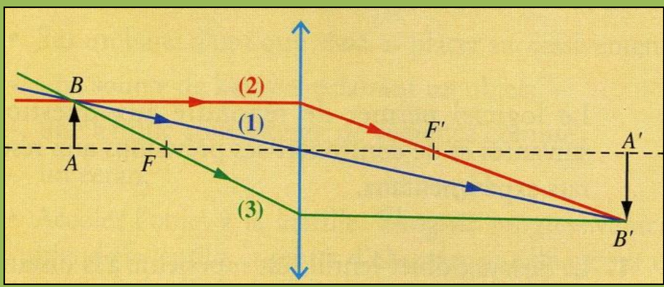
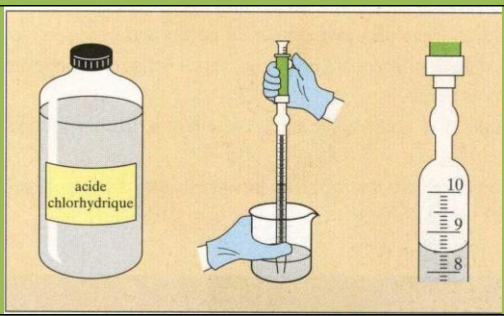
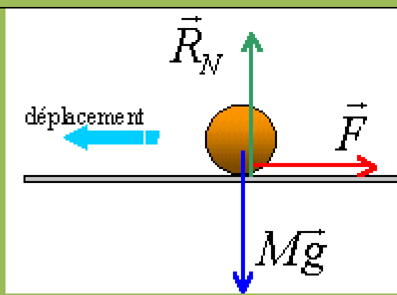
REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

HONNEUR FRATERNITE JUSTICE

Sciences Physiques
6AS







AVANT- PROPOS

L'institut Pédagogique National a le plaisir de présenter à la famille scolaire un manuel de sciences physiques pour la 6ème année du secondaire conformément aux nouveaux programmes de la réforme de 1999.

Ce document, destiné aux élèves des classes de 6ème (C ; D et TMGM), est conçu sur des bases expérimentales : la plupart des notions sont déduites ou définies à partir des résultats d'observations ou d'expériences.

Ce document comprend deux parties :

- Physique
- Chimie

Il a été procédé à l'adoption de la méthodologie suivante :

- Cours et travaux pratiques
- Applications ;
- Exercices.

Nous souhaitons que cet ouvrage apporte une aide active dans la préparation au baccalauréat, mais surtout, que par l'acquisition de notions chimiques fondamentales, il puisse montrer que les bases théoriques ont une utilité pratique dans la plupart des domaines de la vie courante.

L'IPN souhaite que les utilisateurs de ce projet de manuel lui fassent parvenir leurs remarques et suggestions constructives pour une prise en compte dans l'édition définitive.

L'Institut Pédagogique National

Première partie : Mécanique

Sommaire

Avant -propos

Chapitre I : Cinématique

I) Généralités

1) Définition :

La cinématique étudie les mouvements des solides sans se préoccuper de leurs causes (c'est-à-dire des forces).

2) Relativité du mouvement :

Un corps est en mouvement lorsqu'il change de position dans le temps par rapport à d'autres corps.
Un voyageur assis dans un train en marche est :
- immobile par rapport aux autres voyageurs assis ou par rapport au train
- en mouvement par rapport au sol

L'état de mouvement d'un objet est décrit par rapport à un autre objet qui sert de référence (de référentiel)
La notion de mouvement ou de repos est relative, d'où la nécessité de définir un référentiel.

3) le référentiel :

Un référentiel est un solide ou un ensemble de solide par rapport auquel le mouvement est étudié.

4) Repère :

4-a) Repère d'espace :

Le repère d'espace permet de déterminer la position du mobile (l'objet en mouvement) par rapport à une position arbitraire choisie comme origine. Le choix du repère d'espace se ramène au choix d'un système d'axes liés à la référence.

- **Sur une droite**

La position du mobile est déterminée par la connaissance de l'abscisse x du vecteur position OM

- **Dans le plan**

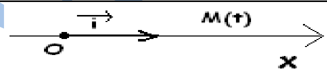
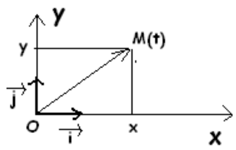
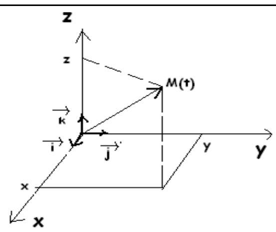
Lorsque le mouvement s'effectue dans un plan, il est intéressant de travailler dans un repère orthonormé pour repérer la position du mobile.

4-b) Repère de temps :

IL est défini par le choix d'une origine des dates (t=0) et d'une unité de temps (seconde en SI).

5) Vecteur position :

C'est le vecteur $\left(\overrightarrow{OM}\right)$ qui donne la position du mobile à l'instant t

Mouvement sur une droite		$\overrightarrow{OM} = x\vec{i}$
Mouvement dans un plan		$\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$
Mouvement dans l'espace		$\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

6) Trajectoire :

On appelle trajectoire d'un mobile, l'ensemble des positions successives qu'il occupe au cours de son déplacement dans un repère donné.
Remarque : comme le mouvement, la forme de la trajectoire dépend du référentiel choisi.
Exemple : la valve d'une roue de bicyclette décrit un cercle par rapport au cycliste et une cycloïde par rapport à la route.

7) Vitesse d'un mobile

On caractérise la rapidité d'un mouvement par une grandeur physique appelée vitesse. Cette grandeur est liée à la distance parcourue et à la durée du parcours.

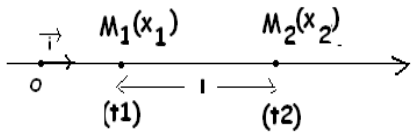
7-1) Vitesse moyenne :

Lorsqu'un mobile parcourt une distance ℓ pendant une durée Δt, sa vitesse moyenne est : Vm

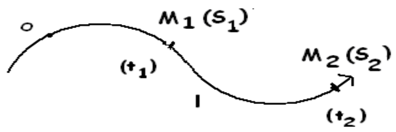
$$V_m = \frac{distance\ parcourue}{temps\ mis} = \frac{l}{t}$$

l en mètre et t en seconde

- **Cas d'un mouvement rectiligne**

	$V_m = \frac{d}{t}, V_m = \frac{M_1M_2}{t}$ donc $V_m = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

- **Cas d'un mouvement curviligne**

	$V_m = \frac{d}{t}, V_m = \frac{M_1M_2}{t}$ donc $V_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$

7-2) Vitesse instantanée :

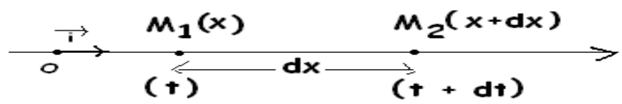
La vitesse instantanée V d'un mobile à l'instant t est la vitesse moyenne de ce mobile calculée sur un intervalle de temps très petit au voisinage de l'instant t.

$$\vec{V} = \lim_{t_1 \to t_2} V_m = \frac{d(\overrightarrow{OM})}{dt}$$

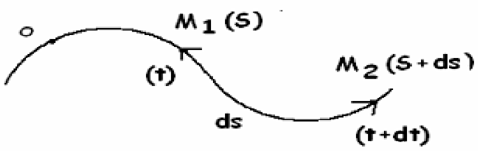
Soit dl la distance parcourue par le mobile pendant le temps dt. La vitesse instantanée ou vitesse à l'instant t est définie par :

$$v = \frac{dl}{dt}$$

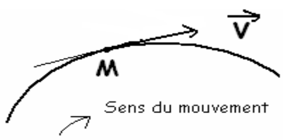
- Cas d'un mouvement rectiligne :

	$v = \frac{(x+dx)-x}{(t+dt)-t} = \frac{dx}{dt}$

- Cas d'un mouvement curviligne:

	$v = \frac{(s+ds)-s}{(t+dt)-t} \Rightarrow \frac{ds}{dt}$

7-3) Caractéristiques du vecteur vitesse :

▪ Origine : la position du mobile à l'instant t ▪ Direction : la tangente en M à la trajectoire ▪ Sens : celui du mouvement ▪ Norme : $v = \frac{d(OM)}{dt}$ $avec\ v\ en\ \ m/s$	

8) Accélération d'un mobile :

8-1) Accélération moyenne :

$$a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad avec\, a_m\, en\ m/s^2$$

8-2) Accélération instantanée ou accélération à l'instant t

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{a}_m = \frac{d(\vec{v})}{dt}$$

9) Les enregistrements

Dans un enregistrement la durée entre deux marquages successifs est constante et petite par rapport à la durée totale

$$En\ un\ point\ M_i : V_i = \frac{M_{i+1}M_{i-1}}{2\tau} \quad a_i = \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2\tau}$$

du mouvement notée τ .

II) Applications

Application(1) : Les coordonnées d'un point M en mouvement dans le repère (O, i, j) sont données par : X =2t + 1 et Y = t^2

a) Donner l'expression de $\overrightarrow{OM}$ et calculer son module à t = 0

b) Donner l'expression de $\vec{v}$ et calculer son module à t=0

c) Donner l'expression de $\vec{a}$ et calculer son module

d) Donner l'équation de la trajectoire et en déduire sa nature

Corrigé :

$$1°)\ \overrightarrow{OM} = x.\vec{i} + y.\vec{j} \qquad \overrightarrow{OM} = (2t+1)\vec{i} + t^2\vec{j}\ donc\ OM = \sqrt{(2t+1)^2 + (t)^2}$$

$$à\, t = 0 \quad OM_o = \sqrt{(2.0+1)^2 + (0)^2} \Rightarrow OM_o = 1m$$

$$2°)\,\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} \qquad \vec{v} = 2.\vec{i} + 2t.\vec{j} \quad donc\ v = \sqrt{(2)^2 + (2t)^2}$$

$$à\, t = 0 \quad v_o = \sqrt{(2)^2 + (2.0)^2} \Rightarrow v_o = 2m/s$$

$$3°)\,\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow \vec{a} = 2.\vec{j}\, donc\, a = \sqrt{(2)^2} \Rightarrow a = a_0 = 2m/s^2$$

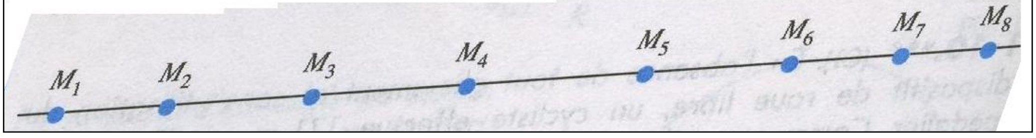
$$4°)\,x = 2t + 1 \quad (1) \quad et \quad y = t^2 \quad (2) \quad de(1)\ t = \frac{x-1}{2} \quad dans\,(2)\ y = \left(\frac{x-1}{2}\right)^2 \quad y = \frac{x^2}{4} - \frac{x}{2} + \frac{1}{4}$$

Nature de la trajectoire : parabole

Application (2) : Soit le mouvement rectiligne reproduit ci-dessous. Le mobile se déplace de la gauche vers la droite a inscrit ses marques à des instants séparés par des intervalles de temps tous égaux $\tau = 80ms$.

a) Déterminer les vitesses moyennes entre les positions M_1 et M_5 ; puis entre M_3 et M_8

b) Déterminer les vitesses instantanées en M_4 et M_7.



Corrigé :

c) La vitesse moyenne est le rapport entre la distance parcourue et la durée correspondante.

On note V1-5 la vitesse moyenne entre M1 et M5.

$$V_{1-5} = \frac{M_1M_5}{t_{1-5}} = \frac{M_1M_5}{4\tau} = \frac{5{,}3.10^{-2}}{4.80.10^{-3}} = 0{,}17m/s$$

De la même manière :

$$V_{3-8}=\frac{M_3M_8}{t_{3-8}}=\frac{M_3M_8}{5\tau}=\frac{6{,}1.10^{-2}}{5.80.10^{-3}}=0{,}15m/s$$

b°Les vitesses ne peuvent qu'être rapprochées

$$V_4 \approx V_{3-5}=\frac{M_3M_5}{t_{3-5}}=\frac{M_3M_5}{2\tau}=\frac{3.10^{-2}}{2.80.10^{-3}}=0{,}19m/s$$

De la même manière :

$$V_7 \approx V_{6-8}=\frac{M_6M_8}{t_{6-8}}=\frac{M_6M_8}{2\tau}=\frac{1{,}8.10^{-2}}{2.80.10^{-3}}=0{,}11m/s$$

III) Exercices

Exercice 1 :

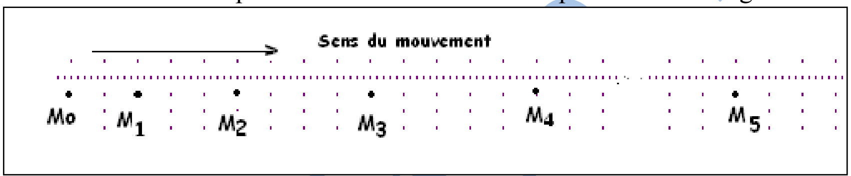
Les équations paramétriques de la trajectoire d'un mobile sont:

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

1) Donner les caractéristiques (composantes, module) du vecteur vitesse du mobile à l'instant t.
2) Donner les caractéristiques (composantes, module) du vecteur accélération à l'instant t
3) Donner l'équation de la trajectoire et préciser le sens du déplacement du mobile

Exercice 2 :

Un mobile parcourt les distances suivantes pendant des intervalles de temps successifs et égaux θ = 50ms.



Echelle:1cm =deux carreaux

1. Calculer les vitesses de ce mobile aux points M_1, M_2, M_3, et M_4.
2. Calculer les accélérations de ce mobile aux points M_2 et M_3.

Exercice 3 :

Les équations paramétriques du mouvement d'un point matériel sont données par

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x=2t+1 \\ y=\frac{1}{2}t^2 \end{cases}$$

- Donner les coordonnées du mobile aux instants: t=1 ; 3; 5 s.
- Donner les composantes du vecteur vitesse.
- Calculer la vitesse à l'instant t =3s.
- Donner les composantes du vecteur accélération.
- Donner l'équation de la trajectoire.

Exercice 4 :

Calculer la distance qui sépare les surfaces de la terre et de la lune sachant qu'un signal lumineux produit par un laser et qui subit une réflexion sur un réfracteur déposé sur la lune par des astronautes d'une mission Apollo met un temps de 2,5s pour effectuer le trajet aller et retour.

On donne vitesse de la lumière dans le vide V=300 000Km/s

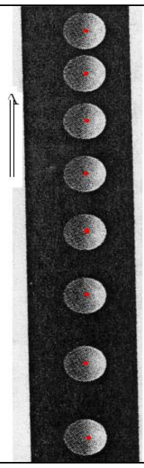
Exercice 5 :

Un train roule sur une voie rectiligne à la vitesse de 260 Km/h. La longueur du convoi vaut 400m.

1) Un hélicoptère volant à 300 Km/h le long de la même voie et dans le même sens que le train arrive à l'aplomb de la queue du convoi. Quel temps mettra-t-il pour en atteindre la tête ? Même question si l'hélicoptère vole à 265 Km/h.

2) On suppose maintenant que le train roulant à 260 Km/h et l'hélicoptère volant à 300 Km/h se croisent sur la voie rectiligne. Calculer le temps pendant lequel l'hélicoptère va rester à l'aplomb du train. Même question si l'hélicoptère vole à 250 Km/h

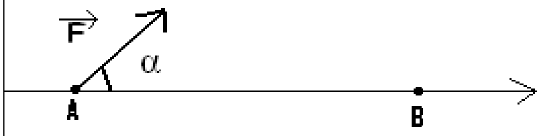
Exercice 6 : La photographie ci-contre est une chronophotographie d'une bille lors du lancement (sens du mouvement de bas en haut). La durée entre deux prises de vue consécutives est θ=0,01s.

1) Quelle est la trajectoire du centre de la bille ? 2) Quelle est la nature du mouvement du centre de la bille ? Justifier la réponse. 3) L'échelle du document est ¼. Calculer la vitesse instantanée lors du passage par : a) la 3^{e} position photographiée. b) la 7^{e} position photographiée.	

Chapitre II : Théorème de l’énergie cinétique

I Travail d’une force constante

1) Définition :



$$\boxed{W_{A\to B}(\vec F) = \vec F \times \vec{AB} = F \times AB \times \cos(\alpha)}$$

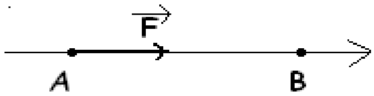
F en N
AB en m
W en Joule (J)

si $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$ Travail moteur

si $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$ Travail résistant

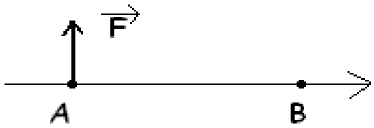
Cas particuliers

- $\alpha = 0$



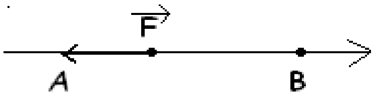
$\boxed{W = F\,AB}$

- $\alpha = \frac{\pi}{2}$



$\boxed{W = 0}$

- $\alpha = \pi$

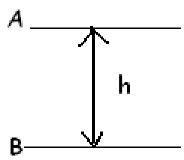


$\boxed{W = -F\,AB}$

2) Exemples de travail de forces constantes :

Travail du poids :

$W_{AB}(P) = m.g.h$ cas d’une descente
$W_{AB}(P) = -\ m.g.h$ cas d’une montée
Avec h différence de niveaux entre les plans horizontaux passant par A et B

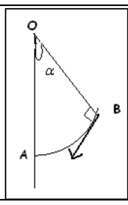


- Travail de la force de frottement
- Déplacement rectiligne :

$W_{AB}(\vec f) = -f.AB$	

- **Déplacement curviligne :**

OA=OB=R

$W_{AB}(\vec f) = -f.(\widehat{AB})$ avec $\widehat{AB} = R.\alpha$ Donc $W_{AB}(\vec f) = -f.R.\alpha$	

II. Notion de puissance

1) Puissance moyenne

La puissance moyenne Pm d'une force est le quotient du travail W qu'elle effectue par le temps Δt mis pour l'effectuer.

$$P_m = \frac{W(\vec{F})}{\Delta t} \;;\; W\, en\, J\,;\; \Delta t\, en\, s\,;\, Pm\; en\; watt\,(W)$$

2) puissance instantanée

$$P = \lim_{\Delta t \to 0} P_m = \frac{dW}{dt} \quad ; dW = \vec{F}.\vec{dl} \quad donc\; P = \frac{\vec{F}.\vec{dl}}{dt} = \vec{F}.\vec{V}$$

III. Energie cinétique

1) Définition

L'énergie cinétique est une valeur dépendant de la masse du solide en translation ainsi que de sa vitesse. Un cas concret est celui d'une voiture roulant sur l'autoroute : plus sa masse et sa vitesse seront importantes, plus son énergie cinétique sera importante, et plus le choc lors d'un accident sera grand.

L'énergie cinétique E_C d'un solide en translation de masse *m* et de vitesse (velocité) *v* est donnée par la relation :

$$Ec = \frac{1}{2} m.v^2$$

Unités

L'énergie cinétique E_C a pour unité le joule (J).

La masse *m* a pour unité le kilogramme (kg).

La vitesse *v* a pour unité le mètre par seconde ($m.s^{-1}$ ou m/s).

2) Cas d'un point matériel :

Ec = ½ m V^2 m masse du point matériel ; v la vitesse du point matériel et Ec l'énergie cinétique du point matériel.
Ec en joule, m en kg et v en m/s

3) Cas d'un solide en translation :

Tous les points ont la même vitesse : Ec = $\sum$ ½ m_i V^2 = ½ V^2 $\sum m_i$ = ½ M V^2 avec M=$\sum m_i$

4) Théorème de l'énergie cinétique

La **variation de l'énergie cinétique** d'un solide de masse m en **translation** dans un référentiel **galiléen** entre deux points A et B est égale à la somme des travaux des forces extérieures qui s'appliquent sur le système lors de son déplacement de A à B :

$$\Delta_{AB} E_C = E_C(B) - E_C(A) = \sum W_{AB}(\vec{F_{ext}})$$

IV. Applications :

Application (1) : Calculer l'intensité de la force motrice permettant à un véhicule de masse m = 1 tonne de faire passer sa vitesse de V_1 =72km/h à V_2= 108km/h, sur une route horizontale parfaitement lisse pour un parcours de 100m.

Corrigé :

ΔEc = $\sum W(F_{ex})$; $Ec_2 - Ec_1 = \sum W(F_{ex})$ = Wp +W_R + W_F ; W_R=0 et W_P=0

½ m($V_2^2 - V_1^2$)= F l   F = ½ m($V_2^2 - V_1^2$)/l

AN: V_2= 108km/h= 108x1000/3600= 30m/s V_1= 72km/h= 72x1000/3600= 20m/s   et m= 1t=1000kg

F= ½ 1000(30^2 - 20^2)/100= 2500N.

Application (2):

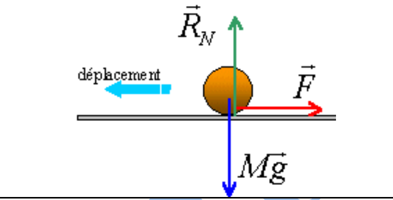
Une automobile de masse m= 900 kg lancée à 100 km/h freine brutalement en bloquant ses 4 roues. On suppose qu'elle poursuit son mouvement dans l'axe de la route horizontale. Elle s'arrête au bout de 97,0 m, ce qui représente une durée de 6,54 s.

1) Calculer l'énergie cinétique initiale de la voiture. Dans quel référentiel est-elle définie ?

2) On suppose que la force de frottement F de la route sur les pneus est constante, de même direction et de sens opposé à la vitesse de la voiture. Préciser les forces extérieures agissant sur la voiture et déterminer la valeur F de la force de frottement.

3) Calculer la puissance moyenne de cette force au cours du freinage.

Corrigé

1) référentiel terrestre galiléen exprimer la vitesse en m/s : 100 / 3,6 = 27,77 m/s. énergie cinétique juste avant le freinage :0,5x900x27,77² = 347 000 J = 347 kJ énergie cinétique finale nulle à l'arrêt de la voiture variation énergie cinétique : 0 -347 000 = -347 000 J.	

2) la voiture est soumise à :

Poids vertical vers le bas 900x9,8 N, perpendiculaire à la vitesse donc le poids ne travaille pas.

Action du sol perpendiculaire au sol vers le haut ; cette action perpendiculaire à la vitesse ne travaille pas.

La force de freinage parallèle à la route de sens opposé à la vitesse.

travail résistant des frottements = - 97 F

Le travail des frottements est égal à la variation de l'énergie cinétique :

- 347 000 = -97 F

F = 3580N.

3) La puissance moyenne des frottements =travail des frottements / durée du freinage

-347 000 / 6,54 = -53 000 watts.

V. Exercices :

Exercice 1:

Su rune route horizontale, un véhicule de masse 900Kg, 90Km/H au compteur, aborde une phase de freinage. Le conducteur immobilise son véhicule sur une distance de 100m. L'ensemble des frottements est équivalent à une action globale $\vec{f}$, d'intensité supposée constante durant la phase de freinage.

1°) Quelles sont les différentes causes du frottement subi par le véhicule ?

2°) Représenter au centre d'inertie G du véhicule, toutes les actions qu'il subit.

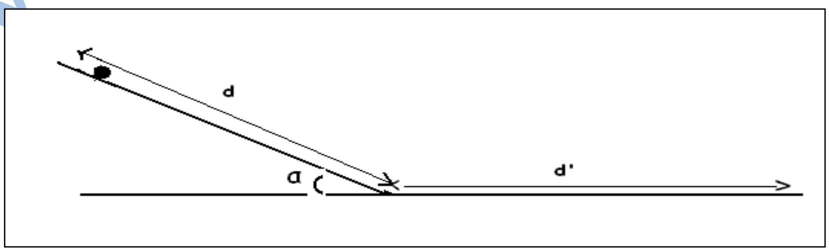
3°) Calculer f ?

Exercice 2 :

Un solide de S de masse 400g abandonné sans vitesse initiale, glisse sur un plan incliné d'un angle α=35° par rapport au plan horizontal. Le plan incliné est raccordé à un plan horizontal. On prend $g=9,80 m/s^2$.

S assimilable à un point matériel, a été lâché d'une distance d=2m de la ligne de raccordement. (On admettra que le passage de S sur cette ligne ne produit pas de choc susceptible de modifier la valeur v de sa vitesse).

Quelle distance d' le solide S parcourt-il sur le plan horizontal avant de s'arrêter si on suppose que les frottements sont représentés par une force unique $\vec{f}\,'$ d'intensité f'= 0,75N pendant toute la durée du mouvement.



Exercice 3 :

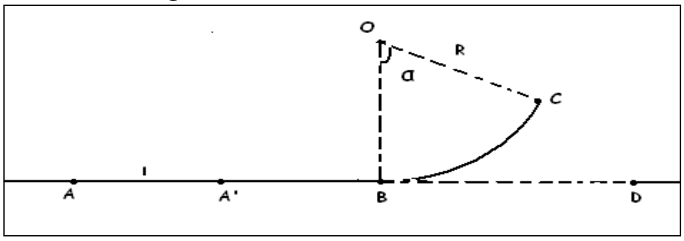
On lance un projectile M de masse m sur une piste dont la trace ABC est représentée dans un plan vertical.

AB est horizontal, BC est circulaire de rayon R tangente en B à AB, les frottements ainsi que la résistance de l'air sont négligeables. Le lancement est effectué en faisant agir sur M initialement au repos en A une force $\vec{F}$ horizontale, d'intensité F constante, sur la longueur AA'=l.

1°) Déterminer la vitesse Vc du projectile au point C en fonction de F, m, R, l,g et α. Quelle doit être la valeur minimale de F pour que M atteigne C ?

Application numérique : m=0,1Kg, R=0,8m, α=60°, l=0,5m, $g=10m/s^2$

2°) Représenter les vecteurs vitesses $\overrightarrow{Vc}$ au point C où le projectile quitte la piste et au point D ou il reprend contact avec le sol horizontal.



Exercice 4 :

On étudie le mouvement d'un skieur nautique lors d'un saut au tremplin.

1ère Phase :

Le skieur de masse 70Kg partant sans vitesse initiale du point A est tracté par un canot par l'intermédiaire d'un câble tendu, parallèle au plan d'eau.

Après un parcours de 200m le skieur atteint la vitesse de 72Km/h au point B. Le frottement de l'eau est équivalent à une force constamment opposée à la vitesse, d'intensité moyenne 2000N.

1) Quelle est l'énergie cinétique du skieur au point B ?

2) Quel est, au cours de cette phase, l'intensité moyenne de la force de traction exercée par le câble sur le skieur ?

3) Calculer la puissance moyenne du moteur du canot au cours de cette phase, si elle dure 20 S.

2eme Phase :

Le skieur lâche le câble et aborde un tremplin de longueur BC= 10m et de hauteur CH= 5m au dessus du plan d'eau. Les frottements moyens le long du tremplin sont équivalents à une force de 500N.

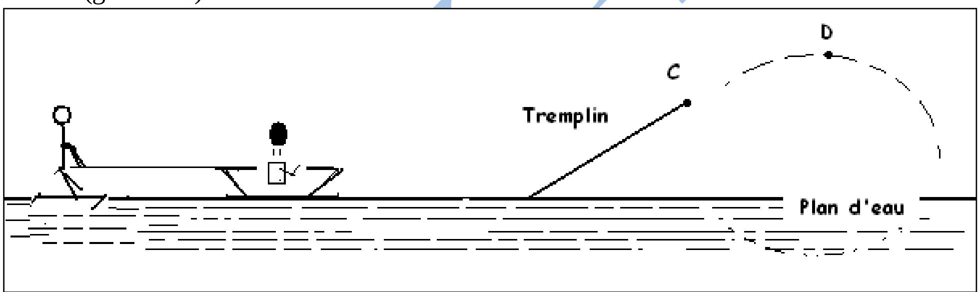
4) Calculer la vitesse du skieur au point C, sommet du tremplin.

3eme Phase :

Le skieur effectue le saut. On suppose les frottements de l'air négligeables.

5) La vitesse au sommet de la trajectoire du skieur est V=9m/s. Quelle est la hauteur du point D, sommet de sa trajectoire ?

6) Quelle est la vitesse VE du skieur lorsqu'il reprend contact avec l'eau. Indiquer le sens et la direction des vecteurs vitesse en C et D ($g=10m/s^2$)



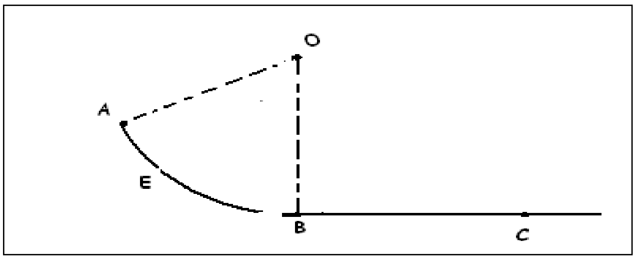
Exercice 5 :

Un cube M de masse m=1Kg assimilable à un point matériel glisse sur une piste formée de deux parties AB et BC contenues dans un même plan vertical. $\widehat{AB}$ Représente 1/6 de circonférence, de centre O, de rayon r=15m et BC une partie rectiligne de longueur l=15m.

Le cube est lancé en A avec une vitesse initiale $\overrightarrow{V_A}$ telle que $V_A = 6m/s$.

1) On néglige les frottements. Calculer la vitesse acquise au point E tel que $AOE = \dfrac{\pi}{6}$ ainsi que celle acquise au point C.

2) En fait sur le trajet ABC existent des forces de frottement assimilables à une forces unique $\vec{f}$, tangente à la trajectoire, d'intensité considérée comme constante. Sachant que le mobile arrive en C avec la vitesse 12,5 m/s, en déduire l'intensité de la force de frottement ($g=9,8m/s^2$)



Exercice 6 :

Une bille est en chute libre sans vitesse initiale.

1) Représenter la/les forces s'exerçant sur la bille. A partir du travail du poids, déterminer la vitesse v du centre d'inertie du corps en fonction de la hauteur h de chute.

- Un enfant laisse tomber sans vitesse initiale une bille de verre, de masse m=13 g, d'un balcon au $5^{ème}$ étage situé à une hauteur h=14,0 m. Calculer la vitesse de
la bille quand elle arrive au sol.

- Quelle serait la vitesse pour une bille de masse 17 g ?

2) Le centre d'inertie G d'un solide est initialement à l'altitude z_0 et on le lance en lui communiquant une vitesse verticale vers le haut v_0. La chute est libre.

- À partir du travail du poids, donner la relation exprimant la vitesse v de G en fonction de son altitude z.

- Si on néglige les forces de frottement de l'air, avec quelle vitesse doit- on lancer une bille en acier vers le haut, depuis l'altitude z_0= 0, pour que G atteigne une altitude maximale de 10 m ? De 100 m ? Réponse:1) V=16,56m/s 2) V_0=14m/s; V_0=44,27m/s

Exercice 7 :

Un parachutiste saute d'un avion volant à l'altitude H =800mà la vitesse V =3000Km/h. Il arrive au sol à la vitesse V =8m/s.

1) Quel est au cours de la chute la variation de son énergie cinétique.
Masse du parachutiste et de son équipement: M =80Kg.

2) Quel est le travail W(p) effectué par son poids pendant la descente ? En déduire la valeur du travail W(R) de la résistance de l'air R pendant le même temps. Commenter. On donne g =9,8N/Kg.

