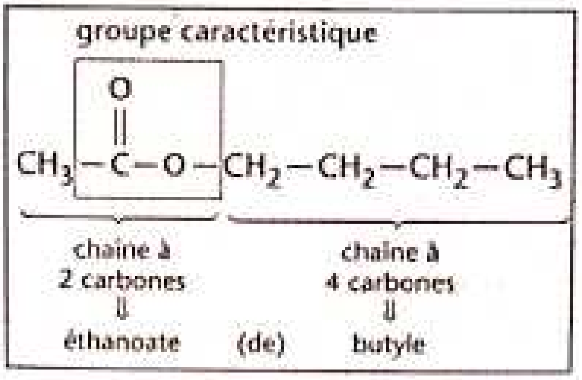
Le nom d'un ester s'obtient à partir du nom de l'acide carboxylique dont il dérive.

Le principe est le suivant :

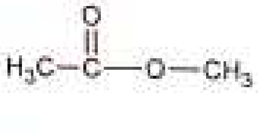
- on supprime le mot « **acide** »,
- on remplace la terminaison « **–oïque** » par « **–oate** »,
- on ajoute la préposition « **de** » ou « **d'** »,
- enfin on faire suivre le nom obtenu par celui du groupe carboné R'.

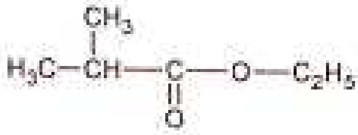
Autrement la nomenclature des esters est composée de deux termes :

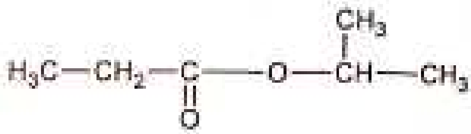
- le premier dérive de la nomenclature de l'acide carboxylique en remplaça[nt] la terminaison « -oïque » par la terminaison « -oate ».
- le second correspond au nom du groupe alkyle lié à l'atome d'oxygène.



Exemples :


éthanoate de méthyle


2-méthylpropanoate d'éthyle


propanoate d'isopropyle

5.2.3. Propriétés physiques

- Les esters sont liquides.
- Les esters volatils ont une odeur fruitée caractéristique.
- Ils sont responsables du goût et de l'odeur agréable de nombreux fruits et parfums artificiels

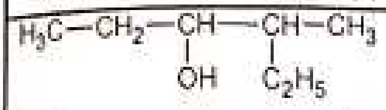
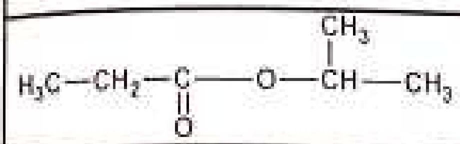
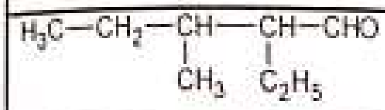
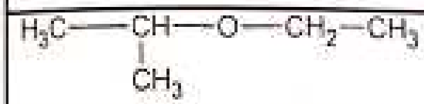
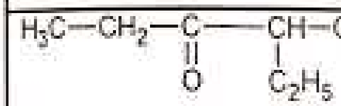
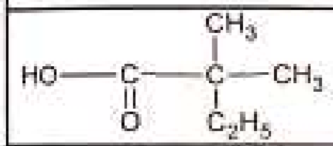
6. Tableau récapitulatifs

Composé oxygéné	Groupe fonctionnel ou caractéristique	Formule générale particulière	Formule générale commune
Alcool	$-OH$	$R-OH$	$C_nH_{2n+2}O$
Ether oxyde	$-O-$	$R-O-R'$	
Aldéhyde	$-C\begin{matrix}{}^{\nearrow}O\\{}_{\searrow}H\end{matrix}$	$R-C\begin{matrix}{}^{\nearrow}O\\{}_{\searrow}H\end{matrix}$	$C_nH_{2n}O$
Cétone	$-\underset{\underset{O}{\Vert}}{C}-$	$R-\underset{\underset{O}{\Vert}}{C}-R'$	
Acide carboxylique	$-\underset{\underset{O}{\Vert}}{C}-OH$	$R-\underset{\underset{O}{\Vert}}{C}-OH$	$C_nH_{2n}O_2$
Ester	$-\underset{\underset{O}{\Vert}}{C}-O-$	$R-\underset{\underset{O}{\Vert}}{C}-O-R'$	

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Complète le tableau ci-dessous.

Formules semi-développées	Nom	Famille
1 		
2 		
3 		
4 		
5 		
6 		

Exercice 2

Ecris les formules semi-développées des composés suivants et précise leur fonction :

a) Acide 2-méthylbutanoïque

b) 3-propylhexanal

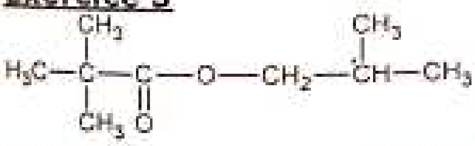
c) oxyde d'éthyle et de propyle

d) 2-méthylpentan-3-one

e) 2-méthylbutanoate d'éthyle

f) 3-méthylheptan-4-ol

Exercice 3



Le nom de la molécule ci-dessus est :

a. 2,2-diméthylpropanoate de 1-méthyléthyle

b. 2-méthylbutanoate de 2-méthylpropyle

c. 2,2-diméthylpropanoate de 2-méthylpropyle.

Choisis la lettre correspondante à la bonne réponse.

Exercice 4

Un acide carboxylique (A) est formé de 31,37% d'oxygène.

1) Calcule sa masse molaire et en déduis sa formule brute.

2) Ecris les formules semi-développées et les noms de tous les isomères possibles.

Exercice 5

Sur l'étiquette d'un flacon de composé carbonylé en partie illisible, on peut encore lire sa masse molaire moléculaire M = 86 g.mol⁻¹. Données : M_H = 1 g/mol ; M_C = 12 g/mol ; M_O = 16 g/mol.

1) Détermine la formule brute de cet composé.
2) Indique les noms et les formules semi-développées des composés possibles.
   Tu préciseras leur fonction.

Exercice 6

L'oxydation de 8,7 g d'un composé organique A de formule C_xH_yO donne 19,8 g de dioxyde de carbone et 8,1 g d'eau. D'autre part, la densité de vapeur du composé A est égale à 2.

1) Détermine sa masse molaire moléculaire.
2) En déduis sa formule brute.
3) Donne les formules semi-développées et noms des composés possibles.
   Tu préciseras leur fonction.

Exercice 7

Le laborantin de ton lycée découvre un flacon contenant un composé organique A de formule $C_xH_yO_z$ ayant les inscriptions suivantes : pourcentage en masse : %C : 54,5 ; %H : 9,1. Il te demande de l'aider à connaitre les composés organiques oxygénés susceptibles d'être dans le flacon. On donne : M_H = 1 g.mol⁻¹ ; M_C = 12 g.mol⁻¹ ; M_O = 16 g.mol⁻¹.

1. On considère que le composé contient un atome d'oxygène
   1.1. Montre que sa formule brute est C_2H_4O
   1.2. Donne la ou les fonction(s) chimique(s) possible(s) de A
   1.3. Ecris les formules semi-développées possibles de A et nomme-les.
2. On considère que le composé contient deux atomes d'oxygène
   2.1. Montre que sa formule brute est $C_4H_8O_2$
   2.2. Donne la ou les fonction(s) chimique(s) possible(s) de A
   2.3. Ecris les formules semi-développées possibles de A et nomme-les.

Exercice 8

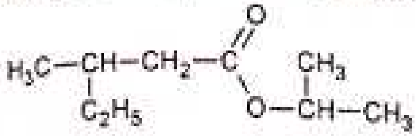
Au cours d'une séance de travaux pratiques un groupe d'élèves réalise la combustion complète dans le dioxygène de 0,1 mole d'un composé organique oxygéné $C_nH_{2n+2}O$ noté A. Il recueille 8,96 L de dioxyde de carbone et de l'eau. Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire d'un gaz est 22,4 mol.L⁻¹. Ils désirent avoir plus de renseignement sur cette catégorie de composés. Passionné de chimie, tu es sollicité pour les aider.

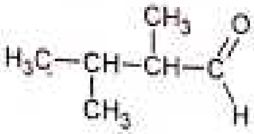
1. Ecris l'équation-bilan de la combustion complète de A
2. Justifie que la formule brute de A est $C_4H_{10}O$.
3. Déduis-en les fonctions chimiques possibles de A.
4. Donne la formule semi-développée et le nom chacun des isomères possibles de A.
5. Sachant que A est un alcool dont le carbone fonctionnel est relié à 3 groupes alkyles, donne le nom de A.

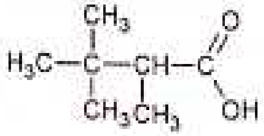
EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

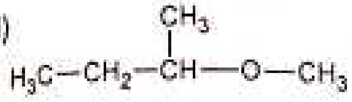
Exercice 1

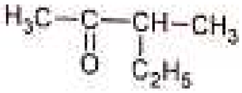
1) Nomme les composés ci-dessous :

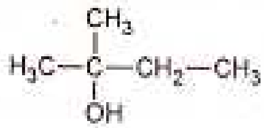
a) 

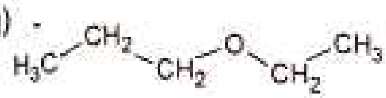
b) 

c) 

d) 

e) 

f) 

g) 

2) Ecris les formules semi-développées des composés suivants :

a) 3,4-diméthylpentan-2-ol

b) acide 3-méthylbutanoïque

c) 2,3,4-triméthylpentan-3-ol

d) 2-éthyl-3-méthylbutanal

e) 2,2-diméthylpentan-3-one

f) oxyde d'éthyle et de 2-méthylhexane

g) 3-méthylpentanoate d'isopropyle

Exercice 2

Un acide carboxylique (A) de masse molaire $M = 60\ g.mol^{-1}$.

1. Ecrire la formule générale d'un acide carboxylique.
2. Déterminer la formule brute de A.
3. En déduire la formule semi développée et le nom de (A).

Exercice 3

Un composé organique A de formule brute C_xH_yO contient 64,86 % en masse de carbone.

1. Détermine sa formule brute, sachant que $M_A = 74\ g.mol^{-1}$.
2. Donne les familles et formules semi-développées possibles pour ce composé.

Exercice 4

L'analyse d'un composé organique oxygéné **A** comportant deux atomes d'oxygène donne 54,55% de carbone et 36,36% d'oxygène.

1. Détermine la masse molaire M_A de **A**.
2. En déduis sa formule brute.
3. Donne les fonctions possibles pour **A**.
4. Détermine les formules semi-développées et les noms des isomères de **A**.

On te donne : $M_H = 1\ g.mol^{-1}$; $M_C = 12\ g.mol^{-1}$; $M_O = 16\ g.mol^{-1}$.

Exercice 5

1. Un mono alcool saturé a pour masse molaire M = 88 g/mol
   1.1. Détermine sa formule brute.
   1.2. Ecris les formules semi développées correspondantes.
   Tu préciseras le nom et la classe de chaque isomère.
2. Un composé organique oxygéné A de masse molaire moléculaire M = 88 g/mol contient en masse environ 68,2% de carbone, 13,6% d'hydrogène et 18,2% d'oxygène.
   2.1. Détermine sa formule brute et en déduis les familles possibles pour A.
   2.2. Sachant que le composé est un alcool à chaîne carbonée ramifiée, montre qu'il existe cinq (5) formules semi-développées possibles pour A. Donne leurs noms.

Exercice 6

Lors d'une séance de TP des élèves de 1ère D analysent un composé A de formule brute C_xH_yO. Ils obtiennent 69,8% de carbone et 11,6% d'hydrogène. Ils veulent déterminer tous les composés organiques oxygénés susceptibles de donner ces résultats. Tu es solicité pour les aider. On te donne les masses molaires atomiques : C : 12 ; H : 1 ; O : 16.

1. Détermine sa masse molaire moléculaire
2. Détermine les nombres entiers x et y. En déduis la formule brute de A.
3. Indique la ou les famille(s) de ce composé organique. Justifie ta réponse.
4. Donne les formules semi-développées et les noms des isomères possibles.
   Tu les regrouperas par fonction organique ou famille.

Exercice 7

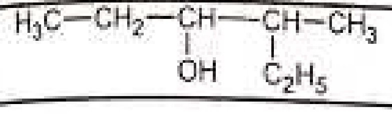
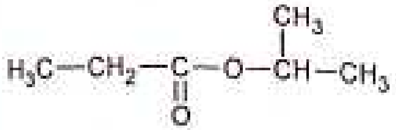
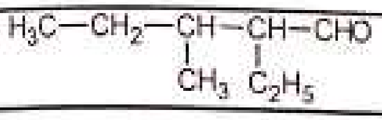
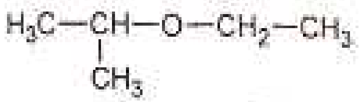
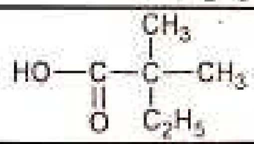
Après un cours de chimie, sur les composés organique oxygénés, votre professeur vous donne un exercice qui consiste à déterminer un composé B à partir des hypothèses ci-dessous :
10 g du composé organique B de densité de vapeur d = 2,483, de formule C_xH_yO, brûle dans un excès de dioxygène en donnant 24,45 g de dioxyde de carbone et 9,99 g d'eau. Tu es désigné pour la correction. On te donne : M(C) = 12 g/mol ; M(O) = 16 g/mol ; M(H) = 1 g/mol.

1. .
   1.1. Détermine la masse de carbone contenue dans B.
   1.2. Calcule le pourcentage massique de B en élément carbone.
2.
   2.1. Détermine la masse d'hydrogène contenue dans B.
   2.2. Calcule les pourcentages massiques de B en éléments hydrogène puis oxygène.
3.
   3.1. Détermine la formule brute de B.
   3.2. Déterminer la formule semi- développée et le nom de chaque isomère de B.
   3.3. Sachant que B est un aldéhyde à chaine carbonée ramifiée, déduis-en nom.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

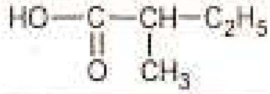
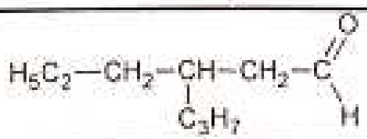
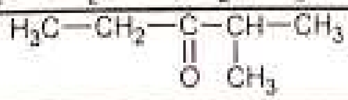
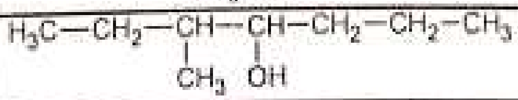
Exercice 1

Complétons le tableau :

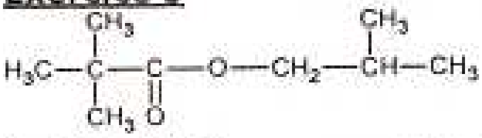
Formules semi-développées	Nom	Famille
	4-méthylhexan-3-ol	alcool
	propanoate de 1-méthyléthyle ou propanoate de méthyléthyle ou propanoate d'isopropyle	ester
	2-éthyl-3-méthylpentanal	aldéhyde
	oxyde d'éthyle et de 1-méthyléthyle ou oxyde d'éthyle et de méthyléthyle ou oxyde d'éthyle et d'isopropyle	éther oxyde
	4-méthylhexan-3-one	cétone
	acide 2,2-diméthylbutanoïque	acide carboxylique

Exercice 2

Formules semi-développées et fonction des composés :

Formules semi-développées	Nom	Fonction
a) acide 2-méthylbutanoïque		acide carboxylique
b) 3-propylhexanal		aldéhyde
c) oxyde d'éthyle et de propyle	$H_3C-CH_2-O-CH_2-CH_2-CH_3$	éther oxyde
d) 2-méthylpentan-3-one		cétone
e) 2-méthylbutanoate d'éthyle		ester
f) 3-méthylheptan-4-ol		alcool

Exercice 3



Je choisis la lettre correspondante à la bonne réponse.

Le nom de la molécule ci-dessus est :

c. **2,2-diméthylpropanoate de 2-méthylpropyle.**

Exercice 4

1) **Calculons sa masse molaire et déterminons sa formule brute.**

La formule générale d'un acide carboxylique est $C_nH_{2n}O_2$.

$$\%O = \frac{16\times 2}{M_A}\times 100 \Rightarrow M_A = \frac{3200}{\%O} = \frac{1600}{31,37} \Rightarrow M_A = 102 \text{ g/mol}$$

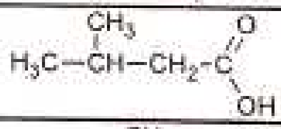
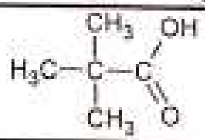
Déterminons sa formule brute.

$$M_A = M(C_nH_{2n}O_2) = 12n + 2n + 2\times 16 = 14n + 32 \Rightarrow n = \frac{M_A - 32}{14} = \frac{102-32}{14} = 5$$

La formule brute de A est donc $C_5H_{10}O_2$.

2) **Formules semi-développées et noms de tous les isomères possibles.**

Il faut donc citer tous les acides carboxyliques ayant cinq (5) atomes de carbone.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
$C_5H_{10}O_2$		acide pentanoïque
		acide 2-méthylbutanoïque
		acide 3-méthylbutanoïque
		Acide 2,2-diméthylpropanoïque

Exercice 5

1) **Déterminons la formule brute de cet composé.**

Résoudre la question à l'aide d'une équation après avoir remarqué que la formule générale d'un composé carbonylé simple est de la forme : $C_nH_{2n}O$

Donc la masse molaire moléculaire d'un composé carbonylé est :

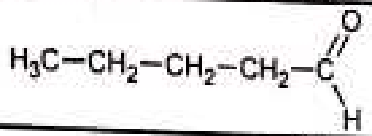
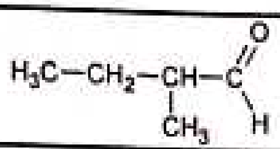
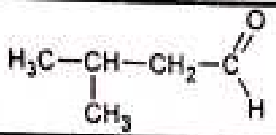
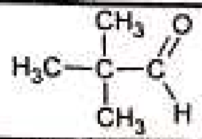
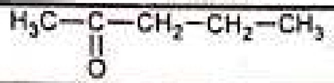
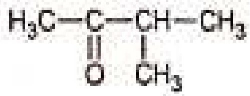
$M = n\times M_C + 2n\times M_H + M_O = n\times 12 + 2n\times 1 + 16 = 14n + 16$

Alors, si $M = 86 \text{ g.mol}^{-1}$, il faut résoudre l'équation : $14n + 16 = 86$; soit : $n = \frac{86-16}{14} = 5$.

Ainsi la formule brute s'écrit : $C_5H_{10}O$.

2) **Noms, formules semi-développées et fonctions des composés possibles.**

Il faut citer tous les composés carbonylés ayant cinq (5) atomes de carbone.

Famille ou fonction	Formules semi-développées	Nom
Aldéhyde		pentanal
		2-méthylbutanal
		3-méthylbutanal
		2,2-diméthylpropanal
Cétone		penta-2-one
		penta-3-one
		3-méthylbutan-2-one ou 3-méthylbutanone

Exercice 6

1) **Masse molaire moléculaire** : $M_A = 29 \times d = 29 \times 2 = 58$ g/mol.

2) **Formule brute**

- **Ecrivons d'abord l'équation bilan de la combustion.**

$$C_xH_yO + \left(x + \frac{y}{4} - \frac{1}{2}\right)O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$$

- **Calculons les quantités d'eau, de dioxyde de carbone formées et du composé A**

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{8,1}{1 \times 2 + 16} = 0,45 \text{ mol}$$

$$n_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} = \frac{19,8}{12 + 16 \times 2} = 0,45 \text{ mol}$$

$$n_A = \frac{m_A}{M_A} = \frac{8,7}{58} = 0,15 \text{ mol}$$

- **Ecrivons le bilan molaire de la réaction**

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{O_2}}{x + \frac{y}{4} - \frac{1}{2}} = \frac{n_{CO_2}}{x} = \frac{n_{H_2O}}{\frac{y}{2}}$$

- **Déterminons les nombres entiers x et y :**

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{CO_2}}{x} \Rightarrow xn_A = n_{CO_2} \Rightarrow x = \frac{n_{CO_2}}{n_A} = \frac{0,45}{0,15} = 3$$

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{H_2O}}{\frac{y}{2}} \Rightarrow \frac{y}{2}n_A = n_{H_2O} \Rightarrow y = \frac{2n_{H_2O}}{n_A} = \frac{2\times 0,45}{0,15} = 6$$

Donc la formule brute du composé A est : **C_3H_6O.**

3) **Formules semi-développées et noms des composés possibles. Précisons leur fonction.**

Le composé A appartient à la famille des **aldéhydes** ou des **cétones**.

Puisque sa formule brute respecte la formule générale **$C_nH_{2n}O$.**

Famille ou fonction	Formules semi-développées	Nom
Aldéhyde	$H_3C-CH_2-C(=O)-H$	propanal
Cétone	$H_3C-C(=O)-CH_3$	propan-2-one ou propanone

Exercice 7

1. **On considère que le composé contient un atome d'oxygène**

1.1. Montons que sa formule brute est C_2H_4O

Soit C_xH_yO la formule brute générale de A. Calculons la masse molaire M_A de A.

$$\%O = \frac{16\times 1}{M_A}\times 100 \Rightarrow M_A = \frac{1600}{\%O} = \frac{1600}{100-(54,5+9,1)} \approx 44 \text{ g/mol}$$

Déduisons les nombres d'atomes x et y de carbone et d'hydrogène.

$$\%C = \frac{12x}{M_A}\times 100 \Rightarrow x = \frac{\%C\times M_A}{1200} = \frac{54,5\times 44}{1200} = 2$$

$$\%H = \frac{y}{M_A}\times 100 \Rightarrow y = \frac{\%H\times M_A}{100} = \frac{9,1\times 44}{100} \approx 4$$

Donc la formule brute de A est bien : C_2H_4O

1.2. Donnons la ou les fonction(s) chimique(s) possible(s) de A

Le composé A appartient à la famille des **aldéhydes** ou des **cétones**. Puisque sa formule brute respecte la formule générale $C_nH_{2n}O$ des **composés carbonylés**. Mais comme une cétone comporte au moins trois(3) atomes de carbone donc A est un **aldéhyde**.

1.3. Formules semi-développées possibles et noms de A.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
C_2H_4O	$H_3C-C(=O)-H$	éthanal

2. On considère que le composé contient deux atomes d'oxygène

2.1. Montrons que sa formule brute est $C_4H_8O_2$

Soit $C_xH_yO_2$ la formule brute générale de A. Calculons la masse molaire M_A de A.

$$\%O = \frac{16\times 2}{M_A}\times 100 \Rightarrow M_A = \frac{3200}{\%O} = \frac{3200}{100-(54,5+9,1)} \approx 88 \text{ g/mol}$$

Déduisons les nombres d'atomes x et y de carbone et d'hydrogène.

$$\%C = \frac{12x}{M_A}\times 100 \Rightarrow x = \frac{\%C\times M_A}{1200} = \frac{54,5\times 88}{1200} \approx 4$$

$$\%H = \frac{y}{M_A}\times 100 \Rightarrow y = \frac{\%H\times M_A}{100} = \frac{9,1\times 88}{100} \approx 8$$

Donc la formule brute de A est bien : $C_4H_8O_2$

2.2. Donnons la ou les fonction(s) chimique(s) possible(s) de A

Le composé A appartient à la famille des acides carboxyliques ou des esters.

Puisque sa formule brute respecte la formule générale $C_nH_{2n}O_2$.

2.3. Formules semi-développées possibles et nom de A.

Famille ou fonction chimique	Formules semi-développées	Nom
acide carboxylique	$H_3C-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$	acide butanoïque
	$H_3C-CH(CH_3)-C(=O)-OH$	acide 2-méthylpropanoïque
ester	$H_3C-CH_2-C(=O)-O-CH_3$	propanoate de méthyle
	$H_3C-C(=O)-O-CH_2-CH_3$	éthanoate d'éthyle
	$H-C(=O)-O-CH_2-CH_2-CH_3$	méthanoate de propyle
	$H-C(=O)-O-CH(CH_3)-CH_3$	méthanoate de 1-méthyléthyle ou méthanoate de méthyléthyle ou méthanoate d'isopropyle

Exercice 8

1) Equation-bilan de la combustion complète de A

$$C_nH_{2n+2}O + \frac{3n+1}{2}O_2 \longrightarrow n\,CO_2 + (n+1)H_2O$$

2) Justifions que la formule brute de A est $C_4H_{10}O$.

soit n la quantité de matière d'un corps et n le nombre d'atomes de carbone du composé A.

$$\text{Bilan molaire : } \frac{n_A}{1} = \frac{n_{CO_2}}{n} \Rightarrow n = \frac{n_{CO_2}}{n_A} = \frac{\frac{V_{CO_2}}{V_m}}{n_A} = \frac{V_{CO_2}}{V_m \times n_A} \Rightarrow n = \frac{8{,}96}{22{,}4 \times 0{,}1} = 4$$

Donc la formule brute de A est bien : $C_4H_{10}O$

3) Déduisons les fonctions chimiques possibles de A.

Le composé A appartient à la famille des alcools ou des éthers oxydes.

Puisque sa formule brute respecte la formule générale $C_nH_{2n+2}O$.

4) Formule semi-développée et le nom chacun des isomères possibles de A.

Fonction chimique ou famille	Formule semi-développée	Nom
Alcool	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2OH$	butan-1-ol
	$H_3C-CH_2-CH(OH)-CH_3$	butan-2-ol
	$H_3C-CH(CH_3)-CH_2-OH$	2-méthylpropan-1-ol
	$H_3C-C(CH_3)(OH)-CH_3$	2-méthylpropan-2-ol
Ether oxyde	$H_3C-O-CH_2-CH_2-CH_3$	oxyde de méthyle et de propyle
	$H_3C-CH_2-O-CH_2-CH_3$	oxyde de diéthyle
	$H_3C-O-CH(CH_3)-CH_3$	oxyde de méthyle et de méthyléthyle ou oxyde d'isopropyle et de méthyle

5) Nom de A

A est un alcool dont le carbone fonctionnel est relié à 3 groupes alkyles.

Composé organique	Formule semi-développée	Nom
A	$H_3C-C(CH_3)(OH)-CH_3$	2-méthylpropan-2-ol

C07 : L'ETHANOL

Hugo Schiff
(1834 - 1915)
Chimiste Allemand.
Son domaine de recherche était surtout centré sur les imines (**bases de Schiff**) ainsi que le test de reconnaissance des aldéhydes (**test ou réactif de Schiff**).
Il travailla également sur les acides aminés et sur un test de reconnaissance des biurets (réaction du biuret)

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Expliquer	les procédés d'obtention de l'éthanol : - hydratation de l'éthylène - fermentation des jus sucrés
Expliquer	les dangers liés à la consommation abusive de boissons alcoolisées.
Identifier	les produits de l'oxydation de l'éthanol.
Ecrire	• l'équation-bilan de la combustion de l'éthanol. • les équations-bilans de l'oxydation ménagée de l'éthanol.
Exploiter	• l'équation-bilan de la combustion de l'éthanol. • les équations-bilans de l'oxydation ménagée de l'éthanol.

RAPPEL DE COURS

1. Procédés d'obtention de l'éthanol

1.1. Hydratation de l'éthylène

L'éthanol peut être obtenu par l'hydratation de l'éthylène en milieu acide.

$$CH_2 = CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3 - CH_2OH$$

1.2. Fermentation des jus sucrés

L'éthanol est obtenu par fermentation alcoolique à partir de jus sucrés tels que palme, cacao, ananas, canne, sorgho…) : $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{enzyme} 2CH_3 - CH_2OH + 2CO_2$

2. Combustion de l'éthanol

Tout comme les hydrocarbures, l'éthanol brûle dans l'air pour donner du dioxyde de carbone et de l'eau : $C_2H_6O + 3O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

De manière générale on a : $C_nH_{2n+2}O + \frac{3n}{2}O_2 \longrightarrow nCO_2 + (n+1)H_2O$

3. Oxydation ménagée

3.1. Réactifs d'identification de quelques composés oxygénés

	Aldéhyde	Cétone	Alcool	Acide carboxylique
Réactif de Schiff	coloration rose	–	–	–
2,4-DNPH	précipité jaune	précipité jaune	–	–
Papier pH	–	–	–	coloration rouge
Solution oxydante + H_2SO_4 concentré	décoloration	–	décoloration	–

3.2. Oxydation par l'oxygène de l'air

C'est l'expérience de la lampe sans flamme. 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.

$$CH_3 - CH_2OH + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Cu \text{ ou } Pt} CH_3 - CHO + H_2O$$

$$CH_3 - CHO + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Cu \text{ ou } Pt} CH_3 - COOH$$

3.3. Oxydation par un oxydant.

En présence d'acide sulfurique concentré l'oxydation de l'éthanol par une solution oxydante de permanganate de potassium ($KMnO_4$) ou de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) conduit à :

- un aldéhyde (l'éthanal) si la solution oxydante est en défaut ;
- un acide carboxylique (l'acide éthanoïque) si la solution oxydante est en excès.

$$CH_3 - CH_2OH \xrightarrow[H_2SO_4 \text{ concentré}]{\text{oxydant en défaut}} CH_3 - CHO$$

$$CH_3 - CH_2OH \xrightarrow[H_2SO_4 \text{ concentré}]{\text{oxydant en excès}} CH_3 - COOH$$

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Dans le texte ci-dessous, recopie le numéro et écris en face le mot ou le groupe de mots qui convient parmi les mots ou groupes de mots suivants :

combustion ; aldéhydes, dioxyde de carbone, enzymes, détruite, ménagée, acides carboxyliques, jus sucrés, brutale, conservée, fermentation, l'eau

L'éthanol s'obtient par l'hydratation de l'éthylène en présence d'acide sulfurique.

On peut aussi l'obtenir par la ......(1) des ......(2) en présence d'.......(3).

Le réactif de Schiff est le réactif des ....(4) et le papier pH celui des ......(5).

L'éthanol brûle dans l'oxygène de l'air pour donner de ...(6) et du ...(7) : c'est une réaction de ...(8). Lors de cette réaction, la chaine carboné de l'éthanol est ...(9). On parle d'oxydation ...(10). L'oxydation au cours de laquelle la chaine carbonée est ...(11) est une oxydation....(12).

Exercice 2

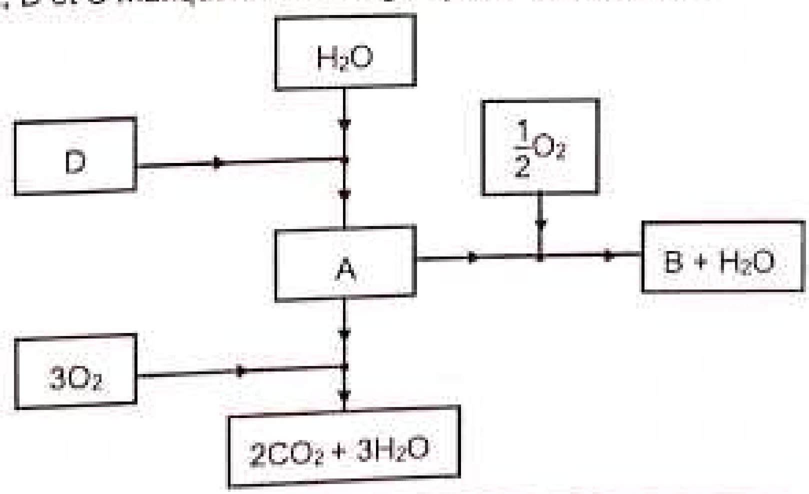
Trois flacons A, B, C contiennent l'une des solutions aqueuses suivantes : **éthanol**, **éthanal** et acide **éthanoïque**.

Complète le tableau suivant en identifiant la solution contenue dans chaque flacon suite aux résultats des tests réalisés.

Réactifs \ Flacons	A	B	C
Réactif de schiff	Coloration rose	Rien	Rien
DNPH	Précipité jaune	Rien	Rien
Solution de permanganate de potassium en milieu acide	Décoloration	Rien	Décoloration
Nom du produit			

Exercice 3

Identifie les composés A, B et C manquant dans l'organigramme ci-dessous :



Exercice 4

On peut obtenir l'éthanol de formule brute C_2H_6O par fermentation alcoolique de jus sucrés ou encore par fermentation de produits contenant de l'amidon comme la pomme de terre.

1) Écris l'équation de la fermentation de l'amidon, de formule $C_6H_{12}O_6$, sachant qu'en plus de l'éthanol, on observe un dégagement de dioxyde de carbone.
2) Détermine la masse d'éthanol obtenue à partir de m = 100 kg d'amidon.

Exercice 5

Lors d'une séance de TP des élèves brûlent 0,3 g d'un alcool saturé et ils obtiennent du dioxyde de carbone et de l'eau. Ils veulent connaitre les produits de l'oxydation ménagés de cet alcool. Etant élève de 1ère, tu es sollicité pour les aider.

La densité de la vapeur de cet alcool par rapport à l'air est 2,07.

1) Calcule la masse molaire de cet alcool et en déduis sa formule brute.
2) Donne les formules semi-développées et les noms de ses isomères.
3) Donne les produits de son oxydation ménagée.

Exercice 6

Lors d'une séance de TP des élèves réalisent la combustion complète de 0,37 g d'un alcool (A). Celle-ci nécessite 0,72 L de dioxygène dans les conditions de température et de pression où le volume molaire des gaz est égal à 24 $L.mol^{-1}$. Ils veulent identifier cet alcool. Aide-les.

1) Ecris l'équation de la combustion complète d'un alcool (A).
2) Détermine la formule brute de (A).
3) Ecris les formules semi-développées et les noms de tous les isomères possibles.

Exercice 7

Un élève veut identifier un composé oxygéné A de formule générale $C_nH_{2n+2}O$. Pour cela il le soumet aux expériences suivantes : l'analyse élémentaire de A montre qu'il contient en masse 52,2% de carbone et 13% d'hydrogène. L'oxydation ménagée de A par l'oxygène de l'air donne un composé organique B qui colore le réactif de Schiff en rose. En présence d'un excès d'oxygéne, cette oxydation conduit à un composé organique D dont la solution colore le papier pH en rouge. Tu es sollicité pour l'aider à identifier le composé A.

1. Détermine sa masse molaire M et en déduis sa formule brute.
2. Détermine les formules semi-développées et les noms de tous les isomères de A.
3. Donne les fonctions, les formules semi-développées et les noms respectifs des composés B et D.
4. En déduis la formule semi-développée et le nom du composé oxygéné A.
5. Écris les équations bilan des réactions qui ont eu lieu au cours de l'oxydation de A.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Dans le laboratoire de physique-chimie de ton lycée se trouvent quatre flacons dont les étiquettes sont décollées. Votre professeur vous informe que ceux-ci contiennent soit du **Propan-1-ol** ; soit du **propanal** ; soit de la **propanone** ; soit de l'**acide propanoïque.**

Pour reétiqueter correctement les flacons, il réalise des tests analytiques simple sur un échantillon de chaque produit avec les réactifs :

- Le permangate de potassium ($K^+ + MnO_4^-$) en solution acide
- La 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH)

Il obtient les résultats consignés dans le tableau ci-dessous

Réactifs \ Flacons	1	2	3	4
($K^+ + MnO_4^-$) en solution acide	décoloration	décoloration	rien	rien
DNPH	précipité jaune	rien	rien	précipité jaune

Tu es désigné pour reétiqueter les 4 flacons.