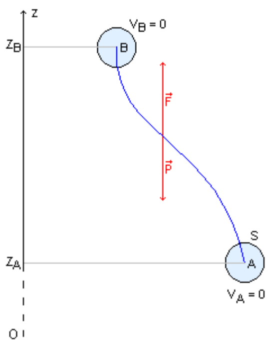
Chapitre III : L'Energie potentielle et l'Energie mécanique

I. L'Energie potentielle :

1. L'Energie potentielle pesanteur:

Exemple

Soit un objet S passant d'une position A d'altitude z_A à une position B d'altitude z_B tel que $z_A<z_B$ sous l'action d'une force $\vec{F}$. D'après le théorème de l'énergie cinétique:



$$Ec(B) - Ec(A) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{F})$$

$$Ec(B) - Ec(A) = m.g.(z_A - z_B) + W_{AB}(\vec{F})$$

$$0 - 0 = m.g.(z_A - z_B) + W_{AB}(\vec{F})$$

$$W_{AB}(\vec{F}) = - m.g.(z_A - z_B)$$

$$W_{AB}(\vec{F}) = m.g.(z_B - z_A)$$

<u>Conclusion:</u> Le travail de la force $\vec{F}$ peut être exprimé en fonction de la quantité m.g.z.

2. Définition

L'**énergie potentielle de pesanteur** est l'énergie que possède un corps du fait de sa position dans un champ de pesanteur.

On appelle énergie potentielle de pesanteur d'un solide S de masse m situé à l'altitude z la quantité.

m.g.z	E_{pp}	Energie potentielle de pesanteur en joules (J).
	m	Masse du solide en kilogrammes (kg).
	z	Altitude du solide en mètres (m).

<u>Remarques:</u>

- L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide dépend de son altitude z, c'est à dire de sa position par rapport à la Terre. Elle est due à l'interaction du solide avec la Terre.
- Par convention E_{pp}=0 pour z=0 (normalement au sol), mais il est possible de choisir le niveau de référence pour l'énergie potentielle (E_{pp}=0) à une altitude quelconque.

3. Propriétés

- L'énergie potentielle de pesanteur augmente avec l'altitude.
- Le travail du poids sur un trajet AB est égal à l'opposé de la variation d'énergie potentielle entre les points A et B, en effet:

$$\Delta E_{pp}(AB) = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) \Rightarrow \Delta E_{pp}(AB) = m.g.z_B - m.g.z_A$$
$$\Rightarrow \Delta E_{pp}(AB) = m.g.(z_B - z_A)$$
$$\Rightarrow \Delta E_{pp}(AB) = - m.g.(z_A - z_B)$$
$$\Rightarrow \Delta E_{pp}(AB) = - W_{AB}(\vec{P})$$

II. Transformations d'énergie

1. Chute libre

Soit un objet en chute libre d'un point A vers un point B. L'objet est soumis uniquement à son poids et d'après le théorème de l'énergie cinétique:

$$E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{P}) \Rightarrow E_c(B) - E_c(A) = m.g.(z_A - z_B)$$
$$\Rightarrow E_c(B) - E_c(A) = m.g.z_A - m.g.z_B$$
$$\Rightarrow E_c(B) - E_c(A) = E_{pp}(A) - E_{pp}(B)$$
$$\Rightarrow E_c(A) + E_{pp}(A) = E_c(B) + E_{pp}(B)$$

Conclusion: la somme $E_c + E_{pp}$ ($^1/_2.m.V^2 + m.g.z$) ne dépend pas de la position, elle garde toujours la même valeur.

$$\mathbf{E_c + E_{pp} = constante}$$

On dit que la somme $E_c + E_{pp}$ se conserve.

III. Énergie potentielle élastique

L'**énergie potentielle élastique** se définit comme étant l'énergie emmagasinée dans des objets élastiques (ressorts, élastiques) lorsque ces derniers sont déformés.
Pour déformer un objet élastique, on doit exercer une force sur cet objet sur une distance égale à sa déformation. C'est sous forme d'énergie potentielle élastique que cette énergie sera emmagasinée et pourra par la suite être libérée lorsque l'objet élastique sera relâché.

L'équation suivante permet de calculer l'énergie potentielle élastique.

$$E_{p_e} = {}^1/_2 \cdot k \cdot \Delta l^2$$

E_{p_e} = énergie potentielle élastique en joules (J)
k = constante de rappel du ressort (N/m)
Δl = déformation du ressort en mètres (m)
N.B.: $\Delta l = l_f - l_i$

Pour faciliter la compréhension de cette équation, on peut dire que toute déformation du ressort à partir du repos entraîne une augmentation de l'énergie potentielle élastique. C'est pourquoi on utilise le signe positif. Un relâchement représenterait donc un signe négatif.

Exemple:
Un ressort d'une longueur de 10 cm initialement au repos est allongé pour atteindre une longueur de 15 cm. Si la constante de rappel du ressort est de 2 500 N/m, quelle sera l'énergie emmagasinée par le ressort ?

$k = 2\,500\ N/m$
$l_f = 15\ cm = 0{,}15\ m$
$l_i = 10\ cm = 0{,}10\ m$
$\Delta l = +0.05\ m$
N.B.: on impose le signe "+" puisque la déformation s'est faite à partir du repos

$E_{p_e} = {}^1/_2 \cdot k \cdot \Delta l^2$
$E_{p_e} = {}^1/_2 \cdot 2\,500\ N/m \cdot (0{,}05\ m)^2$
$E_{p_e} = {}^1/_2 \cdot k \cdot \Delta l^2$
$E_{p_e} \cong 3{,}1\ J$

IV. L'Energie mécanique

L'énergie mécanique Em d'un système est une grandeur, somme de son énergie cinétique Ec et de son énergie potentielle Ep:

$$E_M(J) = E_c(j) + E_p(J)$$

L'énergie mécanique dépend du référentiel d'étude.

III. Théorème de la variation de l'Energie mécanique

La variation de l'énergie mécanique d'un solide est égale à la somme algébrique des travaux des forces extérieures et intérieures qui s'exercent sur le solide entre les deux instants considérés.

$\Delta Em = \sum W(\vec{F}\ ext) + \sum W(\vec{F}\ int)nc$

$\sum W(\vec{F}\ ext)$: somme algébrique des travaux des forces extérieures qui s'exercent sur le solide entre les deux instants considérés.

$\sum W(\vec{F}\ int)nc$: somme algébrique des travaux des forces intérieures non conservatives qui s'exercent sur le solide entre les deux instants considérés.

IV) Conservation de l'Energie mécanique :

2 CONSERVATION DE L'ENERGIE MECANIQUE D'UN SYSTEME

Définition :

Un système est conservatif s'il n'échange de l'énergie ni par travail, ni par chaleur, ni par rayonnement avec le milieu extérieur.

Dans ce cas, son cas son énergie mécanique est constante.

$$E_m = cste = E_c + E_p$$

Expression de la conservation de l'énergie mécanique:

A l'état 1 : $E_m = E_{c1} + E_{p1}$

A l'état 2 : $E_m = E_{c2} + E_{p2}$

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}$$

$$E_{c1} - E_{c2} + E_{p2} - E_{p1} = 0$$

$$\Delta E_p + \Delta E_c = 0$$

Soit:

$$\Delta E_c = -\Delta E_p$$

Donc au sein d'un même système, il peut se produire des transformations mutuelles d'énergie potentielle en énergie (ou vice-versa).

- Si on a : $\sum W(\vec{F}\ ext) + \sum W(\vec{F}\ int)nc = 0$, on aura $\Delta E = 0$ donc $E_1 = E_2$; Em est constante. Dans ce cas, l'énergie mécanique est constante : le système est dit isolé.
- Si $\sum W(\vec{F}\ int)nc \neq 0$ on aura $E_1 \neq E_2$ donc Em est non conservée.

V. Applications :

Application (1) : Une pierre de masse 2Kg est lancée verticalement vers le haut, d'un point que l'on choisit comme origine des altitudes. La vitesse initiale de la pierre est de 10m/s.

1) Calculer son énergie cinétique, son énergie potentielle et son énergie mécanique au départ du mouvement.

2) Que peut-on dire de l'énergie mécanique du projectile s'il n'y a pas de forces de freinage dues à l'air ? En déduire la valeur maximale que peut prendre son énergie potentielle ainsi que la hauteur maximale atteinte par la pierre ? On prendra g=10m/s^2

Corrigé :

1) L'énergie cinétique : $Ec_o = \frac{1}{2} M.Vo^2 = 0,5.2.10^2 = 100\,J$

L'énergie potentielle : $Ep = 0$

L'énergie mécanique : $Em_0 = Ep_0 + Ec_0 = Ec_0 = 100\,J$

2) Les forces de frottement sont nulles, le système (Terre ; pierre) est conservatif

$$Em_0 = Em_f \Leftrightarrow Ec_0 + Ep_0 = Ec_f + Ep_f \Leftrightarrow Ec_0 = Ep_f$$

$$\frac{1}{2}.M.V_o^2 = M.g.h_{\max} \Rightarrow h\max = \frac{V_o^2}{2.g} = 5m$$

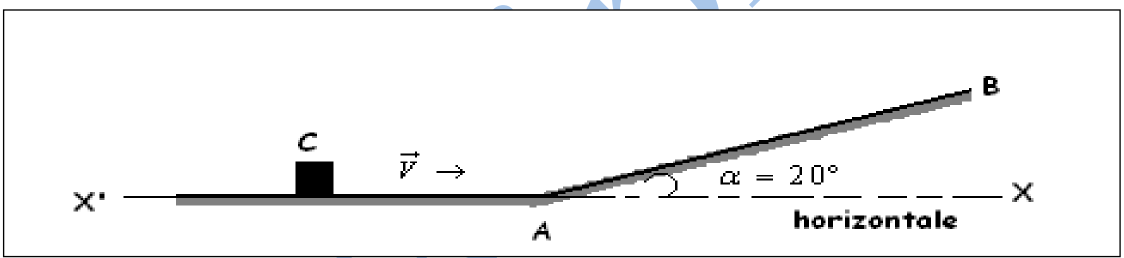
Application (2) :

Un petit cube C, de masse m=2Kg, glisse à la vitesse V=10m/S sur un plan horizontal X'X parfaitement lisse. Il aborde en A une montée AB, inclinée d'un angle 20° sur l'horizontale, le long de laquelle il se déplace en étant soumis à une force de frottement d'intensité f=1,96 N, parallèle au déplacement mais de sens opposé.

1) L'énergie potentielle du cube est nulle lorsqu'il est en contact avec le plan horizontal X'X. Calculer son énergie mécanique lorsqu'il se déplace entre X' et A.

2) Quelle distance L le cube parcourt-il le long de AB avant de faire demi-tour ? Quelle est alors la valeur de son énergie mécanique ?

3) Avec quelle vitesse le cube repasse-t-il au point A ? Quelle est sa nouvelle énergie mécanique ?



Corrigé :

1) $E_m = E_C + E_{PP}$ or $E_{PP} = 0$ donc $E_m = E_C = \frac{1}{2}.m.V_A^2$ $AN : E_m = \frac{1}{2}.2.(10)^2 = 100J$

2) $\Delta E_C = W(\vec{P}) + W(\vec{R_N}) + W(\vec{f})$ or $W(\vec{R_N}) = 0$

$$E_{Cf} - E_{CI} = -m.g.L.\sin(\alpha) - f.L \quad or \quad E_{Cf} = 0$$

$$-\frac{1}{2}.m.V_A^2 = -m.g.L.\sin(\alpha) - f.L \Rightarrow L = \frac{V_A^2}{2(g.\sin\alpha + \frac{f}{m})}$$

$$AN : L = \frac{(10)^2}{2(10.\sin 20° + \frac{1,96}{2})} = 11,4m$$

$$E_m = E_C + E_{PP} \text{ or } E_C = 0 \Rightarrow E_m = E_{PP} = m.g.L.\sin(\alpha)$$

$$AN : E_m = 2.10.11,4.\sin(20°) = 78J$$

A la descente les forces de frottement vont dissiper en valeur absolue la même énergie qu'au cours de la montée car la distance parcourue dans les deux cas est la même (à savoir L).

Au cours de la montée :

3) $\left|W\left(\vec{f}\right)\right| = |78-100| = 22J$

$\left|W(\overrightarrow{f})\right| = 22J \quad Au\ point\ A\ E_C = E_m = 78-22 = 56\,J$

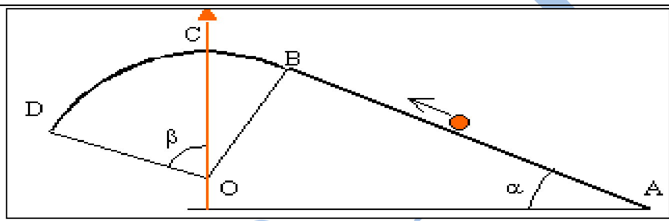
$$E_C = \frac{1}{2}.m.V^2 \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2E_C}{m}} = 7,4m/s$$

VI. Exercices :

Exercice 1 :

Une bille de masse m lancée de A à la vitesse V, se déplace vers D, sur un plan incliné au sommet arrondi. Les frottements sont négligeables. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est le point le plus bas (A).
On Donne: m=1 kg; OB=0,5 m ;AB=2 m ; α=0,3rad ; β=0,9 rad. 1 m s^{-1} =3,6 km h^{-1}.
La vitesse initiale en A : 18 km h^{-1}.

1) Calculer les altitudes de B , C et D.
2) Calculer l'énergie mécanique en A
3) Calculer la vitesse en D en km h^{-1}.
4) la vitesse initiale est divisée par deux, que deviennent
- l'énergie mécanique ?
- la vitesse en C et en D ?

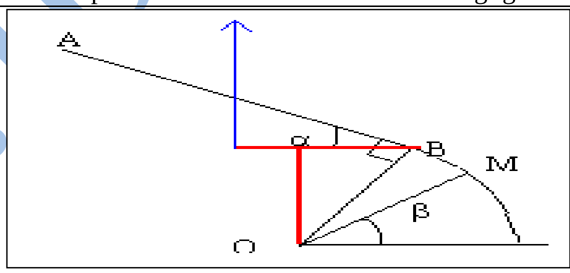


Réponses : 1) h_B=0,591m ; h_C=0,6133m ; h_D=0,424m
2) Em_A=12,5J 3)V_D=14,7Kmh^{-1} 4) Le sommet C n'est pas atteint, pas plus que D.

Exercice 2 :

Une bille de masse m, lancée de A à la vitesse V se déplace vers M. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est le point le plus bas O. Le solide décolle après être passé en M. Les frottements sont négligeables.

Données : m=1 kg; OB=0,8 m ;AB=2 m ; α =0,1 rad ; β =1,06 rad. La vitesse initiale en A : 3,6 km h^{-1}.
1 m s^{-1} =3,6 km h^{-1}.
1) Calculer les altitudes de A , B et M.
2) Calculer l'énergie mécanique en A
3) Calculer la vitesse en M en km h-1.
4) la vitesse initiale est nulle, que deviennent
- l'énergie mécanique ?
- la vitesse en B ?

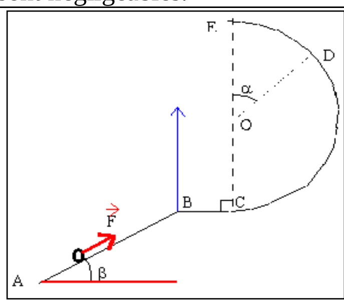


Réponses: 1) h_B = 0,796 m ; h_M = 0,698 m ; h_A = 0,9956 m ; 2) Em_A= 10,26 J 3) V_M=9,415Km h^{-1}; 4) Em_A=9,75J; V_B=1,97m/s

Exercice 3 :

Une bille de masse m lancée de A à la vitesse V, sur une glissière, se déplace vers D. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est le point A. Une force constante de valeur F=2 N agit entre A et B; l'énergie mécanique en A augmente de FxAB sur le trajet AB Les frottements sont négligeables.

Données : m=100 g; OD=1 m ;AB=2 m ; α=0,5 rad ; β=0,2 rad.
vitesse initiale en A : 7,2 km h^{-1}. 1 m s-1 =3,6 km h^{-1}.
1) Calculer les altitudes de B et D.
2) Calculer l'énergie mécanique en A et en B
3) Calculer la vitesse en C puis en D en km h-1.
4) La valeur de F est 0,5 N, que deviennent
- l'énergie mécanique ?
- la vitesse en B et D ?



Réponses :1) h_B=0,3973m ; h_D=2,275m 2) Em_A=0,2J ; Em_B=4,2J ;
3)V_C=31,43Km h^{-1} ; V_D=22,6Km h^{-1} ;4) V_B=4m/s; V_D=Imp; Em_D=1,2J

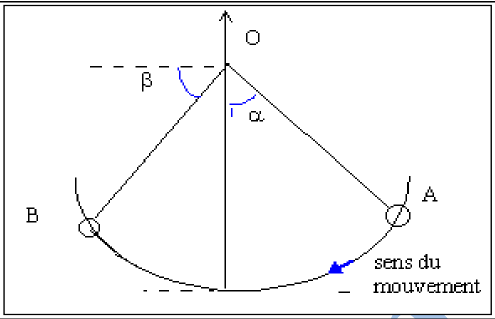
Exercice 4 :

Un pendule simple est constitué d'un fil inextensible de longueur OA=l, dont une extrémité est fixée en un point O et dont l'autre extrémité porte une petite bille sphérique de masse m.

Les frottements sont négligeables. La bille est suspendue à un fil de masse négligeable. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est le point le plus bas.

Données: m=200 g; OA=0,5 m ; α=0,6rad ; β=1 rad.
vitesse initiale en A : 7,2 km h^{-1}. 1 m s^{-1} =3,6 km h^{-1}.

1) Calculer les altitudes de A et B
2) Calculer l'énergie mécanique en A
3) Calculer la vitesse en B en km h^{-1}.
4) La masse de la bille double, que deviennent
   - l'énergie mécanique ?
   - la vitesse en B ?

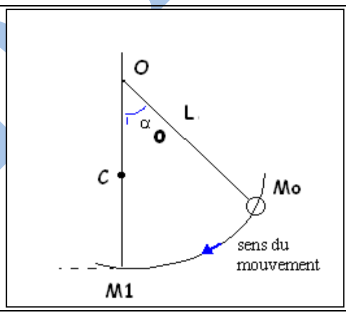


Réponses :1) h_A=0,0873m ; h_B=0,0793m 2) Em_A=0,571J ; 3)V_B=7,34Km h^{-1} ;4) Em double ;V_B indépendante de la masse

Exercice 5 :

Un pendule est constitué d'un fil inextensible et de longueur L=1m attaché à une de ses extrémités en O et portant à son autre extrémité un solide M supposé ponctuel de masse m=100g (figure). On néglige la masse du fil ainsi que tout frottement. A la verticale du point O et la distance OC=L/2, on place un clou C sur lequel le fil vient buter. Le fil est écarté de α_0=50° par rapport à la verticale et il est ensuite lâché sans vitesse initiale.

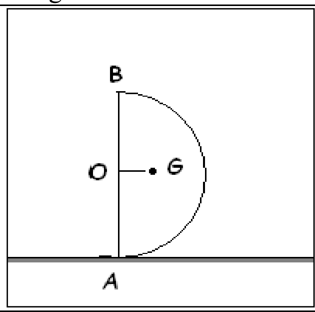
1) Déterminer la vitesse de M à son passage à la verticale de O.
2) Déterminer l'angle maximal βm que fait le fil avec la verticale lors de sa remontée à gauche.
3) Reprendre les deux mêmes questions en prenant α'=30° α''=70°.
On prendra g=9,8N/Kg



Exercice 6 :

Un demi cylindre creux de rayon R et de masse m est maintenu en contact avec le plan horizontal, comme l'indique la figure ci-dessous ; On lâche le cylindre, celui-ci roule, à l'instant t, le diamètre AB fait un angle θ avec la verticale.

1) déterminer dans cette position l'énergie potentielle de pesanteur du cylindre, en prenant pour référence la position initiale. La position du centre d'inertie est définie par : $OG = a = \dfrac{2.R}{\Pi}$
2) Déterminer l'énergie potentielle EP pour la position d'equilibre du solide



Réponses : 1) $Ep = -\dfrac{2.R}{\Pi}.M.g.\sin(\theta)$ ***2)*** $Ep = -\dfrac{2.R}{\Pi}.M.g$

DEUXIEME PARTIE: CALORIMETRIE

Chapitre VI : Travail et chaleur. Calorimétrie

I : NOTION DE QUANTITÉ DE CHALEUR

Soient deux mêmes quantités d'eau, à la même température t_1. Chauffons l'une des deux avec un thermo-plongeur : sa température augmente et nous consommons de l'énergie électrique. D'après le principe de conservation de l'énergie, cette énergie doit se retrouver quelque part, ce ne peut être que dans l'eau (si on néglige les pertes vers l'extérieur). Cette énergie emmagasinée par l'eau l'a été sous forme d'énergie thermique ou calorifique.

Mélangeons maintenant ces deux masses d'eau, l'une à la température t_1 et l'autre à la température t_2. Le mélange obtenue sera à la température t' égale à :

ou : $t_2 - t' = t' - t_1$

Si nous n'avions pas les mêmes masses d'eau, par exemple les masses m_1 et m_2, nous constatons que la température t' dépend du rapport de leurs masses :

$(m_1 + m_2)t' = (m_1t_1 + m_2t_2)$

$m_2(t_2 - t') = m_1(t' - t_1)$

Si nous avions deux liquides différents, t' dépendrait de la nature des deux liquides, en particulier pour obtenir la température t_2, il ne faudrait pas chauffer de la même façon qu'avec l'eau. Il faut faire intervenir deux coefficients c_1 et c_2 qui traduisent la capacité des corps à stocker l'énergie thermique :

$m_2c_2(t2 - t') = m_1c_1(t' - t_1)$

$m_1c_1(t' - t1) + m_2c_2(t' - t_2) = 0$

La quantité $mc(t_f - t_i)$ s'appelle la chaleur Q échangée avec l'extérieur par un corps de masse m, de chaleur massique c quand sa température passe de la valeur t_i à la valeur t_f.

Cette quantité de chaleur est égale à la variation d'énergie thermique du corps : on peut donc assimiler le produit m.c.t à la quantité d'énergie thermique stockée.
Si $t_f > t_i$, le corps s'est échauffé, il a reçu de l'énergie et Q est positive.
Si $t_f < t_i$, le corps s'est refroidi, il a donné de l'énergie et Q est négatif.

L'unité légale d'énergie thermique et de chaleur est le joule (J).
Autres unités : la calorie (cal), 1 cal = 4,1868 J ; la thermie, 1 thermie = 10^6 cal.

Exercice : Quel volume d'eau à 60 °C faut-il ajouter à 100 l d'eau à 20 °C pour obtenir un bain à 35 °C ?

II : CHALEURS MASSIQUES OU CAPACITÉS THERMIQUES MASSIQUES

La chaleur massique C d'un corps est la quantité de chaleur qu'il faut fournir (ou prendre) à l'unité de masse de ce corps pour que sa température s'élève (ou s'abaisse) de 1 K (ou 1 °C).

L'unité de chaleur massique est le $J.kg^{-1}.K^{-1}$ ou $J.kg^{-1}.°C^{-1}$.

Corps	c ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)	Corps	c ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
eau	$4,1855.10^3$	Aluminium	$0,92.10^3$

glace	2,1.103	Fer	$0,75.10^3$
eau vapeur	$1,9.10^3$	Air	1.10^3

Exercice : Quelle quantité de chaleur faut-il fournir à un vase métallique pesant 190 g pour élever sa température de 21 °C à 41 °C ? Dans l'intervalle considéré, la chaleur massique du métal est 380 $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

III : CAPACITÉ THERMIQUE. VALEUR EN EAU.

Le produit mc s'appelle la capacité thermique C d'un corps :C = mc unité de C : $J.K^{-1}$.

L'équivalent en eau (ou valeur en eau) d'un système est la masse d'eau µ échangeant la même quantité de chaleur avec l'extérieur quand il subit la même variation de température :

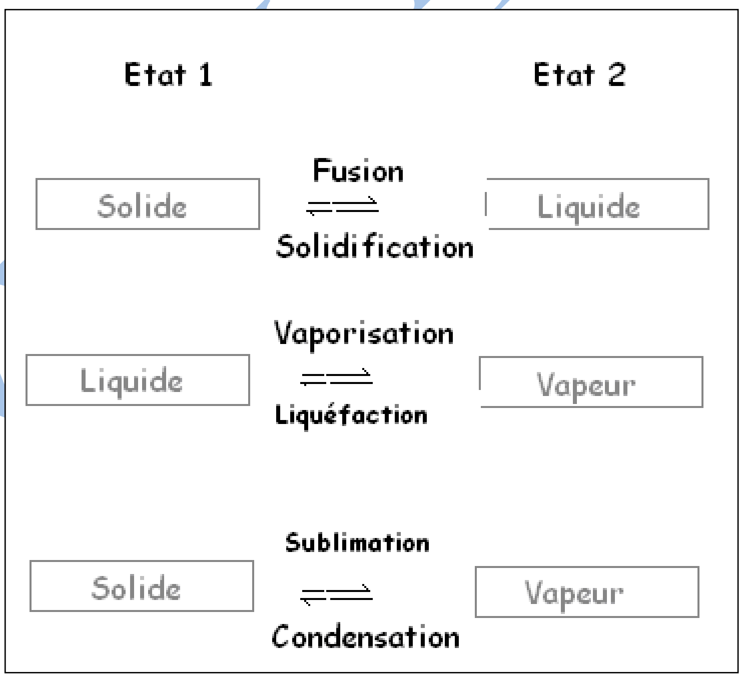
$$m.c.T = \mu.c_e.T$$

IV : CHALEUR LATENTE

Si on a notre système qui échange de la chaleur avec l'extérieur, sa température peut rester constante : la chaleur sert à autre chose, par exemple à le faire changer d'état. La chaleur mise en jeu s'appelle alors chaleur latente.

La chaleur latente est la chaleur échangée avec l'extérieur au cours d'un changement d'état du système. On la note L.   Q = m.L   L s'exprime en $J.kg^{-1}$.

L est la chaleur latente de fusion L_f ou de d'évaporation L_v, elle s'exprime en $J.Kg^{-1}$.
L dépend de la nature de la substance, de la pression (ou de la température) à laquelle se fait le changement d'état. On distingue différentes chaleurs latentes selon le changement d'état.



- Dans le sens Etat1 ⟶ Etat2 les chaleurs latentes sont positives.
- Dans le sens Etat2 ⟶ Etat1 les chaleurs latentes sont négatives.

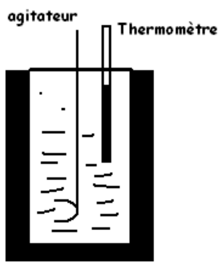
L_{fusion}=- $L_{solidification}$; $L_{vaporisation}$=- $L_{liquefaction}$; $L_{sublimation}$=- $L_{condensation}$
Q= mL_f >0 ; passage de l'état solide à l'état liquide.
Q= $-mL_f$ < 0 ; passage de l'état liquide à l'état solide.

Q= $mL_v > 0$; passage de l'état liquide à l'état gazeux.
Q= $-mL_v < 0$; passage de l'état gazeux à l'état liquide.

V : LA CALORIMÉTRIE

La calorimétrie est science qui s'occupe des mesures des quantités de chaleur.
Elle repose sur le principe de l'égalité des échanges de chaleur : lorsque deux corps n'échange que de la chaleur, la quantité de chaleur gagnée par l'un est égale à celle perdue par l'autre (en valeur absolue).

Exercice : Un bloc d'aluminium de 1000 g à 80 °C est plongé dans 1 l d'eau à 20 °C. La température finale est de 30,4 °C. Quelle est la chaleur massique de l'aluminium ?

	Pour ces mesures, on utilise un appareil : le calorimètre. C'est une enceinte que l'on peut considérer comme thermiquement isolante. Dans le calorimètre de Berthelot, l'expérience est faite à l'intérieur d'un récipient appelé vase calorimétrique qui contient le liquide calorimétrique. Ce vase est placé dans une enceinte isolante.

Méthode des mélanges :

Dans un calorimètre de Berthelot, de valeur en eau µ, on verse une masse m d'eau, le tout étant à la température T_i.
On y met alors le corps dont on veut déterminer la chaleur massique c', sa température étant Ti' et sa masse m'.
On attend que l'équilibre se fasse, c'est-à-dire que les températures des deux corps soient égales : on la notera T_f.
On aura donc :

$$- m'.c'(T_f - T_i') = (m + \mu)c_e(T_f - T_i)$$

Exercice : m = 200 g ; m' = 200 g ; T_i = 14,5 °C ; T_i' = 100 °C ; T_f = 21 °C ; capacité thermique C du calorimètre : 14 $J.K^{-1}$; Valeur en eau µ du calorimètre : 50 g.
Trouver la chaleur massique c' du cuivre.

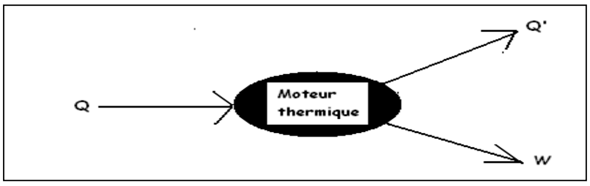
Méthode électrique :
On plonge le corps dans le liquide calorimétrique. Tout est à la température T_i.
On fait passer pendant un certain temps t un courant d'intensité I, sous une tension U. En fin d'expérience, la température de l'ensemble est égale à T_f. On a :

$$U.I.t = (m.c_e + \mu.c_e + m'.c')(T_f - T_i)$$

Un moteur thermique

Un moteur thermique est un convertisseur d'énergie qui transforme une partie de la chaleur qu'il reçoit en travail mécanique.

- **Rendement :**



$$\eta = \frac{|W|}{Q} \quad or \quad |W| = Q - |Q'| \quad donc \quad \eta = \frac{Q-|Q'|}{Q} = 1 - \frac{|Q'|}{Q}$$

Remarque : le rendement thermique étant toujours inférieur à 1, il est possible de transformer intégralement de la chaleur en travail.

VI) Applications

Application (1) : Quelle quantité de chaleur faut-il fournir pour augmenter la température de:

1) 150 l d'eau d'un ballon de chauffe eau de 20°C à 80°C ?
2) Une casserole en cuivre de masse 450g, de 20°C à 150°C ?
3) Une poutre d'acier de masse 200Kg de 24°C à 600°C ?

On donne : C(eau) =4180 $JKg^{-1}K^{-1}$; C(cuivre) =384 $JKg^{-1}K^{-1}$; C(acier) =450 $JKg^{-1}K^{-1}$

Corrigé

$$1)\ Q = m.C.\Delta\theta \quad AN: Q = 150.4180.60 \quad Q = 37620Kj$$

$$2)\ Q = m.C.\Delta\theta \quad AN: Q = 0,45.384.130 \quad Q = 22,230Kj$$

$$3)\ Q = m.C.\Delta\theta \quad AN: Q = 200.450.576 \quad Q = 51840Kj$$

Exercices corrigés

I : Un calorimètre contient 1000 g d'eau à 15 °C. On y verse 1000 g d'eau à 65,5 °C. La température du mélange étant à l'équilibre de 40 °C, calculer la capacité thermique ainsi que la valeur en eau du calorimètre.

II : Un calorimètre en laiton pesant 100 g contient 200 g d'eau et un bloc d'aluminium pesant 140 g. La température initiale étant 15 °C, on ajoute 300 g d'eau à 60 °C; la température finale est de 40 °C. Calculer la chaleur massique de l'aluminium, celle du laiton étant de 418 $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

III : Sur un bloc de glace à 0 °C, on place un morceau de fer pesant 250 g et chauffé à 80 °C. Quelle est la masse de glace qui fond ?
Chaleur de fusion de la glace : $3,3.10^5$ $J.kg^{-1}$.
Chaleur massique du fer : 460 $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

IV : Le vase calorimétrique d'un calorimètre est en aluminium, sa masse est m = 50 g.µ

a) Calculer la capacité thermique de ce vase sachant que la capacité thermique massique de l'aluminium vaut 920 $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

b) Le calorimètre contient une masse d'eau de 100 g (c_e = $4,19.10^3$ $J.kg^{-1}.K^{-1}$); le thermomètre et les accessoires du calorimètre ont une capacité thermique de 15 $J.K^{-1}$, calculer la capacité thermique totale C du calorimètre.

c) La température initiale du calorimètre contenant les 100 g d'eau est t_1 = 17,2 °C. On introduit dans le calorimètre une certaine quantité d'eau à la température t_2 = 100 °C, la température d'équilibre s'établit à t_e = 38,5 °C.

Calculer la capacité thermique C' de l'eau introduite.
En déduire la valeur de la masse d'eau.

V : On veut refroidir un verre de jus de fruit pris à 30 °C. La capacité calorifique du verre et du jus est de 550 $J.K^{-1}$. On introduit alors une certaine masse m de glace à 0 °C. On veut que la température finale de l'ensemble soit de 10 °C.

On admet qu'il n'y a échange de chaleur qu'entre la glace et le verre de jus de fruit. Calculer la masse de glace nécessaire.

VI : On place dans un calorimètre une masse M = 400 g d'eau que l'on chauffe à l'aide d'une résistance électrique alimentée par un courant d'intensité 0,85 A, sous une tension de 220 V. Il en résulte un accroissement régulier de la température de l'eau de 4,86 °C par minute.

Quelle est la capacité thermique C du calorimètre ?

Trouvez la valeur en eau du calorimètre.

VII : Un calorimètre, de capacité thermique C = 120 $J.K^{-1}$, contient 250 g d'eau et 40 g de glace en équilibre thermique.

Quelle est sa température?

On chauffe lentement l'ensemble avec une résistance électrique. La température de l'eau du calorimètre atteint 28,8 °C lorsque la quantité de chaleur dissipée par la résistance est égale à 51530 J.

En déduire la valeur de la chaleur latente de fusion de la glace.

VIII : Écrire la réaction de combustion du propane.

Quelle est l'énergie dégagée par la combustion de 10 g de propane sachant que le pouvoir calorifique d'un alcane à n atomes de carbone vaut (662×n + 260) $kJ.mol^{-1}$?

Cette combustion a servi à chauffer 3 kg d'eau, dont la température de départ vaut 15 °C. Quelle est la température finale de l'eau ?

Masse molaire atomique en $g.mol^{-1}$: C = 12 ; H = 1.

CORRECTION

I cours : $m_2c(t - t_2) = m_1c(t - t_1)$ ou $m_1t_1 + m_2t_2 = (m_1 + m_2)t$

$100*20 + m_2*60 = (100 + m_2)35$ $25m_2 = 1500$, $m_2 = 1500/25 = 300/5 = 60$; $m_2 = 60$ kg

II cours : $Q = mc(T_f - T_i) = 0{,}19*380*20$; Q = 1444 J

III cours : $m_{al}*c_{al}(T_f - T_{iAl}) + mc(T_f - T_{ie}) = 0$

$c_{Al} = mc(T_f - T_{ie})/m_{al}(T_{iAl} - T_f) = 1*4190*10{,}4/1*49{,}6$; $c_{Al} = 879\ J.kg^{-1}.K^{-1}$

IV cours : $c' = (m + \mu)c(T_f - T_i)/m'(T'_i - T_f) = 0{,}25\times4186\times6{,}5/0{,}2\times79$; $c' = 430\ J.kg^{-1}.K^{-1}$

I : L'eau ajoutée passe de $t'_i = 65{,}5$ °C à $t_f = 40$ °C ; $Q_1 = m'c(t_f - t'_i)$

Le calorimètre, les 1000 g d'eau passent de t_i à t_f : $Q_2 = (\mu + m)c(t_f - t_i)$

Comme $Q_1 + Q_2 = 0$: $m'c(t_f - t'_i) + (\mu + m)c(t_f - t_i) = 0$

$- m'c(t_f - t'_i) = (m + \mu)c(t_f - t_i)$; $25{,}5 = (1 + \mu)25$; $\mu = 25{,}5/25 - 1 = 1{,}02 - 1$; $\mu = 20$ g

$C = \mu c = 0{,}02\times4186$; $C = 83{,}7\ J.K^{-1}$

II : L'eau ajoutée passe de $t'_i = 60$ °C à $t_f = 40$ °C ; $Q_1 = m'c(t_f - t'_i)$

Le calorimètre, les 200 g d'eau et le bloc d'alu passent de t_i à t_f : $Q_2 = (m_lc_l + mc + m_{Al}c_{Al})c(t_f - t_i)$

Comme $Q_1 + Q_2 = 0$: $m'c(t_f - t'_i) + (m_lc_l + mc + m_{Al}c_{Al})c(t_f - t_i) = 0$; $- m'c(t_f - t'_i) = (m_lc_l + mc + m_{Al}c_{Al})c(t_f - t_i)$

$4180\times0{,}3\times20 = (0{,}2\times4180 + 0{,}1\times418 + 0{,}14\times c_{Al})\times25$; $25080 = (836 + 41{,}8 + 0{,}14c_{Al})\times25$

$0{,}14\times c_{Al} = 1003{,}2 - 877{,}8 = 125{,}4$; $c_{Al} = 896\ J.kg^{-1}.K^{-1}$; avec 4190, on trouve $899\ J.kg^{-1}.K^{-1}$

III : On suppose que l'eau de fonte reste à 0 °C, c'est-à-dire qu'il y a assez de glace pour qu'il en reste à la fin.

$mL = mc(t_f - t'_i)$; $m = 0{,}25\times460\times80/3{,}3.10^5 = 0{,}0279$ kg ; m = 27,9 g

IV : a) $C_1 = m_1c_1 = 50.10^3\times920$; $C_1 = 46\ J.K^{-1}$

b) $C = C_1 + C_2 + C_3 = 46 + 0{,}1\times4190 + 15$; $C = 480\ J.K^{-1}$

c) Le calorimètre, ses accessoires et les 100 g d'eau gagnent une quantité de chaleur Q_1 :

$Q_1 = C.\Delta T = 480(38{,}5 - 17{,}2) = 10224$ J

L'eau ajoutée perd une quantité de chaleur Q_2 :

$Q_2 = C'.\Delta T' = C'(38{,}5 - 100) = - C'\times61{,}5$

$Q_1 = - Q_2$ d'où $61{,}5C' = 10224$; $C' = 166\ J.K^{-1}$

$m = C'/c = 166/4190 = 0{,}0396763$ kg ; m = 40 g

S'il y a 800 J de perte, il faut les ajouter à Q_1 (on chauffe l'environnement) : $Q'_1 = 11024$ J

$C' = 11024/61{,}5 = 179{,}252\ J.K^{-1}$ $m' = 179{,}252/4190$; m' =42,8 g

V : Le jus de fruit passe de la température $T_{ji} = 30$ °C à la température $T_{jf} = 10$ °C :

$Q_1 = C.\Delta T = 550(10 - 30) = - 11\,000$ J = - 11 kJ

Une masse m de glace fond puis l'eau provenant de cette fusion passé de $T_i = 0$ °C à $T_f = 10$ °C :

$Q_2 = m.L_f + mc(T_f - T_i) = m(3{,}3.10^5 + 4{,}19.10^3\times10) = m\times37.10^4$ J = 370m kJ

$- Q_1 = Q_2$; 370m = 11 ; m = 0,0297 kg ; m = 30 g

VI : En 1 min, la résistance chauffante a donné une quantité de chaleur Q_1 :

$Q_1 = - Uit$; $Q_1 = - 220*0{,}85*60 = - 11220$ J

Pendant ce temps, le calorimètre et l'eau ont gagné une quantité de chaleur Q_2 :

$Q_2 = (Mc + C)\Delta T$; $Q_2 = (0{,}4*4{,}19 + C)4{,}86 = 8145 + 4{,}86C$

Comme $Q_1 + Q_2 = 0$: $4{,}86C = 11220 - 8145 = 3075$; $C = 3075/4{,}86$ $C = 632\ J.K^{-1}$

La valeur en eau du calorimètre : $\mu = C/c_e = 632/4190$, $\mu = 151$ g

VII : Il y a de l'eau et de la glace en équilibre thermique, la température est donc 0 °C.

Le calorimètre passe de la température de 0 °C à la température 28,8 °C, 40 g de glace fondent et 250g + 40g (l'eau de fonte) passent de 0 °C à la température 28,8 °C :

$Q_1 = (120 + 0{,}29*4190)(28{,}8 – 0) + 0{,}04*L_f$; $Q_1 = 38451 + 0{,}04*L_f$

Pour cela, la résistance a donné une quantité de chaleur $Q_2 = 51530$ J

$38451 + 0{,}04*L_f = 51530$; $L_f = (51530 – 38451)/0{,}04$; $L_f = 3{,}27.10^5$ J.kg^{-1}

VIII : $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$

10 g de propane correspondent à un nombre de moles de : n = 10/(3*12 +8) = 0,227 mol

$Q_1 = (662*3 + 260)*0{,}22727$; $Q_1 = 510$ kJ

La quantité de chaleur gagnée par l'eau est :

$Q_2 = mc(T_f – T_i) = 3\times4{,}190(T_f – 15) = 510$

$T_f = 15 + 510/12{,}57 = 15 + 40{,}57$; $T_f = 56$ °C

VII) Exercices:

Exercice 1 :

On désire obtenir un bain d'eau tiède à la température $\theta = 37$°C, d'un volume total V=250 litres, en mélangeant un volume V_1 d'eau chaude à la température initiale $\theta_1 = 70$°C et un volume V_2 d'eau froide à la température initiale $\theta_2 = =15$°C.

Déterminer V_1 et V_2 en supposant négligeables toutes les fuites thermiques lors du mélange.

Données:

Chaleur massique de l'eau : c_e=4185 J.kg^{-1}.K^{-1}

Masse volumique de l'eau : µ=1000 kg.m^{-3}.

Exercice 2 :

Un morceau de fer de masse m_1=500g est sorti d'un congélateur à la température □$_1$□-30°C.

Il est plongé dans un calorimètre, de capacité thermique négligeable, contenant une masse m_2=200g d'eau à la température initiale □$_2$□□°C

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

Données:

Chaleur massique de l'eau : c_e=4185 J.kg^{-1}.K^{-1}

Chaleur massique de la glace: c_g=2090 J.kg^{-1}.K^{-1}

Chaleur massique du fer: c_{Fe}=460 J.kg^{-1}.K^{-1}

Chaleur latente de fusion de la glace: L_f=3,34.10^5 J.kg^{-1}

Exercice 3 :

Quelle est la quantité de chaleur nécessaire pour transformer 10g de glace à -10°C en 10g d'eau à +10°C ? Lf= 335000 J/Kg

Exercice 4 :

Un calorimètre de capacité calorifique µ=150J.K^{-1} contient une masse m_1=200g d'eau à la température initiale θ_1=70°C. On y place un glaçon de masse m_2=80g sortant du congélateur à la température θ_2=-23°C.

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

Données:

Chaleur massique de l'eau : c_e=4185 J.kg^{-1}.K^{-1}

Chaleur massique de la glace: c_g=2090 J.kg^{-1}.K^{-1}

Chaleur latente de fusion de la glace: L_f=3,34.10^5 J.kg^{-1}

Exercice 5 :

Un calorimètre de capacité calorifique µ=150J.K^{-1} contient une masse m_1=200g d'eau à la température initiale θ_1=50°C. On y place un glaçon de masse m_2=160g sortant du congélateur à la température θ_2=-23°C.

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

Données:

Chaleur massique de l'eau : c_e=4185 J.kg^{-1}.K^{-1}

Chaleur massique de la glace: c_g=2090 $J.kg^{-1}.K^{-1}$
Chaleur latente de fusion de la glace: L_f=$3,34.10^5$ $J.kg^{-1}$

Exercice 6 :

1) L'énergie mécanique reçue par un dynamo est, en 1 heure, 180 KJ. Calculer sa puissance électrique sachant que, dans les conditions de fonctionnement étudiées, son rendement est de 80%

2) Ce générateur alimente un conducteur ohmique qui transforme intégralement l'énergie électrique reçue en chaleur. Quelle est la quantité de chaleur fournie en 15 minutes ?

3) On place ce conducteur ohmique dans un calorimètre supposé thermiquement isolé. Ce calorimètre, de capacité calorifique μ=50 $J.K^{-1}$, contient initialement 100g d'eau à la température ambiante, soit 20°C. On y place alors 5g de glace à -10°C.

a) Le conducteur ohmique n'est pas alimenté. Donner la composition du contenu du calorimètre une fois l'équilibre thermique atteint.

b) Le conducteur ohmique est alimenté pendant 3 minutes. Quelle est la composition du contenu du calorimètre lorsque le nouvel équilibre thermique est atteint ?

Données :

- Chaleur massique de l'eau liquide : Ce= 4,19 $Kj.Kg^{-1}.K^{-1}$
- Chaleur massique de la glace : Cg= 2,1 $Kj.Kg^{-1}.K^{-1}$
- Chaleur latente de fusion de la glace (0°) L_f= 334 $Kj.Kg^{-1}$

c) On ajoute alors dans le calorimètre un glaçon de masse 5g à la température -10°C. Déterminer la température lorsque l'équilibre thermique est atteint.

Sommaire

TROISIEME PARTIE:ELECTRICITE

I – Rappels

Revoir brièvement les expériences d'électrisation (par frottement, par contact, par influence), l'existence des deux espèces d'électricité, les actions mutuelles entre charges électriques dans le vide, les caractéristiques de la force électrostatique, l'unité de charge électrique.

II – Le champ électrostatique

1 – *Expérience*

- **Préparer :**

Un bâton en verre, un bâton en matière plastique (le corps d'un stylo bille par exemple), un chiffon bien sec, et un pendule électrostatique.

- **Manipulations :**

– Charger la boule du pendule par contact avec le bâton de matière plastique frotté : elle porte alors une charge électrique ***q***. Eloigner toutes charges du pendule et noter la position verticale du fil. Faire le bilan des forces appliquées (*poids et tension du fil*).
– Frotter l'extrémité d'un bâton de verre ou de matière plastique : elle porte une charge électrique ***Q***. Approcher ce bâton de la boule du pendule : le fil s'écarte de la verticale. Il est soumis à l'action d'une force supplémentaire $\vec{f}_e$ appelée force électrostatique. *On suppose qu'aucune autre charge électrique ne se trouve dans les environs !*
– Immobiliser le bâton chargé et déplacer le pendule autour de l'extrémité chargée du bâton fixe. Noter que la direction, le sens et l'intensité de la force $\vec{f}_e$ dépendent de la position de la boule du pendule par rapport à l'extrémité chargée du bâton. *Le fil est plus ou moins écarté de la verticale*.

2 – *Définition*

En tout point *M* de l'espace environnant la charge électrique *Q*, la charge *q* portée par le pendule est soumise à l'action d'une force électrostatique $\vec{f}_e$. On caractérise l'état électrique de cet espace en disant qu'il y règne un champ électrostatique.

En se plaçant en un point *M* de cet espace, on montre que la valeur de la force $\vec{f}_e$ varie lorsqu'on modifie la valeur de la charge ***q*** portée par la boule du pendule et que :

$$\frac{\vec{f}_e}{q} = \text{vecteur constant}$$

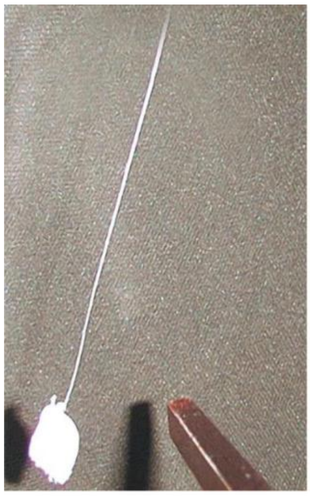
Ce vecteur défini au point *M* est le **vecteur champ électrostatique** $\vec{E}$.

La charge q n'est pas nulle, aucune autre charge ne se trouve dans les environs. A l'équilibre du pendule :

$$\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$$

Les charges q et Q sont de même signe : il y a répulsion. A l'équilibre du pendule :

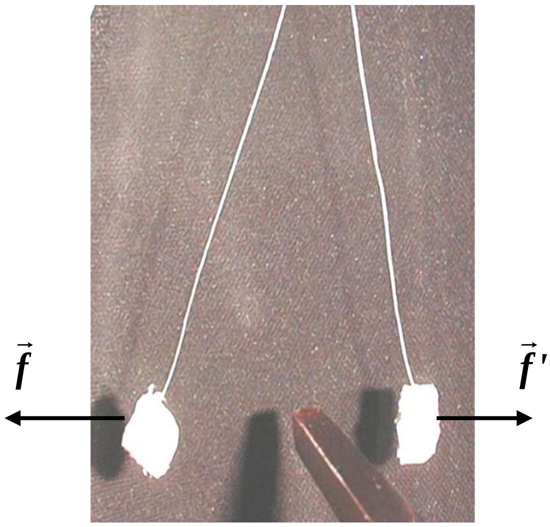
$$\vec{P} + \vec{T} + \vec{f}_e = \vec{0}$$



La force électrostatique dépend de la charge q et de la position du point M.
Sur la photo, les pendules positionnées en deux endroits distincts subissent des forces différentes.

Le champ électrostatique est créé par les seules charges portées par le bâton (charge Q*). La charge* q *portée par la boule du pendule n'est utilisée que pour mettre en évidence l'existence de* $\vec{E}$.

En conséquence, le vecteur $\vec{E}$ *en un point M n'est constant que si le bâton conserve bien sa charge totale pendant toute la durée de l'expérience.*



On place successivement des charges $q_1, q_2, \ldots, q_i$ <u>en un même point M</u> proche de Q (charge de valeur constante).
On mesure les forces électrostatiques appliquées : $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \ldots, \vec{f}_i$.

On constate que : $\dfrac{\vec{f}_1}{q_1} = \dfrac{\vec{f}_2}{q_2} = \ldots = \dfrac{\vec{f}_i}{q_i} = \vec{E}$ vecteur champ électrostatique en M.

3 – *Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle*

On place en un point O de l'espace une charge électrique $\boldsymbol{Q}$ supposée ponctuelle (*aucune autre charge n'est présente aux environs de* $\boldsymbol{Q}$). Cette charge donne naissance à un champ électrostatique dans l'espace qui l'entoure. En tout point M de cet espace existe un vecteur champ électrostatique $\vec{E}$.
Une petite charge électrique $\boldsymbol{q}$ (aussi appelée **charge d'essai**) placée en un point M, à une distance $\boldsymbol{r}$ de $\boldsymbol{Q}$, est soumise à une force électrostatique $\vec{f}_e$:

$$\vec{f}_e = q\ \vec{E}$$

Soit un vecteur unitaire $\vec{u}$ de même sens que $\overline{OM}$. D'après la loi de Coulomb (prog. de 4[e]) :

$$\vec{f}_e = 9.10^9\ (q.Q\ /\ r^2)\ \vec{u}$$

D'autre part : $\vec{f}_e = q\ \vec{E}$

On déduit :

$$\vec{E} = 9.10^9\ (Q\ /\ r^2)\ \vec{u}$$

si $Q > 0$, $\vec{E}$ et $\vec{u}$ sont de même sens

si $Q < 0$, $\vec{E}$ et $\vec{u}$ sont de sens opposés.

Remarque : on généralisera en donnant l'expression du champ électrostatique créé <u>en un point M</u> par $\boldsymbol{n}$ charges ponctuelles Q_1, Q_2, …, Q_n :

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots + \vec{E}_n\ .$$

III – LES LIGNES DE CHAMP

On admettra :

> **Une ligne de champ électrostatique est une ligne telle qu'en chacun de ses points le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ lui soit tangent. L'ensemble des lignes de champ forment le spectre du champ électrostatique.**

Comme en tout point M ne peut exister qu'un seul vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ *, les lignes de champ ne peuvent donc pas se croiser.* Les lignes de champ sont orientées dans le sens du vecteur $\vec{E}$.

IV – Le champ électrostatique uniforme

1 – *Expérience*

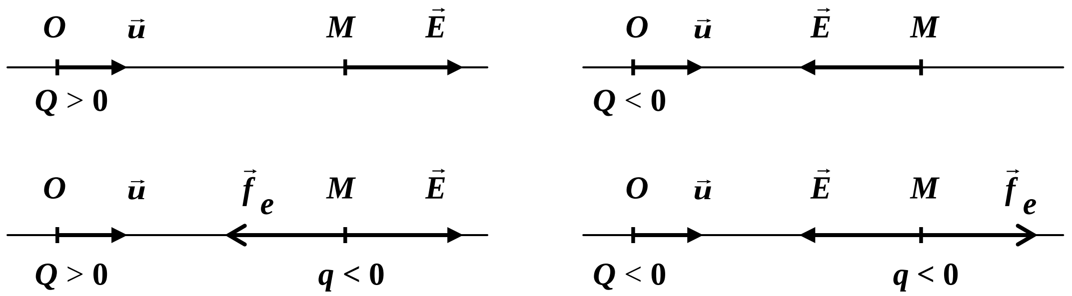
- **Préparer :**

Une coupelle (utilisée en biologie), de l'huile de paraffine (disponible en pharmacie) ou de l'huile végétale, deux armatures (ou électrodes plates) sur lesquelles sont fixés des fils de connexion, une machine électrostatique, des particules desséchées d'origine végétale (feuilles de *filao* découpées en petits morceaux, graines d'herbe, …).

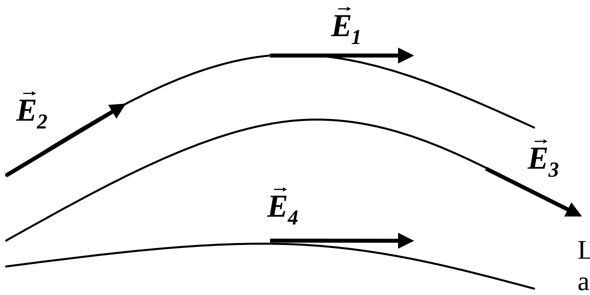
- **Manipulations :**

– Fixer les deux armatures parallèlement l'une à l'autre à l'intérieur de la coupelle et les relier à la machine électrostatique. Verser l'équivalent de 4 cuillerées à soupe d'huile dans la coupelle. Répandre une petite quantité de particules desséchées à la surface de l'huile.
– Actionner la machine électrostatique : les particules s'orientent et tracent des lignes (*presque*) parallèles dans l'espace situé entre les deux électrodes. Noter que ces lignes sont perpendiculaires aux armatures.

Une charge $\boldsymbol{Q}$ est placée en un point $\boldsymbol{O}$ de l'espace. Elle crée dans l'espace environnant un champ électrostatique. En chaque point $\boldsymbol{M}$ de ce champ existe un vecteur champ électrostatique dont le sens dépend du signe de $\boldsymbol{Q}$.



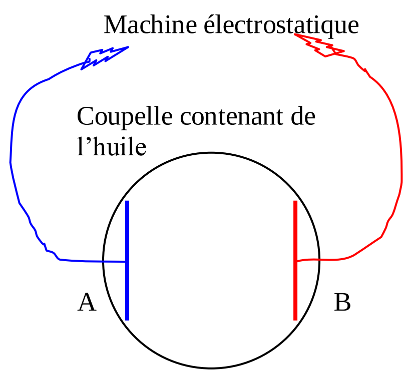
Lignes de champ et vecteurs champ électrostatique en quelques points de l'espace champ quelconque :

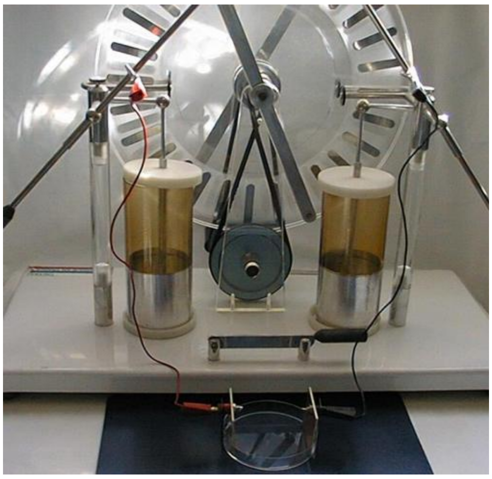


Les vecteurs $\vec{E}$ sont tangents aux lignes de champ.

Montage utilisant la machine électrostatique. Les deux plaques dans la coupelle sont reliées aux deux bras de la machine par des fils de connexion et des pinces crocodiles.

Schéma du montage :





2 – *Définition*

On dit que le champ électrostatique est uniforme, dans une région de l'espace, si le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ conserve la même direction, le même sens et la même intensité en tout point de cet espace.

3 – *Lignes de champ*

Dans le cas particulier d'un champ électrostatique uniforme, les lignes de champ sont des droites parallèles. Elles ont même direction et même sens que le vecteur $\vec{E}$.

Les lignes de champ sont matérialisées par les orientations données par les particules d'origine végétale.

Remarques :

L'ensemble des deux armatures utilisées comme ci-dessus constitue un **condensateur plan**.

Le champ électrostatique uniforme est fréquemment utilisé pour mettre en mouvement des particules chargées, par exemple les électrons dans les oscilloscopes.

Pour bien montrer les lignes de champ à toute une classe, il faudrait placer la coupelle sur un rétroprojecteur (*ne pas renverser l'huile sur la vitre*).

V – LE TRAVAIL D'UNE FORCE ELECTRIQUE DANS UN CHAMP ELECTROSTATIQUE UNIFORME

1 – *Rappel de la notion de travail*

On considère une force constante $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace **linéairement** d'un point A vers un point B. Par définition, le travail de cette force $\vec{F}$ est donné par le produit scalaire :

$$W = \vec{F}.\vec{AB}$$

Si α est l'angle entre les deux vecteurs $\vec{F}$ et $\vec{AB}$, alors :

$$W = F.AB.\cos\alpha$$

Si W > 0, le travail est moteur

$W < 0$, le travail est résistant.

H désignant la projection de B sur la droite de même direction que $\vec{F}$ et passant par A, on peut remplacer $AB.\cos\alpha$ par $\overline{AH}$:

$$W = \overline{F}.\overline{AH}$$

2 – *Problème posé*

Une charge électrique q, supposée ponctuelle, placée dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ est soumise à l'action de la force électrostatique $\vec{f}_e$. Le point d'application de cette force se déplace d'un point A vers un point B en suivant un **trajet quelconque**. Quel est le travail de cette force au cours de ce déplacement ?

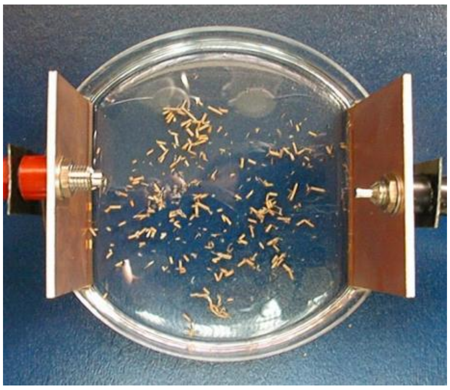
3 – *Travail de $\vec{f}_e$ pour un trajet AB*

On commence par décomposer le trajet quelconque AB en de petits trajets suffisamment petits pour être assimilés à des segments de droite.

On calcule ensuite le travail élémentaire $\boldsymbol{dW}$ pour chacun des petits trajets (*en appliquant le rappel ci-dessus*) puis il ne reste plus qu'à faire la somme des travaux élémentaires sur tout le trajet AB.

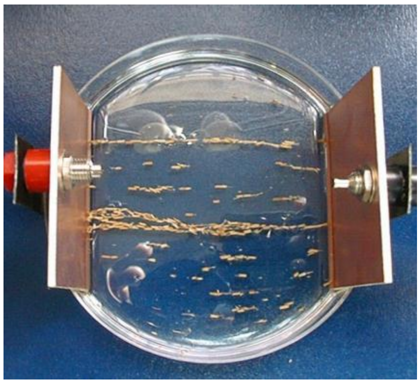
Positions des particules dans la coupelle en l'absence de champ électrostatique :

$$\vec{E} = \vec{0}$$



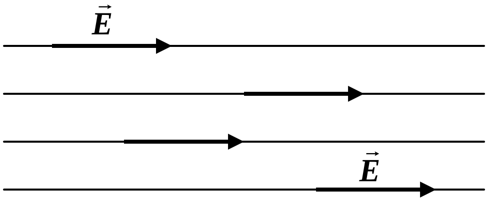
Positions des particules dans la coupelle en présence d'un champ électrostatique entre les deux plaques verticales :

$$\vec{E} \neq \vec{0}$$

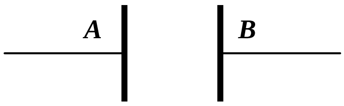


Sur ces deux photos, les particules sont des feuilles de filao ; le liquide utilisé est de l'huile d'arachide (*alimentaire*).

Dans un champ électrostatique uniforme, les lignes de champ sont des droites parallèles :

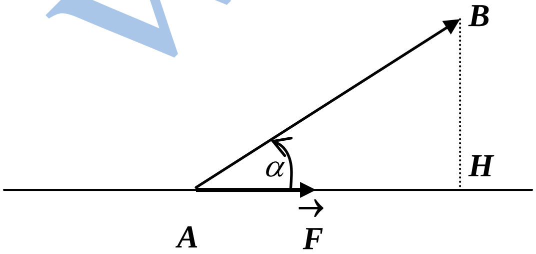


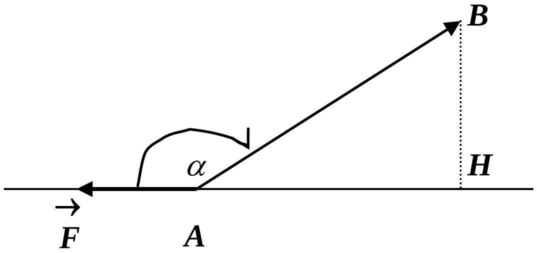
Un champ électrostatique uniforme est couramment obtenu en utilisant un ensemble de deux plaques parallèles entre lesquelles on applique une tension constante. Cet ensemble constitue un **condensateur plan** de symbole :



Travail d'une force constante $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace linéairement de A vers B :

$$W = \vec{F}.\vec{AB} \quad \text{ou} \quad W = F.AB.\cos\alpha \quad \text{ou} \quad W = \overline{F}.\overline{AH}$$





Travail moteur : $W > 0$ **Travail résistant : $W < 0$**

On arrive alors au résultat suivant :

> **Le travail de la force électrostatique $\vec{f}_e$ dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ est indépendant du chemin suivi. Il ne dépend que des points de départ *A* et d'arrivée *B*.**

On obtient la relation :

$$W = q\,E.AH$$

Remarque : Ce résultat est à comparer au travail du poids d'un corps (étudié en mécanique : page 12).

VI – LA DIFFERENCE DE POTENTIEL

1 – *Définition*

On se place dans la cas d'un champ électrostatique uniforme.
On oriente l'axe ***Ox***, passant par *A*, dans le sens de $\vec{E}$: $\quad AH = OH - OA = x_H - x_A$

La formule donnant le travail de la force $\vec{f}_e$ dans un champ électrostatique uniforme peut s'écrire sous la forme :

$$W = q\,E\,(OH - OA)$$

ou encore $\quad W = q\,E\,(x_H - x_A) \quad = -q\,E\,x_A - (-q\,E\,x_H)$

En représentant $(-\ E\,x) + k$ par une nouvelle grandeur ***V***, on obtient pour le travail ***W*** :

$$W = q\,(V_A - V_H)$$

*Pour l'instant la présence de la constante **k** n'est pas gênant dans la mesure où le travail se présente sous la forme d'une différence qui élimine cette constante.*

Par définition, V_A est le potentiel électrique au point *A* et V_H le potentiel électrique au point *H*.