1. Donne une interprétation des résultats suivants :
   1.1. décoloration de la solution de permangate ($K^+ + MnO_4^-$) en milieu acide ;
   1.2. précipité jaune de la DNPH.
2. Identifie la solution contenue dans chaque flacon.

Exercice 2

Pour identifier un composé D de formule brute $C_nH_{2n}O$, un groupe d'élèves réalise, sous la supervision de leur professeur de physique-chimie, les tests suivants :

- ✓ la combustion complète de 1 g de D donne 2,45 g de dioxyde de carbone ;
- ✓ avec la D.N.P.H, le composé D donne un précipité jaune ;
- ✓ le composé D donne un dépôt d'argent avec le réactif de Tollens ;
- ✓ en milieu acide, D est oxydé de façon ménagée et donne l'acide 2-méthylpropanoïque.

Tu es le rapporteur du groupe.

On te donne les masses molaires atomiques en g/mol : H : 1 ; C : 12 ; O : 16.

1. Ecris l'équation-bilan de la réaction et en déduis la formule brute de D.
2. Donne les formules semi développées possibles de D.
3. En déduis la fonction chimique de D.
4. En déduis de manière précise la formule semi-développée et le nom de D.

Exercice 3

Au cours d'une séance de TP, le professeur de physique-chimie d'un lycée demande à ses élèves de $1^{ère}$ C d'identifier un alcène A. Pour cela, ils le traite par l'eau en présence d'acide sulfurique à 130°. Le produit B de la réaction a pour formule brute $C_4H_{10}O$. Puis, ils font réagir B avec une solution de permanganate de potassium acidifiée. Le produit C obtenu a la même chaîne carbonée que B et donne un précipité jaune avec la D.N.P.H. mais ne réagit pas avec le réactif de Tollens. Tu es sollicité pour aider ces élèves à identifier les composés A, B et C.

On te donne les masses molaires atomiques en g/mol : H : 1 ; C : 12 ; O : 16.

1) Indique la fonction chimique de B.
2) Donne les formules semi-développées et les noms des différents isomères de B.
3) Indique le type d'isomérie dont il s'agit.
4)
   4.1. Indique la fonction chimique de C et en déduis sa formule semi-développée.
   4.2. Détermine la formule semi-développée de B.
   4.3. Donne les formules semi-développées possibles pour A et les noms des alcènes correspondants.

Exercice 4

Lors d'un documentaire à la télé, un élève de $1^{ère}$ D apprend que lorsqu'un vin se transforme en vinaigre, l'alcool contenu dans ce vin subit une oxydation ménagée avec le dioxygène de l'air. Cet alcool se transforme en acide carboxylique. Le même documentaire mentionne que la combustion complète de 0,1 mol de cet alcool ($C_nH_{2n+2}O$) dans le dioxygène a produit 4,5 L de dioxyde de carbone dans des conditions normales de température et de presssion où $V_m = 22,4\ L.mol^{-1}$. Il te sollicite afin d'identifier cet alcool et l'acide carboxylique qui s'y forme.

1. Ecris l'équation-bilan de la réaction de combustion complète de cet alcool.
2. On te donne les masses molaires en $g.mol^{-1}$: M(O) = 16 ; M(C) = 12 ; M(H) = 1.
   2.1. Détermine la formule brute de cet alcool.
   2.2. En déduis sa formule semi-développée et son nom.
3.
   3.1. Ecris l'équation-bilan de l'oxydation ménagée de l'alcool par du dioxygène en excès.
   3.2. En déduis la formule semi-développée et le nom de l'acide carboxylique.
4. On dispose des réactifs suivants :
   - une solution de réactif de Schiff ;
   - une solution de bleu de bromothymol (BBT) ;
   - une solution de soude.

   Précise le réactif qui permet d'identifier l'acide carboxylique.

Exercice 5

Afin d'identifier les isomères d'un composé organique à chaîne carbonée saturée de formule C_xH_yO, un groupe d'élèves réalise les tests suivants : l'analyse élémentaire du composé donne 21,62% d'oxygène et 64,86% de carbone. Dans deux tubes à essai A et B contenant respectivement 2 mL de solution de deux des isomères précédents, les élèves versent quelques gouttes d'une solution de permanganate de potassium acidifié en défaut. Ils observent une décoloration dans les tubes A et B. Les composés A' et B' formés précédemment dans les tubes A et B respectivement, sont testés avec le réactif de Schiff. Ce test est négatif avec A', mais positif avec B'. B' est un composé à chaîne carbonée linéaire. Aide-les.

On te données les masses molaires atomiques en g/mol : H : 1 ; C : 12 ; O : 16.

1. Montre que la masse molaire du composé est M = 74 g/mol et en déduis sa formule brute.
2. Indique les familles possibles que ce composé peut appartenir.
3. Sachant qu'il contient le groupe hydroxyle, donne la formule semi-développée de chacun de ses isomères.
4.
   4.1. Identifie A' et l'isomère contenu dans le tube A par leur nom.
   4.2. Identifie B' et l'isomère contenu dans le tube B par leur nom.

Exercice 6

Afin de déterminer la formule exacte d'un composé organique A de formule brute C_xH_yO, des élèves de 1ère D réalise la combustion complète de 3,52 g de A. Ils obtiennent de l'eau et 5 L de dioxyde de carbone. Ils effectuent ensuite son oxydation ménagée par une solution de dichromate de potassium en milieu acide. La solution oxydante étant en défaut, ils obtiennent un composé B qui donne un précipité jaune avec la D.N.P.H. Le composé B dont la molécule possède un carbone tétraédrique lié à 4 atomes ou 4 groupes d'atomes tous différents, peut réduire une solution de permanganate de potassium en milieu acide. La densité de vapeur de A est d = 3,04. Dans les conditions de l'expérience le volume molaire gazeux est 25 L/mol.

Tu es sollicité pour les aider.

1)
   1.1. Ecris la réaction de combustion complète de A dans le dioxygène.
   1.2. Détermine la formule brute du composé.
   1.3. Sachant que la molécule de A est ramifiée et possède un groupe hydroxyde, écris toutes les formules semi-développées possibles de A et nomme-les.

2)
   2.1. Indique les fonctions possibles pour B.
   2.2. Donne la formule semi-développée et le nom de B.
   2.3. Précise la formule semi-développée et le nom du composé C, obtenu lors de la réaction de B avec la solution de permanganate.
   2.4. Donne la formule semi-développée exacte de A.

CORRECTION DES EXERCCICES RESOLUS

Exercice 1

Je recopie le numéro et j'écris en face le mot ou le groupe de mots qui convient.

(1) : *fermentation ;*

(2) : *jus sucrés ;*

(3) : *enzymes ;*

(4) : *aldéhydes ;*

(5) : *acides carboxyliques ;*

(6) : *l'eau*

(7) : *dioxyde de carbone ;*

(8) : *combustion ;*

(9) : *détruite ;*

(10) : *brutale ;*

(11) : *conservée ;*

(12) : *ménagée.*

Exercice 2

Je complète le tableau en identifiant la solution contenue dans chaque flacon suite aux résultats des tests réalisés.

Réactifs \ Flacons	A	B	C
Réactif de schiff	Coloration rose	Rien	Rien
DNPH	Précipité jaune	Rien	Rien
Solution de permanganate de potassium en milieu acide	Décoloration	Rien	Décoloration
Nom du produit	*éthanal*	*acide éthanoïque*	*éthanol*

Exercice 3

J'identifie les composés A, B et C manquant dans l'organigramme.

Composé	Formule brute	Formule semi-développée	Nom
A	C_2H_6O	$CH_3\text{-}CH_2\text{-}OH$	éthanol
B	C_2H_4O	$CH_3\text{-}CHO$	éthanal
C	C_2H_4	$CH_2{=}CH_2$	éthylène

Exercice 4

1) Equation de la fermentation de l'amidon, de formule $C_6H_{12}O_6$.

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{enzyme}} 2\,C_2H_6O + 2\,CO_2$$

2) Déterminons la masse d'éthanol obtenue à partir de m = 100 kg d'amidon.

Ecrivons le bilan molaire de la réaction

$$\frac{n_{amidon}}{1} = \frac{n_{éthanol}}{2} = \frac{n_{CO_2}}{2} \Rightarrow n_{éthanol} = 2 \times n_{amidon}$$

$$\Rightarrow \frac{m_{éthanol}}{M_{éthanol}} = 2 \times \frac{m_{amidon}}{M_{amidon}} \Rightarrow m_{éthanol} = 2 \times M_{éthanol} \times \frac{m_{amidon}}{M_{amidon}}$$

Application numérique : $m_{éthanol} = 2 \times (12 \times 2 + 6 + 16) \times \dfrac{100}{(12 \times 6 + 12 + 16 \times 6)} = 51{,}11\,kg$

Exercice 5

1) Calcul de la masse molaire de cet alcool et déduction de sa formule brute

- La masse molaire de l'alcool est : M = 29d = 29×2,07 = 60,03 g/mol.
- La formule générale de l'alcool saturé est $C_nH_{2n+2}O$.
- Sa masse molaire générale est : M = 12n + 2n + 2 + 16 = 14n + 18

  On a donc : 14n + 18 = 60,03 $\Rightarrow n = \dfrac{60{,}03 - 18}{14} = 3$
- La formule brute de l'alcool est : C_3H_8O.

2) Les formules semi-développées et les noms de ses isomères.

Formule brute	Formules semi-développées	Nom
C_3H_8O	$H_3C-CH_2-CH_2-OH$	propan-1-ol
	$H_3C-CH(OH)-CH_3$	propan-2-ol

3) Donnons les résultats de son oxydation ménagée.

Formules semi-développées	Résultats de son oxydation ménagée
$H_3C-CH_2-CH_2-OH$ propan-1-ol	H_3C-CH_2-CHO propanal
$H_3C-CH(OH)-CH_3$ propan-2-ol	$H_3C-CO-CH_3$ propanone

Exercice 6

a) Equation de la combustion complète d'un alcool (A).

$$C_nH_{2n+2}O + \frac{3n}{2}O_2 \longrightarrow nCO_2 + (n+1)H_2O$$

b) Détermination de la formule brute de (A).

- Calculons les quantités de dioxygène et d'alcool

$$n'_{O_2} = \frac{V}{V_m} = \frac{0{,}72}{24} = 0{,}03\ \text{mol}$$

$$n'_A = \frac{m_A}{M_A} = \frac{0{,}37}{14n+18}$$

- Ecrivons le bilan molaire de la réaction

$$\frac{n'_A}{1} = \frac{n'_{O_2}}{\frac{3n}{2}} = \frac{n'_{CO_2}}{n} = \frac{n'_{H_2O}}{n+1}$$

- Déterminons le nombre entier n

$$\frac{n'_{alcool}}{1} = \frac{n'_{O_2}}{\frac{3n}{2}} \Rightarrow 3nn'_A = 2n'_{O_2} \Rightarrow 3n\frac{0{,}37}{14n+18} = 2\times 0{,}03 \Rightarrow \frac{1{,}11n}{14n+18} = 0{,}06$$

$$\Rightarrow 1{,}11n = 0{,}06\times(14n+18) \Rightarrow 1{,}11n - 0{,}84n = 1{,}08 \Rightarrow n = \frac{1{,}08}{0{,}27} = 4$$

Donc la formule brute de l'alcool est : $C_4H_{10}O$.

c) Formules semi-développées et noms de tous les isomères possibles.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
$C_4H_{10}O$	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2OH$	butan-1-ol
	$H_3C-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-CH_3$	butan-2-ol
	$H_3C-\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{CH}}-CH_2{\cdot}OH$	2-méthylpropan-1-ol
	$H_3C-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{C}}}}-CH_3$	2-méthylpropan-2-ol

Exercice 7

1. Déterminons sa masse molaire M et déduisons sa formule brute.

- Déterminons le pourcentage massique d'oxygène

$\%O = 100 - (52,2 + 13) = 34,8\%$

- Déterminons la masse molaire M

$$\%O = \frac{1\times16}{M}\times100 \Rightarrow M = \frac{1\times16}{\%O}\times100 = \frac{1\times16}{34,8}\times100 \simeq 46\ g/mol$$

- Déterminons le nombre entier n d'atome de carbone.

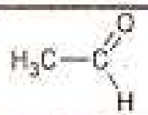
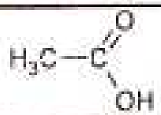
$$\%C = \frac{12n}{M}\times100 \Rightarrow n = \frac{\%C\times M}{1200} = \frac{52,2\times46}{1200} = 2$$

La formule brute de A est donc C_2H_6O.

2. Formules semi-développées et noms de tous les isomères de A.

Formule brute	Fonction	Formules semi-développées	Nom
C_2H_6O	alcool	H_3C-CH_2-OH	éthanol
	éther oxyde	$H_3C-O-CH_3$	oxyde de diméthyle

3. Fonctions, Formules semi-développées et noms respectifs des composés B et D

Composés	Fonction	Formules semi-développées	Nom
B	aldéhyde		éthanal
D	acide carboxylique		acide éthanoïque

4. Formule semi-développée et nom du composé oxygéné A.

Composés	Fonction	Formules semi-développées	Nom
A	alcool	H_3C-CH_2-OH	éthanol

5. Euations bilan des réactions qui ont eu lieu au cours de l'oxydation de A.

$$CH_3-CH_2OH + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Cu\ ou\ Pt} CH_3-CHO + H_2O$$

$$CH_3-CHO + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Cu\ ou\ Pt} CH_3-COOH$$

Pierre Eugène Marcelin Berthelot
(1827-1907)
Chimiste, Essayiste, Historien des Sciences et Homme Politique Français.
Il synthétisa un grand nombre de composés organiques tels que le méthanol, l'éthanol, l'éthylène, l'acétylène etc... Il étudia aussi la réaction d'estérification (synthèse d'un ester) de l'acide éthanoïque par l'éthanol.

C08 : ESTERIFICATION ET HYDROLYSE DES ESTERS

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	la réaction : - d'estérification ; - d'hydrolyse d'un ester.
Connaître	• les caractéristiques de la réaction : - d'estérification ; - d'hydrolyse d'un ester. • Les facteurs dont dépendent les réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester.
Tracer	les courbes de réactions : - d'estérification ; - d'hydrolyse d'un ester.
Interpréter	les courbes des réactions : - d'estérification ; - d'hydrolyse d'un ester.
Expliquer	La notion d'équilibre chimique.
Ecrire	• l'équation-bilan d'une réaction d'estérification. • l'équation-bilan d'une réaction d'hydrolyse d'un ester.
Exploiter	• l'équation-bilan d'une réaction d'estérification. • l'équation-bilan d'une réaction d'hydrolyse.
Définir	le rendement des réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester.
Déterminer	le rendement des réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester.

RAPPEL DE COURS

1) Réaction d'estérification

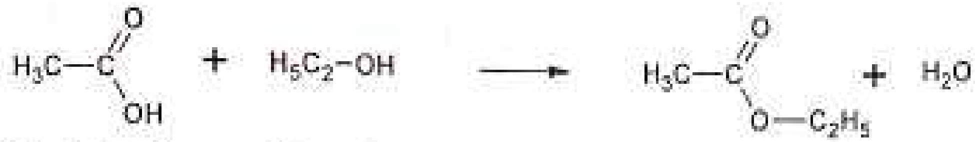
1.1. Définition

C'est l'action d'un acide carboxylique sur un alcool. Elle produit un ester et de l'eau.

1.2. Equation-bilan

acide alcool ester eau

Exemple :



acide éthanoïque éthanol éthanoate d'éthyle eau

1.3. Caractéristiques

La réaction d'estérification est une réaction :

- **lente** (la réaction se fait pendant un intervalle de temps très long) ;
- **limitée** (à partir d'un certain temps la réaction n'évolue plus au cours du temps) ;
- **athermique** (la réaction s'effectue à température constante).

2) Réaction d'hydrolyse d'un ester

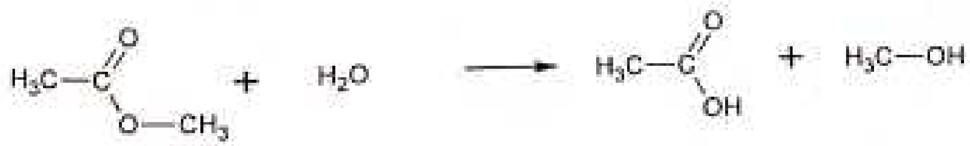
2.1. Définition

C'est la réaction inverse de l'estérification ; elle produit l'acide carboxylique et l'alcool correspondants.

2.2. Equation-bilan

ester eau acide alcool

Exemple :



éthanoate de méthyle eau acide éthanoïque méthanol

2.3. Caractéristiques

La réaction d'hydrolyse d'un ester a les mêmes caractéristiques que la réaction d'estérification. Elle est aussi lente, limitée et athermique.

3) Equilibre chimique

3.1. Définition

Les réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester sont inverses l'une de l'autre et conduisent à un équilibre chimique : on dit qu'elles sont **réversibles**. Lorsque l'équilibre chimique est atteint, la composition du mélange n'évolue plus au cours du temps.

Remarque : l'équilibre chimique peut être plus rapidement atteint si la température augmente et/ou en présence d'un catalyseur.

3.2. Notion de rendement.

Le rendement, noté r ou η, d'une synthèse, est le rapport entre la quantité de matière obtenue en fin de synthèse et la quantité de matière que l'on aurait pu obtenir si la transformation avait été totale : $r = \eta = \frac{n_{exp}}{n_{max}}$

Exemple : Rendement de l'estérification.

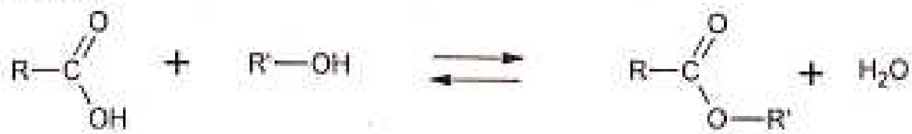
Un mélange équimolaire d'acide méthanoïque et d'éthanol donne du méthanoate d'éthyle et de l'eau :

Equation chimique		$HCO_2H(\ell) + CH_3CH_2OH(\ell) \longrightarrow HCO_2CH_2CH_3(\ell) + H_2O(\ell)$			
Etat	Avancement (mol)	quantités de matière (mol)			
initial	0	1,2	1,2	0	0
en cours	x	1,2 – x	1,2 – x	x	x
équilibre	$x_{éq}$ = 0,80	0,40	0,40	0,80	0,80

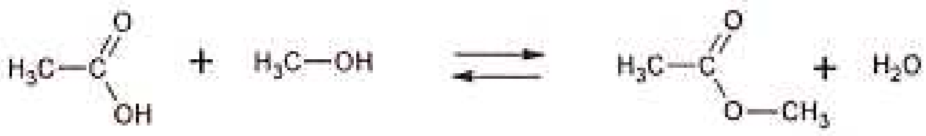
Si la transformation était totale, on aurait $(n_{acide})_f = 0 = 1,2 - x_{max}$ soit $x_{max} = 1,2$

Le rendement vaut donc : $r = \eta = \frac{x_{exp}}{x_{max}} = \frac{0,80}{1,2} = 67\%$

3.3. Equation-bilan



Exemple :



EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1- Les réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester sont inverses l'une de l'autre et ont lieu simultanément.

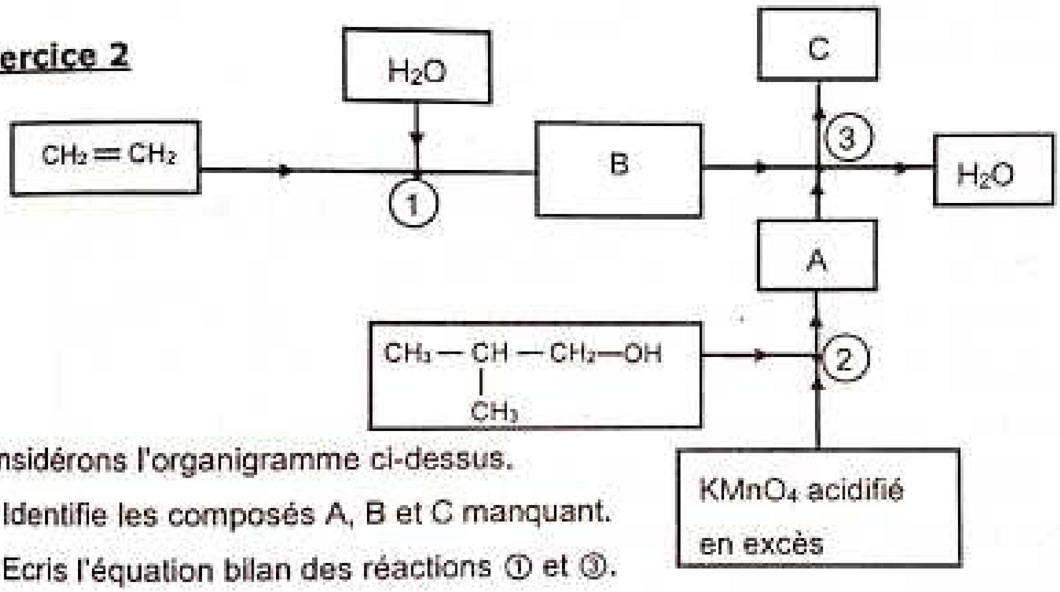
2- Les réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester sont rapides et exothermiques.

3- L'utilisation d'un catalyseur ou l'élévation de la température permettent d'atteindre plus rapidement l'équilibre chimique.

4- L'action de l'acide méthanoïque sur l'éthanol donne l'éthanoate d'éthyle et de l'eau.

5- Lorsque l'équilibre chimique est atteint, la composition du mélange continue d'évoluer au cours du temps.

Exercice 2



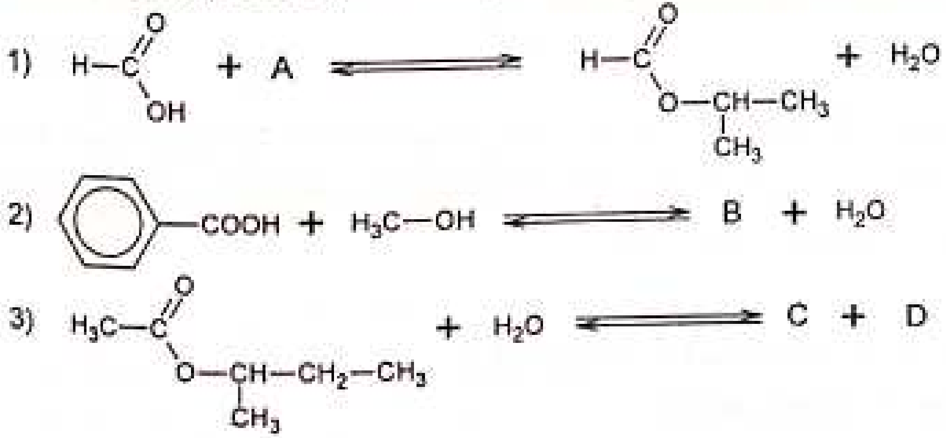
Considérons l'organigramme ci-dessus.

1- Identifie les composés A, B et C manquant.

2- Ecris l'équation bilan des réactions ① et ③.

Exercice 3

Donne les formules semi-développées et les noms des composés A, B, C et D des réactions ci-dessous. On te précise que D comporte deux(2) atomes d'oxygène.



Exercice 4

L'acide propanoïque B réagit avec un alcool C pour donner un corps odorant D de masse molaire M_D = 102 g/mol et de l'eau.

1) Ecris l'équation bilan de cette réaction.
2) Donne les noms et les formules semi développées de C et de D.

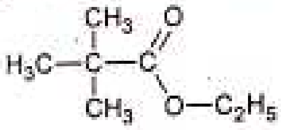
Exercice 5

L'hydrolyse d'un ester conduit à du cyclohexanol et à de l'acide méthanoïque.

1) Donne la formule brute de cet ester.
2) Écris l'équation bilan de la réaction d'hydrolyse de cet ester.

Exercice 6

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques, un groupe d'élèves de ta classe est désigné pour préparer un ester E de formule ci-contre :



Tu es un des membres de ce groupe.

1-

1.1. Nomme cet ester.

1.2. Donne les formules semi-développées et les noms de l'acide carboxylique A et de l'alcool B que vous devez utiliser pour obtenir cet ester.

1.3. Ecris l'équation-bilan de la réaction et nomme cette réaction.

1.4. Donne ses caractéristiques.

2- La réaction a lieu dans une ampoule scellée en présence d'acide sulfurique.

Au départ on a mis dans l'ampoule 0,45 mole de A et 0,15 mole de B.

2.1. Indique le réactif en défaut. Justifie ta réponse.

2.2. Donne le rôle de l'acide sulfurique.

2.3. Détermine la masse d'ester formée au bout d'une semaine, sachant que l'équilibre est atteint lorsque les $\frac{2}{3}$ d'alcool sont transformés.

On donne en g/mol : M(C) = 12 ; M(O) = 16 ; M(H) = 1.

Exercice 7

Au cours d'une séance d'exercices votre professeur de physique-chimie vous demande de déterminer la formule semi-développée d'un ester E. Cet ester de formule $C_nH_{2n}O_2$ contient en masse 24,61% d'oxygène. Tu es désigné au tableau.

1.)

1.1) Détermine la masse molaire moléculaire M de l'ester E.

1.2) Justifie que sa formule brute est $C_7H_{14}O_2$.

2.) L'hydrolyse de E conduit à l'obtention d'acide éthanoïque et d'un produit B.

2.1) Donne la fonction chimique et le groupe fonctionnel de B.

2.2) Détermine la formule brute de B.

3.) B est le composé minoritaire obtenu par hydratation du 2-methylbut-1-ène.

3.1.) Détermine la formule semi-développée et le nom de B.

3.2.) Écris l'équation-bilan de la réaction de formation de E.

4.) Pour préparer masse m_E = 26 g de E, on réalise un mélange équimolaire d'acide éthanoïque et d'alcool B, sachant que le rendement de cette réaction est r = 0,67.

4.1.) Calcule la masse m_A d'acide éthanoïque utilisée.

4.2.) Propose deux méthodes permettant d'améliorer le rendement de cette réaction.

Exercice 8

Au cours d'une séance TP, un groupe d'élèves de 1ère D réalise un mélange équimolaire d'acide métanoïque et d'éthanol comportant une mole d'acide méthanoïque et une mole d'éthanol à température constante. Le groupe détermine ensuite le nombre de moles d'acide méthanoïque restant dans le mélange. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

t (h)	0	1	2	3	4	5	6	7
$n_{acide\ restant}$ (mol)	1	0,57	0,42	0,37	0,34	0,33	0,33	0,33
$n_{alcool\ restant}$ (mol)	1							
$n_{ester\ formé}$ (mol)	0							
$n_{eau\ formé}$ (mol)	0							

Les élèves desirent connaître la composition du mélange à l'équilibre ainsi que le rendement r de la réaction. Tu es le rapporteur du groupe.

1. Ecris l'équation-bilan de la réaction à étudier.
2. Complète le tableau ci-dessus.
3. Trace la courbe $n_{ester\ formé}$ en fonction du temps.
   Echelle : 1 cm pour 1 h et 1 cm pour 0,1 mol.
4. Déduis, à partir du graphe, les caractéristiques de cette réaction.
5. Détermine la composition du mélange à l'équilibre.
6. En déduis le rendement r de la réaction.

Exercice 9

Sous la supervision de son professeur de physique-chimie, un élève fait réagit une masse m_A = 6 g d'un acide carboxylique A à chaîne carbonée saturé de formule brute $C_2H_4O_2$ avec un alcool B de formule brute CH_4O. Il obtient un corps C. Le rendement de la réaction est égal à 0,67. Il veut déterminer le composé C ainsi que sa masse m_C. Tu es sollicité pour l'aider.

On te donne les masses molaires atomiques en g/mol : C : 12 ; O : 16 ; H : 1.

1. Donne la formule semi-développée et le nom du composé A.
2. Donne la formule semi-développée et le nom de l'alcool B.
3.
    3.1. Écris l'équation-bilan de la réaction qui a lieu.
    3.2. Donne :
        3.2.1. le nom du composé C.
        3.2.2. le nom et les caractéristiques de la réaction.
    3.3. Calcule la masse m_C du composé C.

Exercice 10

Au cours d'une séance de TP, des élèves font réagir un acide carboxylique A de masse molaire moléculaire 74 g/mol avec un alcool B. Ils obtiennent un composé E de formule $C_nH_{2n}O_2$ et de l'eau. Par ailleurs, ils réalisent l'oxydation ménagé de l'alcool B et obtiennent un corps D qui rosit le réactif de Schiff. Ils souhaitent detreminer les formules semi-développées et les noms des composés A, B, D et E. Le corps E obtenu à une masse molaire moléculaire de 116 g/mol. Tu es sollicté pour les aider.

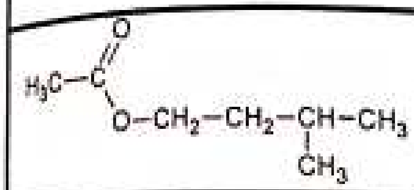
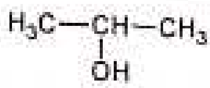
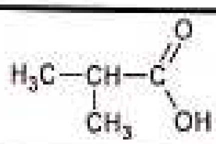
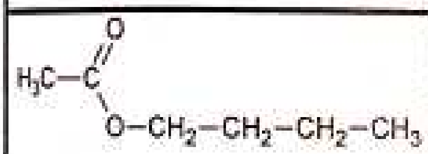
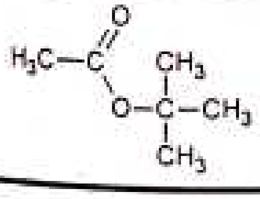
1.)
    1.1) Détermine la formule brute de A.
    1.2) Écris la formule semi-développée de A et donne son nom.

2.)
    2.1) Donne le nom et les caractéristiques de cette réaction.
    2.2)
        2.2.1. Détermine la formule brute de E.
        2.2.2. En déduis celle de B.
    2.3)
        2.3.1. Détermine les formules semi-développées de B, D et E et donne leur nom.
        2.3.2. Ecris l'équation bilan de la formation de E.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

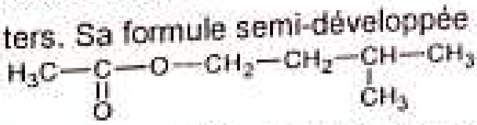
Exercice 1

Recopie et complète le tableau ci-dessous en donnant soit le nom ou la formule semi-développée de l'ester, soit la formule semi-développée de l'alcool ou de l'acide carboxylique utilisée pour obtenir chacun des esters.

Formule semi-développée de l'ester	Nom de l'ester	Formule semi-développée de l'alcool	Formule semi-développée de l'acide carboxylique
			
			
	éthanoate de propyle		
			
	propanoate de 2-méthylpropyle		
			

Exercice 2

L'acétate de 3-méthylbutyle présent dans les bonbons anglais est une substance odorante appartenant à la famille des esters. Sa formule semi-développée est :



1. Indique l'acide et l'alcool dont dérive l'acétate de 3-méthylbutyle.
2. Ecris l'équation-bilan de la préparation de l'acétate de 3-méthylbutyle.
3. Précise les caractéristiques de cette réaction.

Exercice 3

Un ester E de formule brute $C_4H_8O_2$ donne, au cours d'une réaction chimique, un acide carboxylique A et un alcool B.

1- Donne le nom de cette réaction.

2- Donne ses caractéristiques.

3- Donne la formule semi développée et le nom de chaque isomère de l'ester E.

4- Détermine la formule semi-développée et le nom de l'acide A ainsi que ceux de l'alcool B correspondant à chaque isomère de l'ester E.

Exercice 4

Lors d'une recherche à la bibliothèque du lycée, un élève de 1ère D découvre dans un ouvrage, un composé organique E, à chaîne carbonée ramifiée, de formule $C_xH_yO_2$, renfermant en masse 58,82% de carbone et 9,81% d'hydrogène. De plus le composé E réagit lentement avec l'eau pour donner un corps A et du méthanol. Revenu en classe, il te sollicite pour l'aider à déterminer les composés A et E. On te donne en g/mol, C : 12 ; H : 1 ; O : 16 .

1) Détermine sa masse molaire et montre que sa formule brute est $C_5H_{10}O_2$.

2)

2.1. Donne les fonctions chimiques des composés A et E.

2.2. Détermine les formules semi-développées et les noms de A et E.

2.3. Écris l'équation bilan et donne le nom de la réaction qui a eu lieu.

Exercice 5

Un élève de 1ère C veut identifier un corps A dont la molécule est à chaîne carbonée saturée et ne possède qu'une seule fonction organique. Pour cela, il fait réagir l'acide méthanoïque sur le corps A, il se forme de l'ester et de l'eau. A l'état initial, l'élève avait mélangé V = 150 mL d'une solution d'acide méthanoïque de concentration molaire $C = 5.10^{-1}$ mol/L avec $m_A = 3{,}70$ g du corps A. A l'équilibre, il reste $n'_1 = 5.10^{-2}$ mol d'acide méthanoïque et $m'_A = 1{,}85$ g du corps A qui n'ont pas réagi. Tu es solicité pour l'aider.

1) Donne le nom de cette réaction.

1.1. Ecris l'équation bilan de la réaction (On utilisera pour A sa formule générale).

1.2. Donne les caractéristiques de cette réaction.

2)

2.1. A partir des données, montre que la masse molaire moléculaire du corps A est $M_A = 74$ g/mol.

2.2. En déduis les formules semi-développées possibles du corps A.

Exercice 6 (extrait Bac D Session Normale 2000)

Unlors d'une séance de TP un groupe d'élèves fait à un composé organique A de formule brute C_xH_yO contenant en masse 66,67% de carbone, 11,11% d'hydrogène et 22,22% d'oxygène une suite réactionnelle suivante : une solution de A donne un test positif avec la 2,4 dinitrophénylhydrazine(2,4-DNPH) et réagit avec une solution de dichromate de potassium acidifiée. En donnant le produit B. On fait réagir de l'éthanol sur B et on obtient le composé D.

Les élèves souhaitent déterminer les composés A, B et D. Aide-les.

1. Détermine la formule brute de A.
2. En déduis les formules semi-développées possibles de A et leurs noms.
3. Identifie le produit B.
4. Nomme et écris l'équation-bilan de la réaction de l'éthanol sur B.
5. Précise ces caractéristiques.
6. Donne le nom du composé organique D obtenu.

Exercice 7

Tes camarades de classe rencontrent, lors d'une séance d'exercices, une série de réactions avec un composé organique oxygéné B dont les caractéristiques sont :

- Densité de vapeur par rapport à l'air d = 2,0 ;
- Composition en masse s'écrit : 62,07% de carbone, 10,35% d'hydrogène et 27,58% d'oxygène.

Tu es sollicité pour les aider.