Le potentiel électrique en un point est défini à une constante arbitraire près (constante ***k***).

2 – *Tension électrique*

La différence $V_A - V_H$ représente la différence de potentiel (ou ***d.d.p.***) entre les deux points *A* et *H*.
On admettra :

> **La différence de potentiel entre deux points *A* et *B*, soit $V_A - V_B$, est identique à la tension électrique U_{AB} entre ces deux mêmes points.**

L'égalité $V_A - V_B = U_{AB}$ est déjà aperçue dans le programme de 4[e].

L'unité de potentiel électrique est le **volt** (**V**).
Dans le cas d'un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ et d'un déplacement entre deux points *A* et *B* situés sur une direction parallèle à $\vec{E}$, on obtient :

$$W = q\ \vec{E}.\vec{AB}$$

et $\quad W = q\,V_A - q\,V_B = q\,(V_A - V_B) = q\,U_{AB}$

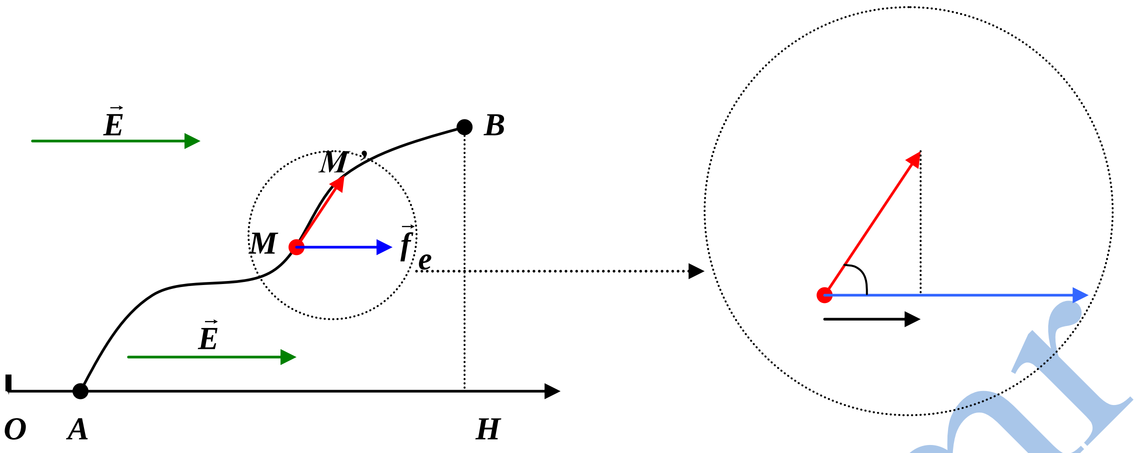
On déduit :

$$V_A - V_B = U_{AB} = \overline{E}.\overline{AB}$$

Le travail élémentaire de $\vec{f}_e$ pour le petit déplacement ***MM'*** linéaire :

M'

La charge q se déplace de A vers B suivant un trajet quelconque :

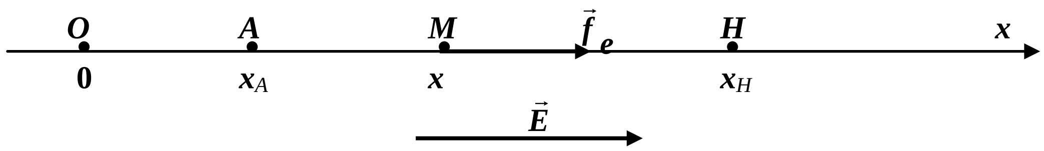


Pour tout le trajet AB : $W = \sum dW = \overline{f_e} \cdot \sum \overline{dx}$

$$W = \overline{f_e} \cdot \overline{AH} = q\,\overline{E} \cdot \overline{AH}$$

Travail de $\vec{f}_e$ au cours du déplacement de q de A vers H :

$$W = q\,(V_A - V_H)$$



On définit le potentiel en M par : $V = -E\,x + k$

On déduit : $V_A = -E\,x_A + k$

$V_H = -E\,x_H + k$

La constante k *a même unité que* V (en volt).

3 – Relation entre E et U_{AB}

Le vecteur $\vec{E}$ est toujours dirigé du point où le potentiel est élevé vers le point où le potentiel est plus faible.

Le vecteur champ électrostatique est toujours dirigé dans le sens des potentiels décroissants.

Expérience :

- **Préparer :**

Une coupelle, deux électrodes plates, un peu d'huile (ou d'eau), un multimètre en fonction voltmètre (calibre 10V ou 20V) avec ses cordons, un générateur (réglé sur 6V) ou une pile plate, des fils de connexion, une feuille de papier millimétré (ou du papier quadrillé).

- **Manipulation :**

- Faire le montage proposé par le schéma. Pour chaque position ***M*** de la pointe (reliée à la borne – du voltmètre) dans la coupelle, relever la valeur de la tension ***U*** et la distance entre l'électrode ***A*** (reliée à la borne + du voltmètre) et la pointe ***M*** . *La lecture de cette distance se fait à l'aide du papier millimétré placé sous la coupelle transparente*.
- Déplacer la pointe sur des axes parallèles aux plaques et noter les valeurs de la tension.
- Reporter ces valeurs sur un tableau.
- Déduire la valeur de ***E*** .

- **Conclusions :**

- $E = \dfrac{U_{AM}}{AM}$ = constante entre les deux plaques : **champ électrostatique uniforme**.
- Les **équipotentielles** sont des droites parallèles aux plaques et perpendiculaires à $\vec{E}$.

Remarques :

- Dans le cas d'un champ électrostatique **non uniforme**, on montre que **le travail de** $\vec{f}_e$ **est encore indépendant du chemin suivi. Il ne dépend que des positions des points *A* et *B* : $W = q(V_A - V_B)$.**
- Le potentiel électrique ***V*** en un point n'est pas calculable à cause de la présence de la constante ***k*** de valeur inconnue (en volt). Mais on sait déjà que ce n'est pas un problème dans la mesure où on ne fait intervenir que des différences entre deux points.
- La différence de potentiel (ou la tension) est mesurable à l'aide d'un ***voltmètre*** (ou d'un ***multimètre*** en fonction voltmètre).

VII – L'ENERGIE POTENTIELLE ELECTRIQUE

En mécanique, le poids d'un corps de masse ***m*** qui passe d'une altitude z_1 à une altitude z_2 fournit un travail ***W*** qui peut s'écrire sous la forme (*dans un champ de pesanteur uniforme*) :

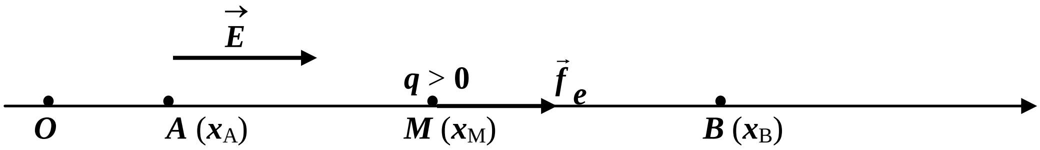
$$W = m\,g\,(z_1 - z_2) = m\,g\,h$$

On a alors posé :

$E_p = m\,g\,z + K$ **:** énergie potentielle de la masse ***m*** à l'altitude ***z*** dans le champ de pesanteur uniforme.
K désigne une constante (*valeur inconnue*).

*Remarque : la constante **K** est souvent remplacée par E_{Po}*

On considère le cas d'un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$. La charge q se déplace de A vers B suivant une trajectoire rectiligne de même direction que $\vec{E}$.



Dans ces conditions : $\quad W = q\,\vec{E}\,.\,\vec{AB} = q\,(V_A - V_B)$

ou $\quad W = q\,\overline{E}\,.\,\overline{AB} = q\,U_{AB}$

On déduit : $\quad U_{AB} = \overline{E}\,.\,\overline{AB}$ $\quad$ ou $\quad \overline{E} = \dfrac{U_{AB}}{\overline{AB}}$ **: unité V.m^{-1}**

Si $V_A - V_B > 0$ ou $V_A > V_B$, $\vec{E}\,.\,\vec{AB} > 0$, alors $\vec{E}$ et $\vec{AB}$ sont de même sens. Le sens du vecteur $\vec{E}$ va donc de A vers B.

Si $V_A - V_B < 0$ ou $V_A < V_B$, $\vec{E}\,.\,\vec{AB} < 0$, alors $\vec{E}$ et $\vec{AB}$ sont de sens opposés. Le sens du vecteur $\vec{E}$ va donc de B vers A.

Mesure de la **tension entre *A* et *M*** (situé entre les deux plaques parallèles ***A*** et ***B***).

Sur cette photo, ***M*** est à 4,4 cm de ***A*** :

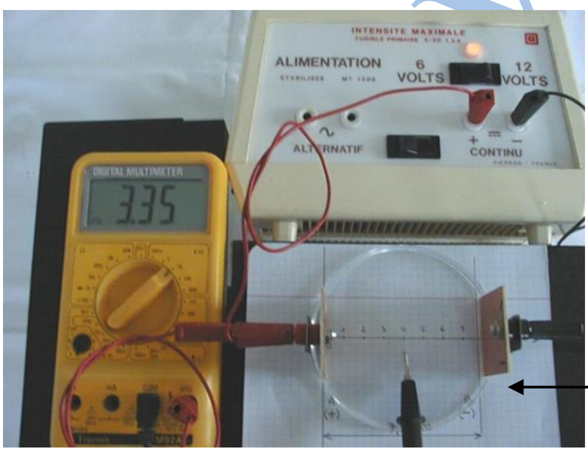
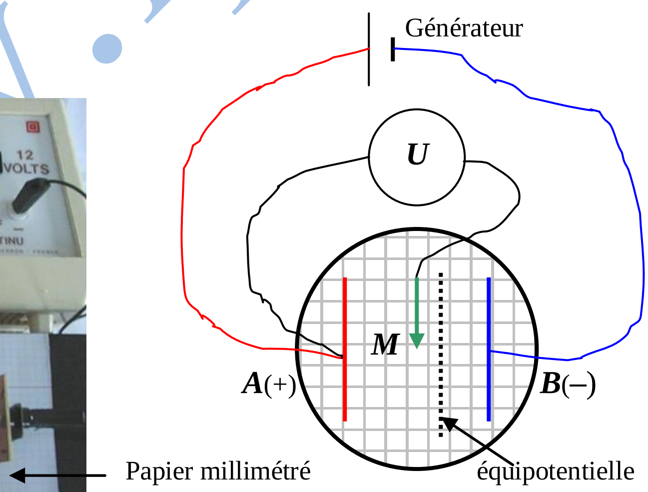


Schéma du montage :



Résultats des mesures :

On trouve :

***E* ≈ 77 V.m^{-1}**

Distance AM (cm)	2	3	4	4,4	5	6	7
Tension U_{AM} (V)	1,55	2,35	3	3,35	3,80	4, 60	5,35
Valeur de E (V.m^{-1})	78	78	75	77	76	77	77

De la même façon, on peut dire que l'énergie potentielle de la charge électrique $\boldsymbol{q}$, lorsqu'elle se trouve en un point où la valeur du potentiel électrique est $\boldsymbol{V}$, a pour valeur :

$$E_p = q\,V + k$$

ou

$$E_P = -\,q\,E\,x + k$$

: énergie potentielle **électrostatique** de la charge $\boldsymbol{q}$ au point où le potentiel électrique est $\boldsymbol{V}$.
k désigne une constante (*valeur inconnue*).

Remarque : la constante k ici est différente de la constante ***k*** *de la page 11 !*

Le travail de la force électrostatique $\vec{f}_e$ se présente sous la forme :

$$W = q\,V_A - q\,V_B = (q\,V_A + k) - (q\,V_B + k)$$

ou

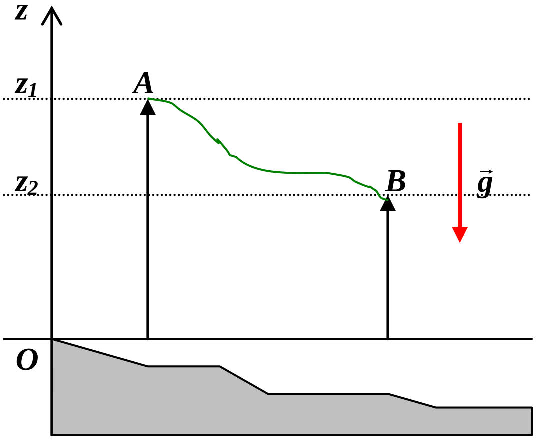
$$W = E_{pA} - E_{pB}$$

Le travail de la force électrostatique appliquée à la charge *q*, lorsqu'elle se déplace entre les deux points *A* et *B* dans un champ électrostatique uniforme, correspond à la variation de l'énergie potentielle électrostatique entre ces deux points.

Unité de $\boldsymbol{E_p}$: joule (**J**)
Unité de $\boldsymbol{q}$: coulomb (**C**)
Unité de $\boldsymbol{V}$: volt (**V**).

Attention : *Ne pas confondre $\vec{E}$ vecteur champ électrostatique*
et E_p énergie potentielle électrostatique

Energie potentielle de pesanteur :



La masse $\boldsymbol{m}$ descend de $\boldsymbol{A}$ en $\boldsymbol{B}$ dans un champ de pesanteur terrestre uniforme.

Le travail du poids est :

$$W = m\,g\,(z_1 - z_2)$$

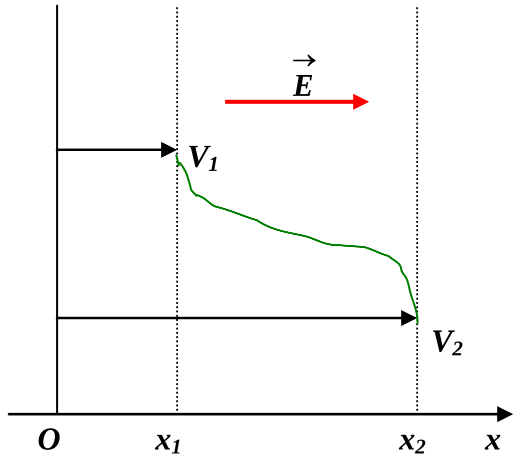
L'énergie potentielle de $\boldsymbol{m}$ à l'altitude $\boldsymbol{z}$ dans le champ de pesanteur défini par $\boldsymbol{g}$ est :

$$E_p = m\,g\,z + E_{Po}$$

E_p et E_{Po} s'exprime en joule (**J**).

Le choix de l'origine $\boldsymbol{O}$ des espaces est arbitraire. Souvent on choisit $z_O = 0$ au niveau du sol (ou de la mer).

Energie potentielle électrostatique :



La charge $\boldsymbol{q}$ se déplace de $\boldsymbol{A}$ (où le potentiel est V_1) en $\boldsymbol{B}$ (où le potentiel est V_2) dans un champ électrostatique uniforme.

Le travail de la force électrostatique est :

$$W = q\,E\,(x_2 - x_1) = q\,(V_1 - V_2)$$

L'énergie potentielle de $\boldsymbol{q}$ en un point $\boldsymbol{M}$ dans le champ électrique défini par $\boldsymbol{E}$ est :

$$E_p = -\,q\,E\,x + k$$

$$E_p = q\,V + k$$

E_p et k s'exprime en joule (**J**).

Le choix de l'origine $\boldsymbol{O}$ des espaces est arbitraire.

Remarques :

- Alors que la masse $\boldsymbol{m}$ est toujours positive, la charge $\boldsymbol{q}$ peut être positive ou négative.
- Parfois on utilise comme unité d'énergie l'**électron-volt** (**eV**).
  L'électron-volt est l'énergie mise en jeu lorsqu'un électron se déplace entre deux points *A* et *B* tels que U_{AB} = 1 volt.

$$\mathbf{1\ eV = 1{,}6.10^{-19}\ J}$$

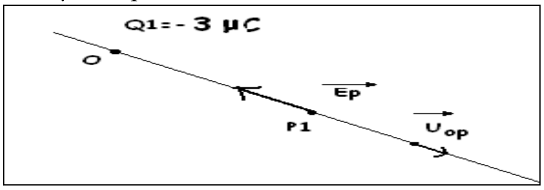
Fin du chapitre NOTION DE CHAMP ELECTRIQUE

II) Applications :

<u>Application (1) :</u>

Quelles sont les caractéristiques du champ électrostatique crée

1) par une charge ponctuelle de valeur Q_1=-3 µC au point P_1 situé à 2cm ?
2) par une charge ponctuelle de valeur Q_2=3 µC au point P_1 situé à 2cm ?
3) par la charge ponctuelle de valeur Q_1=-3 µC au point P_3 situé à 1cm ?



Corrigé :

1) soit O le point où se trouve placée la charge de valeur Q_1= -3µC. Par définition, le champ électrostatique qui existe en P_1 est caractérisé par le vecteur

$$\vec{E}_{p1} = K.\frac{Q_1}{OP_1^2}.\vec{U}op_1$$

Le champ électrostatique $\vec{E}_{p1}$ a pour direction la droite OP_1 pour sens l'opposé de celui $\vec{U}op_1$, car Q_1 est négative, et pour intensité

$$Ep_1 = K.\frac{|Q_1|}{OP_1^2} = 6{,}8.10^7\ N/C$$

<u>Application (2) :</u>

Deux plaques métalliques P_1 et P_2 parallèles et verticales, sont reliées aux pôles d'une machine électrostatique. La distance d entre les deux plaques P_1 et P_2 est d= 10cm ; la différence de potentiel entre P_1 et P_2 est V_{P1}- V_{P2}= 500V.

1) Préciser quelle plaque est reliée au pôle positif de la machine ; caractériser le champ électrique $\vec{E}$ entre les plaques.
2) On place entre P_1 et P_2 un pendule électrique OA dont la petite boule A, de masse m=2g, a été chargée par contact. On assimile la charge portée par la boule à une charge ponctuelle. Sachant sue le pendule dévie d'un angle α=8° par rapport à la verticale du coté de la plaque P1, déterminer le signe et la valeur de la charge QA portée par la boule ; g=10N/Kg

<u>Corrigé :</u>

1) Le champ électrostatique crée entre les plaques P_1 et P_2 est uniforme, le vecteur-champ $\vec{E}$ est donc un vecteur constant, de direction perpendiculaire au plan des plaques. Le potentiel de la plaque P_1 étant supérieur à celui de la plaque P_2. $\vec{E}$ est dirigé de P_1 vers P_2, donc la plaque P1 est reliée au pôle positif de la machine électrostatique. On peut écrire : $E = \dfrac{Vp_1 - Vp_2}{d}$ $\quad AN : E = 5.10^3 V/m$

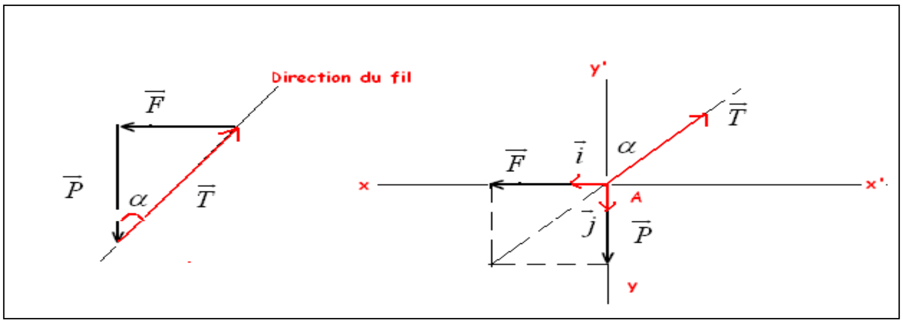
2) On étudie le système formé par la boule A. Les forces extérieures appliquées à A sont :

- son poids $\vec{P}$, de direction verticale, dirigé vers le bas, d'intensité P = m.g connue ;
- la tension du fil, $\vec{T}$, de direction oblique (angle α avec la verticale) ; $\vec{T}$ est dirigée vers le haut, son intensité T est inconnue ;
- une force électrostatique $\vec{F}$ telle que $\vec{F} = q.\vec{E}$ de direction horizontale ; le pendule dévie vers P_1, donc $\vec{F}$ est de sens opposé à $\vec{E}$, par conséquent la charge électrique q a une valeur négative.

L'intensité F=q.E a une valeur inconnue.

Quand la boule A est en équilibre, les supports des trois vecteurs-forces sont coplanaires et concourants. Les vecteurs-forces vérifient la relation vectorielle : $\vec{P} + \vec{F} + \vec{T} = \vec{0}$

Qui traduit l'équilibre mécanique de A



La construction vectorielle montre que :

$$\frac{F}{P} = \tan(\alpha), \quad soit \quad F = m.g.\tan(\alpha) = |q|.E \Rightarrow$$

$$|q| = \frac{m.g.\tan(\alpha)}{E} \quad AN : |q| = 5,6.10^{-7}\,C \quad soit \quad q = -5,6.10^{-7}\,C$$

III) Exercices :

<u>Exercice 1</u> :

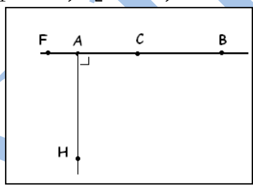
On considère une région de l'espace où règne un champ électrostatique que l'on assimile à celui crée par deux charges ponctuelles de valeurs positives q_1 et q_2 placées aux points A et B distants de AB=d. définissez le champ électrostatique par son vecteur- champ associé $\vec{E}$, en différents points.

1) $\overrightarrow{E_C}$ au point C, à la distance d_1 de A.

2) $\overrightarrow{E_F}$ au point F, à la distance d_2 de A.

3) $\overrightarrow{E_H}$ au point H, tel que AH=d.

Application numérique : q_1=2µC; q_2=3µC; d_1=4cm; d_2=2cm; d=10cm



<u>Exercice 2</u> :

Soit un losange ABCD de coté a=10cm ; on appelle O le point de concours des diagonales AC et BD et α l'angle de sommet A (cotés AD et AB) ;α=60°.

Définissez le vecteur champ électrostatique en O si les valeurs des charges sont : q_A=1µC ; q_B=-2µC ; q_C=-1µC ; q_D=-1µC.

Les charges ponctuelles correspondantes sont placées aux sommets A, B, C ,D de ce losange.

<u>Exercice 3</u> :

On considère une région de l'espace où règne un champ électrostatique que l'on assimile à celui créé par deux charges ponctuelles de valeurs négatives, notées q_1 et q_2, placées en A et en B. On pose AB=a

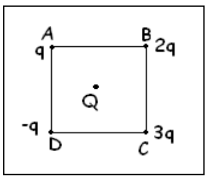
1) Trouver la position du point C, situé entre A et B, ou une charge de valeur q_3 est soumise à une force électrostatique d'intensité nulle.

Application numérique : a=20cm ; q_1=-1µC ; q_2=-3µC ; q_3=-3µC ;

2) Quelles seraient les distances AC' si q_3=+3µC ? ;AC'' si q_3=-5µC ?

<u>Exercice 4</u> :

Aux sommets A, B, C et D d'un carré de côté a=50cm sont placées les charges q, 2q, 3q et –q avec q=10µC.
Déterminer les caractéristiques de la force subie par une charge Q=-1µC, placée au centre du carré.



CHAPITRE II : PUISSANCE ELECTRIQUE DANS UNE PORTION DE CIRCUIT

Dans tout ce chapitre on se place en régime permanent.

I – Energie électrique mise en jeu dans un dipôle passif

1 – Energie reçue par un dipôle passif

On considère le cas d'un dipôle passif branché entre deux bornes A et B dans un circuit électrique.
Si $U_{AB} > 0$, un courant I_{AB} circule de A vers B à travers le dipôle :
$I_{AB} > 0$ (voir programme de 4ᵉ)

Dans un dipôle passif, le courant circule dans le sens des potentiels décroissants.

Pendant une durée de temps t, le dipôle est traversé par une charge électrique totale q. Si les porteurs de charge sont des électrons, alors :

$q = n\,e$ avec $e = 1{,}6.10^{-19}\ C$, charge élémentaire.

n désigne le nombre d'électrons qui, se dirigeant de B vers A, traversent le conducteur pendant la durée t.

On montre que :

$q = I_{AB}\,t$ (programme de 4ᵉ)

Le travail des forces électrostatiques pour amener la charge q de A en B est :

$$W = q\,(V_A - V_B) = q\,U_{AB}$$

W représente l'énergie reçue par le dipôle ou l'énergie fournie par le circuit au dipôle.

On peut aussi écrire :

$$W = U_{AB}\,I_{AB}\,t$$

Pour simplifier, on pose : $U_{AB} = U$ et $I_{AB} = I$

d'où

$$W = UIt$$

L'unité d'énergie est le joule (**J**).

2 – Puissance électrique reçue par un dipôle passif

Par définition : $P = \dfrac{W}{t}$

La puissance électrique reçue par un dipôle représente l'énergie fournie par le circuit au dipôle pendant <u>une seconde</u>.

$$P = \frac{UIt}{t}$$

$$P = UI$$

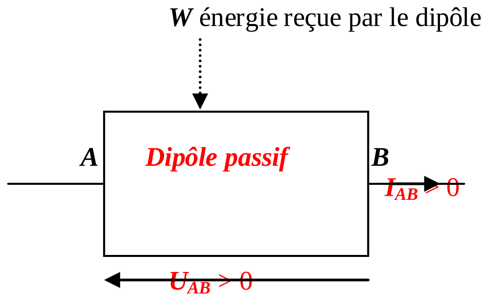
P en watts (**W**)
U en volts (**V**)
I en ampères (**A**).

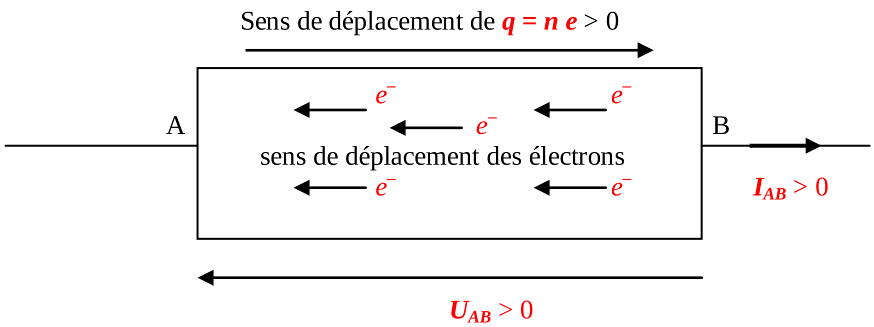
Remarques : L'unité de puissance est le watt (**W**).
Dans la pratique on exprime l'énergie électrique consommé en kWh (kilowattheure) : c'est l'énergie consommée par un appareil de puissance 1000W (ou 1kW) fonctionnant pendant 1 h.

$$1\ \text{kWh} = 3{,}6.10^{6}\ \text{J}$$

L'énergie électrique reçue par le dipôle dépend :

- de la tension U_{AB} appliquée entre ses bornes
- de l'intensité I_{AB} du courant qui le traverse
- de la durée t de passage de ce courant.





La tension U_{AB} est représentée par une flèche dirigée dans le sens des potentiels croissants : $U_{AB} > 0$.

Attention : *la tension est une grandeur scalaire !*

Puissance reçue par quelques appareils familiers	*Courant :*	
	Continu	*alternatif*
Ampoule de lampe de poche (4V ; 40mA)	0,16 W	
Auto-radio	10 à 100 W	
Phare de voiture	55 W	
Ampoule dans les maisons		40 à 100 W
Fer à repasser		~ 1 100 W
Téléviseur de taille moyenne		~ 70 W
Magnétoscope		~ 25 W
Chauffe-eau		~ 1 200 W
Climatiseur (grande taille)		~ 5 000 W

Le **kWh** est facturé 31 UM par la SONELEC à Nouakchott en 1999, quel est le prix à payer mensuellement pour un climatiseur qui fonctionne 10 h par jour dans une administration ?
Heureusement qu'il dispose d'un système qui lui permet de s'arrêter dès que la température désirée est atteinte.

II – Cas des résistances électriques ; loi de Joule

1 – *Expérience*

- **Préparer :**

Un calorimètre (avec agitateur, thermomètre et résistance de 2 Ω), un litre d'eau, une éprouvette avec graduation, un ampèremètre, un chronomètre, un interrupteur, une alimentation stabilisée de 6V et des fils électriques.

- **Manipulations :**

– Réaliser le montage (voir schéma).
– La capacité thermique $\boldsymbol{C}$ du calorimètre doit être connue (sinon la déterminer : voir page 34 ***Conservation de l'énergie***).
– Verser 500 mL d'eau dans le calorimètre (ce qui correspond à une masse $\boldsymbol{m}$ **= 500g**). Prendre la température initiale $\boldsymbol{\theta_0}$ une fois l'équilibre thermique atteint.
– Simultanément, fermer l'interrupteur pour laisser passer un courant $\boldsymbol{I}$ et démarrer le chronomètre.
– Au bout d'un temps $\boldsymbol{t}$, ouvrir l'interrupteur et arrêter le chronomètre. Bien agiter et relever la valeur de la température $\boldsymbol{\theta}$.
– Recommencer la manipulation précédente plusieurs fois.
– Reporter les valeurs de $\boldsymbol{I}$, $\boldsymbol{\theta}$ et $\boldsymbol{t}$ dans un tableau. ***Attention :*** $\boldsymbol{t}$ *est la durée entre l'instant où la température est* θ_0 *et l'instant où elle est* θ.
– Calculer d'une part la valeur de $(\boldsymbol{mc} + \boldsymbol{C})\ (\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{\theta_0})$ et d'autre part la valeur de $\boldsymbol{R\ I^2 t}$ pour chaque manipulation.

2 – *Interprétation*

Au bout du temps $\boldsymbol{t}$, le calorimètre reçoit une énergie :

$$\boldsymbol{Q = (mc + C)\ (\theta - \theta_0)}$$

Cette énergie est proportionnelle à l'augmentation de température $\boldsymbol{\theta - \theta_0}$.

La résistance $\boldsymbol{R}$ traversée par le courant électrique d'intensité $\boldsymbol{I}$ reçoit une quantité d'énergie $\boldsymbol{W}$ (dipôle passif) de la part du circuit électrique :

$$\boldsymbol{W = U\,I\,t} \quad \text{avec} \quad \boldsymbol{U = R\,I} \qquad \text{(d'après la loi d'Ohm : programme de 4}^{e}\text{).}$$

$$\boldsymbol{W = R\,I^2\,t}$$

Les résultats de l'expérience montre que :

$$\boldsymbol{Q = W} \text{ ou } \quad \boldsymbol{(mc + C)\,(\theta - \theta_0) = R\,I^2\,t}$$

Toute l'énergie électrique reçue par le dipôle *R* est convertie en chaleur par effet Joule. La loi de Joule s'écrit ici :

$$\boldsymbol{W = R\,I^2\,t}$$

3 – *Applications de l'effet Joule*

L'effet Joule est présent dans tous les dipôles traversés par un courant électrique. Dans certains cas cet effet est recherché :

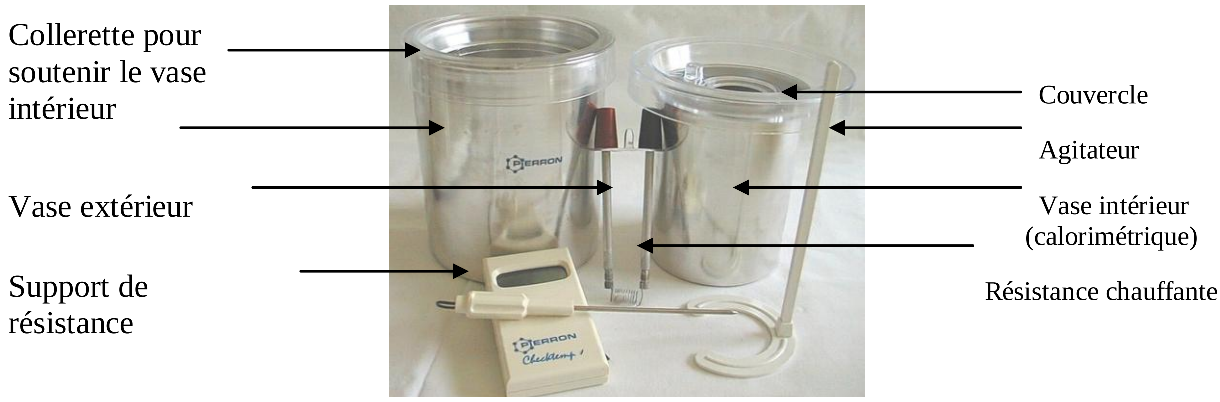
fer à repasser, chauffe-eau électrique, plaque de cuisson, four, lampe à incandescence, ...