1.
   1.1. Détermine la formule brute du composé B.
   1.2. Déduis-en les formules semi-développées et les noms des différents isomères possibles du composé B.
   1.3. Le composé B rosit un papier imbibé de réactif de Schiff ; parmi les isomères écrits précédemment, détermine B.
2. On réalise une suite de réactions chimiques faisant apparaître le composé B.

$$A \xrightarrow[\text{Réaction 2}]{\text{Oxydation ménagée}} B \xrightarrow[\text{Réaction 3}]{\text{Oxydation ménagée}} C + CH_3OH \underset{\text{Réaction 4}}{\rightleftarrows} D + H_2O$$

$$A \xrightarrow[\text{Réaction 1A}]{H_2SO_4\ ;\ 180°C} E + H_2O\alpha$$

Donne la formule semi-développée, le nom et la fonction chimique des composés A, C, D et E.

3. On étudie la réaction 4 (action de C sur le méthanol).
   3.1. Donne les caractéristiques de cette réaction.
   3.2. En partant d'une mole de C et d'une mole de méthanol, détermine la composition du mélange à l'équilibre.
   3.3. Indique l'effet d'un apport d'ions H_3O^+ dans le milieu réactionnel.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1- Les réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester sont inverses l'une de l'autre et ont lieu simultanément : V.

2- Les réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester sont rapides et exothermiques : F.

3- L'utilisation d'un catalyseur ou l'élévation de la température permettent d'atteindre plus rapidement l'équilibre chimique : V.

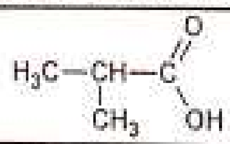
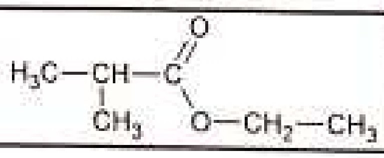
4- L'action de l'acide méthanoïque sur l'éthanol donne l'éthanoate d'éthyle et de l'eau : F.

5- Lorsque l'équilibre chimique est atteint, la composition du mélange continue d'évoluer au cours du temps : F.

Exercice 2

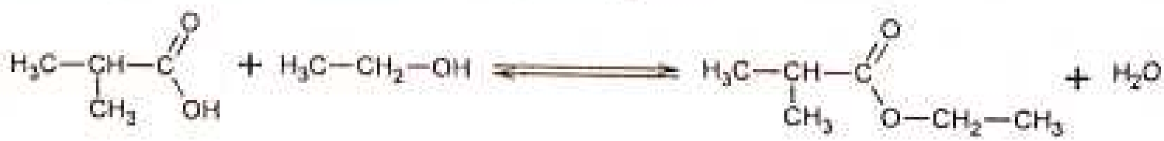
1- J'identifie les composés A, B et C manquant.

- ✓ La réaction d'un alcool primaire avec le $KMnO_4$ acidifié en excès donne un acide carboxylique donc A est un acide carboxylique : **l'acide 2-méthylpropanoïque.**
- ✓ L'hydratation d'un alcène donne un alcool donc B est un alcool : **l'éthanol.**
- ✓ La réaction entre un acide carboxylique A et un alcool B donne un ester et de l'eau donc C est un ester : le 2-méthylpropanoate d'éthyle.

Composé	Fonction chimique	Formule semi-développée	Nom
A	Acide carboxylique		acide 2-méthylpropanoïque
B	Alcool	CH_3-CH_2-OH	éthanol
C	Ester		2-méthylpropanoate d'éthyle

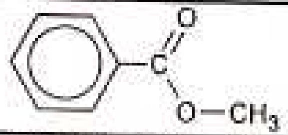
2- J'écris l'équation bilan des réactions ① et ③.

① $H_2C{=}CH_2 + H_2O \longrightarrow H_3C{-}CH_2{-}OH$

③ 

Exercice 3

Formules semi-développées et noms des composés A, B, C et D des réactions.

Composé	Fonction chimique	Formule semi-développée	Nom
A	Alcool	$HO-CH(CH_3)-CH_3$	propan-2-ol
B	Ester		benzoate de méthyle
C	Alcool	$HO-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$	butan-2-ol
D	Acide carboxylique	$H_3C-C(=O)-OH$	acide éthanoïque

Exercice 4

1) Ecrivons l'équation-bilan de la réaction entre l'acide propanoïque B et l'alcool C.

L'acide propanoïque B réagit avec un alcool C pour donner un corps D (ester) et de l'eau.

Il s'agit d'une réaction d'estérification donc la réaction est limitée (double flèche).

$$\underset{(B)}{H_3C-CH_2-C(=O)-OH} + \underset{(C)}{R-OH} \rightleftharpoons \underset{(D)}{H_3C-CH_2-C(=O)-O-R} + H_2O$$

2) Noms et formules semi-développées de C et de D

La formule générale du groupe alkyle R est $-C_nH_{2n+1}$.

$\Rightarrow M_D = 3\times12 + 5\times1 + 2\times16 + 12n + 2n + 1 = 14n + 74.$

$\Rightarrow 14n + 74 = 102 \Rightarrow n = \dfrac{102-74}{14} = 2$

Donc le groupe alhyle R est l'éthyle : $-CH_2-CH_3$ ou $-C_2H_5$

D'ou (C) est l'éthanol et (D) est le propanoate d'éthyle.

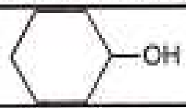
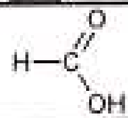
Tableau récapitulatif des noms et formules semi-développées des composés

Composé	Famille	Formule semi-développé	Nom
(C)	Alcool	H_3C-CH_2-OH	éthanol
(D)	Ester	$H_3C-CH_2-C(=O)-O-CH_2-CH_3$	propanoate d'éthyle

Exercice 5

1) Déterminons la formule brute de cet ester.

Ecrivons d'abord les formules respectives du cyclohexanol et de l'acide méthanoïque.

Famille	Nom	Formule semi-développé	Formule bute
alcool	cyclohexanol		$C_6H_{12}O$
acide carboxylique	acide méthanoïque		CH_2O_2

L'alcool à 6 atomes de carbone et l'acide, 1 atome de carbone donc le nombre d'atomes de carbone de l'ester est : 6 + 1 = 7. Donc sa formule brute est : $\mathbf{C_7H_{14}O_2}$.

2) Écrivons l'équation bilan de la réaction d'hydrolyse de cet ester.

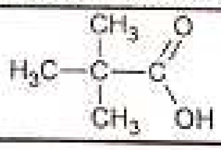
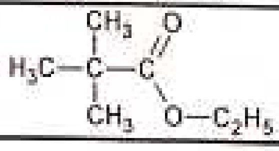
Exercice 6

1-

1.1. Nom de cet ester.

C'est le 2,2-diméthylpropanoate d'éthyle.

1.2. Formules semi-développées et noms de l'acide carboxylique A et de l'alcool B utilisé.

Composé	Fonction chimique	Formule semi-développée	Nom
A	Acide carboxylique		acide 2,2-diméthylpropanoïque
B	Alcool	H_3C-CH_2-OH	éthanol
E	Ester		2,2-diméthylpropanoate d'éthyle

1.3. Equation-bilan de la réaction et nom de cette réaction.

1.4. Donne ses caractéristiques.

C'est une réaction d'estérification ; elle est lente, limitée et athermique.

2- Au départ on a mis dans l'ampoule 0,45 mole de A et 0,15 mole de B.

2.1. J'indique le réactif en défaut en justifiant ta réponse.

Le réactif en défaut est l'alcool B car sa quantité de matière (0,15 mol) est inférieure à celle de l'acide sulfurique (0,45 mol).

2.2. Je donne le rôle de l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique est un catalyseur ; il permet d'accélérer la réaction et d'atteindre plus vite l'équilibre chimique.

2.3. Je détermine la masse d'ester formée au bout d'une semaine,

L'équilibre chimique est atteint lorsque les $\frac{2}{3}$ d'alcool sont transformés.

$$n_{\text{ester formé}} = \frac{2}{3} n_{\text{alcool}} = \frac{2}{3} \times 0{,}15 = 0{,}1\,\text{mol}$$

Exercice 7

1.)

1.1) Je détermine la masse molaire moléculaire M de l'ester E.

$$\%O = \frac{2\times16}{M}\times100 \Rightarrow M = \frac{2\times16}{24{,}61}\times100 = \underline{130\text{ g/mol}}$$

1.2) Je justifie que sa formule brute est $C_7H_{14}O_2$.

1ère méthode : $M(C_7H_{14}O_2) = 7\times12 + 14\times1 + 2\times16 = 130$ g/mol

Autre méthode : soit $C_nH_{2n}O_2$ la formule générale de l'ester E.

$M = M(C_nH_{2n}O_2) = n\times12 + 2n\times1 + 2\times16 = 14n + 32$

Or M = 130 g/mol donc on a : $14n + 32 = 130 \Rightarrow n = \frac{130-32}{14} = 7$

Donc la formule brute de l'ester E est bien $C_7H_{14}O_2$.

2.) L'hydrolyse de E conduit à l'obtention d'acide éthanoïque et d'un produit B.

2.1) Je donne la fonction chimique et le groupe fonctionnel de B.

B est un alcool. Son groupe fonctionnel est : –OH

2.2) Je détermine la formule brute de l'alcool B.

Soit $C_nH_{2n+2}O_2$ la formule générale de B. Le nombre n d'atomes de carbone de B est égal à celui de l'ester E moins celui de l'acide éthanoïque donc on a : n = 7 – 2 = 5.

Ainsi la formule brute de B est $C_5H_{12}O_2$.

3.) B est le composé minoritaire obtenu par hydratation du 2-méthylbut-1-ène.

3.1.) Je détermine la formule semi-développée et le nom de B.

Composé	Fonction chimique	Formule semi-développée	Nom
B	Alcool	$H_3C-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-OH$	2-méthylbutan-1-ol

3.2.) Équation-bilan de la réaction de formation de E.

4.) Pour préparer $m_E = 26$ g, on réalise un mélange équimolaire d'acide éthanoïque et de B

4.1.) Calcule la masse m_A d'acide éthanoïque utilisée.

Le rendement de la réaction d'estérification est r = 0,67.

$$r = \frac{n_E}{n_A} = \frac{\frac{m_E}{M_E}}{\frac{m_A}{M_A}} = \frac{m_E}{M_E} \times \frac{M_A}{m_A} \Rightarrow r = \frac{m_E}{M_E} \times \frac{M_A}{m_A} \Rightarrow m_A = \frac{m_E}{M_E} \times \frac{M_A}{r}$$

Application numérique : $m_A = \frac{26}{130} \times \frac{60}{0{,}67} = \underline{17{,}91\,g}$

4.2.) Proposition de deux méthodes permettant d'améliorer le rendement de cette réaction.

- ✓ Utiliser l'acide sulfurique comme catalyseur ;
- ✓ Augmenter la température de la réaction.

Exercice 8

1. Ecrivons l'équation-bilan de la réaction à étudier.

2. Complétons le tableau.

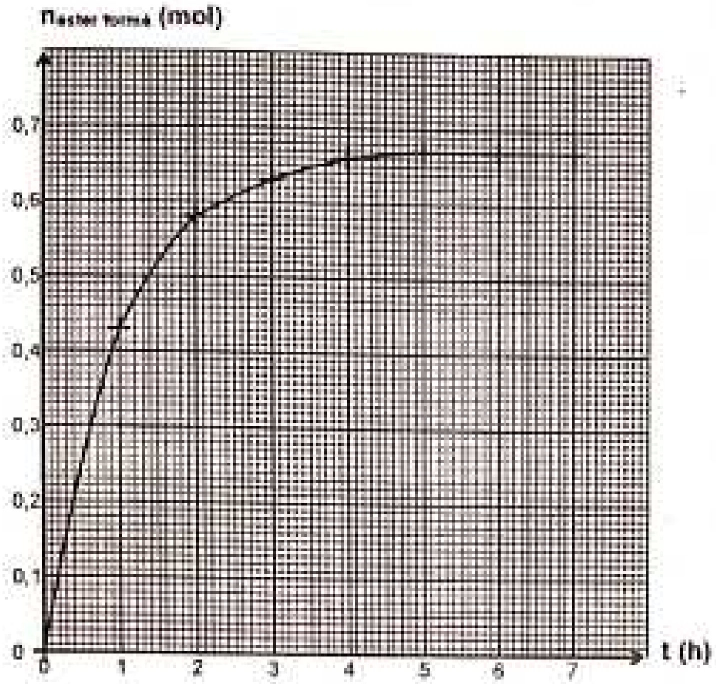
D'après l'équation de la réaction on a :

- $n_{acide\ restant} = n_{alcool\ restant}$
- $n_{ester\ formé} = n_{eau\ formé} = n_{acide\ consommé} = 1 - n_{acide\ restant}$

t (h)	0	1	2	3	4	5	6	7
$n_{acide\ restant}$ (mol)	1	0,57	0,42	0,37	0,34	0,33	0,33	0,33
$n_{alcool\ restant}$ (mol)	1	0,57	0,42	0,37	0,34	0,33	0,33	0,33
$n_{ester\ formé}$ (mol)	0	0,43	0,58	0,63	0,66	0,67	0,67	0,67
$n_{eau\ formé}$ (mol)	0	0,43	0,58	0,63	0,66	0,67	0,67	0,67

3. Traçons la courbe $n_{ester\ formé}$ en fonction du temps.

Echelle : 1 cm pour 1 h et 1 cm pour 0,1 mol.



4. **Déduisons, à partir du graphe, les caractéristiques de cette réaction.**
   - La réaction dure plusieurs heures (7 h) : c'est une réaction **lente.**
   - Au bout d'un certain temps la réaction n'évolue plus et le nombre d'ester formé tend vers une valeur limite (0,67 mol) : c'est une réaction **limitée.**
   - La réaction s'effectue à température constante : c'est une réaction **athermique.**

5. **La composition du mélange à l'équilibre**

   A l'équilibre chimique la composition du mélange n'évolue plus.

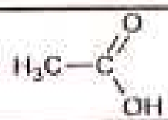
n_{acide} (mol)	n_{alcool} (mol)	n_{ester} (mol)	n_{eau} (mol)
0,33	0,33	0,67	0,67

6. **Déduisons le rendement r de la réaction.**

   Le rendement vaut : $r = \frac{n_{ester\ à\ l'équilibre}}{n_{acide\ initiale}} = \frac{0,67}{1} = 0,67$ soit 67%

Exercice 9

1. **Détermination de l'acide carboxylique A de formule brute $C_2H_4O_2$**

Composé	Formule semi-développée	Nom
A		acide éthanoïque

2. Détermination de l'alcool B de formule brute CH_4O

Composé	Formule semi-développée	Nom
B	H_3C-OH	méthanol

3. Une masse m_A = 6 g de l'acide A réagit avec l'alcool B pour obtenir le corps C.

3.1. Équation-bilan de la réaction

3.2. Donnons :

3.2.1. Le nom du composé C

C'est l'éthanoate de méthyle.

3.2.2. Le nom et les caractéristiques de la réaction

- Nom : c'est une réaction d'estérification.
- Caractéristiques : c'est une réaction lente, limitée et athermique.

3.3. Masse du composé C formé

D'après l'équation-bilan de la réaction précédente on a :

$$r = \frac{n_C}{n_A} \Rightarrow n_C = r \times n_A \Rightarrow \frac{m_C}{M_C} = r \times \frac{m'_A}{M_A} \Rightarrow m_C = \frac{r.m'_A.M_C}{M_A}$$

Application numérique : $m_C = \dfrac{0,67 \times 6 \times 74}{60} = 4,95$ g

Exercice 10

1.) La masse molaire moléculaire d'un acide carboxylique A est de 74 g/mol.

1.1) Déterminons la formule brute de A.

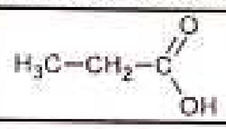
La formule générale de l'acide est $C_nH_{2n}O_2$.

Sa masse molaire générale est : $M_A = 12n + 2n + 2 \times 16 = 14n + 32$

On a donc : $14n + 32 = 74 \Rightarrow n = \dfrac{74-32}{14} = 3$

La formule brute de l'ester est : $C_3H_6O_2$.

1.2) Écrivons la formule semi-développée de A et donnons son nom.

Formule brute	Formule semi-développée	Nom
$C_3H_6O_2$		acide propanoïque

2.) On fait réagir A avec un alcool B. On obtient E de formule $C_nH_{2n}O_2$ et de l'eau.

2.1) **Donnons le nom et les caractéristiques de cette réaction**

C'est une réaction d'estérification. Elle est lente, limitée et athermique.

2.2) **Le corps E obtenu à une masse molaire moléculaire de 116 g/mol.**

2.2.1. **Déterminons la formule brute de E.**

E est un ester. Sa formule générale est : $C_nH_{2n}O_2$.

Sa masse molaire générale est : $M_E = 12n + 2n + 2\times16 = 14n + 32$

On a donc : $14n + 32 = 116 \Rightarrow n = \dfrac{116-32}{14} = 6$

La formule brute de l'ester est : $C_6H_{12}O_2$.

2.2.2. **Déduisons celle de B.**

L'ester E à 6 atomes de carbone et l'acide A, 3 atomes de carbone donc le nombre d'atomes de carbone de l'alcool B est : $6 - 3 = 3$.

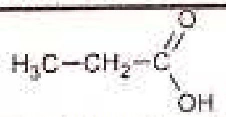
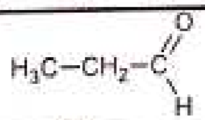
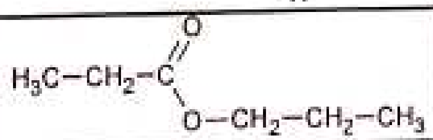
Donc sa formule brute est : C_3H_8O.

2.3) **B donne par oxydation ménagé, un corps D qui rosit le réactif de Schiff.**

2.2.1. **Déterminons les formules semi-développées de B, D et E et donnons leur nom.**

Les formules semi-développées possibles pour l'alcool B sont le propan-1-ol et le propan-2-ol. De ces deux alcools celui qui peut donner par oxydation ménagé un corps D qui rosit le réactif de Schiff (c'est-à-dire un aldéhyde) est le propan-1-ol. Donc B est le **propan-1-ol** et D, le **propanal**.

L'ester E dérive de l'acide carboxylique donc l'ester E préparé à partir du propan-1-ol et de l'acide propanoïque est le **propanoate de propyle**.

Composé	Formule brute	Formule semi-développée	Nom	Fonction ou famille
A	$C_3H_6O_2$		acide propanoïque	acide carboxylique
B	C_3H_8O	$H_3C-CH_2-CH_2-OH$	propan-1-ol	alcool
D	C_3H_6O		propanal	aldéhyde
E	$C_6H_{12}O_2$		propanoate de propyle	ester

2.2.2. **Ecrivons l'équation-bilan de la formation de E.**

CINQUIEME PARTIE

THEME 5
OXYDOREDUCTION

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

OR1 : REACTIONS D'OXYDOREDUCTION EN SOLUTION AQUEUSE

Sir Robert Boyle
(25 Janvier 1627 - 30 Décembre 1691)
Physicien et Chimiste Anglais d'origine Irlandaise
Il introduisit l'usage de nouveaux réactifs : le nitrate d'argent pour reconnaitre les chlorures, le gaz ammoniac pour reconnaitre le gaz chlorhydrique, le sulfure d'ammonium, qui, sous le nom de liqueur de Boyle, devait acquérir une grande importance en chimie organique.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Interpréter	• la réaction entre l'ion argent et le métal cuivre. • la réaction entre l'ion cuivre II et le métal fer.
Ecrire	les équation-bilans des réactions à partir des demi-équations électroniques.
Définir	les termes : - réducteur et oxydant ; - oxydation et réduction ; - réaction d'oxydoréduction ; - couple oxydant/réducteur.
Ecrire	les demi-équations électroniques de quelques couples oxydant/réducteur. (Ag^+/Ag, Fe^{2+}/Fe, Al^{3+}/Al , Pb^{2+}/Pb et Zn^{2+}/Zn).
Exploiter	l'équation-bilan de la réaction chimique

RAPPEL DE COURS

1) Les composés ioniques

1.1. Définition

Les composés ioniques sont des édifices cristallins électriquement neutres

Ils sont formés de cations et d'anions liés entre eux par des liaisons ioniques.

Leur formule est appelée formule statistique.

1.2. 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^+).

1.3. Quelques exemples

Nom	Chlorure de sodium	Sulfate de cuivre	Carbonate de sodium	Chlorure d'ammonium
Formule ionique	$(Na^+, C\ell^-)$	(Cu^{2+}, SO_4^{2-})	$(2Na^+, CO_3^{2-})$	$(NH_4^+, C\ell^-)$
Formule statistique	$NaC\ell$	$CuSO_4$	Na_2CO_3	$NH_4C\ell$

2) 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 : $\boxed{n = \frac{m}{M}}$ ou $\boxed{M = \frac{m}{n}}$

- 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.

3) Les solutions aqueuses

3.1. 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**.

3.2. Equation bilan

Soit le composé ionique solide AB_s.

L'équation-bilan de sa dissolution dans l'eau donne : $AB_s \xrightarrow{H_2O} A^+_{aq} + B^-_{aq}$

Exemple : on dissout le chlorure de calcium dans l'eau ; on obtient une solution aqueuse.

L'équation-bilan s'écrit : $CaC\ell_2 \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+} + 2C\ell^-$

3.3. Bilan molaire

L'équation-bilan d'une réaction chimique traduit une relation de proportionnalité entre les quantités de matières des réactifs ayant effectivement réagit et des produits formés.

Soit la réaction d'équation-bilan : $aA + bB \longrightarrow cC + dD$

Soit 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 : $CaC\ell_2 \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+} + 2C\ell^-$

Le bilan molaire de la réaction s'écrit : $\frac{n(CaC\ell_2)}{1} = \frac{n(Ca^{2+})}{1} = \frac{n(C\ell^-)}{2}$

3.4. Loi de Lavoisier

La masse d'un système fermé reste constante quelques soient les transformations chimiques s'effectuant dans le système **ou bien** au cours d'une réaction chimique la masse des réactifs disparus est égale à la masse des produits formés.

4) Concentration

4.1. Concentration molaire

La concentration molaire d'une espèce chimique A présente dans une solution de volume V est : $\boxed{C_A = [A] = \frac{n_A}{V}}$

- 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).

4.2. Concentration massique

La concentration massique d'une espèce chimique A présente dans une solution de volume V est : $\boxed{\mathscr{C}_A = \frac{m_A}{V}}$

- $\mathscr{C}_A$: 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 $\mathscr{C}_A$ d'une espèce A sont liées par la relation : $\boxed{\mathscr{C}_A = M_A \times C_A}$.

Démonstration : $\mathscr{C}_A = \frac{m_A}{V} = \frac{M_A \times n_A}{V} = M_A \times \frac{n_A}{V} = M_A \times C_A$

5) Ions métalliques

5.1. Définition

Tous les atomes métalliques peuvent perdre des électrons et donner des ions positifs appelés cations.

5.2. Caractéristiques

Le tableau ci-après indique les caractéristiques de quelques cations métalliques en solution.

Métal (symbole)	Symbole du cation	Couleur en solution	Réactif du cation	Test de mise en solution
Argent (Ag)	Ag^+	incolore	ion chlorure (Cl^-)	$Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl\downarrow$ Précipité blanc de chlorure d'argent qui noircit à la lumière
			ion hydroxyde (OH^-)	$2Ag^+ + 2OH^- \longrightarrow Ag_2O\downarrow + H_2O$ Précipité brun d'hydroxyde d'argent
Cuivre (Cu)	Cu^{2+}	bleu	ion hydroxyde (OH^-)	$Cu^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Cu(OH)_2\downarrow$ Précipité bleu d'hydroxyde de cuivre
Fer (Fe)	Fe^{2+}	verdâtre très pâle	ion hydroxyde (OH^-)	$Fe^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2\downarrow$ Précipité verdâtre d'hydroxyde de fer II se transforme en $Fe(OH)_3\downarrow$ en présence du dioxygène de l'air
	Fe^{3+}	rouille	ion hydroxyde (OH^-)	$Fe^{3+} + 3OH^- \longrightarrow Fe(OH)_3\downarrow$ Précipité rouille d'hydroxyde de fer III
Zinc (Zn)	Zn^{2+}	incolore	ion hydroxyde (OH^-)	$Zn^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2\downarrow$ Précipité blanc d'hydroxyde de zinc soluble dans un excès de solution d'hydroxyde de sodium et dans une solution d'ammoniac
Plomb (Pb)	Pb^{2+}	incolore	ion iodure (I^-)	$Pb^{2+} + 2I^- \longrightarrow PbI_2\downarrow$ Précipité jaune vif d'iodure plomb

Métal (symbole)	Symbole du cation	Couleur en solution	Réactif du cation	Test de mise en solution
Manganèse (Mn)	Mn^{2+}	rose très pâle	ion hydroxyde (OH^-)	$Mn^{2+} + 2OH^- \longrightarrow \underset{\downarrow}{Mn(OH)_2}$ Précipité blanc d'hydroxyde de manganèse se transforme en oxyde de manganèse (MnO_2) qui est brun en présence du dioxygène de l'air
Magnésium (Mg)	Mg^{2+}	incolore	ion hydroxyde (OH^-)	$Mg^{2+} + 2OH^- \longrightarrow \underset{\downarrow}{Mg(OH)_2}$ Précipité blanc d'hydroxyde de magnésium insoluble dans un excès d'hydroxyde de sodium
Aluminium ($A\ell$)	$A\ell^{3+}$	incolore	ion hydroxyde (OH^-)	$A\ell^{3+} + 3OH^- \longrightarrow \underset{\downarrow}{A\ell(OH)_3}$ Précipité blanc d'hydroxyde d'aluminium soluble dans un excès de solution d'hydroxyde de sodium et insoluble dans une solution d'ammoniac

6) Réactions d'oxydoréduction

6.1. Définitions

6.1.1. Oxydoréduction

Une oxydoréduction est une réaction chimique correspondant à l'action d'un corps oxydant sur un corps réducteur, avec la réduction de l'oxydant et l'oxydation du réducteur.

6.1.2. Oxydation - Réduction

- Une oxydation correspond à une perte d'électrons.
- Une réduction correspond à un gain d'électrons.

6.1.3. Oxydant - Réducteur

- Un oxydant est une espèce chimique susceptible de capter un ou plusieurs électrons.
- Un réducteur est une espèce chimique susceptible de céder un ou plusieurs électrons.

6.1.4. Couple oxydant/réducteur

À tout oxydant (Ox) d'une espèce on peut associer un réducteur (Red) de la même espèce, et réciproquement : on définit ainsi un couple oxydant/réducteur, que l'on note Ox/Red.

6.1.5. Demi-équation électronique et équation-bilan d'oxydoréduction

Si l'on note **Ox** l'oxydant, **Red** le réducteur et **n** le nombre d'électrons mis en jeu, l'équation-bilan de la demi-réaction ou demi-équation électronique d'oxydoréduction du couple s'écrit alors : $Ox + ne^- \rightleftarrows Red$

Considérons deux couples oxydant/réducteur notés Ox_1/Red_1 et Ox_2/Red_2.

Si l'on sait que l'oxydant Ox_1 réagit avec le réducteur Red_2, il se produit alors :

$$Ox_1 + n_1e^- \rightleftarrows Red_1$$
$$Red_2 \rightleftarrows Ox_2 + n_2e^-$$

L'équation-bilan s'écrit alors : $n_2Ox_1 + n_1Red_2 \longrightarrow n_2Red_1 + n_1Ox_2$

Remarque : on a multiplié la première demi-équation par n_2 et la seconde par n_1 de façon à avoir le même nombre d'électrons échangés dans les deux demi-équations.

6.2. Application : Réaction entre le zinc métal et une solution de sulfate de cuivre.

- Les ions cuivre II (Cu^{2+}) initialement présents dans la solution aqueuse de sulfate de cuivre II se sont transformés en métal cuivre.
  - La demi-équation électronique correspondante est : $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Cu$
  - L'ion cuivre II (Cu^{2+}) capte deux protons : c'est un **oxydant**
  - La demi-réaction correspond à un gain d'électrons : c'est une **réduction**
- Les atomes de zinc présents dans le métal zinc se sont transformés en ion zinc (Zn^{2+})
  - La demi-équation électronique correspondante : $Zn \rightleftarrows Zn^{2+} + 2e^-$
  - Le métal zinc (Zn) cède deux protons : c'est un **réducteur**
  - La demi-réaction correspond à une perte d'électrons : c'est une **oxydation**
- L'équation bilan de cette réaction : $Cu^{2+} + Zn \longrightarrow Cu + Zn^{2+}$
- Les couples oxydant/réducteur mis en jeu : Cu^{2+}/Cu et Zn^{2+}/Zn.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. Une oxydation est gain d'électrons.
2. Au cours d'une réaction d'oxydoréduction, il y a échange d'électrons entre l'oxydant et le réducteur.
3. La demi-équation $Al^{3+} + 3\,e^- \rightleftarrows Al$ traduit une réduction.
4. Le couple Ag^+/Au est un couple oxydant/réducteur.

Exercice 2

On te donne l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction suivante :

= + Q * ⇄ & * + X

Relie le métal ou le cation métallique au rôle qu'il joue et la réaction qu'il subit.

Zn •	• Oxydant
Cu^{2+} •	• Réducteur
Zn^{2+} •	• Subit une oxydation
Cu •	• Subit une réduction

Exercice 3

Pour chacun des couples suivants : Cu^{2+}/Cu ; Ag^+/Ag ; Al^{3+}/Al ; Fe^{2+}/Fe:

1. Précise la forme oxydante et la forme réduite.
2. Ecris la demi-équation électronique correspondante à chaque couple.

Exercice 4

1. Equilibre les équations-bilans suivantes :
   a) $Hg^{2+} + Cu \longrightarrow Hg + Cu^{2+}$
   b) $Ag^+ + Fe \longrightarrow Fe^{2+} + Ag$
   c) $Ni^{2+} + Al \longrightarrow Ni + Al^{3+}$
2. On te propose la réaction entre les ions or Au^{3+} et le métal plomb.
   2.1. Ecris l'équation-bilan cette réaction.
   2.2. Complète les phrases suivantes :
      a) Cette réaction est une oxydation de ...(1).....par ...(2).......
      b) Cette réaction est une réduction de...(3)... par.....(4)...........

Exercice 5

Recopie la bonne réponse dans les propositions ci-dessous.

1. Un oxydant est une espèce chimique susceptible de :
   a) capter un ou plusieurs électrons ;
   b) céder un ou plusieurs électrons
2. Au cours d'une réaction d'oxydo-réduction :
   a) le réducteur s'oxyde ;
   b) le réducteur gagne des électrons.

Exercice 6

Pour faire ressortir l'éclat de sa bague en cuivre, ta voisine de classe va voir un bijoutier. Celui-ci plonge la bague dans 25 mL d'une solution aqueuse de chlorure d'or (Au^{3+} ; Cl^-) de concentration C = 2.10^{-2} mol.L^{-1}. La solution se colore en bleue et un dépôt métallique brillant apparaît sur la bague. De retour en classe, elle te sollicite pour lui expliquer les réactions chimiques réalisées. On te donne : **M_{Cu} = 63,5 g/mol ; M_{Au} = 197 g/mol ; M_{Cl} = 35,5 g/mol.**

1. Donne le nom et la formule du dépôt brillant.
2. Donne le nom et la formule de l'espèce chimique responsable de la coloration bleue de la solution.
3. Ecris les demi-équations électroniques en précisant les réactions d'oxydation et de réduction.
4. En déduis l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction.
5. Donne l'oxydant et le réducteur au cours de cette réaction.
6. Indique les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans cette réaction.
7. Détermine en fin de réaction :
   7.1. la masse d'or déposée (le cuivre étant en excès),
   7.2. la concentration molaire des ions cuivre II dans la solution.

Exercice 7

Lors d'une séance de TP un groupe d'élèves de 1ère C d'un lycée de la place obtient une solution de sulfate d'argent (I) en dissolvant une masse m = 6,24 g de cristaux de formule Ag_2SO_4 dans un volume V = 50 mL d'eau distillée. A cette solution, le groupe ajoute des copeaux de cuivre. En fin de réaction, il constate qu'il n'y a plus d'ions argent.

Etant le rapporteur du groupe, tu es sollicité pour répondre à ce questionnaire.

On te donne en g/mol : Ag : 108 ; S : 32 ; O : 16.

1) Écris l'équation bilan de la dissolution du sel dans l'eau.
2) En déduis la concentration molaire initiale $[Ag^+]_0$.
3) Calcule la masse d'argent obtenue.
4) Calcule la concentration molaire en ion Cu^{2+}, notée $[Cu^{2+}]$.
5) Détermine le nombre d'électrons échangés entre les réactifs.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Tu disposes de trois flacons non étiquetés contenant des solutions incolores.

L'une est du nitrate de plomb, l'autre du nitrate d'argent, la troisième du sulfate de zinc.

Indique les tests que tu peux réaliser pour caractériser les cations métalliques et mettre une étiquette sur les flacons.

Exercice 2

On te donne l'équation du bilan d'oxydoréduction :

$Cu + 2Ag^+ \longrightarrow Cu^{2+} + 2Ag$.

Indique le métal ou le cation métallique :

a) qui joue rôle de réducteur ;

b) qui joue rôle d'oxydant ;

c) qui joue rôle d'oxydation ;

d) qui joue rôle de réduction.

Exercice 3

Parmi ces équations, indique celles qui traduisent un bilan d'oxydoréduction.

a) $Ag^+ + e^- \rightleftarrows Ag$.

b) $Al^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Al$.

c) $Cu^{2+} + Fe \longrightarrow Cu + Fe^{2+}$.

d) $2Ag^+ + Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2Ag$.

Exercice 4

Au cours d'une séance de Travaux Pratique, ton professeur de Physique-Chimie réalise plonge une lame de zinc bien décapée dans une solution de nitrate d'argent. Quelques instants après, celle-ci se recouvre d'un dépôt métallique brillant. Il te demande de donner le nom de la réaction et de préciser les couples mis en jeu.

1) Donne la nature du dépôt métallique brillant.
2) Ecris les demi-équations électroniques.
3) Précise :
   3.1. l'oxydant et le réducteur ;
   3.2. l'espèce oxydée et l'espèce réduite.
4) Ecris l'équation-bilan de la réaction.
5) Nomme cette réaction.
6) Donne les couples oxydant/réducteur mis en jeu.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

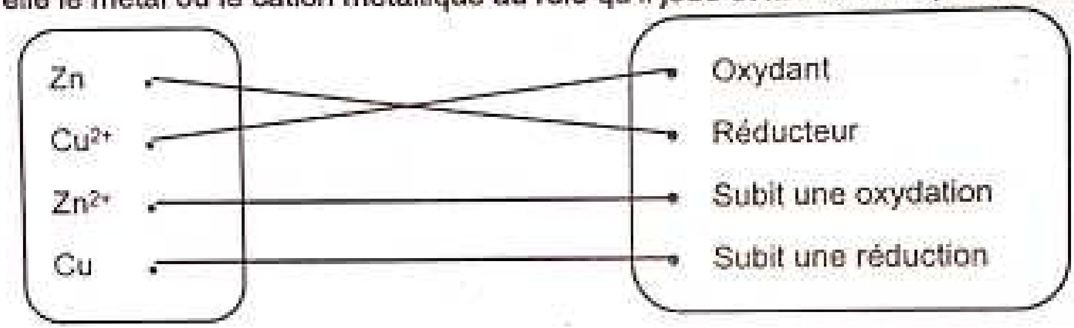
1. Une oxydation est gain d'électrons : F.
2. Au cours d'une réaction d'oxydoréduction, il y a échange d'électrons entre l'oxydant et le réducteur : V.
3. La demi-équation $Al^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Al$ traduit une réduction : V.
4. Le couple Ag^+/Au est un couple oxydant/réducteur : F.

Exercice 2

On te donne l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction suivante :

$Zn + Cu^{2+} \rightleftarrows Zn^{2+} + Cu$

Je relie le métal ou le cation métallique au rôle qu'il joue et la réaction qu'il subit.



Exercice 3

1. Je précise la forme oxydante et la forme réduite.
   Voir tableau ci-dessous.
2. J'écris la demi-équation électronique correspondante à chaque couple.

Couple oxydant/réducteur	Forme oxydante	Forme réduite	Demi-équation électronique
Cu^{2+}/Cu	Cu^{2+}	Cu	$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Cu$
Ag^+/Ag	Ag^+	Ag	$Ag^+ + e^- \rightleftarrows Ag$
Al^{3+}/Al	Al^{3+}	Al	$Al^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Al$
Fe^{2+}/Fe	Fe^{2+}	Fe	$Fe^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Fe$

Exercice 4

1. J'équilibre les équations-bilans suivantes :

a) $Hg^{2+} + Cu \longrightarrow Hg + Cu^{2+}$

b) $2\,Ag^+ + Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2\,Ag$

c) $3\,Ni^{2+} + 2\,Al \longrightarrow 3\,Ni + 2\,Al^{3+}$

2. On te propose la réaction entre les ions or Au^{3+} et le métal plomb.

2.1. J'écris l'équation-bilan cette réaction.

$$2\,Au^{3+} + 3\,Pb \longrightarrow 2\,Au + 3\,Pb^{2+}$$

2.2. Je complète les phrases suivantes :

a) Cette réaction est une oxydation de Pb par Au^{3+}.

b) Cette réaction est une réduction de Au^{3+} par Pb.

Exercice 5

Je recopie la bonne réponse dans les propositions ci-dessous.

1. Un oxydant est une espèce chimique susceptible de :
   a) capter un ou plusieurs électrons.
2. Au cours d'une réaction d'oxydo-réduction :
   a) le réducteur s'oxyde.

Exercice 6

1. Nom et formule du dépôt brillant

   C'est le métal or de formule Au.

2. Nom et formule de l'espèce chimique responsable de la coloration bleue de la solution.

   La coloration bleue de la solution est due à la présence des ions cuivre II (Cu^{2+}).

3. Ecrivons les demi-équations électroniques en précisant l'oxydation et la réduction.

   ✓ Il y a formation de métal or donc chaque ion or (Au^{3+}) se transforme en atome d'or (Au) en captant trois électrons : c'est une réduction.

   $$Au^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Au$$

   ✓ Il y a formation d'ions cuivre II donc chaque atome de cuivre (Cu) se transforme en ion cuivre II (cu^{2+}) en cédant deux électrons : c'est une oxydation.

   $$Cu \rightleftarrows Cu^{2+} + 2e^-$$

4. Déduction de l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction.

   $$(Au^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Au)\times 2$$
   $$(Cu \rightleftarrows Cu^{2+} + 2e^-)\times 3$$
   $$2\,Au^{3+} + 3\,Cu \longrightarrow 2\,Au + 3\,Cu^{2+}$$

5. Donnons l'oxydant et le réducteur au cours de cette réaction.

   ✓ L'ion or (Au^{3+}) subit une réduction : c'est un oxydant.

   ✓ Le cuivre (Cu) subit une oxydation : c'est un réducteur.

6. Les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans cette réaction.

   Ce sont les couples : Au^{3+}/Au et Cu^{2+}/Cu.

7. **Déterminons en fin de réaction :**

   7.1. **la masse d'or déposée (le cuivre étant en excès).**

   D'après le bilan molaire de la réaction d'oxydoréduction on a :

$$\frac{n_{Au^{3+}}}{2} = \frac{n_{Au}}{2} = \frac{n_{Cu^{2+}}}{3} \Rightarrow n_{Au^{3+}} = n_{Au} \Rightarrow C \times V = \frac{m_{Au}}{M_{Au}} \Rightarrow m_{Au} = C \times V \times M_{Au}$$

   Application numérique : $m_{Au} = 2.10^{-2} \times 25.10^{-3} \times 197 = 0{,}0985\ g = 98{,}5\ mg$

   7.2. **la concentration molaire des ions cuivre II dans la solution.**

   D'après le bilan molaire de la réaction d'oxydoréduction on a :

$$\frac{n_{Au^{3+}}}{2} = \frac{n_{Cu^{2+}}}{3} \Rightarrow 3n_{Au^{3+}} = 2n_{Cu^{2+}} \Rightarrow 3C \times V = 2[Cu^{2+}] \times V \Rightarrow 3C = 2[Cu^{2+}] \Rightarrow [Cu^{2+}] = \frac{3C}{2}$$

   Application numérique : $[Cu^{2+}] = \frac{3 \times 2.10^{-2}}{2} = 3.10^{-2}\ mol/L$

Exercice 7

1) **Équation bilan de la dissolution du sel dans l'eau :** $Ag_2SO_4 \xrightarrow{H_2O} 2\,Ag^+ + SO_4^{2-}$

2) **Déduction de la concentration molaire initiale $[Ag^+]_0$**

   D'après le bilan molaire de la réaction de dissolution on a :

$$\frac{n_{Ag_2SO_4}}{1} = \frac{n_{Ag^+}}{2} = \frac{n_{SO_4^{2-}}}{1} \Rightarrow n_{Ag^+} = 2 \times n_{Ag_2SO_4} = \frac{2 \times m_{Ag_2SO_4}}{M_{Ag_2SO_4}}$$

$$\Rightarrow [Ag^+]_0 = \frac{n_{Ag^+}}{V} = \frac{\frac{2 \times m_{Ag_2SO_4}}{M_{Ag_2SO_4}}}{V} = \frac{2 \times m_{Ag_2SO_4}}{M_{Ag_2SO_4} \times V}$$

   Application numérique : $[Ag^+]_0 = \frac{2 \times 6{,}24}{(2 \times 108 + 32 + 4 \times 16) \times 50.10^{-3}} = 0{,}8\ mol/L$

3) **Calculons la masse d'argent obtenue**

   ➢ **Equation-bilan de l'oxydoréduction**

   $(Cu \rightleftarrows Cu^{2+} + 2e^-)$

   $(Ag^+ + e^- \rightleftarrows Ag) \times 2$

   $Cu + 2\,Ag^+ \longrightarrow Cu^{2+} + 2\,Ag$

   ➢ **Masse d'argent obtenue**

   D'après le bilan molaire de la réaction d'oxydoréduction on a :

$$\frac{n_{Cu}}{1} = \frac{n_{Ag^+}}{2} = \frac{n_{Cu^{2+}}}{1} = \frac{n_{Ag}}{2} \Rightarrow n_{Ag} = n_{Ag^+} \Rightarrow \frac{m_{Ag}}{M_{Ag}} = [Ag^+] \times V \Rightarrow m_{Ag} = [Ag^+] \times V \times M_{Ag}$$

   Application numérique : $m_{Ag} = 0{,}8 \times 50.10^{-3} \times 108 = 4{,}32\ g$

4) **Calcul de la concentration molaire en ion Cu^{2+}, notée $[Cu^{2+}]$**

   D'après le bilan molaire de la réaction d'oxydoréduction on a :

$$\frac{n_{Cu}}{1} = \frac{n_{Ag^+}}{2} = \frac{n_{Cu^{2+}}}{1} = \frac{n_{Ag}}{2} \Rightarrow n_{Cu^{2+}} = \frac{n_{Ag^+}}{2} \Rightarrow [Cu^{2+}] \times V = \frac{[Ag^+] \times V}{2} \Rightarrow [Cu^{2+}] = \frac{[Ag^+]}{2}$$

   Application numérique : $[Cu^{2+}] = \frac{0{,}8}{2} = 0{,}4\ mol/L$

5) **Nombre d'électrons échangés entre les réactifs** : c'est 2 moles d'électrons.

OR2 : CLASSIFICATION QUALITATIVE DES COUPLES OXYDANTS/REDUCTEURS

Walther Hermann Nernst
(1864-1941)
Physicien et Chimiste Allemand

Il a mené de nombreuses recherches dans les domaines de l'électrochimie, de la thermodynamique, de la chimie du solide et de la photochimie. Ces découvertes incluent également l'équation qui porte son nom, l'équation de Nernst. Prix Nobel de Chimie en 1920. Il avait élaboré, dès 1889, une théorie sur la force électromotrice des piles, théorie dont découle le classement quantitatif des couples oxydant/réducteur.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Interpréter	• la réaction entre l'ion cuivre II et le métal zinc puis la réaction inverse. • la réaction entre l'ion fer II et le métal zinc puis la réaction inverse.
Ecrire	les équation-bilans des réactions d'oxydoréduction qui ont lieu.
Classer	les couples oxydants/réducteurs (Ag^+/Ag, Cu^{2+}/Cu, Fe^{2+}/Fe, Zn^{2+}/Zn).
Déduire	les réactions possibles à partir de la classification.
Interpréter	l'action de l'ion hydronium H_3O^+ sur quelques métaux (fer et zinc).
Ecrire	l'équation-bilan de la réaction entre l'ion hydronium et le fer.
Indiquer	la place du couple (H_3O^+/H_2) dans la classification.
Exploiter	les équation-bilans des réactions d'oxydoréduction

RAPPEL DE COURS

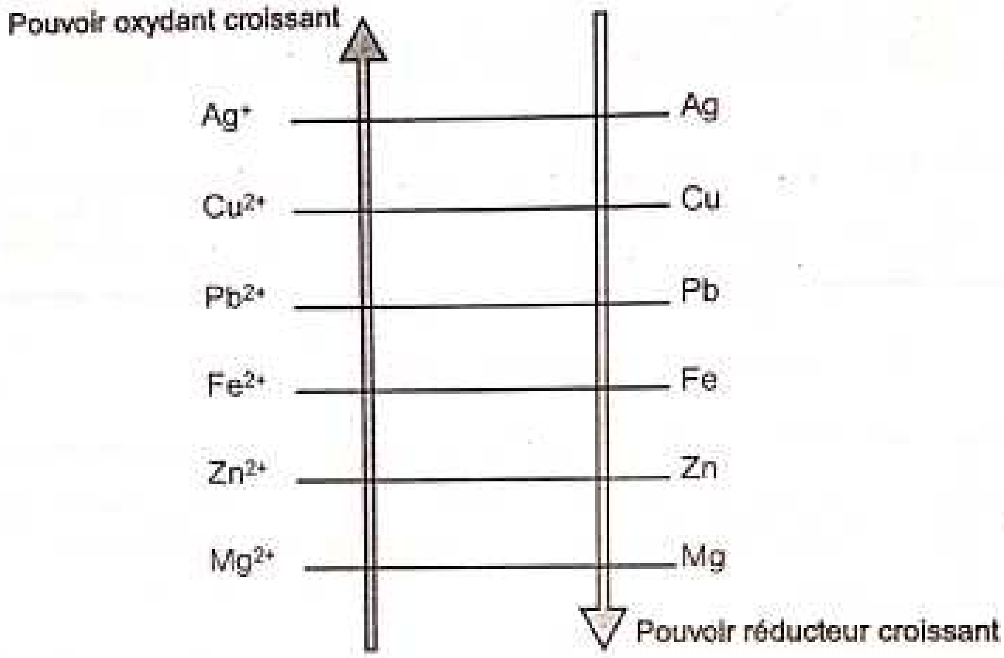
1) Classification des couples ion métallique/métal (M^{n+}/M)

1.1. Définition

- Un oxydant est d'autant plus fort qu'il capte facilement des électrons.
- Plus l'oxydant est fort, plus son réducteur conjugué est faible.

1.2. Classification

Les couples oxydant/réducteur peuvent être classés selon le pouvoir oxydant croissant et le pouvoir réducteur croissant selon le schéma ci-après.



2) Place du couple H^+/H_2 dans la classification des couples M^{n+}/M

2.1. Etude du couple H^+/H_2

- Le chlorure d'hydrogène, ou acide chlorhydrique, a pour formule HCl.
- L'ion hydrogène H^+ est un oxydant dont le réducteur conjugué est le dihydrogène H_2.
- Le couple redox H^+/H_2 a pour demi-équation électronique : $2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$

2.2. Etude expérimentale

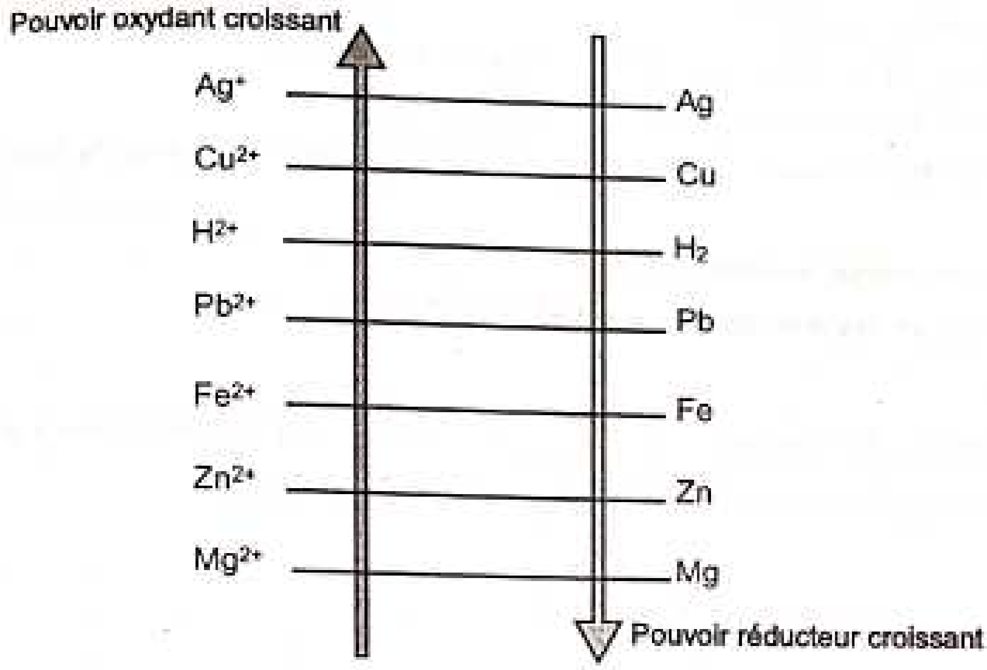
- Le groupe des quatre métaux (Fe, Pb, Mg et Zn) réagit avec l'acide chlorhydrique. Ce groupe des quatre métaux est donc plus réducteur que le dihydrogène (H_2).
- Le groupe des deux métaux (Ag et Cu) ne réagit pas avec l'acide chlorhydrique. Le dihydrogène (H_2) est donc plus réducteur que ce groupe des deux métaux.
- Le couple H^+/H_2 est placé entre les couples Cu^{2+}/Cu et Pb^{2+}/Pb.

2.3. Conclusion

- Les métaux plus réducteurs que le dihydrogène réagissent avec les solutions diluées d'acide chlorhydrique ou sulfurique ; leur oxydation, par les ions hydrogènes H^+ de ces solutions, produit du dihydrogène H_2.

- Les métaux moins réducteurs que le dihydrogène ne réagissent pas avec les solutions diluées d'acide chlorhydrique ou sulfurique.

2.4. Classification qualitative

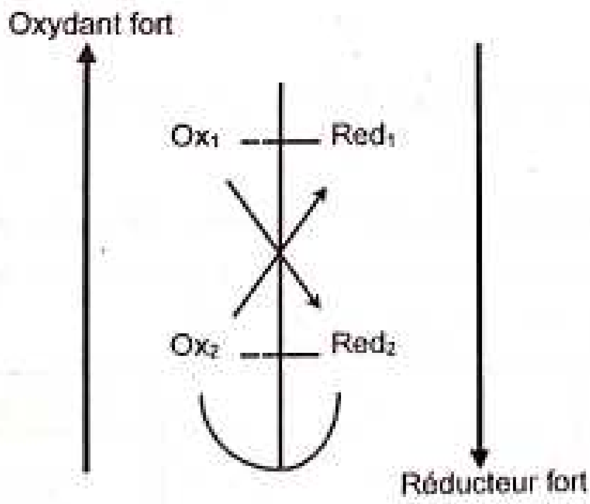


3) Règle du gamma

3.1. Enoncé

La réaction d'oxydoréduction entre deux couples oxydant/réducteur est unique : l'oxydant le plus fort réagit avec le réducteur le plus fort pour donner l'oxydant le plus faible et le réducteur le plus faible. Sur l'échelle de la classification électrochimique, cette réaction peut être schématisée par un signe gamma γ ; d'où l'expression « **la règle du gamma** ».

3.2. Equation-bilan de la réaction spontanée possible



$$n_2Ox_1 + n_1Red_2 \longrightarrow n_2Red_1 + n_1Ox_2$$

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1) Un oxydant est d'autant plus faible qu'il capte facilement des électrons.
2) Plus l'oxydant est faible, plus son réducteur conjugué est fort.
3) Au cours d'une réaction d'oxydoréduction, l'oxydant le plus fort réagit avec le réducteur le plus faible.
4) L'acide chlorhydrique attaque le métal cuivre.
5) L'ion argent (Ag^+) est un oxydant plus fort que l'ion zinc (Zn^{2+}).

Exercice 2

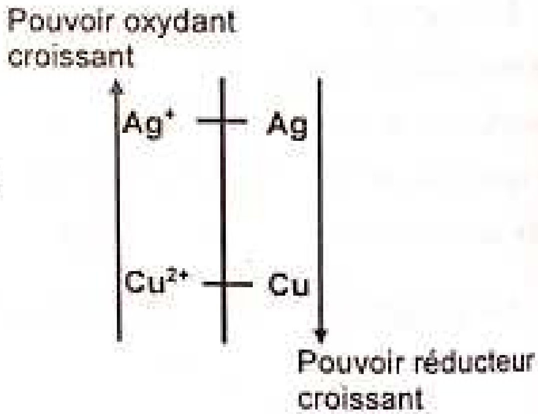
En utilisant la classification électrochimique et la règle du gamma, indique dans les cas suivants les réactions possibles et écris à chaque fois l'équation-bilan de la réaction.

a) $Zn + Pb^{2+}$
b) $Pb + Cu^{2+}$
c) $Cu + Fe^{2+}$
d) $Fe + Al^{3+}$

Exercice 3

On considère les deux couples redox suivants :

Ag^+/Ag et Cu^{2+}/Cu que l'on classe ainsi :



1) Choisis parmi les cas suivants la réaction possible :
   a) $Ag^+ + Cu$
   b) $Cu^{2+} + Ag$
   c) $Ag + Cu$
   d) $Ag^+ + Cu^{2+}$
2) Ecris correctement la réaction possible en précisant les demi-équations redox.

Exercice 4

Un élève de 1ère D d'un lycée d'Abidjan veut placer le couple Sn^{2+}/Sn sur l'échelle de classification. Pour cela il plonge une lame d'étain (Sn) dans trois solutions différentes.

Les résultats expérimentaux sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Sulfate de cuivre	Nitrate de plomb	Sulfate de fer II
• Décoloration de la solution • Dépôt rougeâtre sur la lame	• Dépôt métallique pulvérulent sur la lame	rien

Tu es sollicité pour l'aider.

1) Pour chacune des trois solutions :
   1.1. donne sa formule ;
   1.2. écris le couple oxydant/réducteur relatif à l'ion métallique de la solution ;
   1.3. écris les demi-équations électroniques et le bilan d'oxydoréduction, lorsque la réaction a lieu, sachant que le couple oxydant/réducteur de l'étain est Sn^{2+}/Sn ;
   1.4. compare le pouvoir réducteur du métal à celui de l'étain Sn.
2) Au vu des résultats obtenus, place le couple Sn^{2+}/Sn sur l'échelle de classification.

Exercice 5

Lors d'une séance de travaux pratiques ton groupe a obtenu les résultats suivants :

- L'or (Au) n'est pas attaqué lorsqu'on le plonge dans une solution de nitrate d'argent ($Ag^+ + NO_3^-$).
- l'aluminium (Al) n'est pas attaqué par une solution de chlorure de magnésium ($Mg^{2+} + 2Cl^-$)
- Une lame d'aluminium (Al) est attaquée par une solution de chlorure de zinc ($Zn^{2+} + 2Cl^-$). Il apparait un dépôt rouge de zinc.
- Une lame de cuivre est attaquée par une solution de nitrate d'argent ($Ag^+ + NO_3^-$). Il apparaît sur la lame un dépôt d'argent.
- Une lame de cuivre n'est pas attaquée par une solution de chlorure de zinc ($Zn^{2+} + 2Cl^-$)

(NB : les anions n'interviennent pas dans ces réactions):

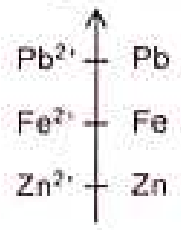
Tu es désigné pour classer les couples mis en évidence.

1) Ecris pour chacune des informations données :
   1.1. les couples oxydant/réducteur concernés ;
   1.2. le cation le plus oxydant ;
   1.3. la classification électrochimique des couples redox mis en jeu.
2) Déduis-en la classification électrochimique de tous les couples redox étudiés.

Exercice 6

Lors d'une séance de travaux pratiques ton groupe réalise deux tests et constate que l'acide chlorhydrique attaque le plomb en donnant un dégagement de dihydrogène et des cations Pb^{2+} mais n'attaque pas le cuivre. De plus, le professeur leur donne, ci-dessous, le classement des couples Pb^{2+}/Pb, Fe^{2+}/Fe, Zn^{2+}/Zn dans l'échelle électrochimique. A la fin de de la séance, il leur demande de classer les couples mis en évidence et de justifier le fait que l'acide chlorhydrique attaque aussi le zinc et le fer. Tu es le rapporteur du groupe.

pouvoir oxydant croissant-



1) Pour chacun des resultas des deux tests,
   1.1. donne les couples oxydant/réducteur mis en jeu ;
   1.2. indique le cation le plus oxydant ;
   1.3. en déduis les positions respectives des couples mis en jeu dans l'échelle de classification électrochimique.
2) Justifie le fait que l'acide chlorhydrique attaque le zinc et le fer.
3) Dis si les résultats seraient les mêmes si on utilisait une solution d'acide sulfurique.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

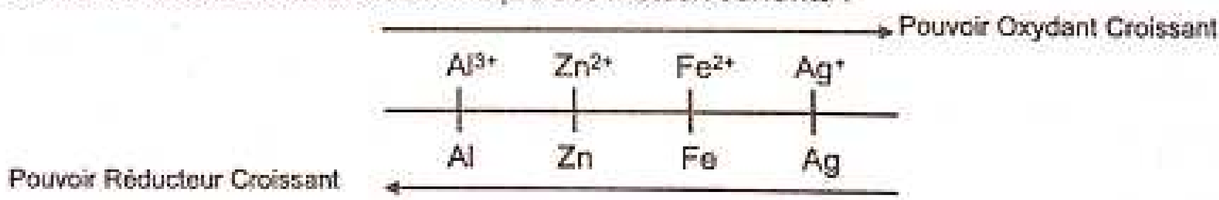
Exercice 1

N°	1	2	3	4
Expériences	On plonge une lame de fer dans une solution de chlorure d'étain II	On plonge une lame de cuivre dans une solution de chlorure d'étain II	Action de l'acide chlorhydrique sur le métal cuivre.	Action de l'acide chlorhydrique sur l'étain (Sn)
Observations	✓ Dépôt noir métallique. ✓ Coloration vert pâle.	Rien	Rien	Dégagement de dihydrogène

1) A partir des expériences 1 et 2, classe le fer, le cuivre et l'étain suivant leur pouvoir réducteur croissant.
2) A partir des expériences 3 et 4, trouve la place du dihydrogène dans la classification précédente.

Exercice 2

On donne la classification électrochimique des métaux suivants :



Dis si une réaction d'oxydoréduction est possible dans les cas suivants :
Si oui écris son équation-bilan.

1) Quand on plonge un fil aluminium dans une solution de sulfate de zinc.
2) Quand on plonge une pointe en fer dans une solution de sulfate aluminium.
3) Quand on plonge une lame d'aluminium dans une solution de nitrate d'argent.

Exercice 3

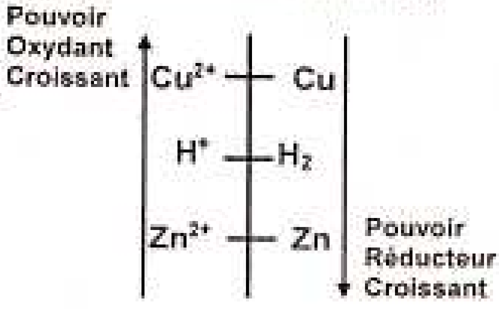
Un élève mélange dans un bécher une solution de sulfate de cuivre et une solution de sulfate de zinc. Il y ajoute un excès de limaille de fer et de tournure de cuivre.

1) Fais l'inventais des métaux et des cations métalliques présents.
2) En utilisant l'échelle de classification et la règle du gamma, détermine la réaction qui va se produire spontanément.
3) Vérifie que, cette réaction terminée, aucune autre oxydoréduction n'a lieu.

Exercice 4

Un laborantin fait un mélange de 50 g de poudre de cuivre et de zinc en présence d'acide chlorhydrique en excès. Il reste, après réaction, un résidu solide et le gaz dégagé occupe un volume de 11,2 L (mesuré dans les conditions normales de température et de pression). Mais ne sachant pas les masses initiales du cuivre et du zinc, il te sollicite afin de les déterminer.

1) Précise en justifiant les espèces ayant réagi.
2) Donne le nom du résidu solide et le nom du gaz dégagé.
3) Ecris l'équation-bilan de la réaction mise en jeu.
4) Calcule la masse de zinc et celle de cuivre.



On te donne : M(Zn) = 65,4 g/mol ; M(Cu) = 63,5 g/mol

V_m = 22,4 L/mol.

Exercice 5

Lors d'une séance de TP dans un lycée, un groupe d'élèves introduit 0,3 g de nickel dans 250 cm^3 d'acide sulfurique à 0,1 $mol.L^{-1}$. Sachant que le nickel Ni est plus réducteur que le dihydrogène, le groupe veut déterminer le volume de dihydrogène dégagé.

Tu es le rapporteur du groupe. On te donne :

- ✓ couple oxydant/réducteur associé au nickel : Ni^{2+}/Ni ;
- ✓ volume molaire : V_{mol} = 24 L/mol ;
- ✓ masse molaire atomique du nickel : M_{Ni} = 59 g/mol.

1) Ecris :
   1.1. l'équation chimique de dissociation dans l'eau de l'acide sulfurique ;
   1.2. le bilan d'oxydoréduction entre l'acide et nickel.
2) Calcule :
   2.1. la concentration de l'acide en ions H^+ ;
   2.2. la concentration de toutes les espèces ioniques en solution à la fin de la réaction ;
   2.3. le volume de dihydrogène dégagé.

Exercice 6

Lors d'une séance de TP, un groupe d'élèves introduit 0,4 g de zinc dans 200 cm^3 d'une solution d'acide chlorhydrique. En fin de réaction, il recueille un volume de 11,4 cm^3 de dihydrogène. Les élèves veulent déterminer la concentration en ion H^+ de la solution d'acide chlorhydrique. Tu es le rapporteur du groupe. On te donne : V_{mol} = 24 L/mol ; M_{Zn} = 65 g/mol.

1) Ecris l'équation-bilan d'oxydoréduction.
2) Détermine la masse de zinc n'ayant pas réagi.
3) En déduis la concentration en ion H^+ de la solution d'acide chlorhydrique utilisée.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

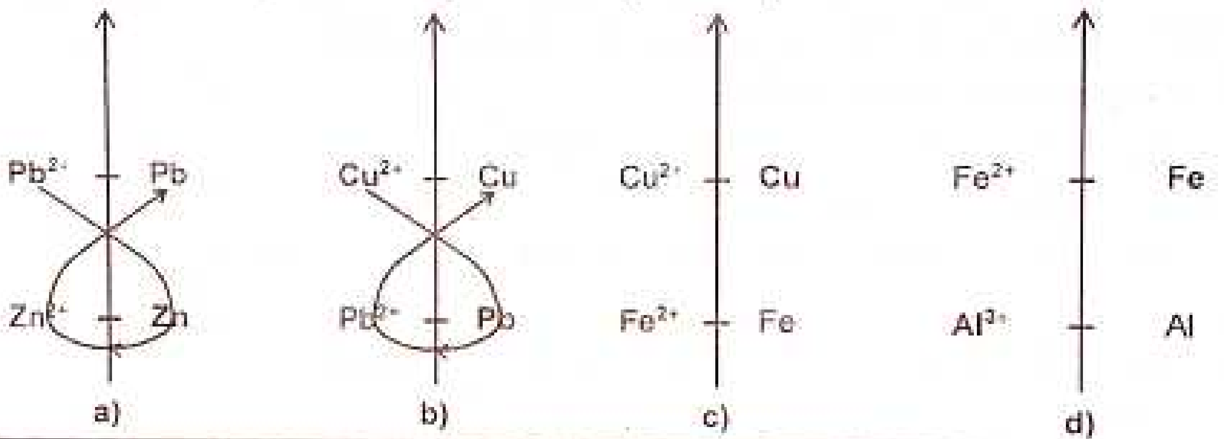
Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1) Un oxydant est d'autant plus faible qu'il capte facilement des électrons : F.
2) Plus l'oxydant est faible, plus son réducteur conjugué est fort : V.
3) Au cours d'une réaction d'oxydoréduction, l'oxydant le plus fort réagit avec le réducteur le plus faible : F.
4) L'acide chlorhydrique attaque le métal cuivre : F.
5) L'ion argent (Ag^+) est un oxydant plus fort que l'ion zinc (Zn^{2+}) : V.

Exercice 2

En utilisant la classification électrochimique et la règle du gamma, j'indique dans les cas suivants les réactions possibles et j'écris à chaque fois l'équation-bilan de la réaction.



Réaction	a)	b)	c)	d)
Nature	possible	possible	impossible	impossible
Equation-bilan	$Pb^{2+} + Zn \longrightarrow Pb + Zn^{2+}$	$Cu^{2+} + Pb \longrightarrow Cu + Pb^{2+}$		

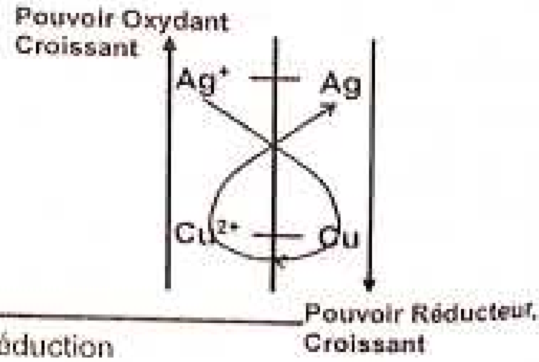
Exercice 3

1) Je choisis la réaction possible :
   - ✓ $Ag^+ + Cu$
2) J'écris correctement la réaction possible en précisant les demi-équations redox.

$\times 2(Ag^+ + e^- \rightleftarrows Ag)$ réduction

$Cu \rightleftarrows Cu^{2+} + 2e^-$ oxydation

$2\,Ag^+ + Cu \longrightarrow 2\,Ag + Cu^{2+}$ réaction d'oxydoréduction



Exercice 4

1) Pour chacune des trois solutions :

1.1. Donnons sa formule

Sulfate de cuivre	Nitrate de plomb	Sulfate de fer II
$(Cu^{2+} + SO_4^{2-})$	$(Pb^{2+} + 2NO_3^-)$	$(Fe^{2+} + SO_4^{2-})$

1.2. Ecrivons le couple oxydant/réducteur relatif à l'ion métallique de la solution

Sulfate de cuivre	Nitrate de plomb	Sulfate de fer II
Cu^{2+}/Cu	Pb^{2+}/Pb	Fe^{2+}/Fe

1.3. Demi-équations électroniques et bilan d'oxydoréduction, lorsque la réaction a lieu

	Sulfate de cuivre	Nitrate de plomb
Demi-équations électroniques	$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$ $Sn \rightleftharpoons Sn^{2+} + 2e^-$	$Pb^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Pb$ $Sn \rightleftharpoons Sn^{2+} + 2e^-$
Bilan d'oxydoréduction	$Cu^{2+} + Sn \longrightarrow Cu + Sn^{2+}$	$Pb^{2+} + Sn \longrightarrow Pb + Sn^{2+}$

1.4. Comparons le pouvoir réducteur du métal à celui de l'étain Sn.

- L'étain Sn cède des électrons aux ions Cu^{2+} ; il est plus réducteur que le cuivre Cu
- L'étain Sn cède des électrons aux ions Pb^{2+} ; il est plus réducteur que le plomb Pb
- Aucune réaction n'a lieu. L'étain Sn ne peut alors céder des électrons aux ions Fe^{2+} ; le fer Fe est donc plus réducteur que l'étain Sn.

2) Place du couple Sn^{2+}/Sn sur l'échelle de classification.

Si l'étain est plus réducteur que le plomb et moins réducteur que le fer alors le couple Sn^{2+}/Sn se trouve entre les couples Pb^{2+}/Pb et Fe^{2+}/Fe sur l'échelle de classification.

Exercice 5

1) J'écris pour chacune des informations données :

1.1. les couples oxydant/réducteur concernés ;

Au^{3+}/Au ; Al^{3+}/Al ; Ag^+/Ag ; Mg^{2+}/Mg ; Zn^{2+}/Zn ; Cu^{2+}/Cu.