Dans d'autres cas cet effet est nuisible :

moteurs, composants électroniques, câbles électriques, transformateurs, ...

Une application importante : le fusible (ou coupe-circuit). Lorsque l'intensité dans le circuit dépasse celle admissible par le fusible, ce dernier se met à fondre par suite d'un échauffement excessif, coupe le circuit et le protège.

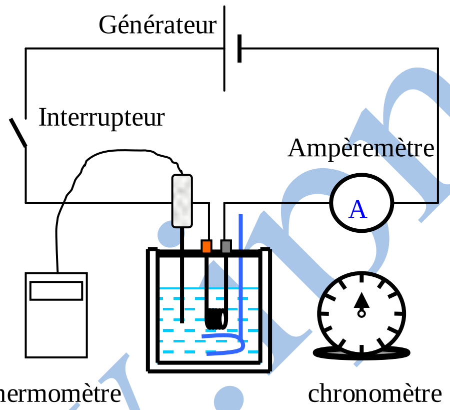
Le calorimètre et ses accessoires



Pour déterminer la capacité thermique ***C*** du calorimètre il faut inclure : le vase intérieur, l'agitateur, le support de résistance, la résistance et la tige du thermomètre.

Dans le cas des éléments représentés sur la photo, on trouve pour ***C*** une valeur de l'ordre de 180 J.K^{-1}.

Schéma du montage



t (mn)	0	2	4	6	8	10	12
θ (°C)	26,2	26,8	27,4	27,9	28,5	29,1	29,6
$\Delta\theta$	X	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,4
Q (J)	X	1370	2740	3880	5240	6610	7750
W (J)	X	1270	2540	3810	5080	6350	7620

Masse de l'eau dans le calorimètre : m = 500 g (ou 500 mL)
Capacité thermique massique de l'eau : c = 4190 J.kg^{-1}.K^{-1}
Intensité du courant dans ***R*** : $I \approx$ 2,3 A.

L'écart entre ***Q*** et ***W*** est d'environ 7%. Ceci est lié aux incertitudes dans les mesures de ***R***, de ***I*** et de ***θ***.
On peut donc déduire que :

$$W = Q$$

Une application de la loi de Joule :
le fer à repasser

Remarque : la présence de résistances dans les circuits est destinée à abaisser l'intensité du courant. Mais une résistance électrique convertit la totalité de l'énergie électrique reçue en chaleur. On essaie d'éviter l'échauffement de ce composant en le fabriquant de telle sorte qu'il dissipe au mieux la chaleur dégagée dans le milieu ambiant (l'air).

III – Cas des générateurs

1 – *Loi d'Ohm pour un générateur*

Revoir l'expérience proposée dans le programme de 4^e^.

La loi d'Ohm pour un générateur s'écrit :

$$U = E - r\,I$$

U : tension (ou ***ddp***) aux bornes du générateur en V
E : **force électromotrice** du générateur en V
r : **résistance interne** du générateur en Ω
I : intensité du courant qui traverse le générateur en A

La caractéristique intensité-tension est une droite ne passant pas par l'origine O. A partir de l'étude expérimentale, on peut déterminer graphiquement les valeurs de ***E*** et de ***r***.

2 – *Puissance électrique fournie par un générateur*

La puissance électrique fournie par le générateur est celle disponible entre ses bornes pour le circuit extérieur :

$$P = UI$$

D'après la loi d'Ohm pour un générateur :

$$P = (E - rI)\,I = EI - rI^2$$

Cette puissance se décompose en deux termes :

- rI^2 puissance consommée (ou gaspillée) par effet Joule à l'intérieur même du générateur (*effet indésirable*)
- EI puissance totale mise en jeu par le générateur.

Le rendement d'un générateur est défini comme suit :

$$\rho = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance totale}} = \frac{UI}{EI} = \frac{U}{E}$$

Le rendement est maximal pour un générateur ne possédant pas de résistance interne : ***générateur idéal***. Toute l'énergie produite est disponible pour le circuit extérieur.

IV – Cas des récepteurs ; notion de force contre-électromotrice

1 – *Définition*

Un récepteur est un appareil qui consomme de l'énergie électrique et qui convertit une partie de cette énergie en une forme autre que la chaleur (énergie thermique) par effet Joule.

Exemples : le moteur électrique, l'électrolyseur.

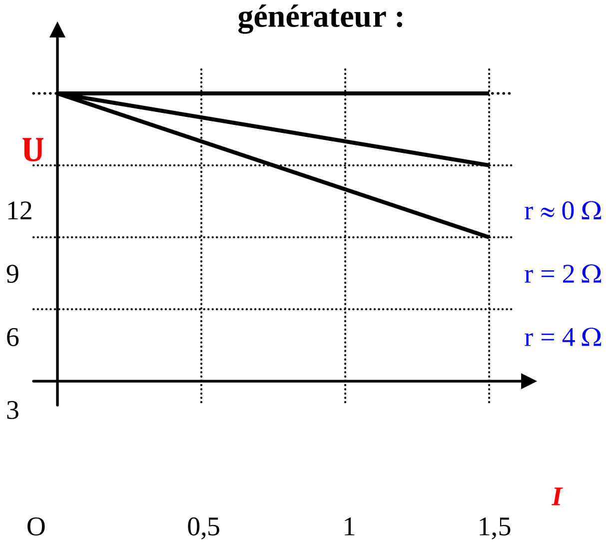
Piles et accumulateurs

Les 2 « piles » de droites sont en réalité des

Accumulateur de 12 V

Il doit être régulièrement rechargé. Une décharge complète peut l'endommager. Sa

Caractéristique intensité-tension d'un générateur :



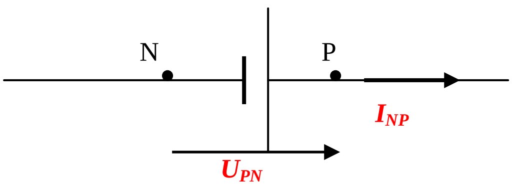
***r* = 0 Ω : générateur idéal**

On suppose que les 3 générateurs de caractéristiques données par les graphiques ci-contre débitent un courant de 2 A. Quelle est la tension ***U*** entre les bornes de chacun ?

Plus ***r*** est grand, plus ***U*** est faible lorsque le générateur débite du courant.

En cas de court circuit, ***U*** = 0. Calculer l'intensité du courant qui traverse chacun des 3 générateurs. Conclusion ?

CONVENTION GENERATEUR



Le courant circule dans le sens des potentiels croissants.

Le générateur consomme une forme d'énergie et transforme une partie de cette énergie en énergie électrique. Dans une pile, l'énergie consommée est de l'énergie chimique.

2 – *Loi d’Ohm pour un récepteur*

- **Préparer :**

Un électrolyseur (verre à thé avec 2 clous en fer ou en acier), deux pinces crocodiles, une solution de soude diluée (N/100), un ampèremètre, un voltmètre, un montage potentiométrique (le potentiomètre doit supporter une intensité de 1A) sinon utiliser un générateur avec sortie réglable (fabriqué par l’*Atelier des Sciences*), des fils électriques.

- **Manipulation :**

– Réaliser le montage (voir schéma).
– Pour chaque valeur de U, noter celle de I.
– Tracer la caractéristique intensité-tension de l’électrolyseur.

- **Conclusions :**

La caractéristique intensité-tension est une droite ne passant pas par l’origine. Son coefficient directeur est positif.

Le point d’intersection entre cette droite et l’axe des tensions donne la valeur de la **force contre-électromotrice** E' tandis que la pente de la droite donne la valeur de la résistance interne r' du récepteur.

La loi d’Ohm pour un récepteur s’écrit :

$$U = E' + r' I$$

U	: tension (ou ***ddp***) aux bornes du récepteur en V
E'	: **force contre-électromotrice** du récepteur en V
r'	: **résistance interne** du générateur en Ω
I	: intensité du courant qui traverse le récepteur en A.

3 – *Puissance électrique reçue par un récepteur*

La puissance électrique reçue par le récepteur de la part du circuit est :

$$P = UI$$

D’après la loi d’Ohm pour un récepteur :

$$P = (E' + r'I)\, I = E'I + r'I^2$$

Cette puissance se décompose en deux termes :

$r'I^2$	puissance consommée (ou gaspillée) par effet Joule à l’intérieur même du récepteur (*effet indésirable*)
$E'I$	puissance convertie par le récepteur en puissance chimique (pour un électrolyseur) ou mécanique (pour un moteur).

Le rendement d’un récepteur est défini comme suit :

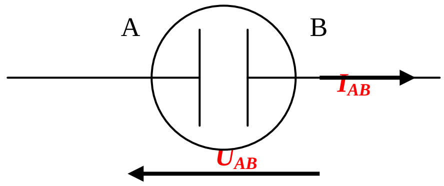
$$\rho = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance totale reçue}} = \frac{E'I}{UI} = \frac{E'}{U}$$

Le récepteur consomme de l’énergie électrique fournie par le circuit et convertit une partie de cette énergie en énergie thermique par effet Joule et le reste en **énergie utile** (chimique ou mécanique) :

$$UIt = r'I^2t + E'It$$

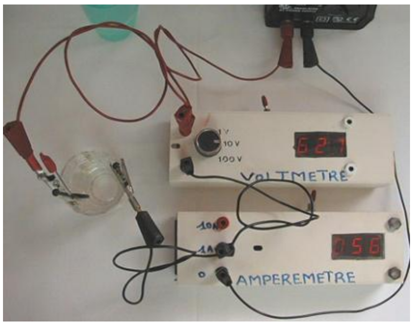
Un récepteur simple : il est constitué d'un verre à thé dans lequel plongent deux clous maintenus par des pinces crocodiles et contenant une solution diluée de soude (N/100).

CONVENTION RECEPTEUR : ELECTROLYSEUR

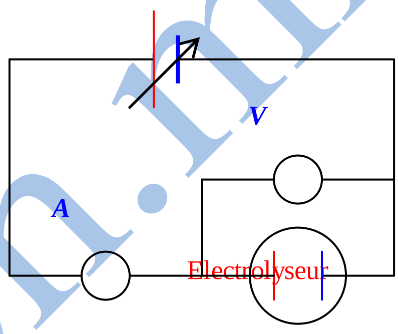


Le courant circule dans le sens des potentiels décroissants.

Photo du montage : le générateur fournit une tension réglable, l'ampèremètre est sur le calibre 1A, le voltmètre est sur le calibre 10V..



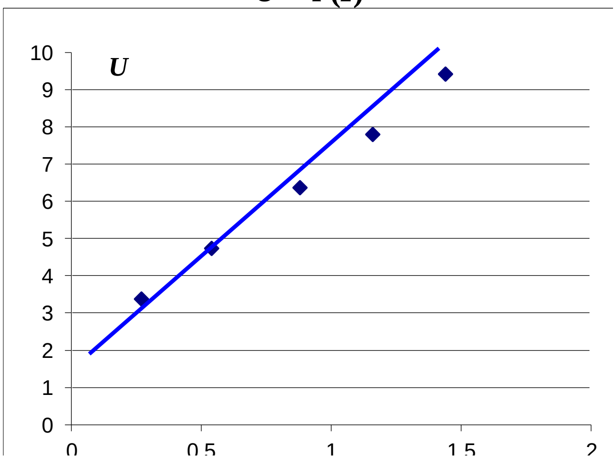
SCHEMA DU MONTAGE



Résultat des mesures :

U (en V)	3,38	4,74	6,37	7,80	9,42
I (en A)	0,27	0,54	0,88	1,16	1,44

Tracé de la caractéristique de l'électrolyseur :
***U* = f (*I*)**



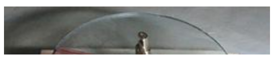
Calcul de ***E'*** et de ***r'*** à partir des résultats des mesures :

***E'* ≈ 1,8 V**

***r'* ≈ 5 Ω**

Générateur à tension réglable

Le récepteur moteur



4 – Comportements particuliers des récepteurs

- **Le moteur bloqué**

Monter en série : <u>une</u> pile ronde de 1,5V (ou un générateur fournissant une tension de 1V), un ampèremètre sur le calibre 200 mA, un interrupteur (bouton poussoir) et un moteur (celui fourni avec le panneau d'électricité).

- Appuyer sur le poussoir et noter la valeur de l'intensité du courant I_1 (en laissant tourner le moteur).
- Bloquer le moteur (en empêchant le disque de tourner) et noter la nouvelle valeur du courant I_2.

On constate que $I_2 > I_1$. *Cette méthode permet d'obtenir la valeur de la résistance interne du moteur. Cependant il faut être prudent : choisir U faible devant la tension de fonctionnement normal du moteur*.

Lorsque le moteur est bloqué, sa force contre-électromotrice est nulle : $E' = 0$

$$U = r'I_2$$

Il se comporte comme un conducteur ohmique : Toute l'énergie électrique reçue est convertie en chaleur par effet Joule dans le moteur bloqué. Si la tension entre ses bornes est importante, celui ci peut se détériorer assez rapidement par suite d'un échauffement excessif. *L'isolant qui entoure le fil de bobinage peut fondre : il y a alors court circuit* !

- **L'électrolyseur à anode soluble**

Utiliser un électrolyseur à anode de cuivre (récupéré sur un gros câble électrique) et contenant une solution de sulfate de cuivre (à la place de l'électrolyseur à électrodes en fer contenant une solution de soude).

La caractéristique intensité-tension de cet électrolyseur passe par l'origine O. On déduit que sa force contre-électromotrice est toujours nulle. **Il se comporte comme un conducteur ohmique**.

IV – Bilan énergétique d'un circuit

On considère le circuit électrique comprenant en série un générateur (E, r), un conducteur ohmique (R) et un récepteur (E', r').

Tension aux bornes du générateur : $U_{PN} = E - rI$

Tension aux bornes du conducteur ohmique : $U_{PA} = RI$

Tension aux bornes du récepteur : $U_{AN} = E' + r'I$

$$U_{PN} = U_{PA} + U_{AN} \quad \text{donc} \quad E - rI = RI + E' + r'I$$

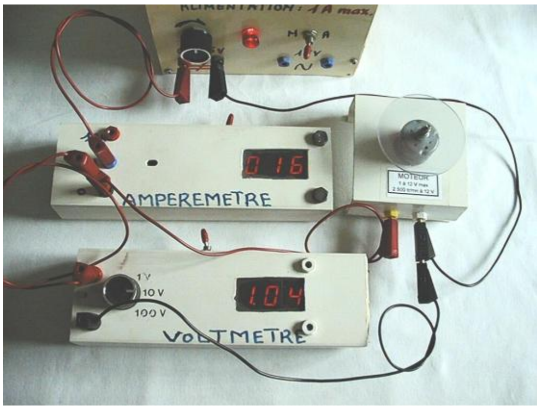
ou $$E - E' = rI + r'I + RI$$

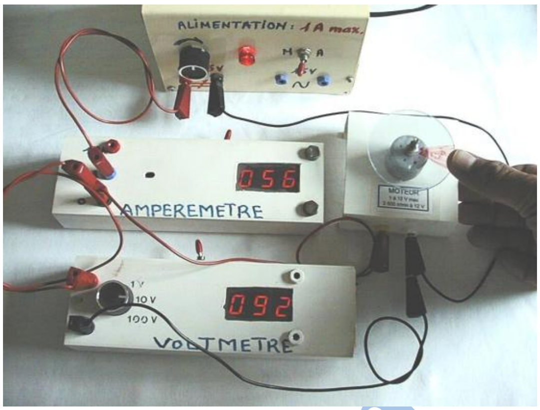
d'où : $$I = \frac{E - E'}{R + r + r'}$$

On vérifie que :

> **Dans un circuit, la puissance électrique fournie par le générateur est égale à la puissance électrique consommée par le reste du circuit (placé entre ses bornes) : c'est le principe de la conservation de l'énergie dans un circuit électrique.**

Récepteur : **moteur « libre »**	Récepteur : **moteur « bloqué »**





Moteur « libre »

Sur cette photo, on lit :

U = 1,04 V et I = 16 mA

Mesurer la résistance interne du moteur à l'aide du multimètre en fonction ohmmètre (***circuit ouvert***). On doit trouver : r = 16,5 Ω

Moteur « bloqué »

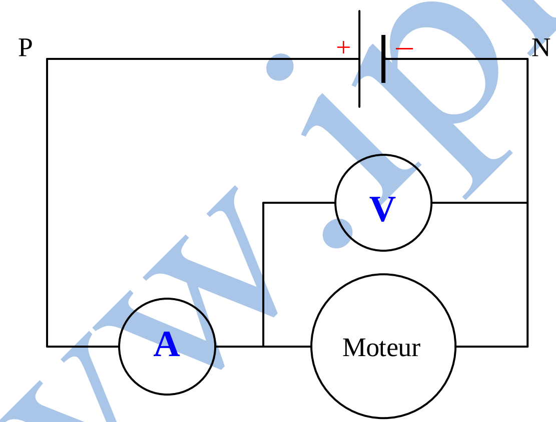
Sur cette photo, on lit :

U = 0,92 V et I = 56 mA

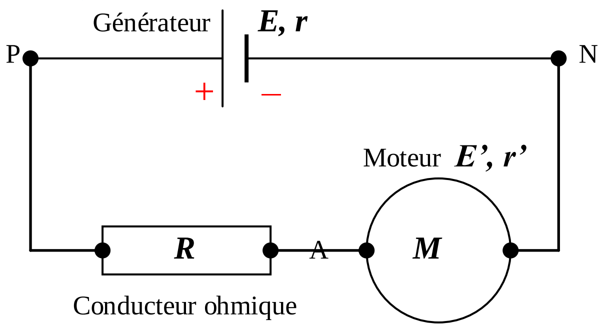
On déduit la résistance interne du moteur :

r = 16,5 Ω

Schéma du montage



Généralisation : circuit comprenant générateur, conducteur ohmique et récepteur



Fin du chapitre PUISANCE ELECTRIQUE DANS UNE PORTION DE CIRCUIT

II) Applications :

<u>Application</u> (1) : Un générateur (E,r) alimente un conducteur ohmique de résistance R.
1) Quelle doit être la valeur de R pour que la puissance libérée par effet Joule dans le conducteur ohmique soit maximale ? 2) Quelle est l'expression de cette puissance ? Quelles sont alors l'intensité du courant, la puissance libérée par effet Joule dans le générateur, la tension à ses bornes ? A.N :E=4,5 V ; r=1,5 Ω

Corrigé

1) Le bilan énergétique s'écrit

$$E.I = r.I^2 + P_J \quad Avec\ P_J = RI^2 \text{ , Puissance consommée par le conducteur ohmique}$$

$$d'ou\ E.I = r.I^2 + RI^2 \Rightarrow I = \frac{E}{r+R} donc\ P_J = RI^2 = E^2.\frac{R}{(r+R)^2}$$

Pour obtenir le maximum de cette fonction P de R, dérivons P par rapport à R :

$$P' = E^2.\left[\frac{1(r+R)^2 - R.2.(r+R)}{(r+R)^2}\right]$$

Cherchons la valeur de R qui annule la dérivée. On en déduit l'équation résolvante, R étant l'inconnue

$$(r+R)^2 - 2.R(r+R) = 0 \iff r^2 + R^2 + 2.r.R - 2.r.R - 2.R^2 = 0 \quad d'ou\ r = R = 1\Omega$$

2) Le générateur fournit le maximum de puissance au circuit qu'il alimente lorsque la résistance de ce circuit est égale à sa résistance interne. La puissance P fournit vaut :

$$P = E^2.\frac{r}{(2r)^2} = \frac{E^2}{4r} = 5w$$; L'intensité du courant est : $I = \frac{E}{2r} = 2,25A$

La puissance libérée par effet Joule dans le générateur s'exprime par $P_J = r.I^2$ et, comme r = R, elle est égale à celle fournie par le conducteur ohmique, soit : $\frac{E^2}{4.r}$; La tension aux bornes du générateur est :

$$U = E - r.I$$

Soit : $U = E - r.\frac{E}{2r} = \frac{E}{2} = 2,25V$

<u>Application (2)</u> : Un générateur de f.e.m 24V et de résistance interne 1Ω est en série avec un moteur de résistance interne 5Ω.
Quelle est l'intensité du courant du circuit ?
a) Lorsque le moteur est bloqué ?
b) Lorsque le moteur fournit une puissance de 24w ?

Corrigé :

a) Lorsque le moteur est bloqué, la puissance mécanique E'.I est nulle. Le bilan de puissance dans le circuit s'écrit :

$$E.I = r.I^2 + r'.I^2 + E'.I \quad \Rightarrow I = \frac{E-E'}{r+r'} \quad AN : I = 4A$$

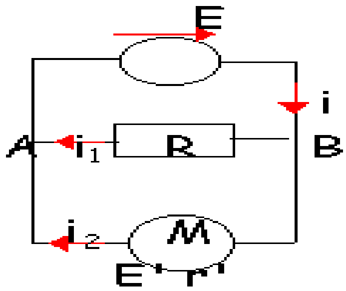
b) Lorsque le moteur tourne, le bilan de puissance s'écrit :

$$E.I' = rI'^2 + r'.I'^2 + E'.I' \Rightarrow I' = \frac{E-E'}{r+r'} \quad An : I' = 2A$$

III) Exercices :

<u>Exercice</u> 1 :

circuit électrique ci-contre :
; $R=200\Omega$ $E'= 16$ V $r' =10\Omega$
lle est valeur de la tension U_{AB} ?
vaut l'intensité i_1 ?
vaut l'intensité i ?
lle est la puissance fournie par le générateur ?
l est le rendement du moteur ?



<u>Exercice</u> 2 :
On utilise une batterie d'accumulateurs pour alimenter une veilleuse dont les caractéristiques sont (5Ω ; 12V). La résistance interne de la batterie est r = 120 mOhm, sa f.é.m E = 12V et sa capacité est Q = 35Ah.On suppose que la valeur de E reste constante tant que la batterie délivre un courant électrique.
1) Calculer la résistance de la lampe, puis calculer l'intensité qui traverse la batterie en fonctionnement.
2) Calculer la durée de l'éclairage de la veilleuse.
3) La batterie complètement déchargée est mise en charge par l'intermédiaire d'un chargeur maintenant une tension U' = 13,9V à ses bornes. La f.c.é.m de la batterie est alors E' = 13,2V.
Calculer l'intensité I' du courant électrique passant dans la batterie.
Calculer la puissance électrique P' consommée au cours de cette charge. **<u>Réponses</u>** :1) R=28,8Ω ; I=4,15A ; 2) t=84H ; 3) I'=5,8A ; P=80,6W
<u>Exercice</u> 3 :
Un générateur de force électromotrice E=6V et de résistance interne r=1Ω alimente un moteur de force contre – électromotrice E'=4V et de résistance interne r'=2Ω.
1) Après avoir fait le bilan énergétique du circuit, en déduire l'intensité du courant.
2) Que devient cette intensité si l'on bloque le moteur ?
3) Quelle est l'intensité du courant obtenu en mettant le générateur en court-circuit ?
<u>Exercice</u> 4 :
Durant une électrolyse réalisée dans une enceinte thermiquement isolée, la température de l'électrolyte s'est élevée de 1,5°C en 10 minutes. La capacité calorifique de l'électrolyte et du calorimètre est $\mu=500 J.K^{-1}$.L'intensité du courant vaut 1A.
1) Quelle est la puissance Joule apparue dans l'électrolyseur ?
2) Quelle est la résistance interne de l'électrolyseur ?
3) Quelle est la force contre électromotrice sachant que son rendement est de 80%.
4) Le rendement global du circuit est de 0,56. Déterminer la force électromotrice et la résistance interne du générateur.
<u>Exercice</u> 5 :
On associe en série une batterie d'accumulateurs G (E=12V ; r=1Ω), un moteur M (E' ;r') et un conducteur ohmique de résistance R=3,2Ω.
1) Faire le schéma du circuit électrique.
2) Faire le schéma énergétique du montage :
a) Le moteur étant libre.
b) Le moteur étant bloqué.
3) Lorsque le moteur est bloqué, l'intensité passant dans le circuit est de 2,5A. Lorsque le moteur est libre, l'intensité est de 0,6A. Déterminer la force contre- électromotrice E' et la résistance interne r' du moteur.
4) Calculer les rendements, lorsque le moteur est libre :
a) de la batterie d'accumulateurs.
b) du moteur.
c) de l'ensemble du circuit électrique (c'est-à-dire le rapport entre l'énergie mécanique fournie par le moteur et l'énergie chimique consommée dans la batterie).
5) Le moteur est destiné à faire monter une charge de masse m=200g sur un plan incliné sans frottement faisant un angle de 30° avec l'horizontale. Le rendement des transmissions est de 60%. A quelle vitesse constante cette masse se déplace-t-elle si l'intensité du courant dans le moteur est 0,6A ? g=9,8N/Kg.

Chapitre III : COURANT ALTERNATIF SINUSOÏDAL

I – Principe de l'alternateur

1 – *Expérience1*

- **Préparer :**

Un moteur (celui fourni avec le panneau d'électricité), une bobine de fil souple (utilisé pour la couture), une masse M d'environ 60 g, un oscilloscope et du fil électrique.

- **Manipulations :**

– Attacher la masse M à une extrémité du fil souple de 1,5 m de long et enrouler le fil, en commençant par l'autre extrémité, autour de l'axe du moteur.
– Relier les deux bornes du moteur à l'entrée Y_A[3] de l'oscilloscope.
– Tenir le moteur de façon à maintenir son axe horizontal puis lâcher la masse M.

- **Observation :**

Tandis que la masse M descend sous l'action de son poids, une tension apparaît aux bornes du moteur. Cette tension est visualisée sur l'écran de l'oscilloscope. Le moteur est utilisé ici comme un générateur : il est capable de produire de l'énergie électrique.
En branchant un voltmètre à la place de l'oscilloscope, on peut même mesurer la tension produite (valeur approximative car elle dépend de la vitesse de rotation du moteur).

- **Convertisseur :**

Le moteur utilisé de cette manière convertit le travail mécanique (travail du poids de la masse M) en énergie électrique. C'est un convertisseur électro-mécanique.

2 – *Expérience 2*

- **Préparer :**

Le dispositif à *aimant tournant*[4] (fourni avec le kit de physique et dénommé *cadre tournant*), un oscilloscope et du fil électrique.

- **Manipulations :**

– Relier les deux bornes de la bobine à l'entrée Y_A de l'oscilloscope.
– Lancer l'aimant droit à la main.

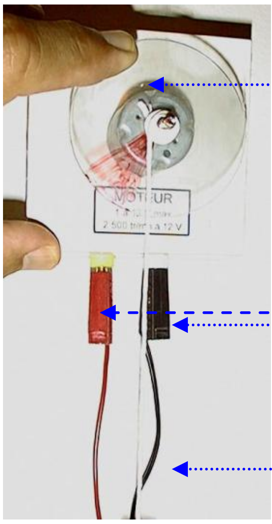
- **Observation :**

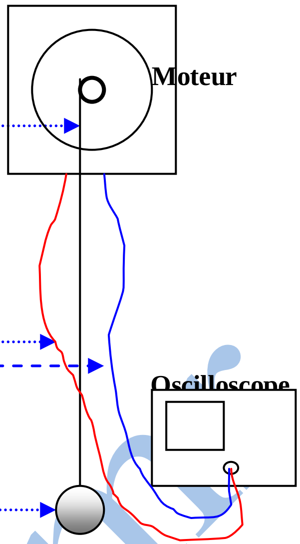
Pendant que l'aimant tourne en présentant successivement son pôle Nord puis son pôle Sud devant la bobine, on voit apparaître une tension alternativement positive puis négative sur l'écran de l'oscilloscope.
Cette tension serait périodique si on arrivait à entraîner l'aimant droit dans une rotation uniforme. Le dispositif « aimant-bobine » est le siège d'une **force électromotrice induite**.

[3] L' « entrée » Y_A d'un oscilloscope comprend toujours deux bornes dont une masse.
[4] Ce dispositif comprend un aimant droit solidaire d'un disque pouvant tourner devant une bobine de 600 spires.

Moteur utilisé en générateur

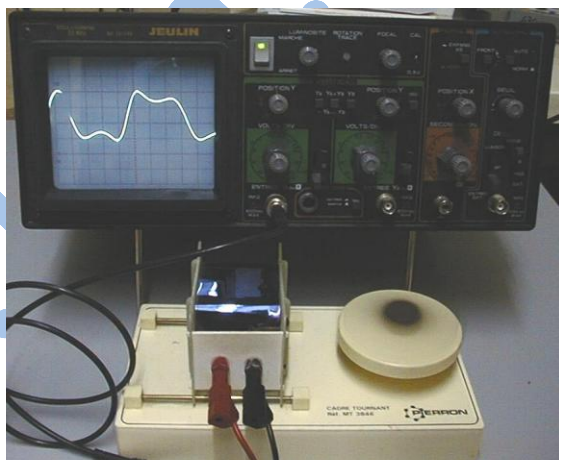
MONTAGE





Dispositif : **aimant tournant**

Tension fournie par un alternateur

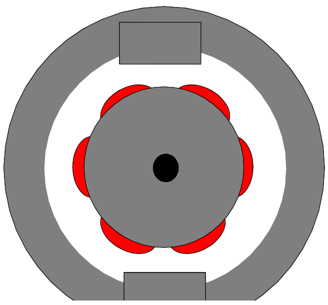


La force électromotrice induite est périodique et alternative. On voit nettement qu'elle n'est pas sinusoïdale.
Sa fréquence N varie avec la vitesse de rotation ω de l'aimant droit : lorsque la vitesse de rotation de l'aimant diminue, la fréquence de la f.é.m. induite diminue aussi. On montre que N et ω ont même valeur.

Dans un alternateur, l'**aimant** (ou l'**électro-aimant**) est l'**inducteur** tandis que la **bobine** est l'**induit**.

Dans la pratique :
- *L'induit est fixe* (stator) *et constitué d'une carcasse métallique sur laquelle est enroulé un bobinage.*
- *L'inducteur tourne* (rotor) *à l'intérieur de l'induit et est constitué d'un ensemble de* ***n*** *paires d'aimants ou d'électroaimants.*

Alternateur avec 3 paires de pôles



Si la vitesse de rotation de la bobine est ω (en nombre de tours par seconde), alors la fréquence de la f.é.m. induite est N avec : $\boldsymbol{N = n\,\omega}$. Pour la SONELEC : N = **50Hz.**

Le dispositif constitué d'un aimant droit tournant régulièrement devant une bobine fixe est un alternateur car il est capable de fournir une tension électrique périodique alternative.

L'alternateur convertit l'énergie mécanique W_m qui lui est fournie en énergie électrique W_{el}.

On définit le rendement de l'alternateur par : $\rho = \dfrac{W_{el}}{W_m}$

Remarque **:** *le phénomène d'induction électromagnétique n'est pas au programme de 5^e mais de 6^e . Eviter par conséquent d'aborder ce sujet cette année.*

II – Tension et intensité sinusoïdales

1 – *Expérience*

- **Préparer :**

Un générateur basses fréquences (GBF), un fréquencemètre, un oscilloscope et du fil électrique.