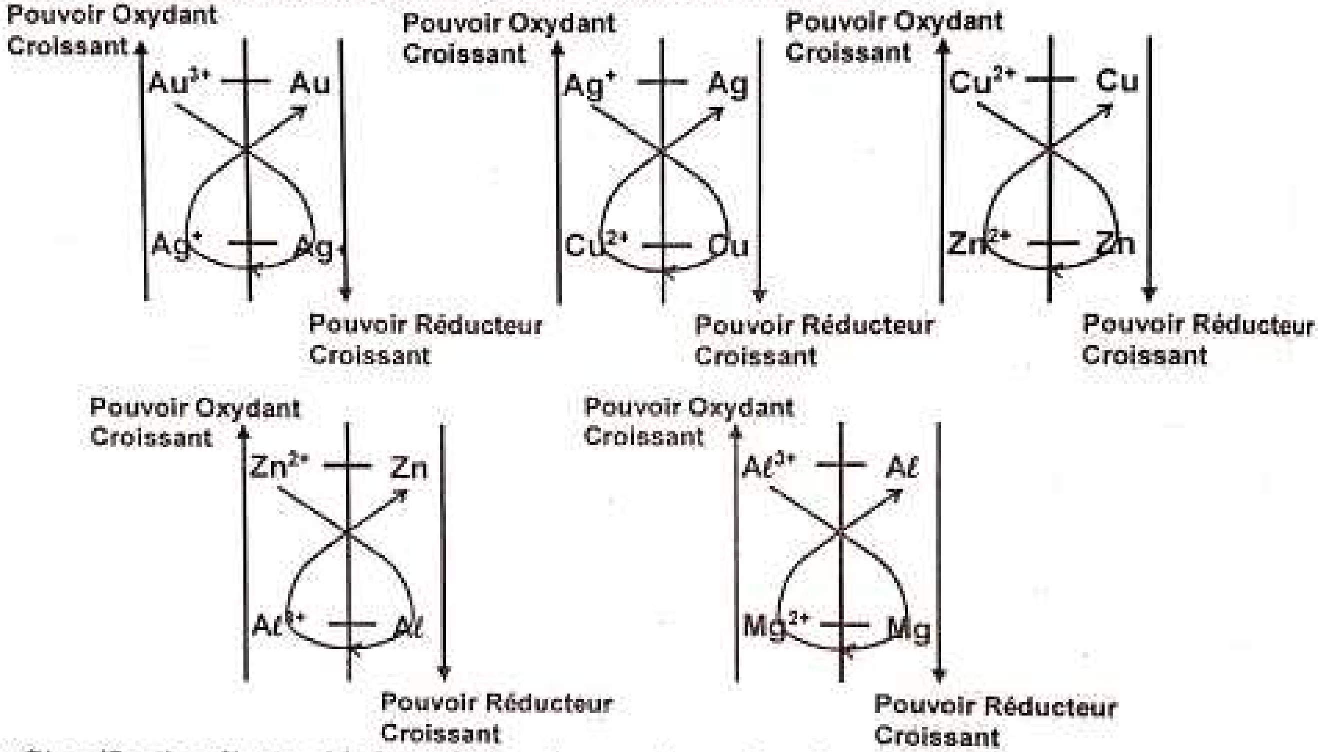
1.2. le cation le plus oxydant ;

- ✓ L'or (Au) n'est pas attaqué lorsqu'on le plonge dans une solution de nitrate d'argent $(Ag^+ + NO_3^-)$ donc le cation Au^{3+} est plus oxydant que le cation Ag^+.
- ✓ Une lame de cuivre est attaquée par une solution de nitrate d'argent $(Ag^+ + NO_3^-)$ donc le cation Ag^+ est plus oxydant que le cation Cu^{2+}.

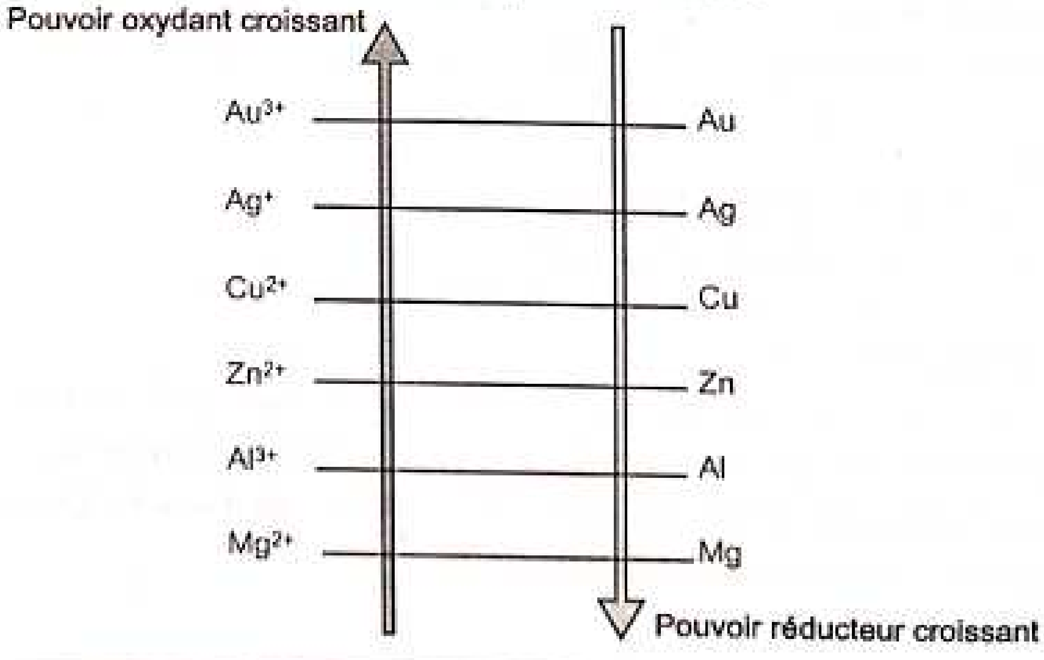
- ✓ Une lame de cuivre n'est pas attaquée par une solution de chlorure de zinc (Zn^{2+} + $2Cl^-$) donc le cation Cu^{2+} est plus oxydant que le cation Zn^{2+}.
- ✓ Une lame d'aluminium (Al) est attaquée par une solution de chlorure de zinc (Zn^{2+} + $2Cl^-$) donc le cation Zn^{2+} est plus oxydant que le cation $A\ell^{3+}$
- ✓ l'aluminium (Al) n'est pas attaqué par une solution de chlorure de magnésium (Mg^{2+} + $2Cl^-$) donc le cation Al^{3+} est plus oxydant que le cation Mg^{2+}.

Ainsi le cation Au^{3+} est le plus oxydant d'entre eux tous.

1.3. la classification électrochimique des couples redox mis en jeu.



2) Classification électrochimique de tous les couples redox étudiés.



Exercice 6

1) Pour chacun des resultas des deux tests :

1.1. les couples oxydant/réducteur mis en jeu et le cation le plus oxydant

- L'acide chlorhydrique attaque le plomb en donnant un dégagement de dihydrogène et des cations Pb^{2+}

  L'acide chlorhydrique se dissocie dans l'eau en ions : $HCl \xrightarrow{H_2O} H^+ + Cl^-$

  Les ions Cl^- n'interviennent pas dans la réaction sur les métaux.

  Seul couple concerné : H^+/H_2.

  Pour le plomb, on a le couple Pb^{2+}/Pb.

  L'ion H^+ (forme oxydée du couple H^+/H_2) réagit sur Pb (forme réduite du couple Pb^{2+}/Pb). L'ion H^+ joue le rôle d'oxydant, H^+ est plus oxydant que l'ion Pb^{2+}.

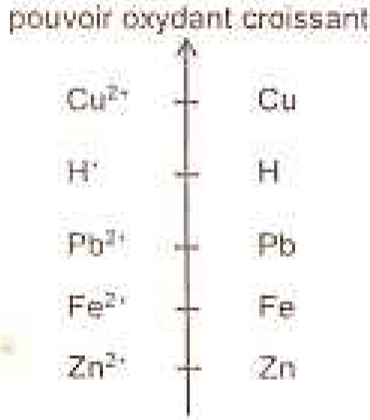
- L'acide chlorhydrique n'attaque pas le cuivre

  Couples intervenant : H^+/H_2 et Cu^{2+}/Cu.

  L'ion H^+ ne réagit pas sur le cuivre Cu (forme réduite du couple Cu^{2+}/Cu), il est moins oxydant que l'ion Cu^{2+}.

1.2. Positions respectives des couples dans l'échelle de classification électrochimique.

Le cation Cu^{2+} est plus oxydant que le cation H^+, lui-même plus oxydant que Pb^{2+} (ou ce qui revient au même, le métal plomb Pb est plus réducteur que le dihydrogène H_2, lui-même plus réducteur que le métal Cu). D'où l'échelle électrochimique ci-contre.



2) Justifions le fait que l'acide chlorhydrique attaque le zinc et le fer.

Plaçons les couples Zn^{2+}/Zn et Fe^{2+}/Fe sur l'échelle électrochimique. Cette dernière montre que l'ion H+ est plus oxydant que les ions Zn^{2+} et Fe. L'ion H^+ réagit donc sur les formes réduites Zn et Fe de ces couples respectifs. Il attaque donc le zinc et le fer.

3) Vérifions si les résultats seraient les mêmes si on avait utilisé une solution d'acide sulfurique

La solution d'acide sulfurique contient les ions H+ et SO_4^{2-} : $H_2SO_4 \xrightarrow{H_2O} 2H^+ + SO_4^{2-}$

Les ions sulfate ne sont pas des ions oxydants dans les conditions expérimentales : ils n'interviennent pas dans la réaction d'attaque des métaux.

Les résultats seront donc les mêmes, avec l'ion H^+ dans le rôle d'oxydant.

OR3 : CLASSIFICATION QUANTITATIVE DES COUPLES OXYDANTS/REDUCTEURS

John Frederic Daniell
(12 mars 1790-13 mars 1845)
Chimiste et Physicien Britannique.
Il inventa un hygromètre à condensation, appelé l'hygromètre Daniell ainsi qu'un pyromètre enregistreur.
Il inventa aussi un nouveau type de pile électrique connue sous le nom de la pile Daniell.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	la pile Daniell.
Schématiser	la pile Daniell.
Ecrire	les demi-équations aux électrodes.
Déduire	l'équation-bilan de la réaction chimique qui a lieu.
Expliquer	le fonctionnement de la pile Daniell.
Schématiser	d'autres piles : • pile Cu/Pb ; • pile Pb/Fe ; • pile Fe/Zn.
Ecrire	les équations bilan des réactions chimiques qui ont lieu.
Définir	• le potentiel d'oxydoréduction pour : - une demi-pile à hydrogène ; - une demi-pile quelconque. • la force électromotrice (f.é.m.) d'une pile.
Classer	les couples oxydants/réducteurs à partir des potentiels normaux.
Prévoir	les réactions possibles à partir potentiels normaux
Déterminer	la force électromotrice (f.é.m.) d'une pile.
Exploiter	• les équations aux électrodes • les équations bilan des réactions chimiques qui ont lieu.
Expliquer	le fonctionnement de quelques piles électrochimiques : - pile Volta ; - pile Leclanché ; - pile alcaline ; - accumulateur.

RAPPEL DE COURS

1. Définitions

1.1. Demi-pile et pile

- Une demi-pile est constituée d'une plaque de métal M appelée électrode, plongeant dans une solution contenant des ions métalliques M^{n+} (de ce métal).
- Une pile est constituée de deux demi-piles reliées par un pont appelé pont salin. Elle est donc obtenue à partir de deux couples oxydant/réducteur.

1.2. Potentiel standard d'oxydoréduction

A chaque couple correspond un potentiel normal, ou standard noté E^0.

Ce potentiel standard caractérise le pouvoir oxydant de la forme oxydée, ou le pouvoir réducteur de la forme réduite, et ne dépend que de la température.

Il est exprimé en volt (V).

1.3. Polarité d'une pile

- Le pôle positif « ⊕ » d'une pile est constitué par l'électrode correspondant au couple de plus fort potentiel d'oxydoréduction. Cette électrode est donc réalisée avec le métal le moins réducteur.
- Le pôle négatif « ⊖ » d'une pile est constitué par l'électrode correspondant au couple de plus faible potentiel d'oxydoréduction. Cette électrode est donc réalisée avec le métal le plus réducteur.
- La notation conventionnelle d'une pile s'écrit de la manière suivante :
  - le pôle « ⊖ » est placé à gauche et le pôle « ⊕ » à droite.
  - la séparation entre électrodes métalliques et solution est symbolisée par une barre.
  - la séparation entre compartiments est symbolisée par deux barres en traits pointillés.

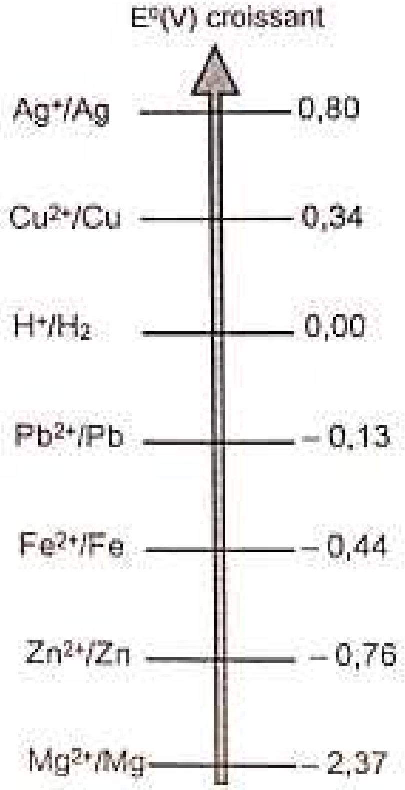
1.4. Force électromotrice (f.é.m.) d'une pile

De deux couples, celui qui a le potentiel le plus élevé oxyde l'autre.

La f.é.m. de la pile qu'ils constituent est égale à la valeur absolue de la différence des potentiels normaux. Elle est notée E et s'exprime en volts (V).

2. Classification quantitative

Les couples oxydant/réducteur peuvent être classés selon le potentiel standard croissant.



3. Fonctionnement d'une pile

3.1. Quantité d'électricité

La quantité d'électricité transportée par les porteurs de charges est : $Q = I \times \Delta t$

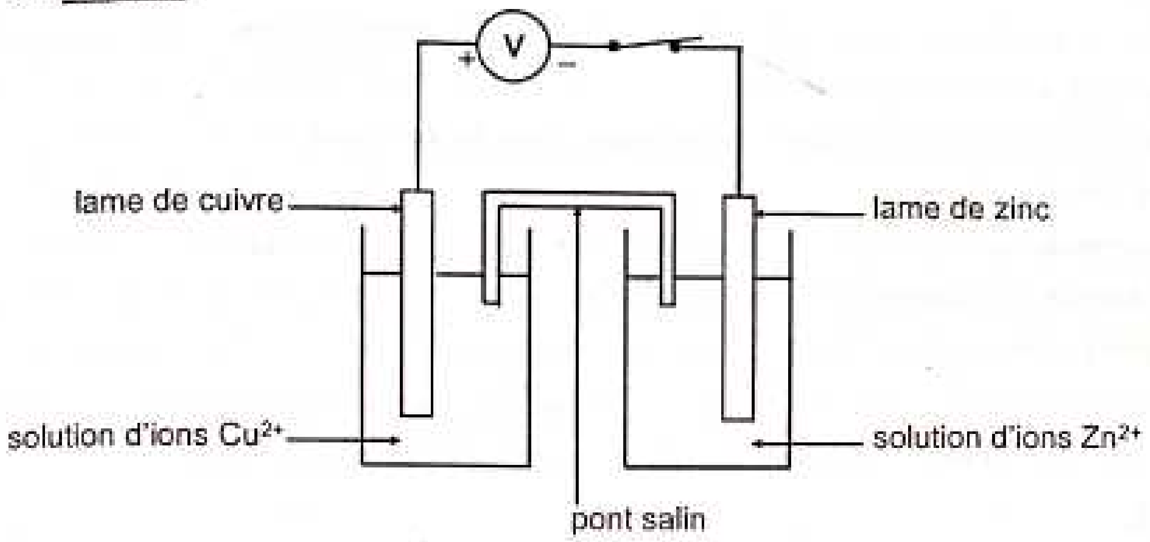
- Q : quantité d'électricité ou charge en coulomb (C) ;
- Δt : durée en seconde (s) ;
- I : intensité du courant électrique en ampère (A).

3.2. Nombre de mole d'électrons

- Les équations aux électrodes permettent de déterminer le nombre de moles d'électrons intervenant dans le fonctionnement de la pile.
- La charge d'une mole d'électrons a pour valeur absolue **1 faraday** qui vaut : **1 $\mathcal{F}$ = 96 500 C.**
- Si Q est la quantité d'électricité qui a traversé le circuit, le nombre n_{e^-} de moles d'électrons est donne par : $n_{e^-} = \frac{Q}{\mathcal{F}}$

4. Application : étude de la pile Daniell (pile Zinc/Cuivre)

4.1. Montage



4.2. Interprétation

- Le pôle positif est l'électrode de cuivre et le pôle négatif l'électrode de zinc.

  $\ominus\ Zn|Zn^{2+}||Cu^{2+}|Cu\ \oplus$
- La f.é.m. de cette pile : $E = E^0_{Cu^{2+}/Cu} - E^0_{Zn^{2+}/Zn} = 0,34 - (-0,76) = 1,1\ V$.
- Demi-équations électroniques aux électrodes et l'équation bilan de la réaction.
  - Au pôle positif, l'ion le plus oxydant subit une réduction : $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$
  - Au pôle négatif, le métal le plus réducteur subit une oxydation : $Zn \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2e^-$
  - L'équation-bilan de cette réaction : $Cu^{2+} + Zn \longrightarrow Cu + Zn^{2+}$

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. De deux couples, celui qui a le potentiel le moins élevé oxyde l'autre.
2. Dans une pile électrochimique :
   2.1. les électrons sont échangés par l'intermédiaire du pont électrolytique ;
   2.2. le pôle (+) est du côté de l'oxydant le plus fort ;
   2.3. du côté de l'électrode (-) il s'effectue toujours une réduction
3. Sachant que $E_{Zn^{2+}/Zn} = -0,76$ V et $E_{Cu^{2+}/Cu} = 0,34$ V, la notation conventionnelle de la pile Daniell (pile Zinc/Cuivre) s'écrit de la manière suivante : $\ominus$ $Cu|Cu^{2+}||Zn^{2+}|Zn$ $\oplus$.

Exercice 2

Complète le texte ci-dessous avec les mots correspondants parmi les mots suivants : *oxydant ; réducteur ; d'oxydation ; neutralité ; d'électrons*

1. Le pôle positif d'une pile est constitué par l'électrode réalisée avec le métal le moins ....
2. Au pôle positif, l'ion le plus .... subit une réduction.
3. La charge d'une mole .... a pour valeur absolue un faraday.
4. Une réaction .... a lieu au pôle négatif d'une pile en fonctionnement.
5. Le pont électrochimique permet d'assurer .... des solutions.

Exercice 3

Au cours d'une expérience on réalise la pile $Fe/Fe^{2+}//Cu^{2+}/Cu$.

Pendant que cette pile débite la variation de la masse d'électrode de fer est de 14 mg.

On te donne : Fe (56 g/mol) ; Cu (63,5 g/mol).

Choisis la bonne réponse parmi les propositions suivantes :

1. La borne positive de cette pile est :
   a) Le métal cuivre ;
   b) Le métal fer ;
   c) l'alliage fer/cuivre
2. L'équation-bilan de la réaction est :
   a) $Cu^{2+} + Fe^{2+} \longrightarrow Cu + Fe$
   b) $Fe + Cu^{2+} \longrightarrow Fe^{2+} + Cu$
   c) $Fe^{2+} + Cu \longrightarrow Fe + Cu^{2+}$
3. La variation de la masse de l'électrode de cuivre est :
   a) 25 mg
   b) 100 mg
   c) 15,9 mg

Exercice 4

Au cours d'une séance de travaux dirigés, votre professeur de Physique-Chimie soumet à votre classe l'appréciation des propositions d'expériences suivantes :

- ✓ Expérience 1 : une lame de cuivre plongée dans une solution de sulfate de fer II ;
- ✓ Expérience 2 : une lame de cuivre plongée dans une solution de nitrate d'argent ;
- ✓ Expérience 3 : une lame d'argent plongée dans une solution de sulfate de fer II ;
- ✓ Expérience 4 : une lame d'argent plongée dans une solution de sulfate de cuivre II ;
- ✓ Expérience 5 : une lame de fer plongée dans une solution de nitrate d'argent ;
- ✓ Expérience 6 : une lame de fer plongée dans une solution de sulfate de cuivre II.

Les potentiels normaux des couples qui interviennent sont :

$E°(Fe^{2+}/Fe) = -0,44$ V ; $E°(Ag^{+}/Ag) = +0,8$ V ; $E°(Cu^{2+}/Cu) = +0,34$ V

Le professeur vous demande de prévoir les résultats dans chaque expérience.

Tu es désigné pour présenter les résultats.

1. Range les couples oxydant/réducteur par ordre de pouvoir réducteur croissant.
2. Identifie les réactions possibles. Justifie ta réponse.
3. Etablis les équation-bilans des réactions possibles.

Exercice 5

Lors d'une journée scientifique dans ton lycée, un groupe d'élèves réalise une pile en associant du métal zinc plongé dans une solution de sulfate de zinc et du métal cuivre plongé dans une solution de sulfate de cuivre II. La pile a fonctionné en tant que générateur pendant $\Delta t = 10$ minutes. Elle a fourni un courant d'intensité $I = 0,2$ A. Les couples redox Cu^{2+}/Cu et Zn^{2+}/Zn ont pour potentiels normaux respectifs $E°(Cu^{2+}/Cu) = 0,34$ V et $E°(Zn^{2+}/Zn) = -0,76$ V.

Tu es choisi pour expliquer le fonctionnement de cette pile.

On te donne : $M_{Cu} = 63,5$ g/mol ; $e = 1,6.10^{-19}$ C, $\mathcal{N}_A = 6,02.10^{23}$ mol^{-1}.

1.
   - 1.1. Fais le schéma du montage en indiquant le sens du courant et le sens de circulation des électrons.
   - 1.2. Calcule la f.é.m. de la pile obtenue.
   - 1.3. Ecris les équations aux électrodes et l'équation-bilan.
   - 1.4. Explique le fonctionnement de cette pile.
2.
   - 2.1. Détermine la quantité de matière d'électrons échangée à la borne positive de la pile.
   - 2.2. En déduis la variation de masse de l'électrode de cuivre.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

On réalise la pile standard à l'aide des couples Ag^+/Ag et Pb^{2+}/Pb.

$E°_{Zn^{2+}/Zn} = -0,76$ V ; $E°_{Ni^{2+}/Ni} = -0,23$ V

1- Ecris les équations chimiques aux électrodes.

2- Ecris l'équation-bilan de fonctionnement.

Exercice 2

On réalise une pile avec une demi-pile au nickel et une demi-pile au cuivre.

On te donne : $E°_{Cu^{2+}/Cu} = 0,34$ V ; $E°_{Ni^{2+}/Ni} = -0,23$ V

1- le pole positif de la pile est :

a. le métal argent b. le métal cuivre c. l'alliage nickel/cuivre

2- sa représentation schématique est

a ⊖ Cu^{2+}/Cu // Ni^{2+}/Ni ⊕

b. ⊖ Ni/Ni^{2+} // Cu^{2+}/Cu ⊕

c ⊖ Ni^{2+}/Ni // Cu^{2+}/Cu ⊕

3- la f.é.m de la pile standard est :

b. E = -0,57 V b. E = 0,11 V c. E = 0,57 V

Choisis la bonne réponse dans chacune des propositions ci-dessus.

Exercice 3

Lors d'une séance de travaux pratiques, ton groupe étudie la pile zinc/cuivre.

Ton groupe réalise le montage de cette pile et étudie ses caractéristiques.

- Demi-pile n°1 : lame de cuivre plongeant dans une solution de sulfate de cuivre ($CuSO_4$) à 1 mol/L
- Demi-pile n°2 : la pile de zinc plongeant dans une solution de sulfate de zinc ($ZnSO_4$) à 1 mol/L
- Pont salin : solution de chlorure de potassium ($KC\ell$)

On donne les potentiels normaux : $E°(Cu^{2+}/Cu) = 0,34$ V ; $E°(Zn^{2+}/Zn) = -0,76$ V

Tu es désigné pour présenter les résultats de vos travaux.

1. Représente le schéma de cette pile en précisant ses pôles.
2. Etablis l'équation de la réaction qui s'effectue lorsque la pile débite.
3. Calcule sa f.é.m.

Exercice 4

Les équations des réactions qui se produisent aux électrodes d'une pile sont :

$Cr \longrightarrow Cr^{3+} + 3e^-$ et $Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$

1- Donne le nom du métal qui constitue la borne positive de la pile.

2- Donne la représentation conventionnelle de cette pile.

3- Calcule masse de plomb qui sera déposée lorsque la perte de masse de l'électrode de chrome sera 1,56 g .

On donne : M(Cr) = 52 g/mol ; M (Pb) = 207 g/mol.

Exercice 5

Lors d'une séance de TP, le professeur de physique-chimie demande à ton groupe de réaliser une pile plomb/cuivre standard, à l'aide de lames de cuivre et de plomb, de sulfate de cuivre et de nitrate de plomb. Un papier-filtre imbibé de nitrate de potassium permet de réaliser le pont salin. Tu es choisi pour expliquer le fonctionnement de cette pile.

On te donne : $E^0_{Pb^{2+}/Pb} = -0,13$ V ; $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = 0,34$ V ;

M_{Cu} = 63,5 g/mol ; M_{Pb} = 207 g/mol ;

valeur absolue de la charge portée par une mole d'électrons : 1 faraday (1 $\mathcal{F}$ = 96 500 C).

1)

1.1. Schématise le montage réalisé (pile branchée sur une résistance).

1.2. Détermine, à l'aide des données, la polarité de cette pile, et donne sa représentation schématique.

1.3. Calcule sa f.é.m. initiale.

1.4. Représente sur le schéma précédent les porteurs de charge dans chaque partie de la pile et le sens de leur déplacement lorsque la pile fonctionne.

1.5. Ecris les équations chimiques au niveau des électrodes et l'équation-bilan de fonctionnement.

2) La pile débite un courant de 25 mA pendant 6 heures.

2.1. Détermine la quantité d'électricité produite et le nombre de moles d'électrons qui ont traversé le circuit extérieur à la pile.

2.2. Indique le mode de variation de la concentration en cation métallique de chaque solution

2.3. Détermine la variation de masse de chaque électrode.

2.4. Vérifie si la f.é.m. de la pile a varié.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. De deux couples, celui qui a le potentiel le moins élevé oxyde l'autre : F.
2. Dans une pile électrochimique :
   2.1. les électrons sont échangés par l'intermédiaire du pont électrolytique : V ;
   2.2. le pôle (+) est du côté de l'oxydant le plus fort : V ;
   2.3. du côté de l'électrode (-) il s'effectue toujours une réduction : F.
3. Sachant que $E_{Zn^{2+}/Zn} = -0,76$ V et $E_{Cu^{2+}/Cu} = 0,34$ V, la notation conventionnelle de la pile Daniell (pile Zinc/Cuivre) s'écrit de la manière suivante : $\ominus$ $Cu|Cu^{2+}||Zn^{2+}|Zn$ $\oplus$: F

Exercice 2

Je complète le texte avec les mots ou groupe de mots correspondants parmi les mots suivants :
oxydant ; réducteur ; d'oxydation ; neutralité ; d'électrons

1. Le pôle positif d'une pile est constitué par l'électrode réalisée avec le métal le moins *réducteur*.
2. Au pôle positif, l'ion le plus *oxydant* subit une réduction.
3. La charge d'une mole *d'électrons* a pour valeur absolue un faraday.
4. Une réaction *d'oxydation* a lieu au pôle négatif d'une pile en fonctionnement.
5. Le pont électrochimique permet d'assurer *neutralité* des solutions.

Exercice 3

Je choisis la bonne réponse :

1. La borne positive de cette pile est :
   a) Le métal cuivre ;
2. L'équation-bilan de la réaction est :
   b. $Fe + Cu^{2+} \longrightarrow Fe^{2+} + Cu$
3. La variation de la masse de l'autre électrode est :
   c. 15,9 mg

Exercice 4

1. **Je range les couples oxydant/réducteur par ordre de pouvoir réducteur croissant.**
   $E°(Fe^{2+}/Fe) = -0,44$ V $<$ $E°(Cu^{2+}/Cu) = +0,34$V $<$ $E°(Ag^{+}/Ag) = +0,8$V.
2. **J'identifie les réactions possibles et je justifie ma réponse.**
   ✓ Expérience 1 : une lame de cuivre plongée dans une solution de sulfate de fer II ;
   $E°(Cu^{2+}/Cu) > E°(Fe^{2+}/Fe)$ donc la règle du gamma n'est pas applicable : il n'y a pas de réaction entre Cu et Fe^{2+}. La réaction naturelle entre ces deux couples est l'action de Cu^{2+} sur Fe.

- ✓ Expérience 2 : une lame de cuivre plongée dans une solution de nitrate d'argent ;
  E°(Ag^+/Ag) > E°(Cu^{2+}/Cu) donc Ag^+ est plus oxydant que Cu^{2+}. Ainsi d'après la règle du gamma il y a réaction entre Ag^+ et la forme réduite Cu du couple Cu^{2+}/Cu.
- ✓ Expérience 3 : une lame d'argent plongée dans une solution de sulfate de fer II ;
  E°(Ag^+/Ag) > E°(Fe^{2+}/Fe) donc la règle du gamma n'est pas applicable : il n'y a pas de réaction entre Ag et Fe^{2+}. La réaction naturelle entre ces deux couples est l'action de Ag^+ sur Fe.
- ✓ Expérience 4 : une lame d'argent plongée dans une solution de sulfate de cuivre II ;
  E°(Ag^+/Ag) > E°(Cu^{2+}/Cu) donc la règle du gamma n'est pas applicable : il n'y a pas de réaction entre Ag et Cu^{2+}. La réaction naturelle entre ces deux couples est l'action de Ag^+ sur Cu.
- ✓ Expérience 5 : une lame de fer plongée dans une solution de nitrate d'argent ;
  E°(Ag^+/Ag) > E°(Fe^{2+}/Fe) donc Ag^+ est plus oxydant que Fe^{2+}. Ainsi d'après la règle du gamma il y a réaction entre Ag^+ et la forme réduite Fe du couple Fe^{2+}/Fe.
- ✓ Expérience 6 : une lame de fer plongée dans une solution de sulfate de cuivre II.
  E°(Cu^{2+}/Cu) > E°(Fe^{2+}/Fe) donc Cu^{2+} est plus oxydant que Fe^{2+}. Ainsi d'après la règle du gamma il y a réaction entre Cu^{2+} et la forme réduite Fe du couple Fe^{2+}/Fe.

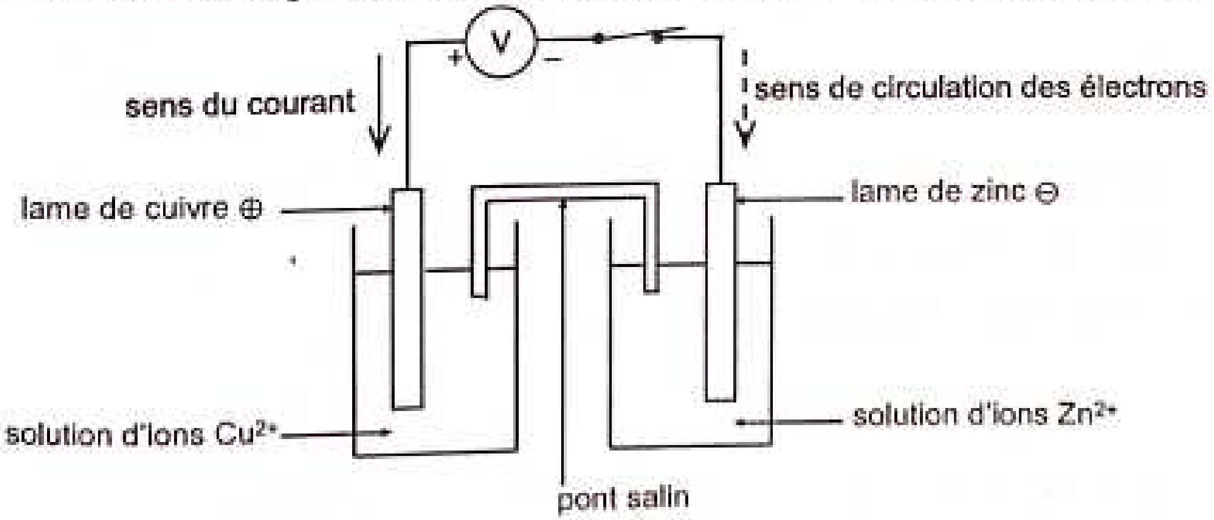
3. J'établis les équation-bilans des réactions possibles.

- ✓ Expérience 2 : $Cu + 2\,Ag^+ \longrightarrow Cu^{2+} + 2\,Ag$
- ✓ Expérience 5 : $Fe + 2\,Ag^+ \longrightarrow Fe^{2+} + 2\,Ag$
- ✓ Expérience 6 : $Fe + Cu^{2+} \longrightarrow Fe^{2+} + Cu$

Exercice 5

1.

1.1. Schéma du montage avec le sens du courant et le sens de circulation des électrons.



1.2. Calcul de la f.é.m. de la pile obtenue.

$E = E°(Cu^{2+}/Cu) - E°(Zn^{2+}/Zn) = 0,34\ V - (-0,76\ V) = 1,1\ V$

1.3. Equations aux électrodes et équation-bilan.

- Au pôle ⊕, l'ion le plus oxydant subit une **réduction** : $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$
- Au pôle ⊖, le métal le plus réducteur subit une **oxydation** : $Zn \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2e^-$
- Equation bilan : $Zn + Cu^{2+} \longrightarrow Zn^{2+} + Cu$

1.4. Explication du fonctionnement de cette pile.

- La réaction d'oxydation d'un atome de zinc de l'anode entraîne la libération de deux électrons dans le circuit : $Zn \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2e^-$
- Les électrons libérés se dirigent alors vers l'autre électrode de la pile (le pôle +) en créant un courant dans le circuit. Ce courant est conventionnellement positif du pôle + vers le pôle – , alors que les électrons se dirigent du pôle – vers le pôle + .
  La tension aux bornes de la pile (ou la ddp entre ses électrodes) est : E = 1,1 V.
- Arrivés à la cathode, les électrons sont impliqués dans la réduction des ions cuivre II présents dans la solution : $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$
  Ce qui entraîne la croissance de la lame de cuivre.
- Dans le pont électrolytique (ou pont salin),
  - ✓ deux anions chlorure (Cl^-) – ou nitrate (NO_3^-) dans le cas d'un pont salin à base de le KNO_3 – dérivent vers la solution de sulfate de zinc ;
  - ✓ alors que deux cations potassium (K^+) traversent le pont salin pour rééquilibrer la solution de cuivre.

  Le pont électrolytique sert ainsi à fermer le circuit électrique, tout en assurant aux deux demi-piles des potentiels différents.

2.

2.1. Quantité de matière d'électrons échangée à la borne positive de la pile.

A la borne positive de la pile, on a la demi-équation : $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$

La quantité de matière d'électrons échangée est : $n_{e^-} = \dfrac{N}{\mathcal{N}_a} = \dfrac{\frac{Q}{e}}{\mathcal{N}_a} = \dfrac{Q}{e.\mathcal{N}_a} = \dfrac{I\Delta t}{e.\mathcal{N}_a}$

Application numérique : $n_{e^-} = \dfrac{0,2 \times 10 \times 60}{6,02.10^{23} \times 1,6.10^{-19}} = \underline{0,00125\ mol} = \underline{1,25.10^{-3}\ mol}$

2.2. Déduction de la variation de masse de l'électrode de cuivre.

Le bilan molaire de la demi-équation précédente est : $\dfrac{n_{Cu}}{1} = \dfrac{n_{e^-}}{2}$

$\Rightarrow n_{Cu} = \dfrac{n_{e^-}}{2} \Rightarrow \dfrac{m_{Cu}}{M_{Cu}} = \dfrac{n_{e^-}}{2} \Rightarrow m_{Cu} = \dfrac{n_{e^-}}{2} \times M_{Cu}$ ou $\Delta m_{Cu} = \dfrac{n_{e^-}}{2} \times M_{Cu}$

Application numérique : $\Delta m_{Cu} = \dfrac{1,25.10^{-3}}{2} \times 63,5 \approx \underline{0,0397\ g} = \underline{39,7\ mg}$

OR4 : COUPLES OXYDANTS/REDUCTEURS EN SOLUTION AQUEUSE DOSAGE

Karl Friedrich Mohr
(4 Novembre 1806 – 28, Septembre 1879)
Chimiste Allemand
Il est célèbre pour avoir découvert le principe de conservation d'énergie du sulfate d'ammonium et de fer II appelé plus tard sel de Morh. Il inventa aussi une burette plus facile à utiliser appelé burette de Mohr.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Ecrire	les demi-équations redox des couples oxydants/réducteurs : - $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$; - MnO_4^-/Mn^{2+} ; - F_e^{3+}/F_e^{2+}; - I_2/I^-; - CH_3COOH/CH_3CH_2OH -. $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$
Prévoir	les équations-bilans des réactions d'oxydoréduction entre les couples suivants : - $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$ et F_e^{3+}/F_e^{2+} et/ou MnO_4^-/Mn^{2+} et F_e^{3+}/F_e^{2+}; - $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$ et CH_3COOH/CH_3CH_2OH et/ou MnO_4^-/Mn^{2+} et CH_3COOH/CH_3CH_2OH - I_2/I^- et $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$
Ecrire	les équations-bilans des réactions d'oxydoréduction.
Réaliser	le dosage de l'ion Fer II par l'ion permanganate et/ou dosage de I_2 par $S_2O_3^{2-}$
Ecrire	l'équation-bilan de la réaction du dosage.
Déterminer	la concentration de la solution de titre inconnu.
Exploiter	l'équation-bilan d'une réaction chimique.
Connaitre	l'intérêt d'un dosage.