- **Manipulations :**

– Brancher la sortie du GBF d'une part à l'entrée Y_A de l'oscilloscope, d'autre part à l'entrée[5] du fréquencemètre.
– Positionner le sélecteur de signal du GBF sur « sinus » et régler sa fréquence sur 100Hz (contrôlé par le fréquencemètre).

- **Observation :**

Sur l'écran de l'oscilloscope, on voit apparaître très nettement un signal sinusoïdal correspondant à la tension délivrée par le **générateur** basses fréquences.

2 – *Etude théorique d'une tension sinusoïdale*

Puisque la tension fournie par le générateur utilisé est sinusoïdale, son équation se présente sous la forme :

$$u = A \cos B\, t \qquad \text{où } A \text{ et } B \text{ sont des constantes.}$$

- **Amplitude :**

La plus grande valeur de ***cos B t*** est 1 (*si nécessaire, revoir la trigonométrie en mathématiques*).
Donc la valeur maximale de ***u*** est ***A*** que l'on préfère notée U_M ou U_{max} : c'est l'**amplitude** de ***u***.

- **Période de temps :**

La période est le temps ***T*** au bout duquel ***u*** retrouve la même valeur. On sait que pour cela il faut ajouter 2π (radians) à l'angle du cosinus :

$$B\,(t + T) = B\,t + 2\pi$$

On déduit :

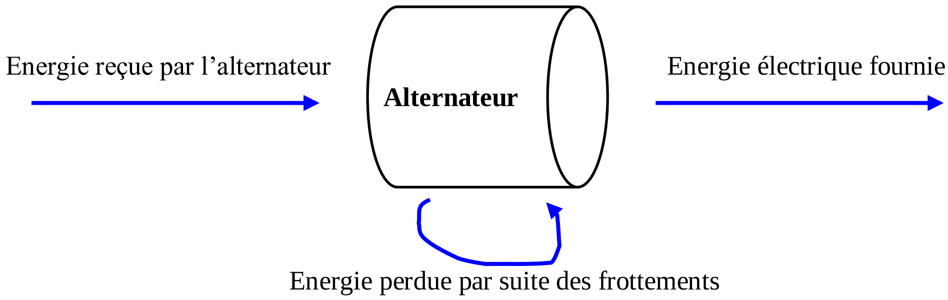
$$B\,T = 2\pi \qquad \text{ou} \qquad B = \frac{2\pi}{T}$$

La constante ***B*** est appelé **pulsation** du mouvement. On préfère la représenter par ω : $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$

La tension sinusoïdale se présente sous la forme :

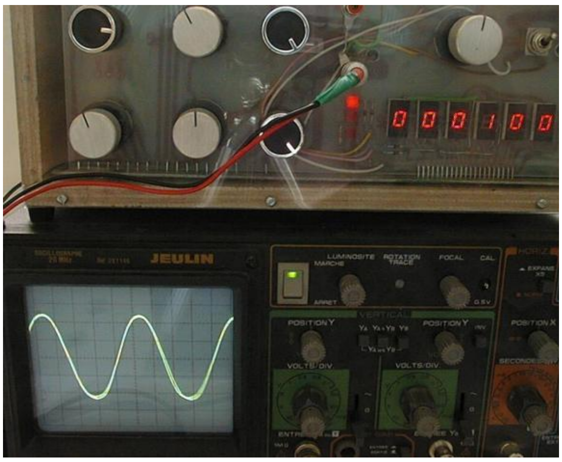
[5] Cette entrée comprend également deux bornes.

$$u = U_{max}\ \cos \omega t = U_{max}\ \cos \frac{2\pi}{T} t$$



Les alternateurs industriels (ceux de la SONELEC) ont des rendements voisins de 95%.
La partie tournante (ou le rotor) peut être entraîné par un moteur thermique (ex. : moteur essence ou diesel), par une turbine mue par de la vapeur d'eau (ex. : centrale nucléaire), ou par de l'eau dévalant d'un barrage (ex. : centrale hydraulique).

Tension sinusoïdale



Noter sur l'oscilloscope les valeurs :

– de la sensibilité verticale (*dans notre cas* : 0,5V/div)
– du balayage (*dans notre cas* : 2ms/div)

Relever les distances :

– entre deux crêtes consécutives (*5 divisions*)
– entre un maxima (U_{max}) et un minima ($-U_{max}$) (*5 divisions aussi* ; *pour l'amplitude on prend la moitié*)

On déduit les valeurs de :

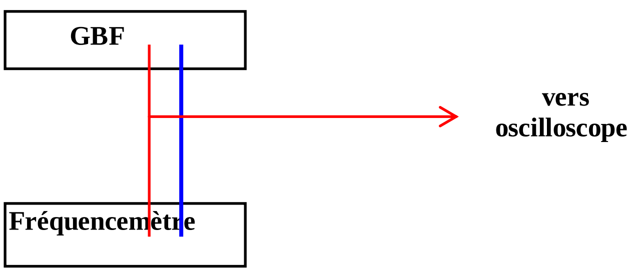
L'amplitude **U_{max} = 2,5 x 0,5 = 1,25 V**
La période de temps **T = 5 x 2 = 10 ms**
La fréquence **N = 1/T = 100 Hz**

la tension et l'amplitude en volts (V)
la période en secondes (s)
la fréquence en hertz (Hz).

L'équation de la tension visualisée sur l'oscilloscope est :

$$u = 1{,}25 \cos 200\pi\, t$$

Schéma du montage :



Fréquence :

Par définition, la fréquence d'une fonction périodique est l'inverse de sa période :

$$N = \frac{1}{T}$$

3 – Tension efficace

- **Préparer :**

Un générateur délivrant une tension alternative sinusoïdale (alimentation de 6V/12V), un voltmètre (en mode alternatif), un oscilloscope et du fil électrique.

- **Manipulations :**

– Brancher la sortie du générateur à l'entrée Y_A de l'oscilloscope.
– Relier les deux bornes du voltmètre aux deux bornes du générateur.

- **Exploitation des résultats :**

– A partir des réglages de l'oscilloscope et des mesures, déduire l'amplitude U_{max} .
– La valeur de la tension lue sur le voltmètre est U.

On constate que : $$U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

Par définition, la tension efficace d'une tension alternative sinusoïdale s'obtient en divisant par $\sqrt{2}$ la tension maximale U_{max}.

Remarque **:** La tension alternative sinusoïdale délivrée par la SONELEC a une **valeur efficace** de 220V.

4 – Intensité sinusoïdale et intensité efficace

Lorsqu'on applique une tension alternative sinusoïdale u aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R, il est traversé par un courant i qui vérifie, à chaque instant, la loi d'Ohm :

$$u = R\,i$$

si $u = U_{max} \cos \omega t$

alors $U_{max} \cos \omega t = R\,i$

d'où $i = (U_{max}/R) \cos \omega t$

Le courant électrique qui traverse le conducteur ohmique est, comme la tension entre ses bornes, alternatif sinusoïdal.

Intensité maximale : $$I_{max} = \frac{U_{max}}{R}$$

La tension et le courant ont même pulsation donc même période (et même fréquence).

Par définition, l'intensité efficace d'un courant alternatif sinusoïdal s'obtient en divisant par $\sqrt{2}$ l'intensité maximale I_{max}.

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad ; \quad I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R}$$

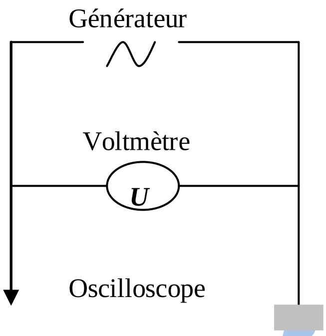
Dans la pratique, on préfère I et U à la place de I_{eff} et U_{eff}.

et I_M et U_M pour les valeurs maximales.

*Cette relation peut être vérifiée par l'expérience ci-contre : on mesure **R**, **I** et **U** à l'aide du même multimètre réglé successivement en fonction ohmmètre, ampèremètre alternatif, puis voltmètre alternatif.*

Tension efficace

Schéma du montage



La sensibilité verticale est sur 5V/div. On peut lire pour la tension maximale : 3,5 divisions

On déduit : U_M **= 17,5 V**

Le voltmètre indique : ***U*** **= 12,5 V** cette valeur correspond à celle de la tension efficace $U_{eff} = U$

On divise U_M par $\sqrt{2}$: $17{,}5 / \sqrt{2} = 12{,}37 \approx 12{,}5$

On vérifie ainsi que : $U = \dfrac{U_M}{\sqrt{2}}$

On peut recommencer les mêmes manipulations avec la sortie 6 V alternatif.

***Remarques* :**

– Il existe des voltmètres pour tensions continues et des voltmètres pour tensions alternatives. Le multimètre peut fonctionner dans ces deux modes.

– Il existe également des ampèremètres pour courants continus et des ampèremètres pour courants alternatifs. Le multimètre peut fonctionner dans ces deux modes.

– Un ampèremètre alternatif, placé en série dans un circuit traversé par un courant alternatif sinusoïdal, donne toujours la valeur de ***l'intensité efficace****.*

– Un voltmètre alternatif, placé en dérivation aux bornes d'un générateur délivrant une tension alternative sinusoïdale, donne toujours la valeur de ***la tension efficace****.*

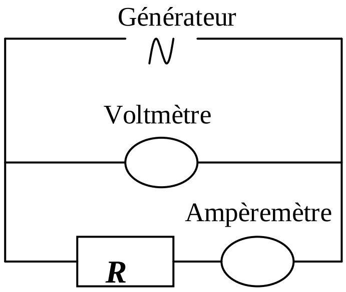
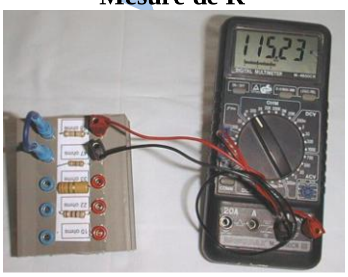


Schéma du montage permettant de vérifier la relation $I_{eff} = \dfrac{U_{eff}}{R}$

Mesure de R



Mesure de *I*

Mesure de *U*

On a les valeurs de : R = **115 Ω.**
I = **55,6 mA**
et U = **6,47 V**

Le calcul de ***U/R*** donne : **56,2 mA**
Cette valeur correspond bien à celle de ***I***.
La relation ci-dessus est vérifiée.

III – Transformateur (*série Mathématique uniquement*)

1 – Description

Un transformateur est constitué de deux bobines comprenant respectivement N_1 et N_2 tours. Ces enroulements se font autour d'une même carcasse de fer en forme d'anneau. Pour éviter certains phénomènes qui peuvent provoquer un échauffement de la carcasse, celle ci est constituée de feuillets de fer isolés les uns des autres et accolés ensemble.

2 – Expérience 1

- **Préparer :** une alimentation de 12V **régime continu**, un transformateur 220V/9V (2,6VA), un oscilloscope et des fils.

- **Manipulation :**
  - Brancher la sortie du générateur aux bornes du primaire du transformateur (côté 220V) et à l'entrée Y_1 de l'oscilloscope.
  - Relier les deux bornes du secondaire (côté 9V) à l'entrée Y_2 de l'oscilloscope.

L'entrée Y_2 indique une **tension nulle** (quelle que soit le réglage de la sensibilité verticale). *Ne pas laisser brancher le primaire trop longtemps car le transformateur risque de chauffer !*

- **Conclusion :**

Un transformateur ne présente aucun intérêt en régime continu. Il ne fonctionne pas.

3 – Expérience 2

- **Manipulation :**
  - Remplacer dans le montage ci dessus l'alimentation de 12V, régime continu, par une alimentation 12V, **régime sinusoïdal**.
  - L'entrée Y_2 indique la présence d'une tension sinusoïdale aux bornes du secondaire, tension d'amplitude plus faible que celle appliquée aux bornes du primaire mais de même période.
  - Mesurer U_{1max} et U_{2max}. Déduire U_1 et U_2 (tensions efficaces). Comparer.

- **Conclusion :**

Le transformateur donne d'une tension sinusoïdale u_1 appliquée au primaire une tension également sinusoïdale u_2 au secondaire, de même fréquence.

4 – Rapport de transformation

U_1 et U_2 étant les tensions efficaces respectivement au primaire et au secondaire du transformateur. On montre que :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

N_1 : nombre de tours du bobinage **primaire**
N_2 : nombre de tours du bobinage **secondaire**.

Si $N_1 > N_2$: le transformateur est utilisé en abaisseur de tension
$N_1 < N_2$: le transformateur est utilisé en élévateur de tension.

Pour passer de l'un à l'autre, il suffit de retourner le transformateur (*le primaire devient secondaire et le secondaire devient primaire*).

5 – Puissance apparente nominale

Lorsqu'un circuit électrique est relié aux deux bornes du secondaire du transformateur, il est parcouru par un courant électrique sinusoïdal de valeur efficace I_2 tandis que la tension efficace entre ses bornes est U_2.

Quelques transformateurs du commerce

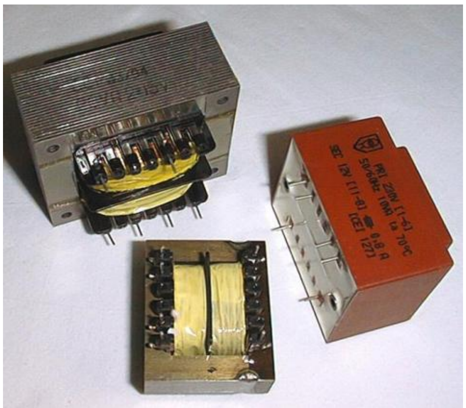
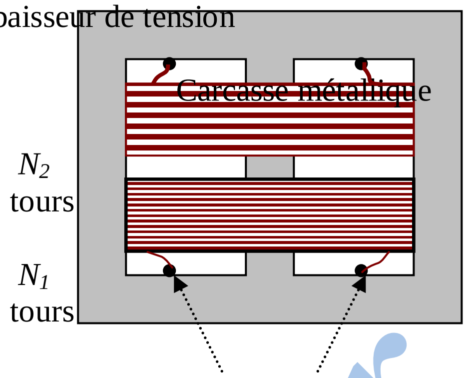


Schéma de principe d'un transformateur abaisseur de tension



Montage : Expérience 1

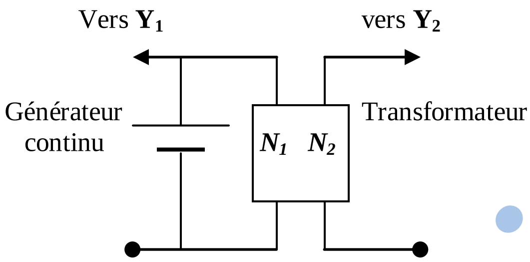
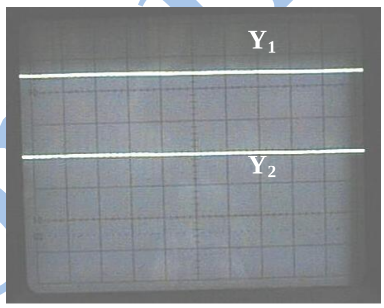


Photo : Expérience 1



Montage : Expérience 2

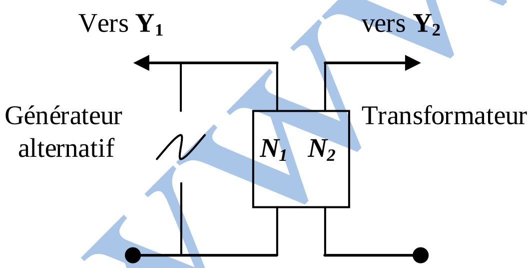
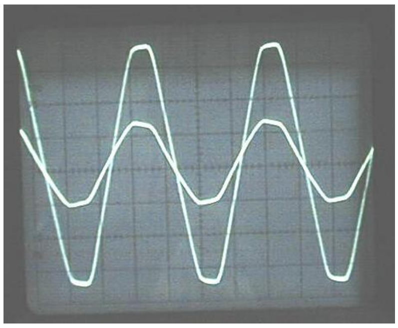


Photo : Expérience 2



Rendement d'un transformateur : $\rho = \frac{P_2}{P_1}$ # **1**

Si le transformateur est parfait : $\rho = \frac{P_2}{P_1} = 1$. La puissance disponible au primaire se retrouve intégralement au secondaire : $P_1 = U_1 I_1$ et $P_2 = U_2 I_2$ donc $U_1 I_1 = U_2 I_2$.

On déduit : $$\frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$$

En général, P_2 est légèrement inférieur à P_1 : la différence se retrouve sous forme de puissance thermique à l'intérieur du transformateur. Dans la pratique, on cherche à limiter au mieux cet échauffement.

La puissance apparente transmise par le transformateur est :

$$P_2 = U_2 I_2$$

Cette puissance apparente ne doit pas dépasser la valeur nominale indiquée par le constructeur, souvent exprimée en voltampères (ou **VA**). *Cette valeur est gravée sur le transformateur.*

IV – Transport de l'électricité (*série Mathématique uniquement*)

1 – *Expérience 1*

- **Préparer :**

Une alimentation de 12V (régime alternatif), une résistance ***R*** (470 Ω ; 2W), une lampe (6V, 60mA) avec son support et des fils.

- **Montage :** voir schéma ci-contre.

– La résistance ***R*** simule la résistance totale des lignes de transport lorsqu'elles sont longues (grandes distances entre le lieu de production du courant et le lieu de consommation).
– L'alimentation de 12V est la « centrale électrique ».
– La lampe se trouve chez le « consommateur ».

- **Observation :**

La lampe est quasiment éteinte. Les « lignes de transport électrique » consomment une bonne partie de l'énergie fournie par la « centrale électrique » par effet Joule (***pertes en ligne***).

2 – *Expérience 2*

- **Préparer :** les éléments de l'expérience 1 et ajouter deux transformateurs 220V/9V (2,6VA).

- **Montage :** voir schéma ci-contre.

– La résistance ***R*** simule toujours la résistance totale des lignes de transport.
– Le premier transformateur permet d'élever la tension fournie par la « centrale électrique ».
– Le second transformateur permet d'abaisser la tension juste avant d'arriver chez le « consommateur ».

- **Observation :**

La lampe brille normalement. Les « lignes de transport électrique » consomment une quantité d'énergie négligeable par effet Joule sous « haute tension ».

3 – *Explication simplifiée*

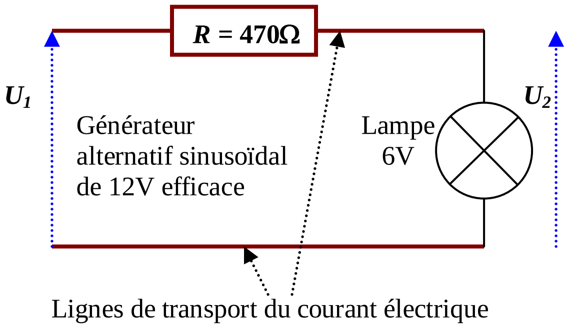
- Dans la première expérience, la résistance totale du circuit aux bornes du générateur est ***R*** + ***R'***, ***R'*** désignant la résistance de la lampe.
  La puissance disponible aux bornes du générateur est : $P = U\,I = (R + R')\,I^2 = R\,I^2 + R'\,I^2$
  On voit bien que si ***R*** est grande devant ***R'***, l'énergie électrique $R\,I^2$ **perdue par effet Joule** est importante. L'énergie électrique reçue par la lampe est alors trop faible pour lui permettre de fonctionner correctement (*dans notre cas*, ***R*** **= 470 Ω** *et* ***R'*** **= 100 Ω**).

- Dans la seconde expérience, le premier transformateur transmet presque intégralement la puissance électrique P_1 fournie par le générateur au secondaire : $P_1 \approx P_2 = U_2\,I_2$
  On constate que plus la tension efficace U_2 au secondaire est élevée, plus l'intensité efficace I_2 est faible (puisque P_2 est constante). La perte par effet Joule dans les lignes est alors négligeable par la faible valeur de I_2.
  Le deuxième transformateur permet de ramener la tension efficace U_2 à une valeur plus adaptée et surtout moins dangereuse pour le consommateur.

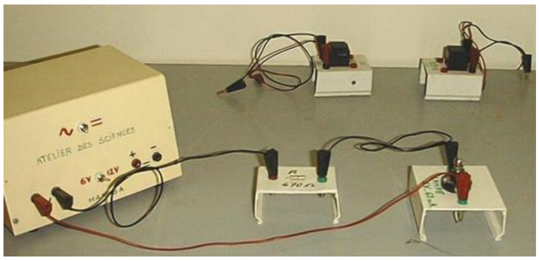
Les pertes par effet Joule dans les lignes de transport électrique en régime sinusoïdal sont réduites par l'utilisation de tensions élevées.

Attention : *ne pas toucher les parties dénudées du circuit électrique situé entre les deux transformateurs car la tension y est élevée* !

Schéma du montage de l'*expérience 1*



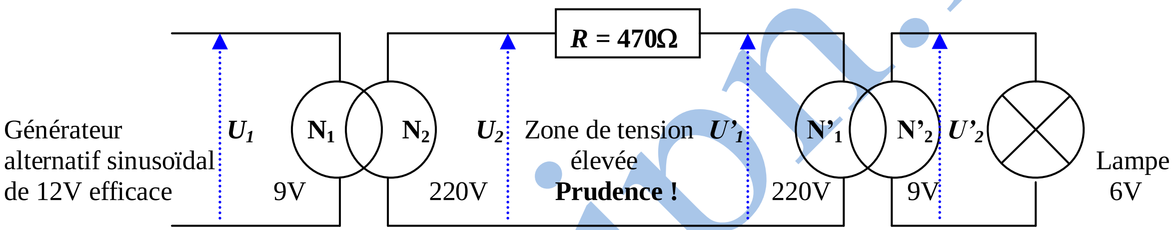
TRANSPORT DE L'ELECTRICITE SOUS TENSION NORMALE (SANS TRANSFORMATEUR)



La lampe est quasiment éteinte

La puissance électrique perdue par effet Joule

Schéma du montage de l'*expérience 2*



Manipulations supplémentaires :

A l'aide du multimètre en fonction voltmètre alternatif (réglé sur le **calibre 750V**) , mesurer les tensions aux bornes de **N_1, N_2, N'_1** et **N'_2**.

On trouve :

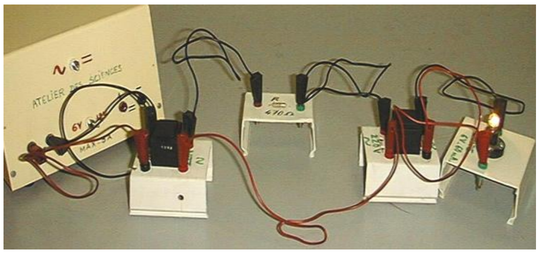
U_1 = 12,5V	U_2 = 138V
U'_1 = 135V	U'_2 = 7,5V

La chute de tension dans les lignes de transport est faible (3V par rapport à 140V).

A vide (sans lampe au secondaire du transformateur 2) on trouve :

U_1 = 12,5V	U_2 = 156V
U'_1 = 155V	U'_2 = 10,5V

Transport de l'électricité sous tension élevée avec deux transformateurs



La lampe brille normalement

La puissance électrique perdue par effet Joule dans les lignes est négligeable.

V – Redressement d’une tension alternative (*série Mathématique uniquement*)

L’objectif est d’obtenir une tension continue rigoureusement stable, de valeur donnée, à partir de la tension alternative sinusoïdale du secteur (tension efficace de 220V **environ**).
Elle peut servir d’alimentation pour un appareil qui exige une bonne tension continue : scanner, fax, ordinateur, caméra vidéo, magnétophone, … .

Dans ce qui suit, on essaie de réaliser une tension continue de 5V avec les éléments disponibles.

- **Préparer :**

Une alimentation fournissant une tension alternative sinusoïdale de 6 V ou 12 V efficace, un pont de diode (W08M), une boîte de condensateurs polarisés, un régulateur intégré de tension ou **RIT** (modèle 7805) et des fils électriques.

Le schéma du montage final est donné ci-contre. *Le montage se fera par étapes successives.*

1 – *Transformateur abaisseur de tension*

Brancher l’alimentation sur le secteur. A l’intérieur de celle-ci, un transformateur permet d’abaisser la tension efficace du secteur de 220V à 6V (ou 12V) efficace. Relier la sortie de l’alimentation à l’entrée $\mathbf{Y_A}$ de l’oscilloscope. *Bornes* A_1 *et* B_1 *sur schéma.*

- **Observation :**

Une tension alternative sinusoïdale est visualisée sur l’écran de l’oscilloscope. Elle a la même forme que celle du secteur. *Sa tension maximale peut être déterminer à partir des données relevées sur l’oscilloscope*.

2 – *Pont de diodes redresseur d’une tension alternative*

Ajouter le pont de diodes (*quatre bornes*) au montage précédent (*ce pont, appelé pont de Graetz, est composé d’un ensemble de 4 diodes moulées à l’intérieur d’un boîtier en résine*).

Attention de ne pas se tromper dans les bornes : Les deux bornes alternatives du côté 6V (ou 12V) de l’alimentation. Et les deux bornes + et – à l’entrée $\mathbf{Y_A}$ de l’oscilloscope. *Bornes* A_2 *et* B_2 (***sans le condensateur***).

Important : ***Ne pas utiliser les deux entrées*** $\mathbf{Y_1}$ *et* $\mathbf{Y_2}$ ***de l’oscilloscope pour visualiser les deux tensions avant et après le pont de diodes en même temps !*** *Les masses des deux entrées étant reliées ensemble dans l’oscilloscope* ***,la fusion du pont de diodes est certaine (si ce n’est pas le transformateur) !!!***

- **Observation :**

De la tension alternative sinusoïdale précédente (à l’entrée du pont de diodes), on obtient une ***tension redressée***. ***Toutes les alternances sont de même signe***.
On sait que chaque diode se comporte soit comme un interrupteur ouvert soit comme un interrupteur fermé suivant le sens du courant électrique (programme de 4ᵉ).

3 – *Condensateur lisseur de tension redressée*

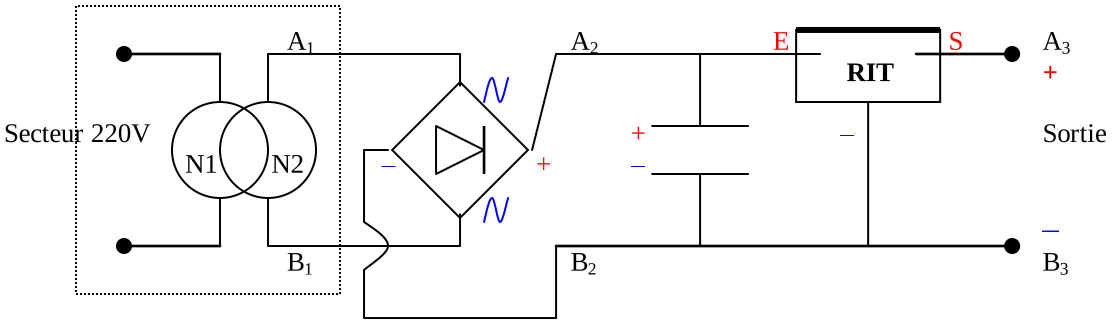
Placer un condensateur polarisé aux bornes + et – du pont de diodes précédent et relier les mêmes bornes à l’entrée $\mathbf{Y_1}$ de l’oscilloscope. *Bornes* A_2 *et* B_2.

Prendre soin de bien relier : *le + du condensateur au + du pont de diodes*
le – du condensateur au – du pont de diodes !

- **Observation :**

Les crêtes de la tension redressée subissent un ***lissage***. La tension redressée périodique tend vers une tension constante. *Mesurer cette tension à l’aide d’un voltmètre continu sur le calibre 20V* (ou 100V). *Ce phénomène pourra être expliqué en 6ᵉ année* (***charge et décharge d’un condensateur***).

Schéma de principe d'une alimentation continue stabilisée

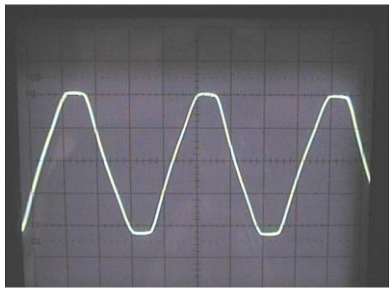


La sensibilité verticale de l'oscilloscope est réglée sur 10 V/div.
Le taux de balayage est 5 ms/div.

L'amplitude correspond à 2,2 div. Donc la tension maximale $U_{max} \approx 22$ V.
La distance entre deux crêtes est de 4 div. La période est de ***20 ms.*** *On déduit la fréquence* ***N = 50 Hz.***

Dans toute la suite, on conserve les mêmes réglages de l'oscilloscope.

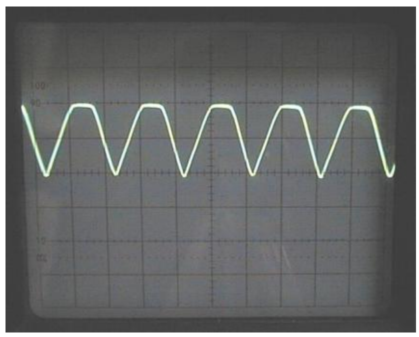
TENSION AUX BORNES DE L'ALIMENTATION



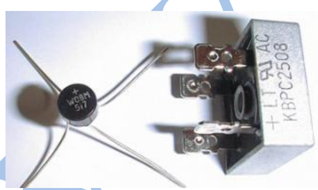
L'amplitude est légèrement inférieure à celle ci-dessus.

L'alternance négative est redressée : toutes les alternances sont maintenant de même signe.

Tension à la sortie du pont de diodes

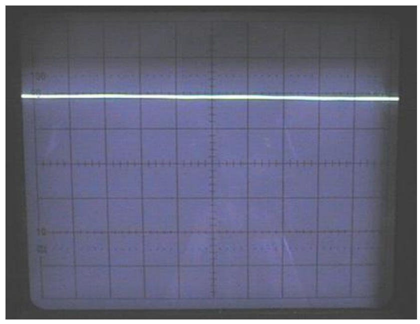


Ponts de diodes : deux modèles

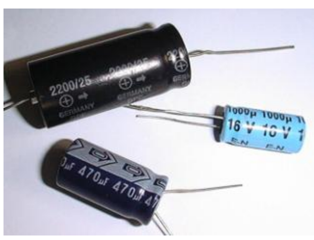


La tension est quasiment constante au bornes du condensateur. Elle est légèrement inférieure à ***20 V.***

Tension à la sortie du pont de diodes, mais avec un condensateur entre ses bornes.



Condensateurs polarisés



Régulateur intégré de tension (RIT)

Le régulateur de tension intégré utilisé est un composant comprenant 3 bornes :

- une borne + à l'entrée
- une borne + à la sortie
- une borne – commune pour l'entrée et la sortie.

Le RIT utilisé ici a pour caractéristique 7805. Il appartient à la famille des régulateurs 78XX. Les deux derniers chiffres donnent **la tension stabilisée à la sortie du régulateur**.

Ex. : 7805 donne à la sortie 05 volts
7812 donne à la sortie 12 volts

Il faut que la tension à l'entrée soit supérieure à la tension de sortie de quelques volts.