RAPPEL DE COURS

1) Couples oxydant/réducteur en solution

1.1. Réaction entre les couples Fe^{3+}/Fe^{2+} et MnO_4^-/Mn^{2+}

1.1.1. Couple ion ferrique/ion ferreux (Fe^{3+}/Fe^{2+})

Par action des ions MnO_4^-, les ions ferreux Fe^{2+} ont été oxydés en ions ferriques Fe^{3+}.

- La demi-équation électronique correspondante est : $Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+} + e^-$
- La réaction s'accompagne d'une libération d'électrons : c'est une oxydation.
- Fe^{2+} est le réducteur car il libère des électrons et Fe^{3+} est l'oxydant et du couple Fe^{3+}/Fe^{2+}.

1.1.2. Couple ion permanganate/ion manganeux (MnO_4^-/Mn^{2+})

Les ions permanganates MnO_4^-, en milieu acide (H^+), sont réduits en ions manganeux Mn^{2+}.

- La demi-équation électronique correspondante s'obtient de la manière suivante :
  - Conservation de l'élément manganèse

$$MnO_4^- + \ldots\ldots \rightleftarrows Mn^{2+} + \ldots\ldots$$

  - Conservation de l'élément oxygène

Il faut équilibrer les quatre (4) atomes d'oxygène. En milieu aqueux acide, ces atomes vont se retrouver dans quatre (4) molécules d'eau.

$$MnO_4^- + \ldots\ldots \rightleftarrows Mn^{2+} + 4\,H_2O$$

  - Conservation de l'élément hydrogène

Les atomes d'hydrogène nécessaires sont fournis par huit (8) ions H^+ :

$$MnO_4^- + 8\,H^+ + \ldots\ldots \rightleftarrows Mn^{2+} + 4\,H_2O$$

  - Conservation des charges

Dans le second membre de l'équation, la somme des charges est +2. Il faut donc cinq (5) électrons dans le premier membre :

$$MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4\,H_2O$$

- La réaction s'accompagne d'une capture d'électrons : c'est une réduction.
- MnO_4^- est l'oxydant car il a fixé des électrons et Mn^{2+} est le réducteur du couple MnO_4^-/Mn^{2+}.

1.1.3. Equation-bilan

- L'équation bilan de la réaction entre ces deux couples s'obtient par :

$$5\times(Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+} + e^-)$$

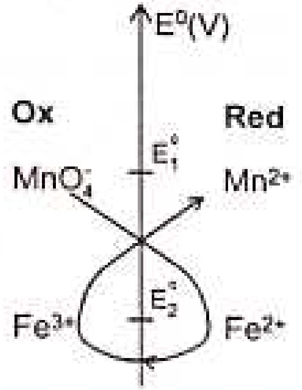
$$MnO_4^- + 8\,H^+ + 5e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4\,H_2O$$

$$MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,Fe^{2+} \longrightarrow Mn^{2+} + 4\,H_2O + 5\,Fe^{3+}$$

- Les potentiels normaux des couples étant :

$E^\circ(MnO_4^-/Mn^{2+}) = E_1^\circ = 1{,}51$ V ; $E^\circ(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = E_2^\circ = 0{,}77$ V.

La « règle du gamma » permet de prévoir la réaction possible entre ces deux couples :



1.2. Réaction entre les couples Fe^{3+}/Fe^{2+} et I_2/I^-

1.2.1. Couple diiode/ion iodure (I_2/I^-)

Les ions iodures I^-, en cédant des électrons, sont oxydés en diiode I_2.

- La demi-équation électronique correspondante est : $2\,I^- \rightleftharpoons I_2 + 2e^-$.
- La réaction s'accompagne d'une libération d'électrons : c'est une oxydation.
- I^- est le réducteur car il a libéré des électrons et I_2 est l'oxydant du couple I_2/I^-.

1.2.2. Couple ion ferrique/ion ferreux (Fe^{3+}/Fe^{2+})

Les ions ferriques Fe^{3+}, en captant des électrons, sont réduits en ions ferreux Fe^{2+}.

- La demi-équation électronique correspondante est : $Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}$
- La réaction s'accompagne d'une capture d'électrons : c'est une réduction.
- Fe^{3+} est l'oxydant car il capte des électrons et Fe^{2+} est le réducteur du couple Fe^{3+}/Fe^{2+}.

1.2.3. Equation-bilan

- L'équation bilan de la réaction entre ces deux couples.

$2\,I^- \rightleftharpoons I_2 + 2e^-$

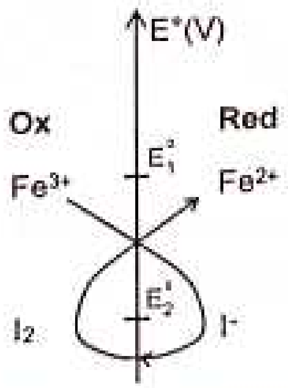
$2\times(Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+})$

$2\,Fe^{3+} + 2\,I^- \longrightarrow I_2 + 2\,Fe^{2+}$.

- Les potentiels normaux des couples étant :

  $E°(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = E_1^\circ = 0{,}77\ V$ et $E°(I_2/I^-) = E_2^\circ = 0{,}54\ V$;

  La « règle du gamma » permet de prévoir la réaction possible entre ces deux couples :



1.3. Réaction entre les couples CH_3COOH/CH_3CH_2OH et $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$

1.3.1. Couple ion dichromate/ion chrome III ($Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$)

Les ions dichromate ($Cr_2O_7^{2-}$) captent des électrons en milieu acide (H^+) et se réduisent en ions chrome III (Cr^{3+}).

➢ La demi-équation électronique correspondante s'obtient de la manière suivante :

- **Conservation de l'élément chrome**

$$Cr_2O_7^{2-} + \ldots\ldots \rightleftharpoons 2\,Cr^{3+} + \ldots\ldots.$$

- **Conservation de l'élément oxygène**

Il faut équilibrer les sept (7) atomes d'oxygène.

En milieu aqueux acide, ces atomes vont se retrouver dans sept (7) molécules d'eau.

$$Cr_2O_7^{2-} + \ldots\ldots \rightleftharpoons 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O$$

- **Conservation de l'élément hydrogène**

Les atomes d'hydrogène nécessaires sont fournis par quatorze (14) ions H^+ :

$$Cr_2O_7^{2-} + 14\,H^+ + \ldots\ldots \rightleftharpoons 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O$$

- **Conservation des charges**

Dans le second membre de l'équation, la somme des charges est +6.

Il faut donc six (6) électrons dans le premier membre :

$$Cr_2O_7^{2-} + 14\,H^+ + 6\,e^- \rightleftharpoons 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O$$

➢ La réaction s'accompagne d'une capture d'électrons : c'est une réduction.

➢ $Cr_2O_7^{2-}$ est l'oxydant car il a fixé des électrons et Cr^{3+} est le réducteur du couple $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$.

1.3.2. Couple acide éthanoïque/éthanol (CH_3COOH/CH_3CH_2OH)

Les électrons captés par les ions dichromate ($Cr_2O_7^{2-}$) en milieu acide (H^+) sont libérés par les molécules d'éthanol (CH_3CH_2OH) qui s'oxydent en acide éthanoïque (CH_3COOH).

➢ La demi-équation électronique correspondante s'obtient de la manière suivante :

- **Conservation de l'élément carbone**

$$CH_3CH_2OH + \ldots\ldots \rightleftharpoons CH_3COOH + \ldots\ldots.$$

- **Conservation de l'élément oxygène**

Il faut équilibrer les deux (2) atomes d'oxygène. En milieu aqueux acide, ces atomes vont se retrouver dans une (1) molécule d'éthanol et une (1) molécule d'eau.

$$CH_3CH_2OH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + \ldots\ldots..$$

- **Conservation de l'élément hydrogène**

Les atomes d'hydrogène nécessaires sont fournis par quatre (4) ions H^+ :

$$CH_3CH_2OH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + 4\,H^+ \ldots\ldots$$

- **Conservation des charges**

Dans le premier membre de l'équation, la somme des charges est nulle (0). Il faut donc quatre (4) électrons dans le second membre :

$$CH_3CH_2OH + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + 4\,H^+ + 4\,e^-$$

> La réaction s'accompagne d'une libération d'électrons : c'est une oxydation.

> CH_3CH_2OH est le réducteur car il a libéré des électrons et CH_3COOH est l'oxydant du couple CH_3COOH/CH_3CH_2OH.

1.3.3. Equation-bilan

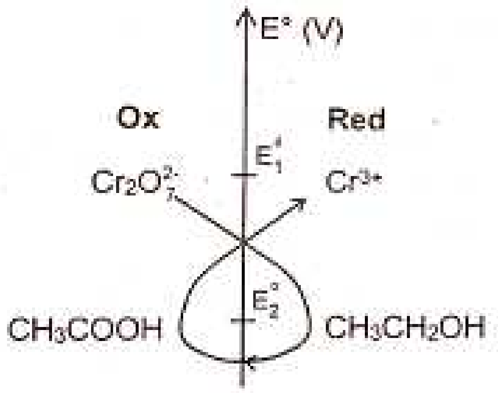
- L'équation bilan de la réaction entre ces deux couples est :

$$2\times(Cr_2O_7^{2-} + 14\,H^+ + 6\,e^- \rightleftarrows 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O)$$
$$3\times(CH_3CH_2OH + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + 4\,H^+ + 4\,e^-)$$
$$3\,CH_3CH_2OH + 2\,Cr_2O_7^{2-} + 16\,H^+ \longrightarrow 3\,CH_3COOH + 4\,Cr^{3+} + 11\,H_2O$$

- Les potentiels normaux des couples étant :

$E°(Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}) = E_1^\circ = 1{,}33$ V et $E°(CH_3COOH/CH_3CH_2OH) = E_2^\circ = 0{,}03$ V

La « règle du gamma » permet de prévoir la réaction possible entre ces deux couples :



2) Dosage d'oxydoréduction

2.1. Définition

Doser ou titrer une espèce chimique en solution consiste à déterminer la concentration molaire de cette espèce dans la solution. Cela revient aussi à déterminer la quantité de matière de cette espèce présente dans un volume donné de cette solution.

2.2. Principe

Elle consiste à faire réagir la solution à doser contenant le réactif à titrer avec une solution contenant le réactif titrant (réactif dont on connaît la concentration).

Le choix d'une réaction de dosage doit satisfaire à trois exigences. Elle doit être :

- **univoque** (non parasitée par une autre réaction ayant les mêmes réactifs mais des produits différents),
- **totale** (disparition d'au moins l'un des réactifs mis en présence),
- **rapide** (parvenir à son terme instantanément ou dans un délai très bref).

2.3. Equivalence

A l'équivalence d'un dosage d'oxydoréduction, le nombre de moles d'électrons cédés par le réducteur est égal au nombre de moles d'électrons captés par l'oxydant : $\mathbf{n_oC_oV_o = n_rC_rV_r}$.

- n_o : nombre de mole d'électrons captés par une mole de l'oxydant (en mol) ;
- C_o : concentration de la solution oxydante (en mol/L) ;
- V_o : volume de la solution oxydante (en L) ;
- n_r : nombre de mole d'électrons captés par une mole du réducteur (en mol) ;
- C_r : concentration de la solution réductrice (en mol/L) ;
- V_r : volume de la solution réductrice (en L) ;

2.4. Dosage du diiode I_2 par l'ion thiosulfate $S_2O_3^{2-}$ (Iodométrie)

- La décoloration de la solution de diiode traduit la réaction des molécules de diiode I_2 qui, en captant des électrons, sont réduits en ions iodures I^-.
  - La demi-équation électronique correspondante est : $I_2 + 2e^- \rightleftarrows 2I^-$.
  - La réaction s'accompagne d'une capture d'électrons : c'est une réduction.
  - I_2 est l'oxydant car il a capté des électrons est I^- est le réducteur du couple I_2/I^-.
- Les molécules de diiode oxydent les ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}$ en ions tétrathionate $S_4O_6^{2-}$.
  - La demi-équation électronique correspondante est : $2\,S_2O_3^{2-} \rightleftarrows S_4O_8^{2-} + 2e^-$
  - La réaction s'accompagne d'une libération d'électrons : c'est une oxydation.
  - $S_2O_3^{2-}$ est le réducteur car il a libéré des électrons et $S_4O_6^{2-}$ est l'oxydant du couple $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$.
- L'équation bilan de la réaction de dosage est :

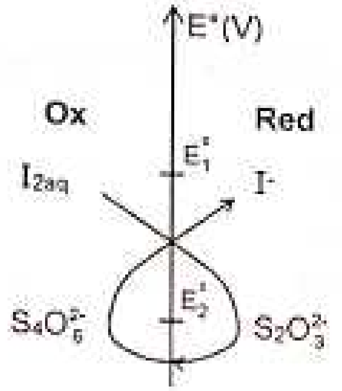
$$I_2 + 2e^- \rightleftarrows 2I^-.$$
$$2\,S_2O_3^{2-} \rightleftarrows S_4O_6^{2-} + 2e^-$$

$$I_2 + 2\,S_2O_3^{2-} \longrightarrow S_4O_6^{2-} + 2I^-$$

- Les potentiels normaux des couples étant :

  $E°(I_{2aq}/I^-) = E_1^\circ = 0,54$ V et $E°(S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}) = E_2^\circ = 0,08$ V.

  la « règle du gamma » permet de prévoir la réaction de dosage entre ces deux couples :



2.5. Dosage du sulfate de fer II par le permanganate de potassium (manganimétrie)

- Les ions permanganate oxydent les ions ferreux Fe^{2+} en ions ferrique Fe^{3+}.

  La demi-équation électronique correspondante est : $Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+} + e^-$

- En milieu acide, les ions permanganate MnO_4^- sont réduits en ions manganeux Mn^{2+} par les ions ferreux. La demi-équation électronique correspondante est :

  $MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4\,H_2O$

- L'équation bilan de la réaction de dosage.

  $5\times(Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+} + e^-)$

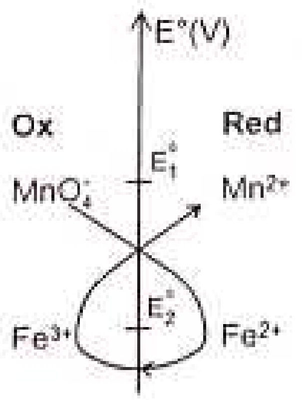
  $MnO_4^- + 8\,H^+ + 5e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4\,H_2O$

  $MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,Fe^{2+} \longrightarrow Mn^{2+} + 4\,H_2O + 5\,Fe^{3+}$

- Les potentiels normaux des couples étant :

  $E°(MnO_4^-/Mn^{2+}) = E_1^\circ = 1,51$ V ; $E°(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = E_2^\circ = 0,77$ V.

  La « règle du gamma » permet de prévoir la réaction de dosage entre ces deux couples :



EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. Dans le couple oxydant/réducteur I_2/I^-, I^- est l'oxydant et I_2 est le réducteur.
2. La réduction de l'ion $Cr_2O_7^{2-}$se fait en milieu acide.
3. A l'équivalence du dosage d'oxydoréduction, le nombre d'électrons captés par l'oxydant est égale au nombre d'électron cédés par le réducteur.
4. De deux couples, l'oxydant le plus fort appartient au couple dont le potentiel standard est le plus faible.

Exercice 2

On donne les couples oxydant/réducteur suivants :

$E^0_{Cl_2/Cl^-} = 1{,}39\ V$; $E^0_{Br_2/Br^-} = 1{,}08\ V$; $E^0_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = 0{,}77\ V$; $E^0_{I_2/I^-} = 0{,}54\ V$

1. Indique parmi les propositions suivantes les réactions possibles.
   a. La réaction entre le dichlore Cl_2 et l'ion fer II Fe^{2+}
   b. La réaction entre les ions Cl^- et Fe^{3+}.
   c. La réaction entre le dibrome Br_2 et l'ion fer II Fe^{2+}.
   d. La réaction entre les ions Br^- et Fe^{3+}.
   e. La réaction entre le diiode I_2 et l'ion fer II Fe^{2+}.
   f. La réaction entre les ions I^- et Fe^{3+}.
2. Ecris les équations-bilans correspondantes aux réactions possibles.

Exercice 3

1. Etablis les demi-équations électroniques des couples :
   a. Acide éthanoïque/éthanal (CH_3COOH / CH_3CHO)
   b. Ion permanganate/ion magnésium (MnO_4^-/Mn^{2+})
   c. Ethanal/éthanol (CH_3CHO / CH_3CH_2OH)
   d. Ion dichromate/ion chrome $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$.
2. Ecris l'équation-bilan des réactions entre :
   a. L'éthanal et l'ion MnO_4^-
   b. L'éthanol et l'ion $Cr_2O_7^{2-}$.

Exercice 4

Pour déterminer l'état d'ivresse d'un conducteur, on utilise souvent l'alcooltest, constitué d'un tube contenant du dichromate de potassium acidifié à l'extrémité duquel se trouve un ballon. Le conducteur est invité à gonflé le ballon en soufflant à l'autre extrémité du tube. Si l'haleine du conducteur est chargée d'alcool (éthanol), il y a réaction entre l'éthanol et les ions dichromates de potassium en milieu acide.

Tu viens d'assister à la réalisation de ce test à un poste de police.

1. Ecris les deux couples oxydant/réducteur qui interviennent. (On considère qu'il y a formation de l'éthanal dans cette réaction).
2. Ecris les demi-équations correspondant aux deux couples.
3. Déduis-en l'équation bilan de la réaction.

Exercice 5

Au cours d'une séance de travaux pratiques, votre professeur de physique-chimie vous demande de doser 10 mL d'une solution de sulfate de fer II par une solution de permanganate de potassium en milieu acide, de concentration $C_0 = 10^{-2}$ mol/L.

Au cours de ce dosage le volume $V_0 = 20$ mL de solution de permanganate a permis de doser exactement $V_r = 10$ mL de solution de sulfate de fer II.

Tu es désigné pour faire le rapport.

1.
   1.1. Donne les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu.
   1.2. Pour chaque couple, précise l'oxydant et le réducteur.
2.
   2.1. Ecris les demi-équations correspondant à chacun de ces deux couples.
   2.2. En déduis l'équation-bilan de la réaction.
3.
   3.1. Fais le schéma du montage.
   3.2. Donne le mode opératoire de ce dosage.
4. Détermine la concentration molaire de la solution de sulfate de fer II.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

On considère les potentiels normaux d'oxydoréduction des couples suivants :

$E^0_{Cl_2/Cl^-} = 1{,}36\ V$; $E^0_{I_2/I^-} = 0{,}54\ V$; $E^0_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = 0{,}68\ V$; $E^0_{Fe^{2+}/Fe} = -0{,}44\ V$.

Dans chacun des cas suivants réponds par V si une réaction d'oxydoréduction a lieu ou F s'il n'y a pas de réaction.

1. On mélange une solution de dichlore et une solution contenant des ions Fe^{3+}.
2. On introduit une lame de fer dans une solution de diiode (I_2).
3. On mélange une solution d'ions Fe^{3+} et une mélange d'ions iodure I^-.

Exercice 2

Etablis l'équation-bilan des réactions se produisant entre les couples suivants :

1) $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$ et CH_3COOH/CH_3CH_2OH.
2) MnO_4^-/Mn^{2+} et CH_3CHO/CH_3CH_2OH.
3) $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$ et I_2/I^-

Exercice 3

Indique si les ions permanganate MnO_4^- peuvent oxyder les ions Br^-. Justifie ta réponse.

Données : $E^0_{MnO_4^-/Mn^{2+}} = 1{,}51\ V$; $E^0_{Br_2/Br^-} = 1{,}08\ V$

Exercice 4

Un de tes camarades, élève en 1ère D au lycée révisant pour un devoir de Chimie, demande ton aide pour traiter l'exercice suivant.

On considère les ions tétrathionate $S_4O_6^{2-}$ et thiosulfate $S_2O_3^{2-}$.

On donne $E^0_{S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}} = 0{,}08\ V$; $E^0_{I_2/I^-} = 0{,}54\ V$.

1. Ecris la demi-équation redox de chacun de ces couples, puis l'équation-bilan d'oxydoréduction entre ces deux couples.
2. Le diiode I_2 en solution aqueuse a une couleur brune. l'ion I^- est incolore.
   Décris une méthode simple de dosage d'une solution aqueuse d'iode par une solution contenant des ions thiosulfates (eux aussi incolores).
3. On verse 18 cm^3 d'une solution contenant 0,01 mol d'ions thiosulfates par litre pour réduire totalement 10 cm^3 d'une solution aqueuse d'iode de concentration molaire C_0 inconnue. Calcule C_0.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. F.
2. V.
3. V.
4. F.

Exercice 2

1. J'indique parmi les propositions suivantes les réactions possibles.
   a. La réaction entre le dichlore Cl_2 et l'ion fer II Fe^{2+}
   c. La réaction entre le dibrome Br_2 et l'ion fer II Fe^{2+}.
   f. La réaction entre les ions I^- et Fe^{3+}.
2. J'écris les équations-bilans correspondantes aux réactions possibles.
   - Entre le dichlore Cl_2 et l'ion fer II Fe^{2+} : $2\ Fe^{2+} + Cl_2 \longrightarrow 2\ Cl^- + 2\ Fe^{3+}$
   - Entre le dibrome Br_2 et l'ion fer II Fe^{2+} : $2\ Fe^{2+} + Br_2 \longrightarrow 2\ Br^- + 2\ Fe^{3+}$
   - Entre les ions I^- et Fe^{3+}. : $2\ Fe^{3+} + 2\ I^- \longrightarrow I_2 + 2\ Fe^{2+}$

Exercice 3

1. J'établis les demi-équations électroniques des couples :
   a. Acide éthanoïque/éthanal (CH_3COOH / CH_3CHO)
   $CH_3CHO + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + 2H^+ + 2e^-$
   b. Ion permanganate/ion magnésium (MnO_4^-/Mn^{2+})
   $MnO_4^- + 8\ H^+ + 5e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4H_2O$
   c. Ethanal/éthanol (CH_3CHO / CH_3CH_2OH)
   $C_2H_5OH \rightleftarrows CH_3CHO + 2H^+ + 2e^-$
   d. Ion dichromate/ion chrome $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$.
   $Cr_2O_7^{2-} + 14\ H^+ + 6e^- \rightleftarrows 2Cr^{3+} + 7H_2O$
2. J'écris l'équation-bilan des réactions entre :
   a. L'éthanal et l'ion MnO_4^-
   $5\ CH_3CHO + 2\ MnO_4^- + 6\ H^+ \longrightarrow 5\ CH_3COOH + 2\ Mn^{2+} + 3\ H_2O$
   b. L'éthanol et l'ion $Cr_2O_7^{2-}$.
   $3\ C_2H_5OH + Cr_2O_7^{2-} + 8\ H^+ \longrightarrow 3\ CH_3CHO + 2Cr^{3+} + 7H_2O$

Exercice 4

1. **J'écris les deux couples oxydant/réducteur qui interviennent.**
   - ✓ Ethanal/éthanol : (CH_3CHO / CH_3CH_2OH)
   - ✓ Ion dichromate/ion chrome : $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$.
2. **J'écris les demi-équations correspondant aux deux couples.**

$$C_2H_5OH \rightleftarrows CH_3CHO + 2H^+ + 2e^-$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 14\,H^+ + 6e^- \rightleftarrows 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

3. **J'en déduis l'équation bilan de la réaction.**

$$\times 3(C_2H_5OH \rightleftarrows CH_3CHO + 2H^+ + 2e^-)$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 14\,H^+ + 6e^- \rightleftarrows 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

$$3\,C_2H_5OH + Cr_2O_7^{2-} + 8\,H^+ \longrightarrow 3\,CH_3CHO + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

Exercice 5

1.

1.1. Les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu.

- Ion fer III/ion fer II : (Fe^{3+}/Fe^{2+})
- Ion permanganate/ion magnésium : (MnO_4^-/Mn^{2+})

1.2. Pour chaque couple, je précise l'oxydant et le réducteur.

Couple redox	Oxydant	Réducteur
Fe^{3+}/Fe^{2+}	Fe^{3+}	Fe^{2+}
(MnO_4^-/Mn^{2+})	MnO_4^-	Mn^{2+}

2.

2.1. J'écris les demi-équations correspondant à chacun de ces deux couples.

- Les ions ferreux Fe^{2+} sont oxydés en ions ferrique Fe^{3+}.

$$Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+} + e^-$$

- Les ions permanganate MnO_4^- sont réduits en ions manganeux Mn^{2+}

$$MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4\,H_2O$$

2.2. J'en déduis l'équation-bilan de la réaction de dosage.

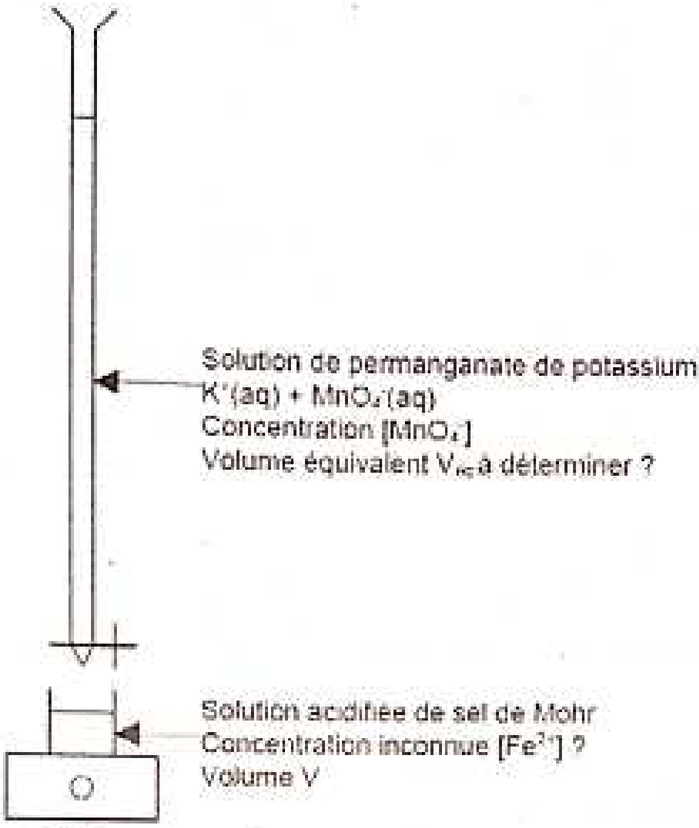
$$5\times(Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+} + e^-)$$

$$MnO_4^- + 8\,H^+ + 5e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4\,H_2O$$

$$MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,Fe^{2+} \longrightarrow Mn^{2+} + 4\,H_2O + 5\,Fe^{3+}$$

3.

3.1. Schéma du montage.



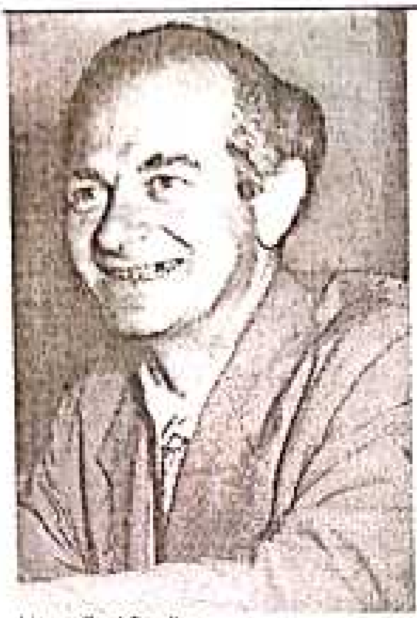
3.2. Je donne le mode opératoire de ce dosage.

- ✓ Je prélève avec une pipette jaugée 10 mL de solution de sel de Mohr que j'introduis dans un bécher avec quelques gouttes d'acide sulfurique concentré.
- ✓ Je remplie la burette d'une solution aqueuse de permanganate de potassium $(K^+ ; MnO_4^-)_{(aq)}$ de concentration $C_o = 10^{-2}$ mol.L^{-1} .
- ✓ A l'aide du robinet de la burette, je verse progressivement la solution de permanganate de potassium dans la solution de sel de Mohr.
- ✓ L'équivalence du dosage est repérée par la coloration de la solution en violet par l'ion permanganate MnO_4^-.

4. **Détermination de la concentration molaire de la solution de sulfate de fer.**

- Une mole de l'oxydant MnO_4^- capte 5 moles d'électrons. Donc le nombre de moles d'électrons captés au total par la solution oxydante est donc : $n_o = 5C_oV_o$.
- Une mole du réducteur Fe^{2+} cède 1 mole d'électrons. Donc le nombre de moles d'électrons cédés au total par la solution réductrice est donc : $n_r = C_rV_r$.
- A l'équivalence, le volume de la solution oxydante de permanganate est : $V_o = 20$ mL .

  A l'équivalence, $n_o = n_r$ soit $C_rV_r = 5\,C_oV_o \Rightarrow C_r = \frac{5\,C_oV_o}{V_r} = \frac{5\times10^{-2}\times20}{10} = \underline{10^{-1}\ \text{mol/L}}$



OR5 : OXYDOREDUCTION PAR VOIE SECHE

Linus Carl Pauling
(28 février 1901 - 19 août 1994)
Chimiste et Physicien Américain
Il fut l'un des premiers chimistes quantiques, et reçut le prix Nobel de chimie en 1954 pour ses travaux décrivant la nature de la liaison chimique. On lui doit une échelle de classification de l'électronégativité des éléments chimiques.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Interpréter	quelques réactions d'oxydoréduction par voie sèche : - oxydation du magnésium par le dioxygène ; - réduction de l'oxyde de cuivre II par le carbone ; - réduction de l'oxyde ferrique par l'aluminium.
Ecrire	les équations-bilan des réactions chimiques.
Définir	l'oxydoréduction par voie sèche.
Définir	le nombre d'oxydation.
Identifier	une réaction d'oxydoréduction à partir des variations des nombres d'oxydation.
Déterminer	le nombre d'oxydation d'un élément chimique.

RAPPEL DE COURS

1) La liaison covalente

1.1. Définition

La liaison covalente est la liaison qui résulte de la mise en commun de deux électrons célibataires entre deux atomes. On forme ainsi un **doublet liant.**

Remarque : un doublet d'électron de valence qui n'est pas impliqué dans une liaison covalente est appelée **doublet non liant.**

1.2. Convention d'écriture

Si les atomes A et B sont liés par une liaison covalente, on écrit :

 ou **A — B**

2) Mole et grandeurs molaires

Grandeurs chimiques	Symbole	Unité	Formules
Constante d'Avogadro	$\mathcal{N}_A$	mol^{-1}	$N = n \times \mathcal{N}_A$
Nombre d'entités élémentaires	N	sans unité	$n = \frac{N}{\mathcal{N}_A}$
Quantité de matière ou nombre de moles	n	mol	$m = n \times M$ $n = \frac{m}{M}$ $M = \frac{m}{n}$
Masse molaire	M	g/mol ou $g.mol^{-1}$	
Masse	m	g	$V = n \times V_m$ $n = \frac{V}{V_m}$
Volume molaire (gaz)	V_m	L/mol ou $L.mol^{-1}$	
Volume (gaz)	V	L	
Densité (gaz)	d	sans unité	$d = \frac{M}{29}$ $M = 29 \times d$

3) Etude quantitative d'une réaction chimique

Les proportions définies par l'équation-bilan d'une réaction chimique 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.

➢ 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 : $4Al + 3O_2 \longrightarrow 2Al_2O_3$

- Le mélange de 8 mol d'aluminium Al et de 6 mol de dioxygène O_2 est stœchiométrique car :

$$\left.\begin{aligned}\frac{n_{Al}}{4} = \frac{8}{4} = 2\\ \frac{n_{O_2}}{3} = \frac{6}{3} = 2\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{n_{Al}}{4} = \frac{n_{O_2}}{3}.$$

La quantité d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) obtenue est :

D'après le bilan molaire de la réaction :

$$\frac{n_{Al}}{4} = \frac{n_{O_2}}{3} = \frac{n_{Al_2O_3}}{2} \Rightarrow n_{Al_2O_3} = 2 \times \frac{n_{Al}}{4} = 2 \times 2 = 4 \text{ mol}$$

- Le mélange de 10 mol d'aluminium (Al) et de 9 mol de dioxygène (O_2) n'est pas stœchiométrique car :

$$\left.\begin{aligned}\frac{n_{Al}}{4} = \frac{10}{4} = 2{,}5\\ \frac{n_{O_2}}{3} = \frac{9}{3} = 3\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{n_{Al}}{4} \neq \frac{n_{O_2}}{3}$$

Ainsi :

- le réactif en défaut est l'aluminium (Al) car $\frac{n_{Al}}{4} < \frac{n_{O_2}}{3}$;
- le réactif en excès est le dioxygène (O_2) car $\frac{n_{O_2}}{3} > \frac{n_{Al}}{4}$.

La quantité d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) obtenue est :

D'après le bilan molaire de la réaction : $\frac{n_{Al}}{4} = \frac{n_{Al_2O_3}}{2} \Rightarrow n_{Al_2O_3} = 2 \times \frac{n_{Al}}{4} = 2 \times 2{,}5 = 5 \text{ mol}$

Remarque : ici on travaille avec le réactif en défaut et non avec le réactif en excès.

4) Oxydoréduction par voie sèche

4.1. Définition

C'est une réaction d'oxydoréduction qui s'effectue sans eau ou de tout autre solvant.

4.2. Combustion du magnésium dans le dioxygène

Du magnésium chauffé brûle dans le dioxygène. Il en résulte des fumées blanches et un solide blanc : l'oxyde de magnésium MgO. C'est un composé ionique qui contient les ions magnésium (Mg^{2+}) et oxyde (O^{2-}) ;

- Au cours de cette réaction chaque atome de magnésium s'oxyde en ion en cédant des électrons. La demi-équation électronique correspondante est : $2\,Mg \rightleftharpoons Mg^{2+} + 2e^-$

- Le magnésium qui a cédé des électrons a été oxydé : c'est l'élément réducteur.
- Cette demi-équation montre l'oxydation du magnésium.

- Chaque molécule de dioxygène est réduite en ion en captant des électrons.
  La demi-équation électronique correspondante est : $O_2 + 4e^- \rightleftarrows 2\,O^{2-}$
  - L'élément oxygène qui a reçu des électrons est l'oxydant.
  - Cette demi-équation montre la réduction du dioxygène.
- L'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction s'obtient par :

$$2\times(Mg \rightleftarrows Mg^{2+} + 2e^-)$$
$$O_2 + 4e^- \rightleftarrows 2\,O^{2-}$$

$$2\,Mg + O_2 \longrightarrow 2\,(Mg^{2+} + O^{2-}) \text{ ou } 2\,Mg + O_2 \longrightarrow 2\,MgO$$

4.3. Combustion du magnésium dans le dichlore

Du magnésium chauffé brûle dans le dichlore. Il en résulte la formation du chlorure de magnésium $MgCl_2$. C'est un composé ionique qui contient les ions magnésium (Mg^{2+}) et chlorure (Cl^-).

- Au cours de cette réaction chaque atome de magnésium s'oxyde en ion en cédant des électrons. La demi-équation électronique correspondante est : $2\,Mg \rightleftarrows Mg^{2+} + 2e^-$
  - L'élément magnésium qui a cédé des électrons a été oxydé : c'est l'élément réducteur.
  - Cette demi-équation montre l'oxydation du magnésium.
- Chaque molécule de dichlore est réduite en ion en captant des électrons.
  La demi-équation électronique correspondante est : $Cl_2 + 2e^- \rightleftarrows 2\,Cl^-$
  - L'élément chlore qui a reçu des électrons est l'oxydant.
  - Cette demi-équation montre la réduction du dichlore.
- L'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction s'obtient par :

$$2\times(Mg \rightleftarrows Mg^{2+} + 2e^-)$$
$$Cl_2 + 2e^- \rightleftarrows 2\,Cl^-$$

$$Mg + Cl_2 \longrightarrow (Mg^{2+} + 2\,Cl^-) \text{ ou } Mg + Cl_2 \longrightarrow MgCl_2$$

4.4. Réaction d'aluminothermie

L'aluminothermie est la production de hautes températures (plus de 2 800 °C) par réaction d'oxydoréduction exothermique d'aluminium en poudre sur divers oxydes métalliques.

L'une des utilisations la plus courante est le soudage des rails de chemin de fer à partir d'un mélange de poudre d'hématite (l'oxyde de fer III ou oxyde ferrique Fe_2O_3) et d'aluminium. Ce mélange est fréquemment nommé thermite dans les pays anglo-saxons.

Il en résulte la formation du métal fer (Fe) et une poudre blanche : l'oxyde d'aluminium ou alumine (Al_2O_3).

Elle se décompose en deux demi-réactions :

- réduction de l'oxyde de fer : $Fe_2O_3 + 6\,e^- \longrightarrow 2\,Fe + 3\,O^{2-}$
- oxydation de l'aluminium : $2\,Al + 3\,O^{2-} \longrightarrow Al_2O_3 + 6\,e^-$

L'équation bilan de la réaction est donc : $Fe_2O_3 + 2\,Al \longrightarrow 2\,Fe + Al_2O_3$.

Un autre oxydant utilisé est la **magnétite** ou **oxyde magnétique**, un oxyde de fer noir ou bleu de formule chimique Fe_3O_4.

4.5. Généralisation

Chaque fois que l'oxygène se combine avec un corps chimique on dit que ce dernier est oxydé. Ainsi toute combustion d'un corps dans le dioxygène est appelée une oxydation.

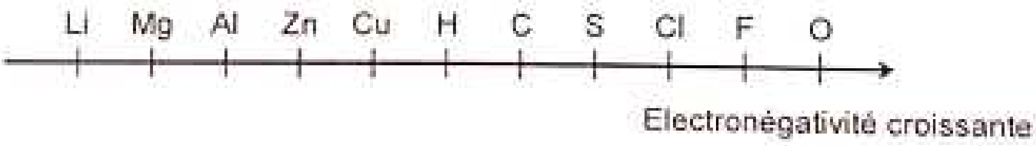
5) L'électronégativité

5.1. Définitions

- Lorsque les doublets électroniques de liaison ne sont pas équitablement partagés entre les atomes liés, on dit que la liaison est polarisée :
- L'électronégativité est la tendance qu'a un atome d'un élément lié à un atome d'un autre élément, à attirer à lui le ou les doublets de liaison : il apparait alors une charge négative partielle δ^- sur l'atome le plus électronégatif et une charge positive partielle δ^+ sur l'autre atome lié.

Exemple : dans la molécule d'eau H_2O, les deux liaisons covalentes entre l'atome d'oxygène et un atome d'hydrogène sont polarisées.

5.2. Echelle de l'électronégativité



6) Le nombre d'oxydation

6.1. Définition

Le nombre d'oxydation (n.o.) d'un élément dans une combinaison chimique est un nombre entier algébrique noté en chiffres romains.

Le nombre d'oxydation caractérise l'oxydation d'un élément.

6.2. Règles de calculs

- Le nombre d'oxydation est égal à zéro pour les éléments à l'état de **corps simples**.
- Le nombre d'oxydation d'un élément dans un **ion monoatomique** est égal à la charge portée par l'ion.
- La somme des nombres d'oxydation de tous les atomes d'une **molécule** est nulle.
- Pour un **ion polyatomique**, la somme des nombres d'oxydation de tous les atomes est égale à la charge de l'ion.

Exemples :

Ions monoatomiques		Molécules	Ions polyatomiques	Corps simples	
H^+	+I	$H_2O\begin{cases}n.o.H = +I\\n.o.O = -II\end{cases}$	$MnO_4^-\begin{cases}n.o.Mn = x\\n.o.O = -II\end{cases}$	Cu	0
Cl^-	– I	n.o. de H_2O	$x + 4(-II) = -I$	O_2	0
Fe^{2+}	+II	$2(+I) + (-II) = 0$	d'où $x = +VII$	Cl_2	0
O^{2-}	– II			Zn	0

6.3. Variations des nombres d'oxydation au cours d'une réaction d'oxydoréduction.

- Au cours d'une **oxydation**, il y a **augmentation** du nombre d'oxydation de l'élément oxydé.
- Au cours d'une **réduction**, il y a **diminution** du nombre d'oxydation de l'élément **réduit**.
- Un **oxydant** est une espèce chimique dans laquelle un élément peut voir son nombre d'oxydation **diminuer**.
- Un **réducteur** est une espèce chimique dans laquelle un élément peut voir son nombre d'oxydation **augmenter**.

Exemple : la réaction entre l'oxyde de cuivre II et le carbone.

$$\underset{+II}{2\,CuO} + \underset{0}{C} \longrightarrow \underset{+IV}{CO_2} + \underset{0}{2\,Cu}$$

- ➢ L'élément cuivre a un nombre d'oxydation, qui passe de +II à 0 donc il est réduit : c'est une réduction ;
- ➢ L'élément carbone a un nombre d'oxydation qui passe de 0 à +IV donc il est oxydé : c'est une oxydation.

6.4. A quoi servent les nombres d'oxydation ?

- A reconnaître une réaction d'oxydoréduction.
- A équilibrer une équation-bilan.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. La réaction d'oxydoréduction par voie sèche s'effectue toujours sans eau.
2. Au cours d'une oxydation, il y a réduction du nombre d'oxydation de l'élément oxydé.
3. Un élément est réduit si son nombre d'oxydation augmente.
4. La réaction de combustion du carbone dans le dioxygène est une réaction d'oxydoréduction.

Exercice 2

Relie chaque composé au nombre d'oxydation de l'élément azote.

N_2 •	• 0
NO •	• − II
NO_3^- •	• + II
NO_2 •	• + IV
	• + V

Exercice 3

Parmi les réactions chimiques suivantes, indique la ou les réactions d'oxydoréduction.

a) $HCl + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Cl^-$

b) $FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2$

c) $2\ AgOH \longrightarrow H_2O + Ag_2O$.

d) $CO_2 + 2\ H_2O \longrightarrow H_3O^+ + HCO_3^-$

Exercice 4

Pendant les vacances ton camarade de classe a assisté à la soudure des rails de chemin de fer par la réaction d'aluminothermie. Au cours de cette réaction l'oxyde de fer III (Fe_2O_3) réagit avec l'aluminium ; il se forme du fer et de l'alumine (Al_2O_3). Une fois en classe, il sollicite ton aide pour montrer que cette réaction est une réaction d'oxydoréduction.

1. Ecris l'équation bilan équilibrée de cette réaction.
2. Montre que cette réaction est une oxydoréduction
3. Précise :
   - l'espèce réductrice ;
   - l'espèce oxydante.

Exercice 5

Lors d'une visite d'étude dans une société de mine de la place, un groupe d'élèves de 1ère C constate que pour obtenir du cuivre à partir d'un de ses principaux minerais, la chalcopyrite, ou sulfure de cuivre I (Cu_2S), ladite société réalise les réactions suivantes :

(a) Grillade, c'est-à-dire action du dioxygène de l'air à température élevée sur la chalcopyrite. On obtient alors de l'oxyde de cuivre I (Cu_2O) et du dioxyde de soufre.

(b) L'oxyde cuivre I réagit alors avec le sulfure de cuivre I restant et on obtient du dioxyde de soufre et du cuivre.

Le minerai contient en masse 5% de sulfure de cuivre I.

De retour en classe, le chef du groupe te demande de l'aide pour faire le rapport de la visite.

On te donne : M_{Cu} = 63,5 g/mol ; M_S = 32 g/mol ; $V_{molaire}$ = 24 /mol à 20°C et 101,3 kPa.

1) Ecris et équilibre les équations-bilan correspondant aux réactions (a) et (b).

2)

2.1. Calcule la masse de minerai à traiter pour obtenir 1 tonne de cuivre.

2.2. Fais le bilan des deux réactions (a) et (b).

2.3. Calcule le volume total de dioxyde de soufre (ramené dans les conditions suivantes : température 20°C, pression 101,3 kPa) obtenu.

Exercice 6

Lors d'un documentaire sur la chaine « Discovery Science » , un élève de 1ère D apprend que l'hydrazine de formule N_2H_4 est un composé utilisé dans la propulsion des fusées par la combustion de celui dans le dioxygène, et cette réaction est qualifiée d'oxydoréduction. Une fois en classe, il sollicite ton aide afin de montrer qu'il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction.

1. Ecris l'équation-bilan de la réaction sachant qu'il se forme du diazote et de l'eau.
2. Calcule le nombre d'oxydation de l'élément azote dans la molécule d'hydrazine.
3. Montre qu'il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction
4. Précise l'espèce oxydée, l'espèce réduite.

Exercice 7

Lors d'une séance de TP, un groupe d'élèves de 1ère D mélange 16 g d'oxyde cuivre (II) et 1 g de carbone dans un tube à essai. Après chauffage, une coloration caractéristique apparaît dans le tube à essais. Les élèves veulent savoir les masses des réactifs et des produits présents dans le tube à essais après la réaction. Tu es sollicité pour les aider.

On te donne : M_{Cu} = 63,5 g/mol ; M_O = 16 g/mol ; M_C = 12 g/mol.

1) Indique le corps qui est mis en évidence par cette coloration.

2) Ecris l'équation-bilan de la réaction en précisant l'oxydant et le réducteur.

3) Calcule les masses de réactifs et de produits présents dans le tube à essais après la réaction supposé totale.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Donne le nombre d'oxydation de l'élément carbone dans les composés suivants :

C ; CO ; CO_2 ; HCO_3^-.

Exercice 2

L'aluminium réagit de manière vive avec la vapeur d'eau, Il y a alors formation d'alumine Al_2O_3 et un dégagement de dihydrogène. Les conditions expérimentales sont les mêmes.

Choisis la bonne réponse parmi les différentes propositions suivantes. Justifie ton choix.

1.
   1.1. Il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction.
   1.2. Il s'agit d'une réaction acido-basique.
2. On a mis 1,35 g d'aluminium en poudre dans un excès de vapeur d'eau.
   2.1. La masse de dépôt de Al_2O_3 obtenu est :
      a. m = 1,35 g
      b. m = 2,55 g
      c. m = 5 g
   2.2. Le volume de gaz dihydrogène apparu est :
      a. $V(H_2) = V(H_2O_g)$
      b. $V(H_2) < V(H_2O_g)$
      a. $V(H_2) > V(H_2O_g)$

Exercice 3

Parmi les réactions chimiques suivantes, cite celles qui sont des réactions d'oxydoréduction..

a) $3NO_2 + H_2O \longrightarrow 2NO_3^- + NO + 2H^+$;

b) $SO_3 + 3H_2O \longrightarrow SO_4^{2-} + 2H_3O^+$;

c) $HCl_{(g)} + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Cl^-$.

Exercice 4

La synthèse de l'acide nitrique HNO_3 se fait en plusieurs étapes, dont l'une est représentée par l'équation-bilan : $NO_2 + H_2O \longrightarrow HNO_3 + HNO_2$.

1. Équilibre cette équation.
2. Montre que cette réaction est une oxydoréduction.
3. Précise :
   3.1. l'élément réducteur ;
   3.2. l'élément oxydant.
4. Précise :
   4.1. l'espèce réductrice et son oxydant conjugué ;
   4.2. l'espèce oxydante et son réducteur conjugué.

Exercice 5

Le carbone réagit avec l'acide sulfurique concentré à chaud. Il se forme du dioxyde de soufre, du dioxyde de carbone et de l'eau.

1. Écris son équation bilan.
2.
   2.1. Vérifie si cette réaction est une réaction d'oxydoréduction. Justifie votre réponse.

   2.2. Si oui, précise :
   - l'élément réducteur et l'élément oxydant ;
   - l'espèce réductrice et son oxydant conjugué ainsi que l'espèce oxydante et son réducteur conjugué.

Exercice 6

Lors d'une visite d'étude dans une société de mine de la place, un groupe d'élèves de 1ère D constate que pour obtenir le métal zinc à partir d'un de ses principaux minerais, la blende, ou sulfure de zinc (ZnS), ladite société réalise les opérations suivantes :

(a) Grillade de la blende, c'est-à-dire réaction avec le dioxygène de l'air porté à 900°C. On obtient alors l'oxyde de zinc (ZnO) et du dioxyde de soufre.

(b) Réaction de l'oxyde de zinc broyé avec du charbon en poudre à 1200°C. Du monoxyde de carbone et du zinc à l'état gazeux (compte tenu de la température) sont alors obtenus.

De retour en classe, le chef du groupe te demande de l'aide pour faire le rapport de la visite.

1) Ecris les équations-bilan correspondant aux réactions (a) et (b).
2)
   2.1. Montre que la réaction (a) est une réaction d'oxydoréduction.

   2.2. Précise l'élément oxydant et l'élément réducteur.

   2.3. Précise l'espèce chimique oxydante et l'espèce chimique réductrice.
3) Mêmes questions pour la réaction (b).

Exercice 7

Au cours d'une séance de travaux dirigés, votre professeur de physique-chimie vous présente la réduction par le monoxyde de carbone d'un minerai de fer à base d'oxyde de fer III (Fe_2O_3) contenant 57% de fer. Tu es choisi pour passer au tableau.

1. Ecris l'équation-bilan de la réaction de réduction par le monoxyde de carbone qui donne du fer et du dioxyde de carbone.
2. Précise :

   2.1. l'espèce chimique qui capte des électrons (l'oxydant) ;

   2.2. l'espèce chimique cède des électrons (le réducteur).
3. Calcule le volume de monoxyde de carbone, dans les conditions normales température et de pression nécessaire pour réduire trois tonnes de minerais de fer.
4. Détermine la masse de fer obtenu dans ces conditions.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

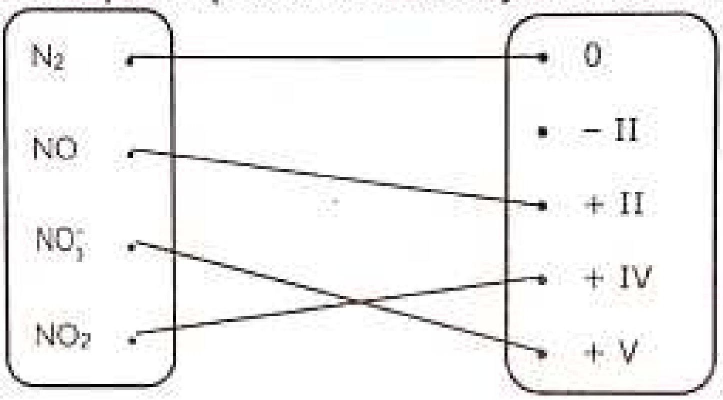
Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. La réaction d'oxydoréduction par voie sèche s'effectue toujours sans eau : **V**.
2. Au cours d'une oxydation, il y a réduction du nombre d'oxydation de l'élément oxydé : **F**.
3. Un élément est réduit si son nombre d'oxydation augmente : **F**.
4. La réaction de combustion du carbone dans le dioxygène est une réaction d'oxydoréduction : **F**.

Exercice 2

Je relie chaque composé au nombre d'oxydation de l'élément azote.



Exercice 3

J'indique la réaction d'oxydoréduction parmi les réactions données.

b) $FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2$

Exercice 4

1. Equation-bilan équilibrée de cette réaction.

   $Fe_2O_3 \;+\; Al \longrightarrow Fe \;+\; Al_2O_3$

2. Je montre que cette réaction est une oxydoréduction

   Pour qu'une réaction soit une oxydoréduction, il faut que le n.o. d'au moins un élément varie. Cherchons le n.o. de chaque élément dans les différentes espèces chimiques.

   - **Elément oxygène** : il est toujours combiné à un élément moins électronégatif que lui, donc dans Fe_2O_3 et Al_2O_3, n.o.(O) = – II.
   - **Elément fer** :
     - ✓ dans Fe_2O_3 : 2n.o.(Fe) + (– II)×3 = 0 , soit n.o.(Fe) = + **III**.
     - ✓ dans Fe : n.o.(Fe) = 0.

- Elément aluminium :
  - ✓ dans Al : n.o.(Al) = 0.
  - ✓ dans Al_2O_3 : 2n.o.(Al) + (– II)×3 = 0 , soit **n.o.(Al) = + III.**
- Le n.o. des éléments fer et aluminium varie au cours de la réaction : **c'est donc une réaction d'oxydoréduction.**

3. Je précise :
   - **l'élément réducteur et l'espèce réductrice ;**
     - ✓ Le n.o. de l'aluminium augmente lors de la transformation de Al en Al_2O_3 ; il passe de 0 à + III : l'aluminium est **oxydé**, c'est l'élément **réducteur.**
     - ✓ L'espèce réductrice contient l'élément réducteur c'est-à-dire l'aluminium tel que n.o.(Al) = 0 : c'est donc **Al.**
   - **l'élément oxydant et l'espèce oxydante.**
     - ✓ Le n.o. du fer diminue lors de la transformation de Fe_2O_3 en Fe ; il passe de +III à 0 : le fer est **réduit**, c'est l'élément **oxydant.**
     - ✓ L'espèce oxydante contient l'élément oxydant, c'est-à-dire le fer tel que n.o.(Fe) = 0 : c'est donc Fe.

Exercice 5

1) Ecrivons et équilibrons les équations-bilan correspondant aux réactions (a) et (b).

(a) $Cu_2S + \frac{3}{2}O_2 \longrightarrow Cu_2O + SO_2$

(b) $2\,Cu_2O + Cu_2S \longrightarrow SO_2 + 6\,Cu$

2)

2.1. Masse de mineral à traiter pour obtenir 1 tonne de cuivre

- Quantité de matière Cu que l'on veut obtenir : $n_{Cu} = \frac{m_{Cu}}{M_{Cu}} = \frac{1\times10^6}{63{,}5} = 15\,748$ mol
- Pour obtenir ce cuivre, il a fallu procéder à deux réactions faisant intervenir le sulfure de cuivre. Réalisons donc le bilan des deux réactions (a) et (b).

  (a) $(Cu_2S + \frac{3}{2}O_2 \longrightarrow Cu_2O + SO_2)\times2$

  (b) $2\,Cu_2O + Cu_2S \longrightarrow SO_2 + 6\,Cu$

  $3\,Cu_2S + 3\,O_2 \longrightarrow 3\,SO_2 + 6\,Cu$
- Le sulfure de cuivre de départ et le cuivre obtenu sont tels que :

  $\frac{n_{Cu_2S}}{3} = \frac{n_{Cu}}{6} \Rightarrow \frac{n_{Cu_2S}}{n_{Cu}} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \Rightarrow n_{Cu_2S} = \frac{n_{Cu}}{2}$
- La masse de Cu_2S correspondante est : $m_{Cu_2S} = M_{Cu_2S} \times n_{Cu_2S} = M_{Cu_2S} \times \frac{n_{Cu}}{2}$

- Le minerai contient 5% en masse de Cu_2S, soit :

$$\frac{m_{Cu_2S}}{m_{minerai}} = \frac{5}{100} \Rightarrow m_{minerai} = \frac{100}{5} \times m_{Cu_2S} = \frac{100}{5} \times M_{Cu_2S} \times \frac{n_{Cu}}{2}$$

Application numérique : $m_{minerai} = \frac{100 \times 159 \times 15\,748}{5 \times 2} = 2{,}5.10^7$ g

2.2. Volume total de dioxyde de soufre obtenu

L'équation-bilan montre que : $\frac{n_{SO_2}}{3} = \frac{n_{Cu}}{6} \Rightarrow \frac{n_{SO_2}}{n_{Cu}} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \Rightarrow n_{SO_2} = \frac{n_{Cu}}{2}$

$$\Rightarrow V_{SO_2} = V_{mol} \times n_{SO_2} = V_{mol} \times \frac{n_{Cu}}{2}$$

Application numérique : $V_{SO_2} = 24 \times \frac{15\,748}{2} = 1{,}89.10^5\ L = 189\ m^3$

Exercice 6

1. Equation-bilan de la réaction sachant qu'il se forme du diazote et de l'eau.

   La combustion se fait avec le dioxygène O_2.

   $N_2H_4 + O_2 \longrightarrow N_2 + 2\,H_2O$

2. Calcul du nombre d'oxydation de l'élément l'azote dans la molécule d'hydrazine.

   n.o.(N)×2 + n.o.(H)×4 = 0, d'où n.o.(N)×2 + (I)×4 = 0 , soit n.o.(N) = – **II**.

3. Montrons qu'il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction.
   - Dans N_2H_4, n.o.(N) = – **II** et dans N_2, n.o.(N) = 0
   - Le n.o. de l'élément azote varie au cours de la réaction : c'est donc une réaction d'oxydoréduction.

4. Précisons l'espèce oxydée, l'espèce réduite.
   - l'espèce oxydée ;
     - ✓ Le n.o. de l'azote augmente lors de la transformation de N_2H_4 en N_2 ; il passe de – II à 0 : l'azote est **oxydé**, c'est l'élément **réducteur**.
     - ✓ L'espèce **oxydée** contient l'élément réducteur, c'est-à-dire l'azote tel que n.o.(N) = – II : c'est donc N_2H_4.
   - l'espèce réduite.
     - ✓ Dans O_2, n.o.(O) = 0.
     - ✓ Dans H_2O, n.o.(H)×2 + n.o.(O) = 0, d'où n.o.(O) + (I)×2 = 0 , soit n.o.(O) = – **II**
       Ainsi le n.o. de l'oxygène diminue lors de la transformation de O_2 en H_2O ;
       il passe de 0 à – II : l'oxygène est **réduit**, c'est l'élément **oxydant**.
     - ✓ L'espèce **réduite** contient l'élément oxydant, c'est-à-dire l'oxygène tel que n.o.(O) = 0 : c'est donc O_2.

Exercice 7

1) J'indique le corps mis en évidence par cette coloration

C'est le métal cuivre Cu.

2) Equation-bilan de la réaction en précisant l'oxydant et le réducteur.

$$\underset{+II}{2\,CuO} + \underset{0}{C} \longrightarrow \underset{+IV}{CO_2} + \underset{0}{2\,Cu}$$

- L'élément **cuivre** a un nombre d'oxydation qui passe de +II à 0 : c'est l'oxydant.
- L'élément **carbone** a un nombre d'oxydation qui passe de 0 à +IV: c'est le réducteur.

3) Masses de réactifs et de produits présents dans le tube à essais après la réaction

- Quantité de matière initiale des réactifs :

$$(n_{CuO})_{initial} = \frac{m_{CuO}}{M_{CuO}} = \frac{16}{63{,}5+16} = 0{,}2\text{ mol} \ ; \ (n_C)_{initial} = \frac{m_C}{M_C} = \frac{1}{12} = 0{,}0833\text{ mol}$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{(n_C)_{initial}}{1} = \dfrac{0{,}083}{1} = 0{,}0833\text{ mol} \\ \dfrac{(n_{CuO})_{initial}}{2} = \dfrac{0{,}2}{2} = 0{,}1\text{ mol} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{(n_C)_{initial}}{1} < \frac{(n_{CuO})_{initial}}{2} \Rightarrow \text{C est en defaut}$$

- Masses après la réaction
  - carbone : $(n_C)_{restant} = 0 \Rightarrow (m_C)_{restant} = 0\text{ g}$
  - oxyde de carbone

$$\frac{(n_{CuO})_{réagit}}{2} = \frac{(n_C)_{initial}}{1} \Rightarrow (n_{CuO})_{réagit} = 2\times(n_C)_{initial} = 2\times 0{,}0833 = 0{,}167\text{ mol}$$

$$(n_{CuO})_{restant} = (n_{CuO})_{initial} - (n_{CuO})_{réagit} = 0{,}2 - 0{,}167\text{ mol} = 0{,}033\text{ mol}$$

$$(m_{CuO})_{restant} = (n_{CuO})_{restant} \times M_{CuO} = 0{,}033\times(63{,}5+16) = 2{,}6235\text{ g}$$

  - dioxyde de carbone

$$\frac{(n_{CO_2})_{formé}}{1} = \frac{(n_C)_{initial}}{1} \Rightarrow (n_{CO_2})_{formé} = (n_C)_{initial} = 0{,}0833\text{ mol}$$

$$(n_{CO_2})_{formé} = (m_{CO_2})_{formé} \times M_{CO_2} = 0{,}0833\times 44 = 3{,}6652\text{ g}$$

  - métal cuivre

$$\frac{(n_{Cu})_{formé}}{2} = \frac{(n_C)_{initial}}{1} \Rightarrow (n_{Cu})_{formé} = 2\times(n_C)_{initial} = 2\times 0{,}0833 = 0{,}167\text{ mol}$$

$$(n_{Cu})_{formé} = (m_{Cu})_{formé} \times M_{Cu} = 0{,}167\times 63{,}5 = 10{,}6045\text{ g}$$

OR6 : ELECTROLYSE

Georges Leclanché
(9 octobre 1839 - 14 septembre 1882)
Ingénieur puis industriel Français
Il crée une première pile Leclanché le 8 janvier 1866 dans un petit laboratoire dans une remise ; c'est une pile au carbonate de cuivre. Il l'améliore puis met au point la première pile au manganèse. Son invention est primée en 1867 à l'Exposition universelle de Paris. Cette dernière sera adoptée par l'Administration belge des télégraphes et par les Chemins de Fer Néerlandais et deviendra la **pile Leclanché**.

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Interpréter	• l'électrolyse de la solution aqueuse d'acide sulfurique. • l'électrolyse de la solution aqueuse de chlorure d'étain. • l'électrolyse de la solution aqueuse de chlorure de sodium.
Ecrire	les demi-équations aux électrodes.
Ecrire	les équation-bilans des réactions chimiques.
Comparer	les équation-bilans des réactions chimiques aux électrodes aux équation-bilans des réactions naturelles d'oxydoréduction.
Exploiter	les équation-bilans des réactions chimiques
Connaître	quelques applications de l'électrolyse.
Dégager	l'intérêt de l'électrolyse.

RAPPEL DE COURS

1) Identification d'un gaz dans une réaction chimique

Nom et formule du gaz	Dihydrogène H_2	Dioxygène O_2	Dioxyde de carbone CO_2	Dioxyde de soufre SO_2
Caractéristique du gaz	Provoque une détonation à l'approche d'une flamme	Rallume une flamme	Trouble l'eau de chaux	Décolore le permanganate de potassium

2) Electrolyse

2.1 Définition

L'électrolyse est la dissociation chimique de certaines substances par le passage d'un courant électrique. C'est un exemple de transfomation forcée utilisé pour faire évoluer un système chimique dans le sens contraire de son sens d'évolution spontané.

Ainsi, en imposant une tension électrique entre deux électrodes plongeant dans une solution électrolytique, on provoque un transfert d'électrons entre un réducteur et un oxydant.

2.2 Principe

Les espèces chimiques qui subissent les réactions d'oxydoréduction peuvent être :

- les ions en solution ;
- les ions du solvant ou le solvant lui-même ;
- le matériau constituant l'électrode.

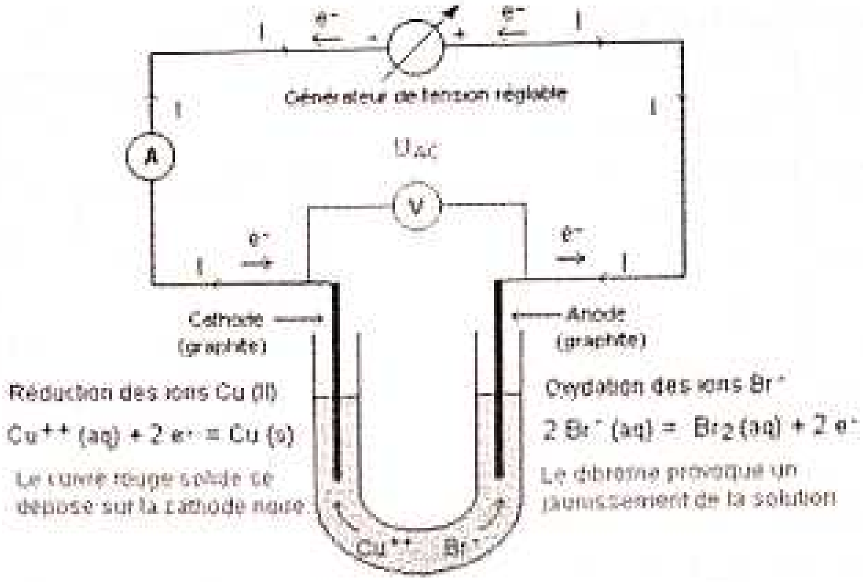
Une réaction d'électrolyse est une réaction inverse de la réaction spontanée prévisible entre couples en présence.

On note :

- à l'anode, l'oxydation du réducteur le plus fort (appartenant au couple dont le potentiel est le plus élevé).
- à la cathode, la réduction de l'oxydant le plus faible (appartenant au couple dont le potentiel est le plus bas).

Remarque : il existe cependant des exceptions quand l'une des réactions est lente.

Exemples :



2.3 Quantité d'électricité

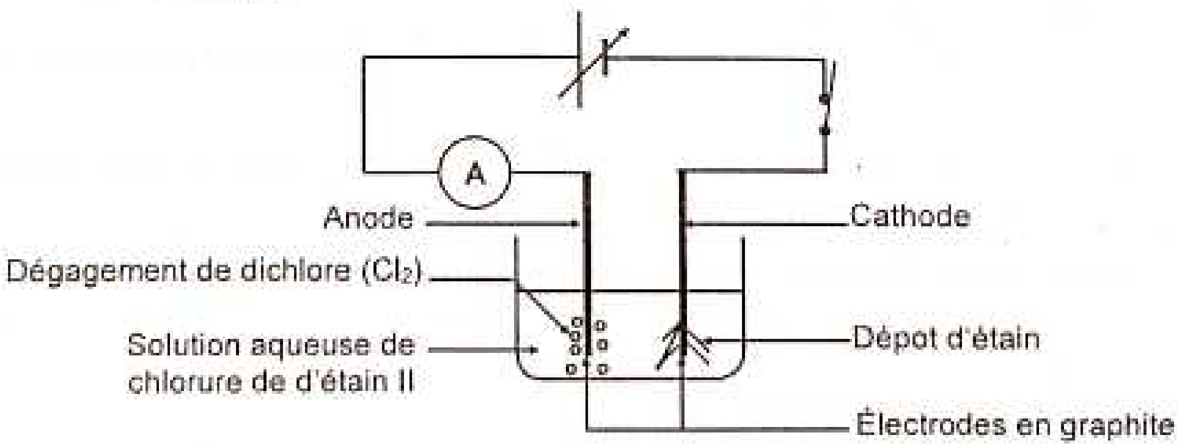
La quantité d'électricité Q circulant dans un électrolyseur pendant une durée Δt s'exprime par la relation : $Q = I \times \Delta t = n_{e^-} \times \mathcal{F}$

- Q : quantité d'électricité ou charge en coulomb (C) ;
- Δt : durée en seconde (s) ;
- I : intensité du courant électrique en ampère (A) ;
- n_{e^-} : quantité de matière d'électrons mis en jeu (mol) ;
- $1\,\mathcal{F}$ = 96 500 C : quantité d'électricité transportée par une mole d'électrons.