La tension à la sortie est **rigoureusement constante** (*bornes* A_3 *et* B_3) mais **l'intensité du courant est limitée**. Dans le cas du RIT utilisé, elle est limitée à 1 ampère ! Il faut prendre cette valeur en considération avant de brancher un appareil entre ses bornes (sans oublier la puissance nominale délivrée par le transformateur de l'alimentation !).
Pour éviter une détérioration des composants du circuit, on place à l'entrée du primaire du transformateur (dans le boîtier de l'alimentation) un fusible dont la valeur du courant maximal est calculée de la façon suivante :

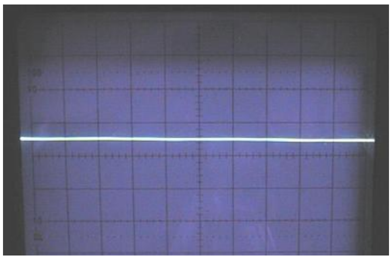
I_{max} = (puissance nominale indiquée par le fabricant) ÷ 220

Dans le cas d'un transformateur (220V/9V ; ***2,6VA****), il faut choisir pour l'entrée 220V un fusible de 12mA.*

La déviation correspond à 0,5 div seulement.
On déduit la valeur de la tension stabilisée :

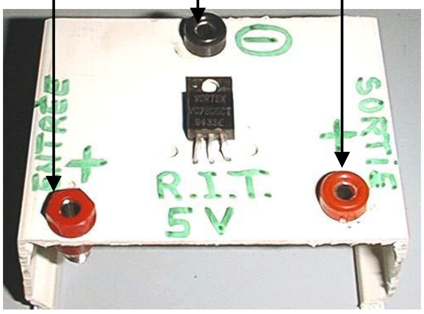
U = 0,5 x 10 = 5 volts

TENSION STABILISEE PAR LE RIT
(sa valeur dépend du modèle utilisé)



Borne commune négative

Borne + entrée   Borne + sortie



Module RIT (7805)

Fin du chapitre COURANT ALTERNATIF SINUSOÏDAL

II) Applications :

<u>Application</u> (1) :

Le primaire d'un transformateur possède 1000 spires le secondaire 500 spires. En fonctionnement, la tension efficace aux bornes du primaire est de 100 V, l'intensité efficace du courant qui le traverse 4A. Sachant que le rendement du transformateur est de 70%, calculer la tension efficace aux bornes du secondaire ainsi que l'intensité efficace du courant débité par le secondaire.

Corrigé :

Le rapport des tensions efficaces est le même que celui des nombres de spires :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow U_2 = \frac{N_2}{N_1}.U_1 \qquad AN : U_2 = \frac{500}{1000}.100 = 50V$$

$$P_{él2} = U_2.I_2 = \rho.P_{él1} = \rho.U_1.I_1 \Rightarrow I_2 = \frac{\rho.U_1.I_1}{U_2} \quad AN : I_2 = \frac{0,7x100x4}{50} = 5,6A$$

<u>Application</u> (2) :

Un transformateur abaisseur de tension alimente un jouet sous une tension efficace de 6V à partir de la tension du secteur de 220V. Le primaire comportant 880 spires est traversé par un courant d'intensité efficace I_1=0,10A. Le rendement du transformateur est de 90%.

1) Quel est le nombre de spires du secondaire ?

2) Quelle est l'intensité efficace du courant au secondaire ?

Corrigé :

1)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow N_2 = \frac{U_2}{U_1}.N_1 \qquad AN : N_2 = \frac{6}{220}.880 = 24$$

Le secondaire comporte 24 spires

2)

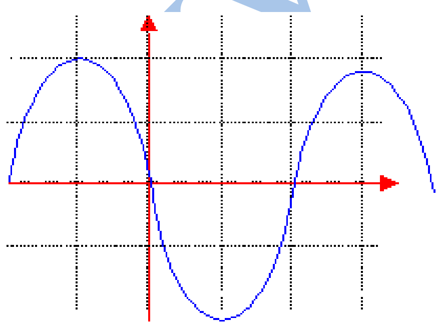
$$P_{él2} = \rho.P_{él1} \Leftrightarrow U_2.I_2 = \rho U_1.I_1 \Rightarrow I_2 = \frac{\rho.U_1.I_1}{U_2} \quad AN : I_2 = \frac{0,9x220x0,10}{6} = 3,3A$$

III) Exercices :

<u>Exercice</u> 1 :

1) On applique sur l'entrée Y d'un oscilloscope une tension en dents de scies symétrique de valeur maximale 5 V de fréquence f = 40 kHz . 2 V par div ; 5 µs par div. Représenter la courbe observée sur l'écran .

2) Avec la même tension, quelle serait l'allure de la courbe si la sensibilité est égale à 10 µs. par div ?



5 V par div et 2 ms par div

Déterminer la valeur maximale de la tension observée.

Déterminer sa valeur efficace.

Déterminer sa période et sa fréquence.

<u>Exercice</u> 2 :

Un transformateur pour poste de soudure à l'arc est traversé par un courant d'intensité 42A sous la tension de 220V. Calculer la valeur approximative de la tension au secondaire quand il débite 210A.

<u>Exercice</u> 3 :

Une lampe fonctionne en courant sinusoïdal en consommant une puissance de 6 W sous une tension efficace de 6 V. Les fils et 1 et 2 amenant la puissance électrique depuis le générateur ont chacun une résistance de 2Ω. Tous les autres fils sont supposés de résistances négligeables.

1) On réalise tout abord une alimentation directe de la lampe (figure 1).

a) Après avoir fait le bilan énergétique de la lampe, déterminer l'intensité efficace du courant qui la traverse.

b) En déduire la puissance Joule dégagée dans les fils 1 et 2.

c) Donner la puissance électrique fournie par le générateur ainsi que la tension efficace à ses bornes.

2) L'alimentation est cette fois indirecte et utilise deux transformateurs supposés idéaux (figure 2). Le transformateur proche de la lampe possède N1=500 spires au primaire et N2=5 spires au secondaire.

a) Déterminer l'intensité efficace du courant circulant dans les fils 1 et 2. En déduire la puissance Joule consommée dans ces fils.

b) Calculer la puissance électrique fournie par le générateur. La comparer avec celle déterminée à la question a).

c) Quel doit être le rapport de transformation m (tension secondaire/ tension primaire) du transformateur proche du générateur pour que la tension aux bornes du générateur soit la même que dans la question 1) ?

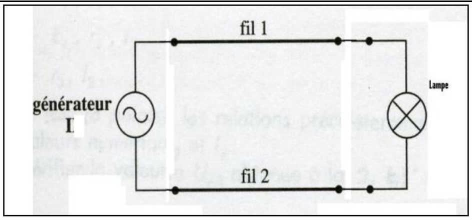


Figure1

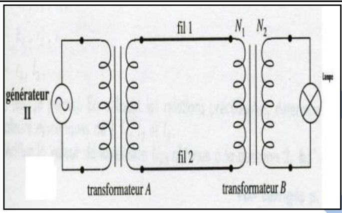


Figure2

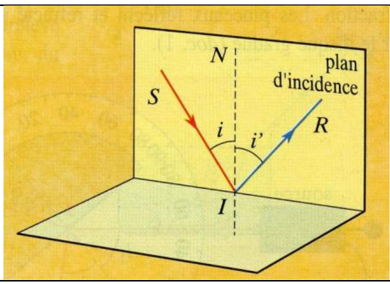
QUATRIEME PARTIE:OPTIQUE 68

Chapitre VIII : Réflexion et Réfraction

I) Généralités

- Dans un milieu transparent et homogène, la lumière se propage en ligne droite.
- Le rayon lumineux est une représentation géométrique qui modélise le trajet suivi par la lumière pour aller d'un point à un autre :il est représenté par une droite munie d'une flèche qui indique le sens de propagation.
- Lois de Descartes de la réflexion:

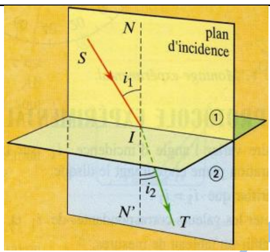
- 1ère loi : Le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence.
- 2éme loi: L'angle de réflexion i' est égal à l'angle d'incidence i

	NI : la normale I : point d'incidence i : angle d'incidence i' : angle de réflexion

- **Dioptre plan :**

- Un dioptre plan est l'ensemble de deux milieux transparents homogènes et isotropes d'indices différents, séparés par une surface plane.
- Lorsque la lumière traverse un dioptre plan, elle subit un brusque changement de direction : c'est le phénomène de la réfraction.
- A la surface du dioptre, on peut observer simultanément les phénomènes de la réflexion et de réfraction.

- **Lois de Descartes de la réfraction :**

	$n_1.\sin(i_1) = n_2.\sin(i_2)$

La lumière passe d'un milieu dans un autre plus réfringent ($n_2 > n_1$) :

L'équation $n_1.\sin(i_1) = n_2.\sin(i_2)$ montre que l'angle de réfraction i_2 croit en même temps que l'angle d'incidence i_1. Quand celui atteint sa plus grande valeur soit 90° (Incidence rasante, i_2 prend lui aussi sa plus grande valeur λ tel que : $i = 90° \Rightarrow \sin(\lambda) = \dfrac{n_1}{n_2}$ (λ) : Angle de réfraction limite

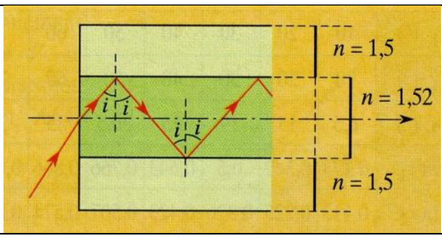
La lumière passe d'un milieu dans un autre moins réfringent ($n_2 < n_1$) :

Quand i_2 (angle d'incidence dans ce cas) croit de 0 à λ, i_1 (angle de réfraction) croit de 0 à 90° et surpasse toujours i_2 donc la réfraction écarte le rayon de la normale.

A la valeur λ de l'angle d'incidence i_2 correspond un angle de réfraction limite égale à 90° (émergence rasante)

- **Réflexion totale :**

Le phénomène de réflexion totale se produit à la surface de séparation de deux milieux d'indices n_1 et n_2. Si l'angle d'incidence est supérieur à l'angle limite λ le faisceau réfracté n'existe plus, toute la lumière incidente est réfléchie : il y a réflexion totale

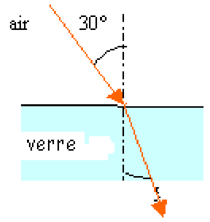
	- l'indice n_1 du 1e milieu est tel que $n_1 > n_2$ - L'angle d'incidence i est tel que i > λ avec $\sin(\lambda) = \dfrac{n_2}{n_1}$

II) Applications

Application (1) : Considérons le passage de la lumière de l'air d'indice 1 dans le verre d'indice 1,5.

1. Construire la marche du rayon lumineux pour i=30°.
2. Calculer l'angle de réfraction correspondant.

Corrigé :



2 .

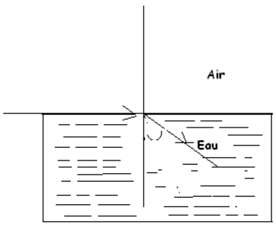
$$n.\sin(i) = n'.\sin(i') \Rightarrow \sin(i') = \frac{n}{n'}.\sin(i)$$

$$AN : \sin(i') = \frac{1}{1,5}.0,5$$

$$\sin(i') = 0,33 \Rightarrow i' = 19,5°$$

Application (2) : Un rayon lumineux passe de l'air d'indice 1 dans l'eau d'indice 4/3 sous une incidence rasante. Calculer l'angle de réfraction limite λ.

Solution



$$n.\sin(i) = n'.\sin(\lambda) \Rightarrow \sin(\lambda) = \frac{n}{n'}.\sin(i)$$

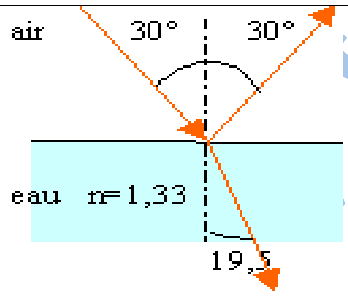
$$AN : \sin(\lambda) = \frac{1}{4/3}.1$$

$$\sin(\lambda) = 0,75 \Rightarrow \lambda = 49°$$

Application (3):

Un rayon lumineux cheminant dans l'air arrive sur de l'eau d'indice n=1,33. Dessiner le rayon réfléchi et le rayon réfracté et calculer les angles de réflexion et de réfraction.

Corrigé :



angle d'incidence = angle de réflexion =30°

$$n_{air}.\sin(30°) = n_{eau}.\sin(i_2) \Rightarrow \sin(i_2) = \frac{n_{air}.\sin(30°)}{n_{eau}}$$

$$AN : \sin(i_2) = \frac{1x0,5}{1,33} \Rightarrow i_2 = 19,5°$$

Application (4):

Tracer la marche du rayon lumineux jusqu'à la sortie du prisme d'indice n=1,50, plongé dans l'air dans les deux cas de figure.

Figure 1.

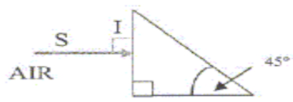
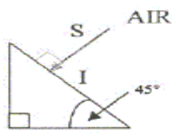


Figure 2.



Corrigé :

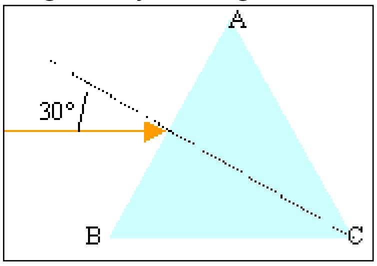
Un faisceau perpendiculaire à la surface séparant deux milieux transparents, n'est pas dévié.

Le faisceau réfracté existe si l'angle d'incidence est inférieur à i_{max} tel que

$\sin i_{max} = 1/n_2$; $\sin i_{max} = 1/1,50 = 0,667$ soit $i_{max} = 42°$.

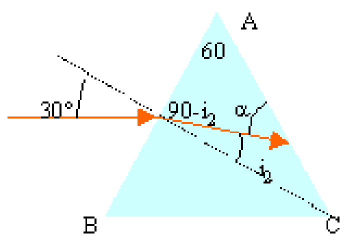
Or l'angle d'incidence vaut 45°, valeur supérieure à i_{max} : il y a réflexion totale

Application (5):
L'indice de réfraction du prisme (la section du prisme est un triangle équilatéral) est 1,5. Dessiner les rayons obtenus par réfraction sur les 2 faces AB et AC et calculer l'angle du rayon émergent avec la normale à la face.

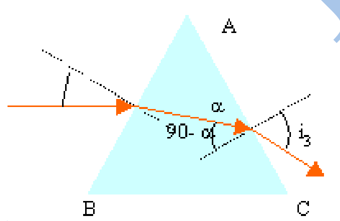


Corrigé :

$\sin(30)=1,5 \sin(i_2)$ d'où $i_2= 19,5°$ et $\alpha=49,5°$

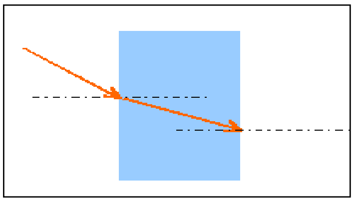


$1,5 \sin(90-49,5)= \sin(i_3)$ d'où $i_3= 77°$

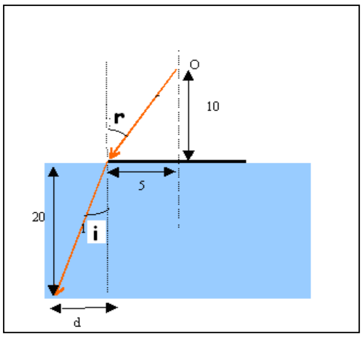


III) Exercices :

Exercice 1 :
Un rayon monochromatique arrive sur une vitre faite de verre d'indice n=1,5 et d'une épaisseur e =5 mm. L'angle d'incidence est i =30°.
1) Calculer l'angle de réfraction du rayon dans le verre puis tracer ce rayon.
2) Calculer l'angle d'incidence de ce rayon sur le dioptre verre/air.
3) Avec quel angle de réfraction le rayon émerge-t-il de la vitre ? Tracer ce rayon émergent.
3) Comparer la direction du rayon qui arrive sur la vitre et celle de celui qui en sort. Cela dépend il de la valeur de l'indice n ?
4) Le rayon lumineux incident est de couleur blanche. Comment seront les rayons des différentes couleurs à la sortie de la vitre ? Comparer l'effet d'un prisme et l'effet d'une vitre sur la lumière blanche.



Exercice 2 :
Un disque opaque de diamètre D =10cm flotte, immobile, à la surface de l'eau d'un cristallisoir. La hauteur d'eau est H=20cm. L'indice de l'eau est n=1,33. Un oeil est placé en O à la verticale du centre du disque et à une distance h=10cm au dessus de celui-ci.
1) Quelle est la forme de la partie du fond du cristallisoir qui sera masquée par le disque ?
2) Calculer l'angle de réfraction r de ce rayon dans l'air; en déduire l'angle d'indice i dans l'eau.
3) Calculer le diamètre de la partie du fond invisible à partir du point O.



Exercice 3 :

1) Lorsque la lumière traverse la surface séparant deux milieux transparents, elle subit un changement de direction. Comment appelle-t-on ce phénomène ? Citer deux milieux transparents.

2) On dirige un faisceau lumineux monochromatique issu d'un laser vers la surface plane d'un demi-cylindre en plexiglas. On mesure les angles i_1 et i_2 appelés respectivement angle d'incidence et angle de réfraction. Définir le terme monochromatique. Faire un schéma en faisant apparaître les angles i_1 et i_2.

On souhaite montrer que la loi qui donne l'angle de réfraction i_2 en fonction de i_1 est donnée par la relation suivante : $n_1.\sin i_1=n_2.\sin i_2$ (1). En faisant varier l'angle d'incidence i_1, on obtient le tableau 1

3) - Quel est le nom de cette loi ? (elle porte le même nom que le physicien qui l'a découverte).
- Quel est le nom des constantes n_1 et n_2 qui apparaissent dans l'expression (1) ?
- Dans notre cas d'étude, $n_1=1$. Quel est le milieu 1 ? Comment se simplifie l'expression (1) ?
- Compléter le tableau 1.

4) Construire la courbe $\sin i_1=f(\sin i_2)$. On placera $\sin i_1$ en ordonnée (verticale), $\sin i_2$ en abscisse (horizontale) puis on prendra la même échelle sur les 2 axes : 1 cm pour 0,1. En déduire, à l'aide du graphique, le coefficient directeur puis l'équation de la droite obtenue. Que vaut n_2 ?

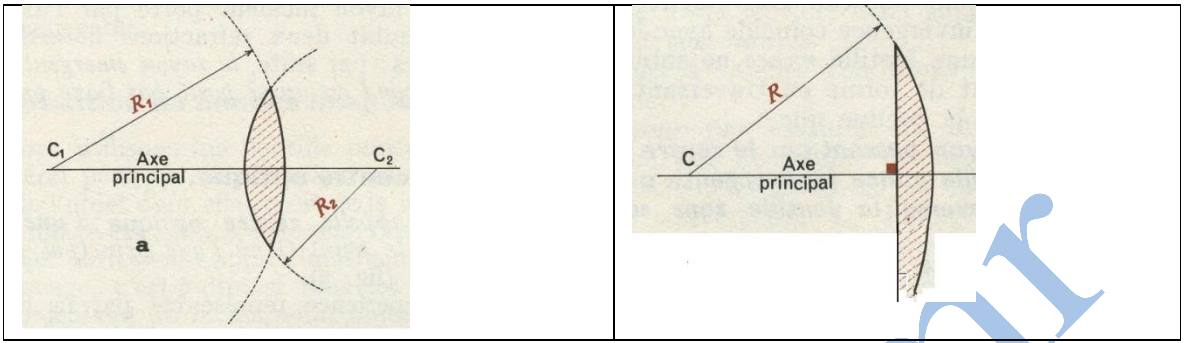
5) Déterminer graphiquement l'angle de réfraction i_2 pour un angle d'incidence i_1=35°.

i_1	0	10	20	30	40	50	60	70
i_2	0	7	13	20	25	30	35	38
$\sin i_1$								
$\sin i_2$								

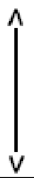
Chapitre IX : Lentilles minces

I) Lentilles minces :

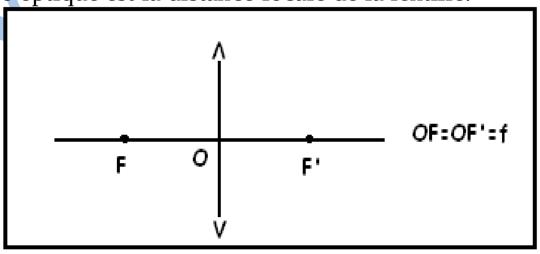
- Une lentille est un milieu transparent limité par deux calottes sphériques (ou une calotte sphérique et un plan).



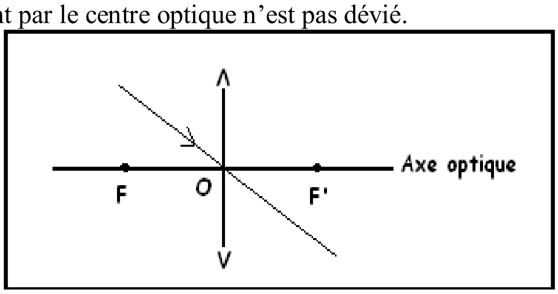
- Les rayons R_1, R_2 ou R de ces calottes sphériques sont appelés rayons de courbures ; la droite passant par leurs centres C_1 et C_2 (ou passant par l'unique centre C et perpendiculaire à la surface plane) est un axe de symétrie de révolution : On l'appelle l'axe principal de la lentille.
- Le centre optique d'une lentille est le point O par lequel passe l'axe principal de la lentille.
- Une lentille est dite mince quand son épaisseur mesurée sur l'axe principal est très petite, comparée aux rayons de courbures.
- Les lentilles à bords minces sont des lentilles convergentes.
- Les lentilles à bords épais sont des lentilles divergentes.
- Représentation schématique des lentilles minces :

➢ **Lentille convergente :**	➢ **Lentille divergente :**
	

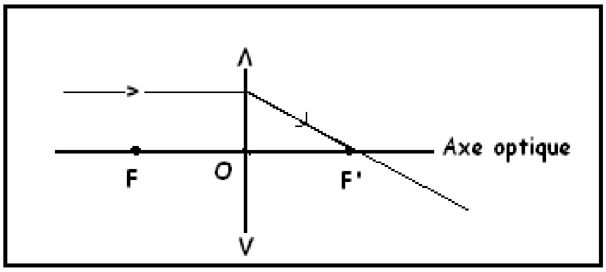
- Une lentille convergente a deux foyers principaux réels symétriques par rapport au centre optique :
  - ➢ Le foyer image est du côté de la lumière émergente.
  - ➢ Le foyer objet est du côté de la lumière incidente.
- La distance de ces foyers au centre optique est la distance focale de la lentille.



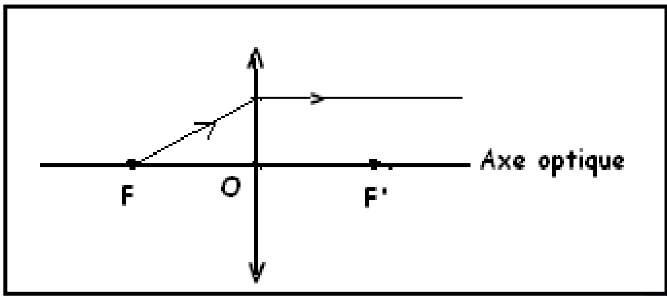
➢ le rayon incident passant par le centre optique n'est pas dévié.



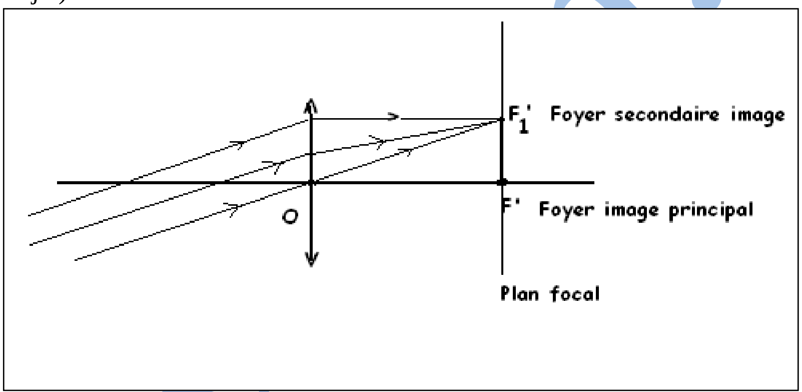
➢ Un rayon parallèle à l'axe optique émerge en passant par le foyer image F' :

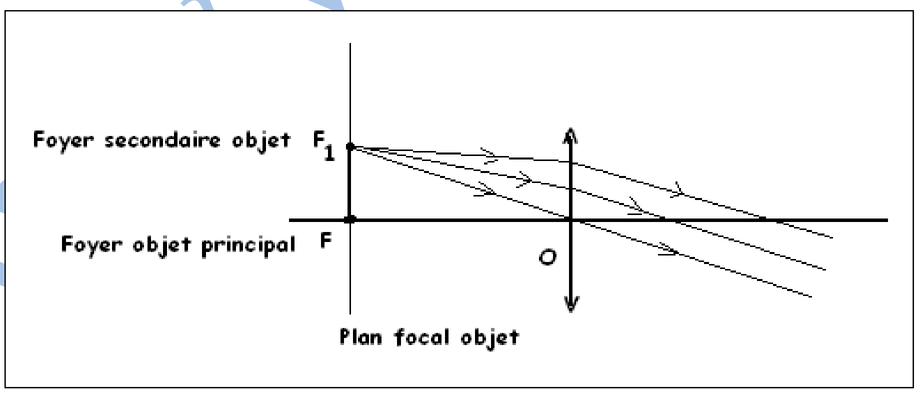


➢ Un rayon incident passant par le foyer objet F donne un rayon émergent parallèle à l'axe optique :



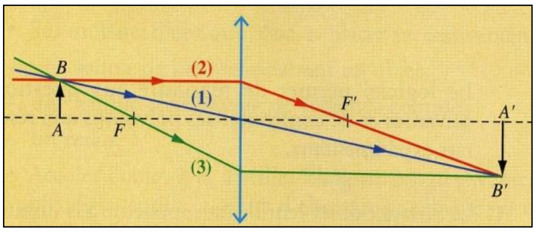
➢ Par chacun des foyers principaux passe un plan focal (image ou objet) lieu des foyers secondaires (image ou objet)



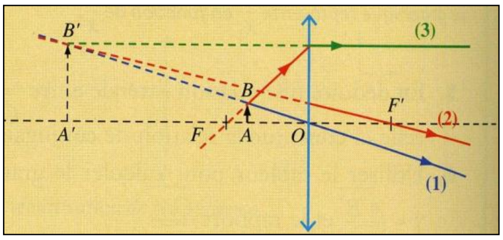


- **Construction géométrique des images :**

Pour construire l'image B' d'un point B formée par une lentille, il faut tracer le cheminant à travers la lentille de rayons particuliers. Le point B' se trouve à l'intersection de ces rayons ou de leurs prolongements.



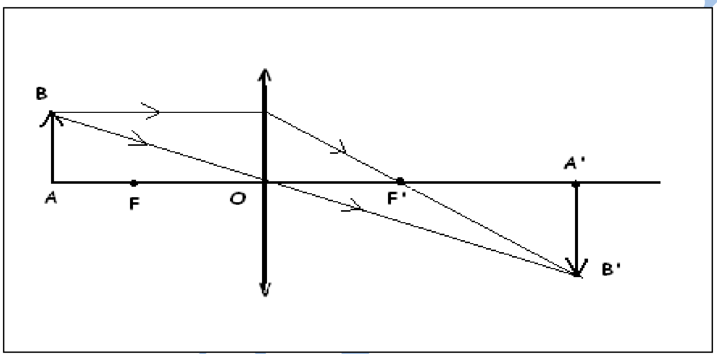
Construction de l'image A'B' du segment AB, donné par une lentille convergente



Construction de l'image A'B' du segment AB, donné par une lentille convergente utilisée en loupe.

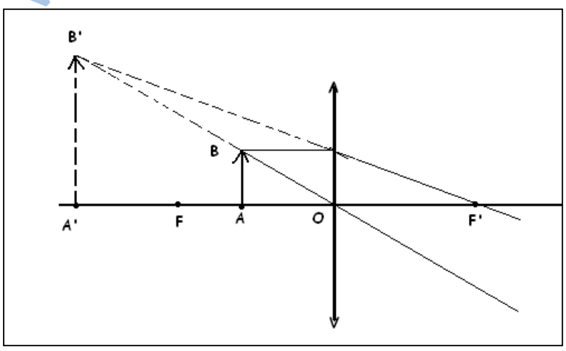
- Objet réel et image réelle :

AB : objet réel
A'B' : image réelle



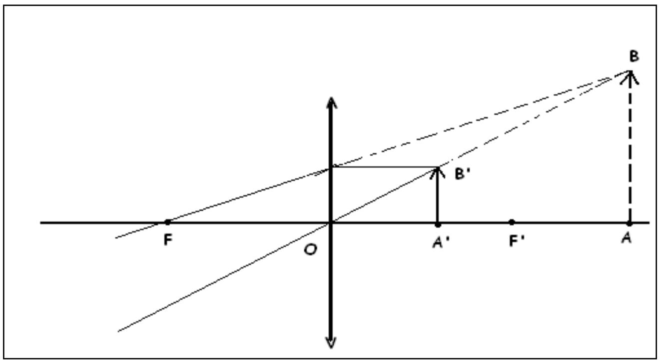
- Objet réel et image virtuelle :

Si l'objet est entre le plan focal objet et la lentille l'image est virtuelle.
AB : objet réel et A'B' image virtuelle



- Objet virtuel et image réelle :

Si l'image est entre le plan focal image et la lentille, l'objet est virtuel.
AB : objet virtuel et A'B' image réelle



- **Formule de conjugaison :**

La relation algébrique liant la position de l'objet OA et la position de l'image OA' est appelée relation de conjugaison :
1/OA' = 1/OA = 1/f
On appelle C=1/f la vergence de la lentille ; avec C en dioptrie (δ) et f en mètre (m) ;

- **Grandissement :**

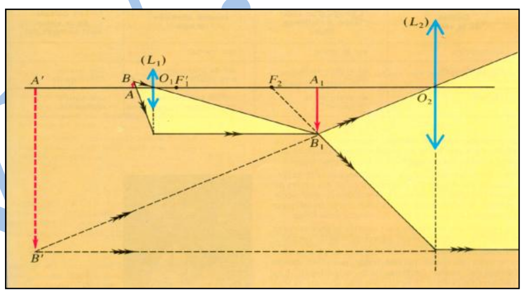
Le rapport de la dimension algébrique de l'image A'B' à celle de l'objet AB donne le grandissement ∂ avec

$$\delta = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

- Si $\overline{A'B'}$ > 0 l'image est droite
- Si $\overline{A'B'}$ ' < 0 l'image est renversée

- **Etude d'un système d'optique simple : le microscope**

- Construction géométrique de l'image



On remarque que l'angle α' (diamètre apparent de l'image), à travers lequel, l'œil observe l'image finale A'B' de l'objet AB (par l'intermédiaire du microscope), est plus grand que l'angle α (diamètre apparent de l'objet).

$$Tan(\alpha) = \frac{AB}{AM} = \alpha; \quad Tan(\alpha') = \frac{A'B'}{A'M} = \alpha'$$

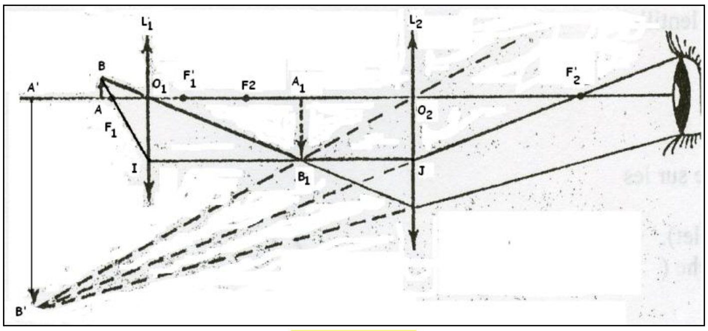


Figure 1

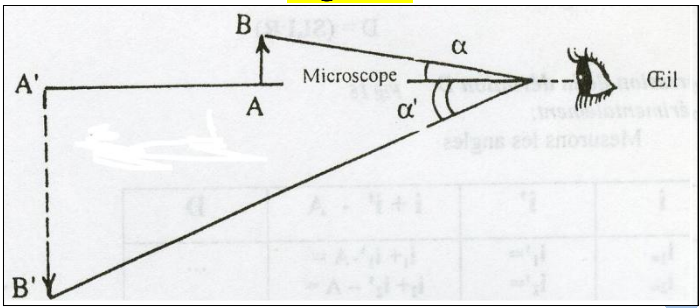


Figure 2

- Grandeurs caractéristiques d'un microscope :
  - On appelle grandissement du microscope le rapport :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \;;\; \overline{A'B'} \;;\; \overline{AB} \;; et\ \gamma$$ des valeurs algébriques

  - On appelle grossissement du microscope :

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

  - On appelle puissance du microscope :

$$P = \frac{\alpha'}{AB}$$

La puissance est mesurée en dioptrie :δ ; α : diamètre apparent de l'image ; α : diamètre apparent de l'objet.