3) Quelques électrolyses

3.1. Électrolyse de la solution aqueuse de chlorure d'étain II ($SnCl_2$)

3.1.1 Montage



3.1.2 Interprétation

Les potentiels normaux des couples étant : $E°(Sn^{2+}/Sn) = -0,14\ V$ et $E°(Cl_2/Cl^-) = 1,36\ V$;

- Les demi-équations électroniques à chaque électrode sont :
  - **A l'anode** : oxydation du réducteur le plus fort Cl^- ;

    $2Cl^- \rightleftarrows Cl_2 + 2e^-$
  - **A la cathode** : réduction de l'oxydant le plus faible Sn^{2+} ;

    $Sn^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Sn$
- L'équation bilan de la réaction d'électrolyse est :

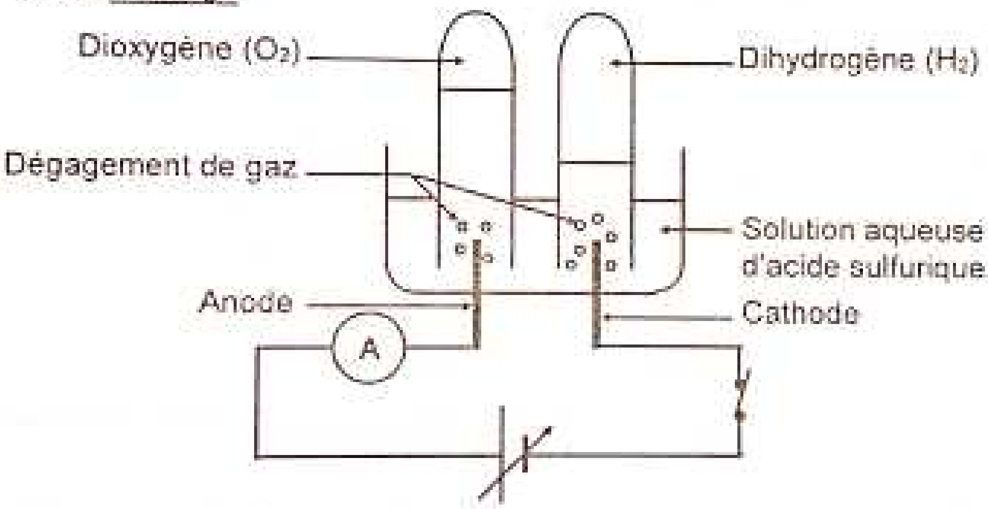
$2Cl^- \rightleftarrows Cl_2 + 2e^-$

$Sn^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Sn$

$$2Cl^- + Sn^{2+} \longrightarrow Cl_2 + Sn$$

3.2. Électrolyse de la solution aqueuse d'acide sulfurique

3.2.1 Montage



3.2.2 Interprétation

Les potentiels normaux des couples étant : $E°(H^+/H_2) = 0,0\ V$ et $E°(O_2/H_2O) = 1,23\ V$;

- Les demi-équations électroniques à chaque électrode sont :
  - **A l'anode** : oxydation du réducteur le plus fort H_2O ;

    $2H_2O \rightleftarrows O_2 + 4e^- + 4H^+$
  - **A la cathode** : réduction de l'oxydant le plus faible H^+ ;

    $2H^+ + 2e^- \rightleftarrows H_2$
- L'équation bilan de la réaction d'électrolyse est :

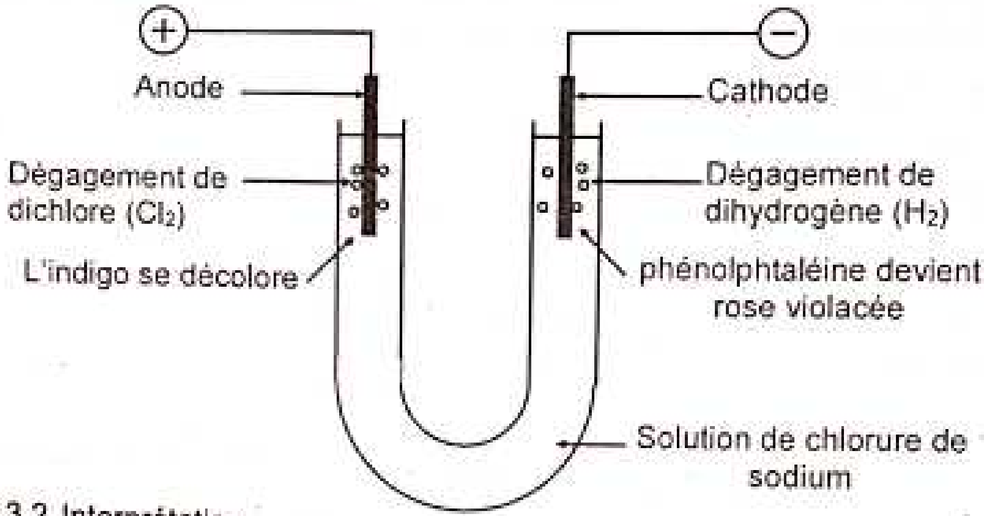
$2H_2O \rightleftarrows O_2 + 4e^- + 4H^+$

$2H^+ + 2e^- \rightleftarrows H_2$

$$2H_2O \longrightarrow O_2 + 2H_2$$

3.3. Électrolyse de la solution aqueuse de chlorure de sodium

3.3.1 Montage



3.3.2 Interprétation

Les potentiels normaux des couples étant : $E°(H_2O/H_2) = 0{,}0$ V et $E°(Cl_2/Cl^-) = 1{,}36$ V ;

- Les demi-équations électroniques à chaque électrode sont :
  - **A l'anode** : oxydation du réducteur le plus fort Cl^- ;
    $2Cl^- \rightleftarrows Cl_2 + 2e^-$
  - **A la cathode** : réduction de l'oxydant le plus faible H_2O ;
    $2H_2O + 2e^- \rightleftarrows H_2 + 2OH^-$
- L'équation bilan de la réaction d'électrolyse est :

$2Cl^- \rightleftarrows Cl_2 + 2e^-$

$2H_2O + 2e^- \rightleftarrows H_2 + 2OH^-$

$$2Cl^- + 2H_2O \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2OH^-$$

3.4. Autres électrolyses des solutions des chlorures de sodium et de potassium

Produit obtenu	Potasse	Hypochlorite de sodium	Chlorate de sodium	Perchlorate de sodium
Formule	$K^+ + OH^-$	$Na^+ + ClO^-$	$Na^+ + ClO_3^-$	$Na^+ + ClO_4^-$
Electrolyse	Chlorure de potassium $K^+ + Cl^-$	Chlorure de sodium $Na^+ + Cl^-$	Chlorure de sodium $Na^+ + Cl^-$	Chlorure de sodium $Na^+ + Cl^-$
Procédé	Même procédé que pour l'hydroxyde de sodium	Cellules sans séparateur et sous agitation	Dans des cellules sans séparateur et dans des conditions spécifiques très rigoureuses	
Utilisations	Verrerie Engrais	Traitements des eaux	Pâte à papier Textile - Herbicide	Explosifs – comburant pour la fusé Ariane

4) Applications industrielles

Les applications les plus importantes de l'électrolyse dans l'industrie sont :

- la préparation de produits tels que le dichlore, la soude, le dihydrogène très pur, l'eau de javel ;
- l'obtention de métaux par hydrométallurgie (cuivre, zinc...) ou en milieu igné (aluminium, sodium...) ;
- la purification de métaux : électroraffinage (cuivre, aluminium...) ;
- l'électrodéposition métallique : galvanostégie (zinc, chrome, argent, or, nickel...) ;
- la préparation de moulages par galvanoplastie (fabrication de moules pour réaliser des disques par exemple).

5) Autres applications des réactions d'oxydoréduction

De même que l'électrolyse, le fonctionnement des piles et accumulateurs s'interprètent par des réactions d'oxydoréduction. C'est l'exemple de la **pile Leclanché** qui est une pile à une électrode négative (anode) en zinc et une électrode positive (cathode), formée d'une plaque de carbone plongée dans un mélange dépolarisant de dioxyde de manganèse broyé avec un volume de chlorure d'ammonium ($NH_4^+ + Cl^-$).

Cette pile est **saline** car l'électrolyte (le chlorure d'ammonium) est un **sel**.

Remarque : si l'électrolyte d'une pile est une **base** alors cette pile est dite **alcaline**.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. Lors d'une électrolyse les cations migrent du côté de l'anode.
2. L'électrolyse est une réaction d'oxydoréduction spontanée.
3. Lors d'une électrolyse, il y a réduction à la cathode.
4. L'électrode d'un électrolyseur reliée à la borne positive d'un générateur est la cathode.

Exercice 2

On réalise l'électrode d'une solution de bromure de sodium dans un électrolyseur à électrodes inattaquables en carbone.

1. On donne les réactions suivantes :
   a. $2\,Br^- \longrightarrow Br_2 + 2e^-$
   b. $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$
   c. $2\,H_2O \longrightarrow H^+ + O_2 + 2e^-$
   d. $2\,H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2\,OH^-$

   Identifie parmi celles-ci, les réactions envisageables qui peuvent affecter les ions du soluté et les molécules de solvant :

   1.1. à l'anode ;

   1.2. à la cathode.
2. Donne celles qui se produisent en réalité, sachant que les potentiels normaux sont :
   $E^0_{Na^+/Na} = -2{,}7\ V$; $E^0_{H_2O/H_2} = 0\ V$; $E^0_{O_2/H_2O} = 1{,}23\ V$; $E^0_{Br_2/Br^-} = 1{,}07\ V$

Exercice 3

Lors d'une journée porte ouverte dénommée « journée de la chimie » dans ton lycée, ton groupe a choisi d'exposer sur la recouverte d'un objet en cuivre en nickel. Pour cela, vous placez l'objet à la cathode et l'anode est en nickel. L'électrolyte est une solution de sulfate de nickel ($Ni^{2+} + SO_4^{2-}$). Lors de l'électrolyse, l'anode en nickel est rongée et il n'y a pas de dégagement gazeux. La masse de nickel déposée est 7 g. Tu es l'animateur de cet exposé.

On te donne : M(Ni) = 59 g.mol^{-1} ; e = 1,6.10^{-19} C ; $\mathcal{N}_A$ = 6,02.10^{23} mol^{-1}.

1. Fais un schéma annoté du dispositif.
2. Ecris les équations de réduction et d'oxydation se produisant aux électrodes.
3.
   3.1. Détermine la quantité d'électrons

   3.2. Détermine la quantité d'électricité

   3.3. Déduis en la durée de l'électrolyse si l'intensité du courant est de 5 A.

Exercice 4

Lors d'une séance de TP, un groupe d'élèves réalise l'électrolyse de l'eau acidifiée par de l'acide sulfurique. Les électrodes sont en platine. L'intensité du courant qui a traversé la cuve pendant 10 minutes était de 500 mA. Le groupe désire déterminer les volumes des gaz formés par cette électrolyse. Tu es le rapporteur du groupe. On te donne M(Ni) = 59 g/mol.

1) Rappelle les équations aux électrodes.

2)

2.1. Calcule la quantité de matière (en mol) d'électrons ayant réagi aux électrodes.

2.2. Calcule la quantité de matière (en mol) de dihydrogène et celle de dioxygène formés.

2.3. En déduis les volumes obtenus pour ces deux gaz.

Exercice 5

Lors d'une visite dans une société de la place, un élève assiste à l'électrolyse d'une solution de chlorure d'étain II, de concentration $1,0.10^{-1}$ mol/L, pendant 15 minutes. L'intensité du courant électrique était de $8,0.10^{-1}$ A. De retour en classe, il désire déterminer le volume du gaz dégagé. Tu es sollicité pour l'aider. Tu admettras que la nature des électrodes n'a aucune influence sur les réactions. Le volume de la solution est de 200 mL. On te donne : M(Sn) = 118,7 g/mol.

1) Calcule la quantité de matière d'électrons ayant réagi aux électrodes.
2) Calcule la masse d'étain formée.
3) Calcule la concentration finale en ions Sn^{2+}.
4) Calcule le volume de dichlore dégagé si on le suppose insoluble dans l'eau.

Exercice 6

Lors d'une sortie d'étude dans une société de la place, un groupe d'élèves assiste au dépôt, sur une cathode, du nickel par électrolyse d'une solution acide de chlorure de nickel (de formule $NiCl_2$). Simultanément, le groupe observe à la cathode un dégagement de dihydrogène. L'intensité du courant est constante et vaut 5 A. La durée de l'électrolyse est de 1 heure. 70% de la quantité d'électricité servent à produire du nickel, le reste sert à produire le dihydrogène. La cathode est une plaque carrée de 10 cm de côté et d'épaisseur négligeable. De retour en classe, il désire déterminer le volume du dihydrogène dégagé.

Tu es le rapporteur du groupe.

On te donne : M(Ni) = 59 g/mol

$E^0_{H^+/H_2} = 0$ V ; $E^0_{Ni^{2+}/Ni} = -0,25$ V

la masse volumique du nickel : $\rho = 8\,900$ kg.m^{-3}.

1) Calcule au bout d'une heure, l'épaisseur du dépôt supposé uniforme.
2) En déduis le volume de dihydrogène dégagé.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Complète le texte ci-dessous par les mots ou groupes de mots suivants qui conviennent :

cathode ; transfert d'électrons ; l'oxydant ; d'électrolyse ; l'anode ; électrodes ; réducteur ; spontanée.

L'électrolyse est la dissociation chimique d'une substance par le passage d'un courant électrique. Ainsi, en imposant une tension électrique entre deux ……. plongeant dans une solution électrolytique, on provoque un ……… entre un réducteur et un oxydant.

Une réaction ………… est donc une réaction inverse de la réaction ……. prévisible entre couples en présence.

On note à ……, l'oxydation du ……. le plus fort et à la ……. , la réduction de ……. le plus faible.

Exercice 2

On réalise l'électrolyse d'une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium.

Données : $E^0_{K^+/K} = -2,92$ V ; $E^0_{H_2O/H_2} = -0,84$ V ; $E^0_{O_2/OH^-} = 0,39$ V à pH = 14

1) Indique les réactions possibles aux électrodes.
2) Indique les réactions qui ont effectivement lieu à l'anode et à la cathode. Justifie.
3) Écris l'équation bilan de l'électrolyse.

Exercice 3

On considère l'électrolyse d'une solution acidifiée de sulfate de cuivre entre des électrodes inertes. L'expérience montre qu'il se forme du métal cuivre et du dioxygène.

1) Fais l'inventaire des espèces chimiques présentes en solution.
2) Indique les différentes réactions susceptibles de se produire à chaque électrode. (on donnera les demi-équations électroniques).
3) Interprète ces résultats et en déduis l'équation bilan de l'électrolyse.
4) Calcule la tension minimale théorique U à imposer aux bornes de l'électrolyseur pour que l'électrolyse puisse avoir lieu.
5) Calcule le volume V de dioxygène que l'on peut recueillir dans les C.N.T.P. sachant que la masse de cuivre déposée m = 2,35 g.
6) Sachant que cette masse m de cuivre est obtenue au bout d'un temps t = 45 min, détermine l'intensité I du courant provoquant cette électrolyse.

Données : $M_{Cu} = 63,5$ g.mol^{-1} ; $1\ \mathcal{F} = 96500$ C.mol^{-1}

$E^0_{S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}} = 2,10$ V ; $E^0_{O_2/H_2O} = 1,30$ V ; $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = 0,34$ V ; $E^0_{SO_4^{2-}/SO_2} = 0,17$ V ; $E^0_{H^+/H_2} = 0$ V

Exercice 4

Pour chromer un objet, un groupe d'élèves électrolyse une solution contenant des ions dichromate $Cr_2O_7^{2-}$ en milieu acide. Le groupe chrome un objet de surface S = 50 cm² en utilisant un courant I = 15 A pendant t = 2 min. Il désire déterminer l'épaisseur déposé. Aide-le.

1) Écris l'équation de réduction de $Cr_2O_7^{2-}$ en chrome métallique Cr.
2) Calcule l'épaisseur e du film de chrome qui se dépose.

Données : $M_{Cr} = 52\ g.mol^{-1}$; $\rho_{chrome} = 7200\ kg.m^{-3}$; $1\ \mathcal{F} = 96500\ C.mol^{-1}$.

Exercice 5

Un élève désire argenter un objet métallique par l'électrolyse. La surface à argenter est S = 0,25 m². L'épaisseur de la couche à déposer est e = 0,015 mm. La masse volumique de l'agent est $\rho = 10500\ kg.m^{-3}$. L'intensité du courant continu est I = 60 A.

1) Propose un schéma du dispositif expérimental.
2) Écris les équations des réactions aux électrodes.
3) En déduis la durée t de l'électrolyse.

Données : $M_{Ag} = 107,9\ g.mol^{-1}$, $1\ \mathcal{F} = 96500\ C.mol^{-1}$

Exercice 6

Lors d'une séance de TP, un groupe d'élèves désire réaliser l'électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre (II) ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) acidifiée par l'acide sulfurique ($2H^+ + SO_4^{2-}$) avec des électrodes inattaquables en graphite. Tu es le rapporteur du groupe.

1) Fais un schéma du montage.
2) Indique les réactions qui peuvent, a priori, se produire aux électrodes.
3)
   3.1. Identifie les réactions qui se produit effectivement.
   3.2. Indique ce que l'on observe expérimentalement. Justifie ta réponse.
4) Sachant qu'un courant de 8 A parcourt la cuve à électrolyse pendant 30 min, calcule la masse s'il s'agit d'un solide ou le volume s'il s'agit d'un gaz formé à chaque électrode.
5) On remplace les électrodes en graphique par des électrodes en cuivre.
   5.1. Indique les réactions qui se produisent alors au cours de l'électrolyse. Justifie ta réponse.
   5.2. Donne le nom de ce type d'électrolyse.

Données :

- $E^0_{S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}} = 2,01\ V$; $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = 0,34\ V$; $E^0_{H^+/H_2} = 0\ V$; en milieu acide : $E^0_{O_2/H_2O} = 1,23\ V$
- $M_H = 1\ g.mol^{-1}$; $M_O = 16\ g.mol^{-1}$; $M_S = 32\ g.mol^{-1}$; $M_{Cu} = 63,5\ g.mol^{-1}$
- $V_m = 22,4 L.mol^{-1}$; 1 Faraday = 96500 C.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. Lors d'une électrolyse les cations migrent du côté de l'anode : F.
2. L'électrolyse est une réaction d'oxydoréduction spontanée : F.
3. Lors d'une électrolyse, il y a réduction à la cathode : V.
4. L'électrode d'un électrolyseur reliée à la borne positive d'un générateur est la cathode : F.

Exercice 2

1) Réactions envisageables qui peuvent affecter les ions et les molécules :

1.1. à l'anode, il peut y avoir :

a. oxydation des ions Br^- en dibrome : $2\,Br^- \longrightarrow Br_2 + 2e^-$

c. oxydation de l'eau : $2\,H_2O \longrightarrow H^+ + O_2 + 2e^-$

L'électrode en carbone est inattaquable. L'élément carbone ne s'oxyde pas.

1.2. à la cathode, peuvent se produire les réactions suivantes :

b. réduction du sodium : $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$

d. réduction de l'eau : $2\,H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2\,OH^-$

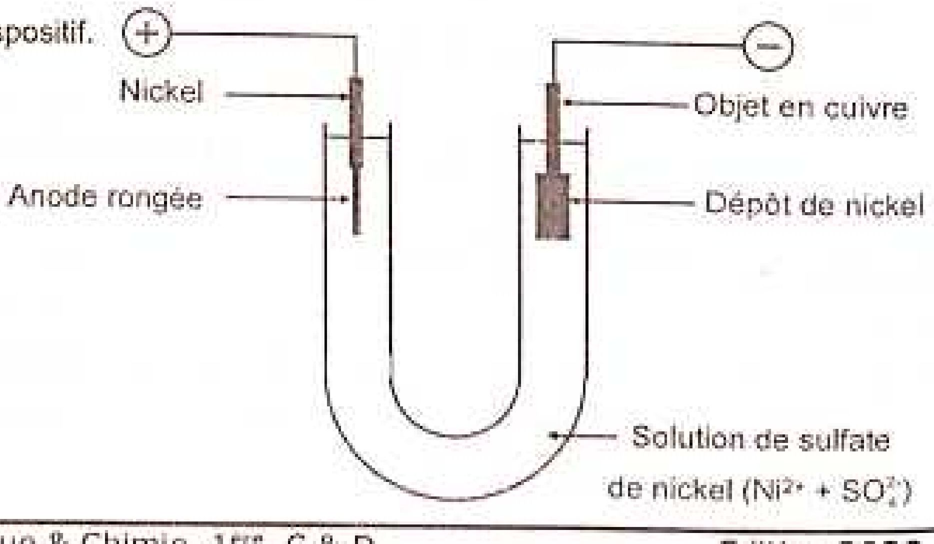
L'électrode en carbone est inattaquable, le carbone n'est pas réduit.

2) Les réactions qui se produisent en réalité

- A l'anode : $E^0_{O_2/H_2O} > E^0_{Br_2/Br^-}$ donc l'ion Br^- est plus réducteur que l'eau H_2O. Il s'oxyde donc plus facilement que l'eau à l'anode : il y a dégagement de brome à l'anode.
- A la cathode : $E^0_{H_2O/H_2} > E^0_{Na^+/Na}$ donc l'eau H_2O est plus oxydante que l'ion Na^+.
  L'eau se réduit donc plus facilement que l'ion Na^+ à la cathode : il y aura donc dégagement de dihydrogène à la cathode.

Exercice 3

1) Schéma annoté du dispositif.



2) Equations de réduction et d'oxydation se produisant aux électrodes

- A la cathode, du nickel se dépose : $Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni$ (1)
- A l'anode, on peut envisager a priori, soit l'oxydation de l'eau, soit celle des ions SO_4^{2-}, soit celle du nickel. Puisque l'anode est rongée (anode dite « soluble »), c'est le nickel qui est oxydé selon : $Ni \longrightarrow Ni^{2+}\ 2e^-$.

3)

3.1. Quantité d'électrons

$$Q_{e^-} = N \times e = n_{e^-} \times \mathcal{N}_A \times e = 2 \times 6{,}02.10^{23} \times 1{,}6.10^{-19} = 192\,640\ C$$

3.2. Quantité d'électricité :

Quantité de nickel (en mole) : $n_{Ni} = \dfrac{m_{Ni}}{M_{Ni}} = \dfrac{7}{59} \approx 0{,}12$ mol

D'après l'équation (1), il faut 2 moles d'électrons pour une mole de nickel.

$$Q = n_{Ni} \times Q_{e^-} = 0{,}12 \times 192\,640 = 23\,116{,}8\ C$$

3.3. Déduisons la durée de l'électrolyse, si l'intensité du courant est 5 A.

$$Q = I \times t \Rightarrow I = \frac{Q}{t} = \frac{23\,116{,}8}{5} = 4\,623{,}36\ s = 01\,h\ 17\ min\ 03\ s$$

Exercice 4

1) Rappel des équations aux électrodes.

- A la cathode, il y a dégagement de dihydrogène : $2\,H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$
- A l'anode, il y a dégagement de dioxygène : $2\,H_2O \longrightarrow O_2 + 4e^- + 4H^+$

2)

2.1. La quantité de matière (en mol) d'électrons ayant réagi aux électrodes

$$Q = I \times \Delta t = 0{,}5 \times 10 \times 60 = 300\ C$$

2.2. La quantité de matière (en mol) de dihydrogène et celle de dioxygène formés

- La quantité de matière en électrons est :

$$Q = n_{e^-} \times \mathcal{F} \Rightarrow n_{e^-} = \frac{Q}{\mathcal{F}} = \frac{300}{96\,500} = 3{,}11.10^{-3}\ mol$$

- Quantité de matière de dihydrogène et celle de dioxygène

D'après les demi-équations électroniques, on obtient :

$$n_{H_2} = \frac{n_{e^-}}{2} = \frac{3{,}11.10^{-3}}{2} = 1{,}55.10^{-3}\ mol$$

$$n_{O_2} = \frac{n_{e^-}}{4} = \frac{3{,}11.10^{-3}}{4} = 7{,}77.10^{-4}\ mol$$

2.3. Les volumes obtenus pour ces deux gaz

$$V_{H_2} = n_{H_2} \times V_m = 1{,}55.10^{-3} \times 24 = 37{,}3.10^{-3}\ L = 37{,}3\ mL$$

$$V_{O_2} = n_{O_2} \times V_m = 7{,}77.10^{-4} \times 24 = 18{,}6.10^{-3}\ L = 18{,}6\ mL$$

Exercice 5

1) **La quantité de matière d'électrons ayant réagi aux électrodes**

- Quantité d'électricité qui a circulé dans le circuit : $Q = I \times \Delta t = 0{,}8 \times 15 \times 60 = 720$ C
- Quantité de matière d'électrons : $Q = n_{e^-} \times \mathcal{F} \Rightarrow n_{e^-} = \dfrac{Q}{\mathcal{F}} = \dfrac{720}{96\,500} = 7{,}46.10^{-3}$ mol

2) **La masse d'étain formée**

D'après la demi-équation électronique : $Sn^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Sn$

Il s'est formé $n_{Sn} = \dfrac{n_{e^-}}{2}$ soit $3{,}73.10^{-3}$ mol d'étain.

La masse d'étain formée est donc : $m_{Sn} = M_{Sn} \times n_{Sn} = 3{,}73.10^{-3} \times 118{,}7 = 0{,}443$ g

3) **La concentration finale en ions Sn^{2+}**

D'après la question 2°), il a disparu $3{,}73.10^{-3}$ mol de Sn^{2+} ($n_{Sn^{2+}} = n_{Sn}$).

Au début, il y en avait : $n_{Sn^{2+}initial} = 0{,}1 \times 0{,}2 = 0{,}02$ mol

Il en reste donc : $n_{Sn^{2+}restant} = 0{,}02 - 3{,}73.10^{-3} = 1{,}63.10^{-2}$ mol

Donc la concentration est : $[Sn^{2+}] = \dfrac{n_{Sn^{2+}restant}}{V} = \dfrac{1{,}63.10^{-2}}{0{,}2} = 8{,}13.10^{-2}$ mol/L

4) **Le volume de dichlore dégagé si on le suppose insoluble dans l'eau**

A l'autre électrode, la demi-équation électronique est : $2\,Cl^- \rightleftarrows Cl_2 + 2e^-$

$$n_{Cl_2} = \frac{n_{e^-}}{2} \Rightarrow V_{Cl_2} = n_{Cl_2} \times V_m = \frac{n_{e^-}}{2} \times V_m = \frac{7{,}46.10^{-3}}{2} \times 24 = 89.10^{-3}\ \text{L} = 89\ \text{mL}$$

Exercice 6

1) **L'épaisseur du dépôt supposé uniforme au bout d'une heure**

- Les potentiels des couples Ni^{2+}/Ni et H^+/H_2 sont voisins, donc deux réactions sont possibles à la cathode : $Ni^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Ni$; $H^+ + 2e^- \rightleftarrows H_2$
- La quantité d'électricité qui a circulé dans le circuit est : $Q = I \times \Delta t = 5 \times 3600 = 18\,000$ C
  70% servent à déposer du nickel, soit 12 600 C pour Ni et 5 400 C pour H_2.
- Les quantités d'électrons correspondantes sont : $1{,}3.10^{-1}$ mol et $5{,}6.10^{-1}$ mol.
- D'après la demi-équation électronique relative au Ni, la quantité de matière de Ni est :
  $n_{Ni} = \dfrac{n_{e^-}}{2} = \dfrac{1{,}3.10^{-1}}{2} = 6{,}5.10^{-2}$ mol
- En 1 heure, il s'est donc déposé : $m_{Ni} = n_{Ni} \times M_{Ni} = 6{,}5.10^{-2} \times 59 = 3{,}82$ g
- Le volume de nickel est donné par : $V_{Ni} = 2 \times S \times e$
- L'épaisseur : $m_{Ni} = \rho \times V_{Ni} = \rho \times 2 \times S \times e \Rightarrow e = \dfrac{m_{Ni}}{\rho \times 2 \times S} = \dfrac{3{,}82}{8{,}9 \times 2 \times 10^2} = 2{,}14.10^{-3}$ cm

2) **Le volume de dihydrogène dégagé**

$$n_{H_2} = \frac{n_{e^-}}{2} \Rightarrow V_{H_2} = n_{H_2} \times V_m = \frac{n_{e^-}}{2} \times V_m = \frac{5{,}6.10^{-2}}{2} \times 24 = 6{,}7.10^{-1}\ \text{L}$$

Antoine Laurent de Lavoisier
(26 août 1743 - 8 mai 1794)
Chimiste, Philosophe et Economiste Français.

Il fût le fondateur de la chimie moderne. Il participa à la réforme de la nomenclature chimique, fit l'analyse de l'air et de l'eau, découvrit le rôle du dioxygène dans les combustions et la respiration. Il participa également à la mise en place du système métrique. Le terme oxydation trouve son origine dans ses travaux. C'est lui qui a mis en évidence la présence, dans l'air, du gaz que nous appelons dioxygène O_2 et qu'il nomma, lui, oxygène (expérience de Lavoisier en 1774). Par la suite, les réactions de formation d'oxydes ont été appelées réactions d'oxydation. Il énonça la première version de la loi de conservation de la matière.

OR7 : CORROSION ET PROTECTION DES METAUX

TABLEAU DES HABILETES

HABILETES	CONTENUS
Définir	la corrosion d'un métal.
Expliquer	le phénomène de corrosion.
Indiquer	les conditions favorisant la corrosion.
Expliquer	les méthodes de protection des métaux contre la corrosion : - protection électrochimique ; - protection par revêtement.

RAPPEL DE COURS

1) Corrosion des métaux

1.1. Définition

On donne le nom de corrosion au phénomène de détérioration des métaux. Les métaux ne réagissent pas tous de la même façon face à ce fléau. Il existe des matériaux dits nobles ou précieux qui sont pratiquement insensibles à toute oxydation. D'autres sont protégés par une pellicule d'oxyde étanche aux éléments susceptibles de les attaquer en profondeur (exemple : le cuivre et l'aluminium). Des matériaux comme le fer, en présence d'eau ou d'humidité sont attaqués et des réactions d'oxydation se produisent et se poursuivent jusqu'à la destruction du matériau. (L'eau dissout l'oxygène, les impuretés présentes forment localement des piles).

1.2. Causes de corrosion

1.2.1. Causes chimiques

Des acides et des gaz attaquent directement les métaux.

Exemples : Attaque du fer par un diacide : $Fe + 2H^+ \longrightarrow Fe^{2+} + H_2$

Dans un milieu humide, l'oxygène de l'air attaque le fer et forme la rouille : ($Fe(OH)_3$, nH_2O), oxyde poreux qui permet une corrosion en profondeur.

1.2.2. Corrosion électrochimique

Il y a formation de micro-piles électrochimiques en surface du métal. Cela se produit quand on a des impuretés ou des gaz qui se dissolvent en présence d'humidité.

- Quand l'inclusion est constituée d'un métal moins réducteur que le fer comme le cuivre alors le fer est oxydé (attaqué) :

$$\left.\begin{array}{l} Fe \rightleftarrows Fe^{2+} + 2e^- \\ Cu^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Cu \end{array}\right\} \Rightarrow Fe + Cu^{2+} \longrightarrow Fe^{2+} + Cu$$

- Quand l'inclusion est constituée d'un métal plus réducteur que le fer comme le zinc alors le zinc est oxydé (attaqué) et le fer est protégé (pas de corrosion) :

$$\left.\begin{array}{l} Zn \rightleftarrows Zn^{2+} + 2e^- \\ Fe^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Fe \end{array}\right\} \Rightarrow Zn + Fe^{2+} \longrightarrow Zn^{2+} + Fe$$

2) Protection contre la corrosion

- Protection par modification chimique en surface : on plonge la pièce dans un bain pour former une couche imperméable (carrosserie d'automobile) ;
- Protection par addition de chrome, nickel, de titane.. → aciers inoxydables
- Protection par revêtement : application de peintures, vernis, matières plastiques, de l'émail, résines... ;
- Protection par immersion de la pièce dans un bain de métal fondu (fer dans étain → fer blanc ; fer dans le zinc fondu → fer galvanisé) ;
- Protection par électrode sacrifié (protection cathodique) : cas de la protection des coques des bateaux et des canalisations d'eau enterrées en utilisant le zinc comme pièce à oxyder.

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. La corrosion d'un métal est une réduction.
2. L'inclusion constituée d'un métal plus réducteur que le fer le protège.
3. La formation de la rouille est exothermique.
4. La couche de rouille protège le fer.

Exercice 2

La corrosion de l'aluminium par l'air est une réaction chimique.

1. Indique les réactifs et le produit.
2. Ecris l'équation-bilan de la réaction.
3. En déduis sa nature (oxydation ou réduction).
4. Explique le fait que la corrosion de l'aluminium ne se produit pas en profondeur.

Exercice 3

Un de tes amis dispose de deux objets en fer. L'un est recouvert de zinc et sur l'autre on réalise un dépôt de nickel. Il te sollicite pour en savoir sur les phénomènes de corrosion et de protection électrochimique concernant ces deux objets.

1. Précise en justifiant lequel des objets :
   1.1. subit une corrosion ;
   1.2. est protégé.
2. Explique dans chaque cas le phénomène observé.

On donne : $E°(Fe^{2+}/Fe) = -0,44$ V ; $E°(Ni^{2+}/Ni) = -0,23$ V ; $E°(Zn^{2+}/Zn) = -0,76$ V.

EXERCICES DE PERFECTIONNEMENT

Exercice 1

Un clou en fer autour duquel est enroulé un fil de zinc est plongé dans une solution d'acide chlorhydrique.

1) Choisis la bonne réponse parmis les propositions suivantes.
   1.1. Seul le fer est attaqué.
   1.2. Seul le zinc est attaqué.
   1.3. Les deux métaux sont attaqués.
2) Précise l'intérêt d'entourer le fer par un fil de zinc.

Exercice 2.

1) Cite une des causes de la corrosion des métaux.
2) Cite une des principales méthodes de protection contre la corrosion.

Exercice 3

On souhaite protéger une installation en cuivre.

1) Indique le métal (ou les métaux) utilisé(s) pour réaliser cette protection.
2) Justifie ta réponse.

Exercice 4

Lors d'une visite à la bibliothèque du lycée, un élève de 1ère C decouvre, dans ses recherches les informations suivantes :

- ✓ Une anode sacrificielle en zinc a une masse initiale m.
- ✓ Elle est traversée par un courant d'intensité i.
- ✓ Le courant de protection du réservoir est de 8 mA.
- ✓ L'expérience montre que cette anode est complètement corrodée au bout de 22 mois.

De retour en classe, il te sollicte afin de l'aider à comprendre ces informations.

1)
   1.1. Détermine la durée de fonctionnement.
   1.2. Exprime cette durée en fonction de i et m.
2) Calcule la masse minimale à donner à l'électrode pour assurer la protection du réservoir pendant deux ans.
3) Indique la cause propable du phénomène de corrosion.

CORRECTION DES EXERCICES RESOLUS

Exercice 1

Pour chacune des affirmations suivantes, j'associe à chaque chiffre la lettre V si la proposition est vraie ou la lettre F si elle est fausse.

1. La corrosion d'un métal est une réduction : F.
2. L'inclusion constituée d'un métal plus réducteur que le fer le protège : V.
3. La formation de la rouille est exothermique : F.
4. La couche de rouille protège le fer : F.

Exercice 2

1) Indiquons les réactifs et le produit.
   - Les réactifs sont : l'aluminium Al et le dioxygène O_2 ;
   - Le seul produit est : l'oxyde d'aluminium ou alumine Al_2O_3.
2) Ecrivons l'équation-bilan de la réaction.

$$2\,Al + \frac{3}{2}\,O_2 \longrightarrow Al_2O_3$$

3) Déduisons sa nature (oxydation ou réduction).
   - Dans Al, n.o.(Al) = 0 ;
   - Dans Al_2O_3, n.o.(Al)×2 + n.o.(O)×3 = 0 ⇒ n.o.(Al)×2 + (– III)×3 = 00 ⇒ n.o.(Al) = +III.
   - Le n.o.(Al) augmente donc l'aluminium subit une oxydation.
4) Expliquons le fait que la corrosion de l'aluminium ne se produit pas en profondeur.

   La couche d'oxyde d'aluminium ou alumine Al_2O_3 formé est imperméable ; par conséquent elle protège le métal.

Exercice 3

1. Je précise en justifiant lequel des objets :

   1.1. subit une corrosion ;

   C'est l'objet sur lequel on réalise un dépôt de nickel car le nickel est moins réducteur que le fer ou bien $E°(Fe^{2+}/Fe) < E°(Ni^{2+}/Ni)$.

   1.2. est protégé.

   C'est l'objet recouvert de zinc car le zinc est plus réducteur que le fer ou bien $E°(Fe^{2+}/Fe) > E°(Zn^{2+}/Zn)$.

2. J'explique dans chaque cas le phénomène observé.
   - ✓ Dans le cas de la corrosion c'est le fer qui est oxydé car plus réducteur que le nickel.
   - ✓ Dans le cas de la protection, le zinc étant plus réducteur que le fer, il va subir l'oxydation à sa place.

Physique & Chimie

1ère C/D/E

Marc KOUASSI
Joseph ETTIEN San

"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, EDHC*...).

Autres Collections

"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.

"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.

"COURS MAGISTRAL" est votre collection de manuels de cours très détaillés quelquefois, 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.

"PAS à PAS" est une collection de cahiers d'exercices du cycle primaire qui permettent à l'élève de se préparer efficacement au rythme des leçons faites en classe en suivant scrupuleusement la progression du programme officiel.

Les Editions

NOTRE COLLECTION

EN CLASSE DE PREMIERE

ISBN : 978-2-36553-036-1