II) Applications :

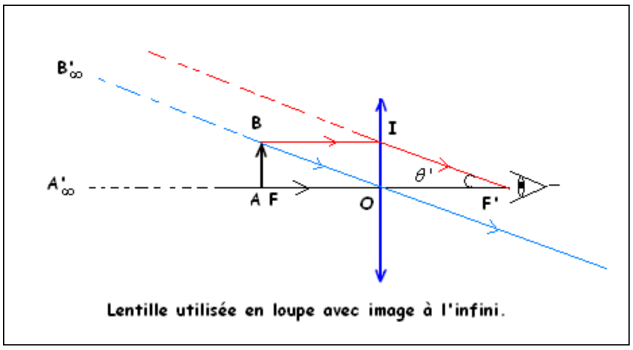
<u>Application (1)</u> :

1. Un objet AB, de dimension 1cm, est placé à une distance d=25cm de l'œil d'un observateur. Sous quel Angle θ, cet objet est-il vu ?

2) L'objet AB est placé dans le plan focal objet d'une loupe de distance focale f=5cm. Le point A est confondu avec le foyer objet F.

a) Justifier la construction de l'image A'B' donnée sur le document ci-dessous.

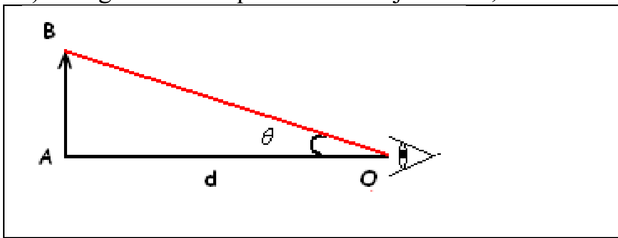
b) L'œil est placée en F'. Déterminer la valeur de l'angle θ' sous lequel l'œil voit l'image. c) Comparer θ et θ'. Conclure.



Lentille utilisée en loupe avec image à l'infini.

Corrigé :

1) L'angle θ sous lequel est vu l'objet AB à ,l'œil nu est tel que :

	$\theta \approx \tan(\theta) = \dfrac{AB}{d};\ \theta = \dfrac{1}{25} = 0,04rd$

2)

a) le rayon BI est parallèle à l'axe et émerge en passant par le foyer F'. Or : BI=OF'=f ; les deux directions BO et IF' sont parallèles. Les deux rayons issus de B émergent selon des directions parallèles ; leur intersection est à l'infini. Le point B', image de B, est à l'infini. Le point A', image de A, est aussi à l'infini.

b) L'angle θ' est donné par la relation :

$$\theta' \approx \tan(\theta') = \frac{OI}{OF'} = \frac{AB}{OF'} \qquad \theta' = \frac{1}{5} = 0,2rd$$

c) Comparons les deux angles en calculant leur rapport.

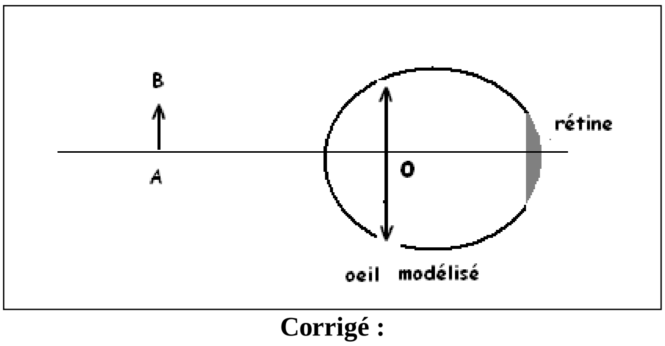
$$\frac{\theta'}{\theta} = \frac{0,2}{0,04} = 5$$

La loupe permet d'observer AB sous un angle 5 fois plus grand que l'œil nu et donc d'en percevoir les détails

Application (2) :

La partie transparente de l'œil (cristallin,cornée…) peut être modélisée par une lentille mince convergente qui forme les images des objets observés sur un écran : la rétine. La distance rétine – lentille est fixe et égale à 25mm.De ce fait, pour avoir une vision nette quelque soit la position de l'objet,la distance focale de la lentille doit varier : lorsque l'œil accommode, les muscles oculaires modifient la courbure du cristallin,ce qui modifie ainsi la distance focale. La rétine est tapissée de cellule de sensible (cônes et bâtonnets). L'ordre de grandeur de la dimension d'une cellule de la rétine est de 4 µm.

1) reproduire le schéma ci-contre et construire l'image d'un objet AB placé à 25 cm devant l'œil (œil accommode pour avoir une vision nette). Justifier cette construction.
2) déterminer, sur le schéma, la position du foyer image.
3) a) trouver la dimension maximale d'une image sur la rétine pour qu'elle soit vue comme un simple point.
b) calculer alors l'ordre de grandeur de la dimension de l'objet.
4) dans la situation précédente, quelle est la vergence du cristallin.



Corrigé :

1) Pour déterminer la position de B' image du point B par la lentille, on trace le rayon issu de B qui passe par O et qui n'est pas dévié. L'image devant se former sur la rétine, le point B' se trouve à l'intersection de la rétine et de ce rayon particulier.
2) On trace le rayon issu de B parallèle à l'axe optique qui converge en B'. Le point F' est l'intersection de l'axe optique et de ce rayon particulier.
3) a) Une image détectée par une seule cellule de la rétine apparaît comme un point. Une cellule ayant une dimension de 4µm , si l'image est inférieure à 4µm, elle apparaîtra comme un point.

b) La formule du grandissement étant : $\partial = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$, on obtient avec

$\overline{0A'} = 2,5cm \quad et\, \overline{OA} = -25cm : \partial = -0,1$

Si la taille est de 4µm, la taille de l'objet se calcule par la relation :

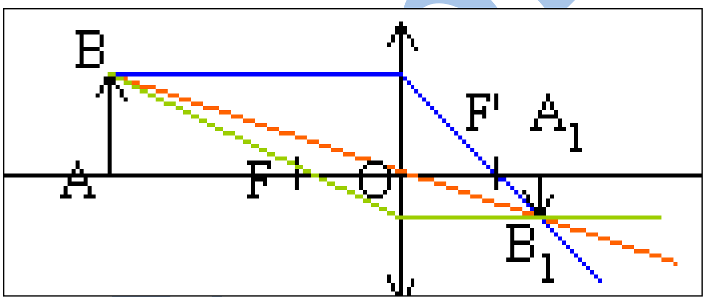
$$\overline{AB} = \frac{\overline{A'B'}}{\partial} ; soit \quad \overline{AB} = \frac{-4}{-0,1} = 40\mu m = 0,04mm$$

4) Utilisons la formule de conjugaison : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = C \; d'ou \;\; C = \frac{1}{2,5.10^{2}} - \frac{1}{-25.10^{-2}} = 44\delta$

III) <u>Exercices :</u>

<u>Exercice 1</u> :

On considère une lentille convergente f '=3 cm, de centre optique O. A 9 cm devant la lentille, on place un objet AB (2 cm de haut).
1) Déterminer par construction et par calculs les caractéristiques de l'image.
2) En utilisant cette lentille, on désire projeter sur un écran situé à 2 m de la lentille une diapositive (36*24 mm) . L'image doit être nette. Déterminer la position de la diapositive et les dimensions de l'image.



<u>Exercice 2</u>:

Un élève dispose d'un banc d'optique muni d'une source lumineuse éclairant une lettre " d ", d'un écran opaque et d'une boite comportant :
- un miroir plan
- cinq lentilles minces de vergence 2, 3, 8, -2, -3 dioptries

La lettre " d " éclairée qui constitue l'objet, sera par la suite et notamment pour la construction, appelée l'objet AB. L'image intermédiaire donnée par la première lentille sera appelée A'B'. L'image finale donnée par la deuxième lentille sera appelée A_1B_1.

L'objet AB est situé à l'extrémité du banc d'optique. L'élève ne déplace que la lentille et l'écran. L'élève réalise sur le banc l'image A'B' de l'objet AB situé à 50 cm de la lentille.
1) Observe-t-il la lettre " d " ou la lettre " p " ? Justifier la réponse à l'aide d'un schéma.
2) Le banc d'optique a une longueur d'environ 2 m. Si l'élève place la lentille à une distance légèrement supérieure à 33 cm de l'objet, peut-il observer une image sur l'écran en déplaçant celui-ci sur le banc d'optique ?
3) L'élève positionne maintenant la lentille L 3 à 20 cm de l'objet. Lorsqu'il déplace l'écran le long du banc, il ne trouve pas d'image. Comment peut-il l'expliquer ?. Faire la construction graphique de l'image.
4) Quelle est la nature de l'image ? Sa taille, par rapport à celle de l'objet, est-elle plus grande ? Plus petite ? Si on place l'œil après la lentille, celle-ci peut servir de loupe.
5) Montrer, à l'aide d'un schéma, que si on remplace la lentille par une lentille de vergence -3 dioptries placée à la même distance de l'objet, celle-ci ne peut servir de loupe.
6) Étude du grandissement : Écrire la formule de conjugaison des lentilles ainsi que celle du grandissement □.
7) Calculer le grandissement □ pour la lentille (v = 3dioptries) pour un objet situé à 43 cm , puis à 63 cm devant la lentille . En déduire ce qu'il faut faire pour diminuer la taille de A'B' sur l'écran.
8) Pour une position donnée de l'objet, si on remplace la lentille de vergence 3δ par la lentille de vergence 8δ, dans quel sens faudra-t-il déplacer l'écran pour observer l'image A'B' ?

CHIMIE

Chapitre I : Les Alcanes

I) Généralités

- Les alcanes sont des hydrocarbures saturés à chaînes carbonées non cycliques de formule général: C_nH_{2n+2}
- Nomenclature :

➢ Cas des chaînes linéaires :

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Formule	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	C_6H_{14}	C_7H_{16}	C_8H_{18}	C_9H_{20}	$C_{10}H_{22}$
Nom	Méthane	Ethane	Propane	Butane	Pentane	Hexane	Heptane	Octane	Nonane	Décane

➢ Cas des chaînes ramifiées

Règle :

- Identifier et nommer l'alcane à chaîne linéaire servant de référence, c'est à dire chercher la chaîne carbonée la plus longue.
- Identifier et nommer les groupements alkyls qui remplacent des atomes d'hydrogène.
- Identifier la position de ces groupements sur la chaîne carbonée principale numérotés de façon à avoir les numéros de position les plus faibles.
- Nom = Position(s) /tiret/groupement(s) alkyle(s) sans le « e »final /alcane substitué.
- Groupement (radical alkyle) : - C_nH_{2n+1} Le nom du radical dérive de celui de l'alcane correspondant en remplaçant la terminaison « ane » par « yl »
- Exemples : Méthane CH_4 $\leftrightarrow$ méthyl - CH_3 ; éthane C_2H_6 $\leftrightarrow$ éthyl - C_2H_5

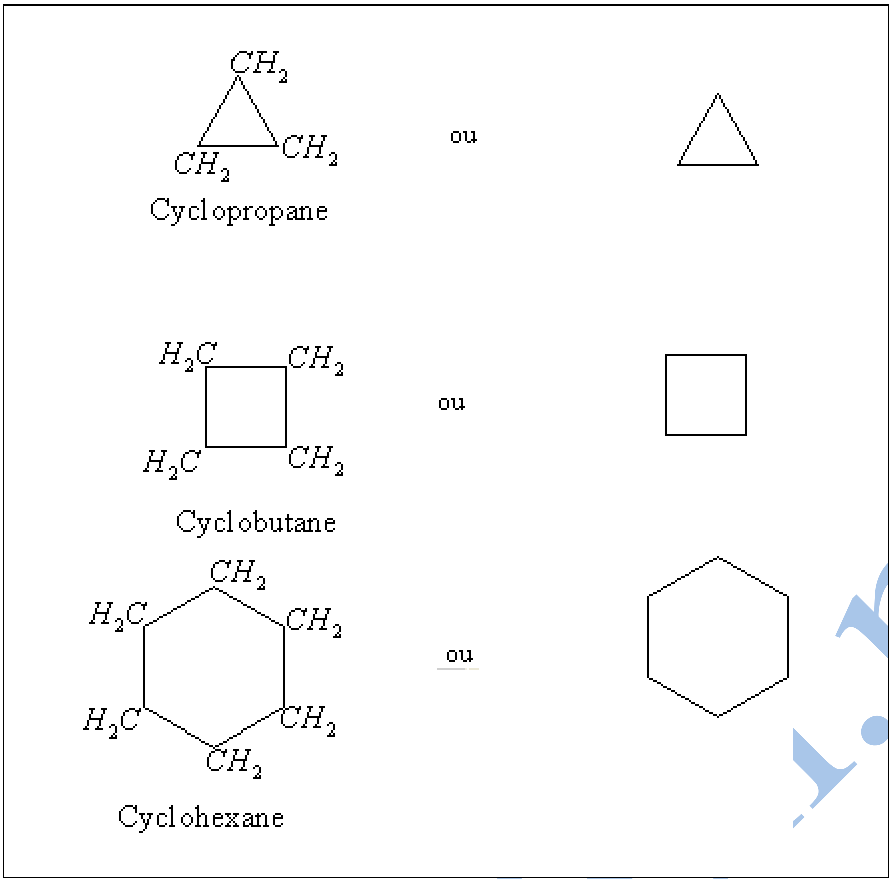
Exemples :

(1) (2) (3) (4) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{\mid}}{CH}-CH_2-CH_3$	2-méthylbutane :
(1) (2) (3) (4) (5) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{\mid}}{CH}-CH_2-CH_2-CH_3$	2, méthylpentane
(1) (2) (3) (4) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{\mid}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{\mid}}{CH}-CH_3$	2,3 diméthylbutane

➢ Alcanes à chaîne cyclique (cycloalcanes)

- Formule générale : C_nH_{2n}

Exemples :



- **Propriétés physiques :**

Dans les conditions habituelles les alcanes sont :

- Gazeux jusqu'à quatre atomes de carbone.
- Liquides entre cinq et seize atomes de carbone
- Solides au-delà de seize atomes de carbone.
- Insolubles dans l'eau mais solubles dans les solvants organiques ;

- **Propriétés chimiques :**

- Combustion complète :

$$\mathrm{C_nH_{2n}} + \frac{3n+1}{2} O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1) + \mathrm{H_2O}$$

$$Exemple : \mathrm{C_4H_{10}} + \frac{13}{2} O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5 + \mathrm{H_2O}$$

- Substitution : Elle consiste à remplacer un atome d'hydrogène par un autre atome ou groupe d'atomes monovalents.

Exemple : Substitution avec le chlore :

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{\text{Lumière}} CH_3Cl + HCl$$

$$CH_3Cl + Cl_2 \xrightarrow{\text{Lumière}} CH_2\ Cl + HCl$$

$$CH_2\ Cl + Cl_2 \xrightarrow{\text{Lumière}} CHCl + HCl$$

$$CHCl + Cl_2 \xrightarrow{\text{Lumière}} CCl_4 + HCl$$

CH_3Cl, CH_2Cl_2, $CHCl_3$ et CCl_4 (mono, di, tri et tétra chlorométhane)

- Isomères :

Ce sont des composés ayant la même formule brute mais des formules semi-développées différentes.

Exemples : C_4H_{10} Cette formule brute correspond à deux isomères :

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	butane
$\begin{array}{l} CH_3-CH-CH_3 \\ \quad\quad\;\; \vert \\ \quad\quad CH_3 \end{array}$	méthylpropane

II) Applications :

Application 1 :

a) Nommez l'alcane suivant :

$$\begin{array}{ccccccccc} (1) & & (2) & & (3) & & (4) & & (5) \\ CH_3 & - & CH & - & CH & - & CH_2 & - & CH_3 \\ & & \vert & & \vert & & & & \\ & & CH_3 & & CH_2 & - & CH_3 & & \end{array}$$

Solution :

3- éthyl, 2méthyl pentane

b) Donnez les formules semi-développées et les noms des isomères ayant la formule brute C_3H_7Cl

Solution :

$CH_3-CH_2-CH_2Cl$	1 -chloropropane
$CH_3-CHCl-CH3$	2 -chloropropane

Application 2 :

La composition centésimale massique d'un alcane est : %C=81,8 %H=18,2.

Déterminer sa formule brute sachant que sa masse molaire moléculaire est M=44g/mol

Solution

$$\frac{M}{100}=\frac{12x}{\%C}=\frac{y}{\%H}$$

$$\left\{\frac{M}{100}=\frac{12x}{\%C}\Leftrightarrow x=\frac{44.81,8}{12.100}\Rightarrow\boxed{x=3}\right.$$

$$\left\{\frac{M}{100}=\frac{12x}{\%y}\Leftrightarrow x=\frac{44.18,2}{100}\Rightarrow\boxed{y=8}\right.$$

$La\ formule\ brute\ est\ donc: C_3H_8$

III) Exercices :

Exercice 1 :

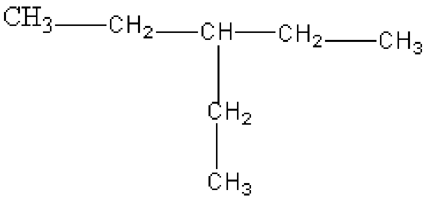
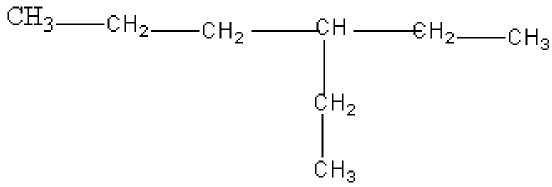
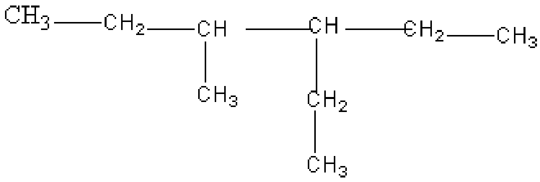
Ecrire les formules semi développées des composés ci- dessous ?

a) 2,3 diméthylbutane.

b) 3,3 diméthylhexane.

Exercice 2 :

Donner le nom de chacun des composés suivants :

a) 	b) 
c) 	d- $(CH_3)_4C$ e- $(CH_3)_3C-CH_3$

Exercice3 :
Donner les formules et les noms des isomères de l'hexane.

Exercice 4 :
En présence de lumière, on fait réagir le dichlore et le pentane. En supposant que l'on ne substitue un atome de chlore qu'à un seul atome d'hydrogène, écrire la formule des divers isomères que l'on obtient.

Exercice 5 :
Dans les conditions ordinaires, les alcanes de formule générale : C_nH_{2n+2} sont gazeux pour $n \leq 5$. Quels sont les alcanes gazeux plus denses que l'air?

Exercice 6 :
Ecrire l'équation de la r&action de la combustion complète d'une mole de butane : C4H10 dans l'oxygène.
Expliquer pourquoi, par temps froid, les vitres d'une pièce chauffée par un appareil à gaz butane (fonctionnant sans cheminée) se couvrent de buée, ce qui n'est pas le cas si la pièce est chauffée par un radiateur électrique.

Exercice 7
Donner les formules semi-développées et les noms des isomères de formule brute C_6H_{14}

Exercice 8
Donner les formules semi-developpes des alcanes suivants :
a/2-méthylbutane b/3-éthylexane c/ 2,4-diméthylpentane d/ 3-éthyl-4-méthylheptane

Exercice 9
Lorsque le méthane et le dioxygène sont en présence dans les conditions stœchiométriques (celles indiquées par les coefficients de l'équation bilan) le mélange est explosif.
1/Ecrire l'équation bilan de la réaction de combustion complète
2/Donner la composition centésimale volumique du mélange explosif méthane-dioxygène
3/ Donner la composition centésimale volumique du mélange explosif méthane-air

Exercice 10
Une automobile consomme 12L d'essence pour faire 100 km. En supposant que l'essence utilisée est de l'octane pur :
1/ Ecrire l'équation bilan de la réaction de combustion complète
2/Calculer le volume d'air nécessaire a la combustion complète de 12 L d'essence.
Données : l'air contient 20% de dioxygène en volume. Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire gazeux est 24L/mol. La masse volumique de l'octane est 700kg.m^{-3}.

Exercice 11
Soit un mélange gazeux de méthane et de propane, de volume total V= 20 cm^3. La combustion complète de ce mélange dans l'eau et V'= 32 cm^3 de dioxyde de carbonne. Les deux volumes étant mesures dans les mêmes conditions de température et de pression, donner la composition centésimale volumique du mélange initial.

Chapitre II : Alcènes et Alcynes

I) Généralités :

1) Alcènes : On appelle alcène des hydrocarbures insaturés non cycliques de formule C_nH_{2n} ($n \geq 2$) dont la molécule comporte une liaison double : ($C=C$)

1-1) Nomenclature :

➢ **Chaîne linéaire :**

Le nom d'un alcène s'obtient à partir de l'alcane correspondant en remplaçant la terminaison « ane) par « ène » précédé entre tirets de l'indice de la position de la double liaison.
La position de la double liaison est indiquée par le numéro de l 'atome de carbone doublement lié qui possède l'indice le plus petit.
Exemples :

(1) (2) (3) (4) $CH_2=CH-CH_2-CH_3$	But-1-ène
(1) (2) (3) (4) $CH_3-CH=CH-CH_3$	But-2-ène

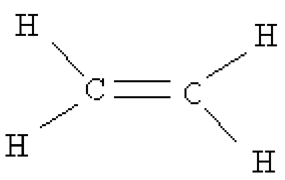
➢ **Chaîne ramifiée :**

-Identifier la chaîne carbonée la plus longue contenant la double liaison (chaîne principale)
-Numéroter la chaîne principale de l'extrémité la plus proche des atomes de carbone doublement liés
- Identifier la position des radicaux (Groupements alkyls) sur la chaîne principale
- Exemples :

(1) (2) (3) (4) $CH_2=C-CH_2-CH_3$ $\quad\quad\ \ CH_3$ (sur C2)	2-but-1-ène
(1) (2) (3) (4) (5) (6) $CH_3-CH-C=CH-CH_2-CH_3$ $\quad\quad CH_3 \quad CH_2-CH_3$ (sur C2 et C3)	3-éthyl-2-méthyl-hex-3-ène

1-2) Structure de la molécule d'éthylène :

-La molécule d'éthylène est plane.
-Les angles valentiels : sont égaux à 120°.
-Distance (C-C)=1,33 Å
-(Distance (C-H)=1,09Å



1-3) Propriétés chimiques :

1-3-1) Réactions d'addition :

Exemples :

- Si $XY=H_2$ (Hydrogénation : addition d'hydrogène)

- Si $XY=Cl_2$, Br_2, I_2…etc. ((halogénation : Addition d'halogène)

$$CH_2 = CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl - CH_2Cl$$
$$\textit{éthylène} \qquad\qquad 1-2-\textit{dicloroéthane}$$

- Si $XY=H_2\,O$(Hydratation : addition de l'eau

$$CH_3 - CH = CH_2 + HCl \longrightarrow \begin{cases} CH_3 - CHOH - CH3(propan-2-ol)(majoritaire) \\ CH_3 - CH_2 - CH_2OH(propan-1-ol)(\min oritaire) \end{cases}$$

$$\Pr opène$$

L' hydrogène se fixe de préférence sur le carbone le plus hydrogéné (Règle de Markownikov)

- Remarque : La règle de Markownikov est applicable lors d'addition d'halogénure d'hydrogène (HCl, HBr, HI…etc.)

Exemple :

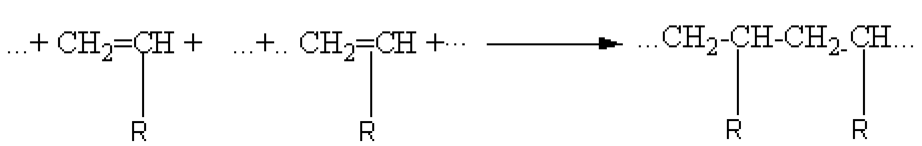
$$CH_3 - CH = CH_2 + HCl \longrightarrow \begin{cases} CH_3 - CHCl - CH3(2-chloroppane)(majoritaire) \\ CH_3 - CH_2 - CH_2Cl((1-chloroppane)(\min oritaire) \end{cases}$$

1-3-2) Polymérisation :

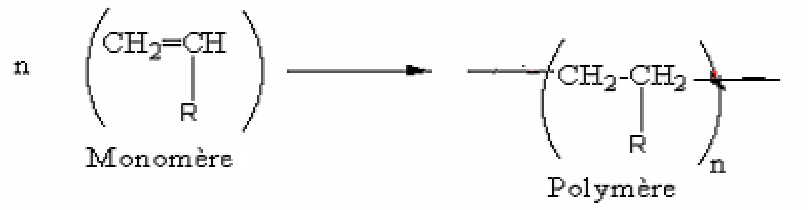
C'est une polyaddition d'un très grand nombre de molécules insaturées identiques appelées monomère.

Elle conduit à une macromolécule appelée polymère

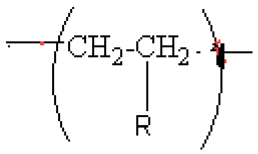
Exemple :n :Indice ou degré de polymérisation



Ou encore plus simplement



Motif du polymère



2) Alcynes

-On appelle alcynes les hydrocarbures insaturés de formule C_nH_{2n-2} ($n \geq 2$) dont la molécule comporte une triple liaison ($C \equiv C$)

2-1) Nomenclature :

Les mêmes règles déjà vues dans les alcènes sont reconduites en remplaçant « ène » par « yne »

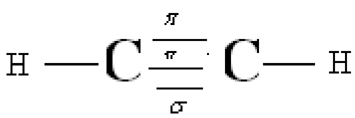
Exemples :

$CH_3-C\equiv C-CH_3$	but-2-yne
CH_3-CH-C≡ CH │ CH3	3-méthyl-but-1-yne

2-2) Structure de la molécule d'acétylène

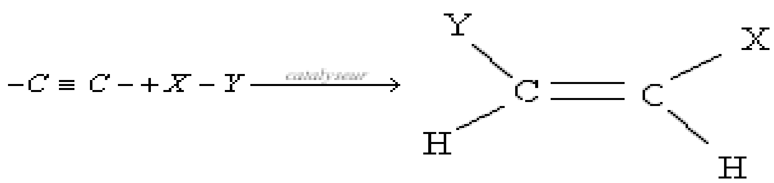
-La molécule est linéaire

- les angles valentiels sont égaux à 180°
- Distance $C \equiv C$ 1,21 Å
- Distance $C-H$ 1,09 Å



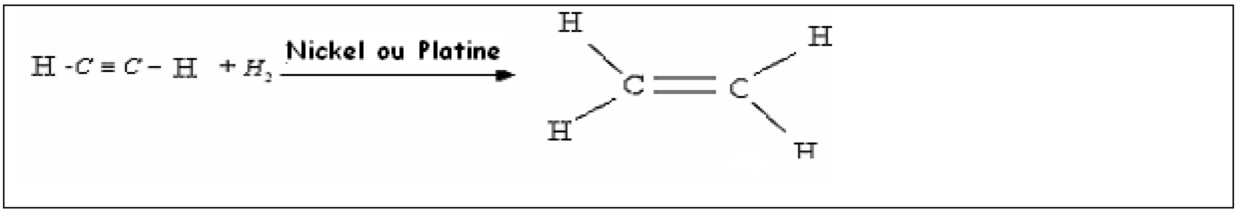
2-3) Propriétés chimiques :

Réaction d'addition :

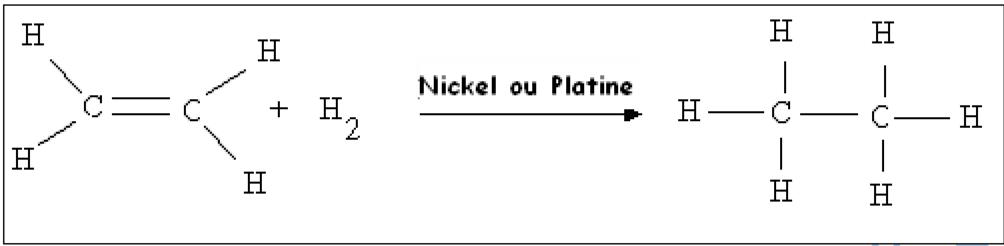


Une deuxième addition peut éventuellement avoir lieu sur le produit de la première :

-Si XY=H2 (Hydrogénation)

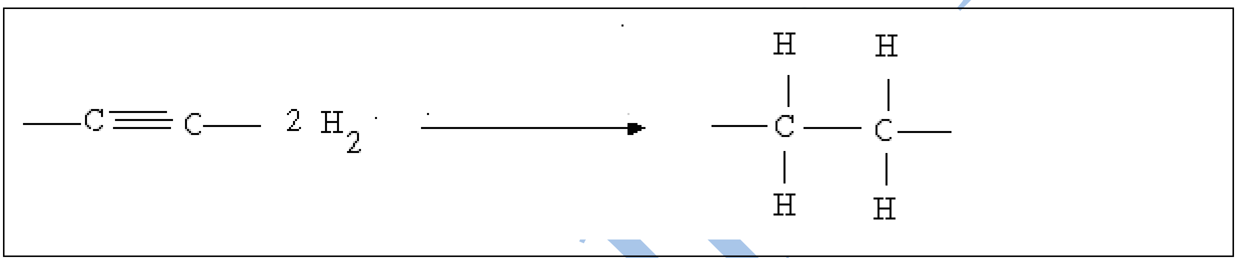


Suivi de :



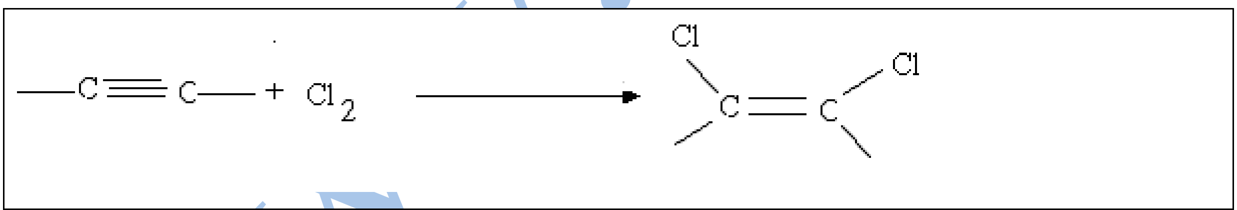
Ethylène Ethane

Si les conditions sont plus énergétiques, l'addition de deux molécules d'hydrogène peut se faire en une seule étape :



- Si XY=Cl_2, Br2, I2…etc. ((halogénation : addition d'halogène)

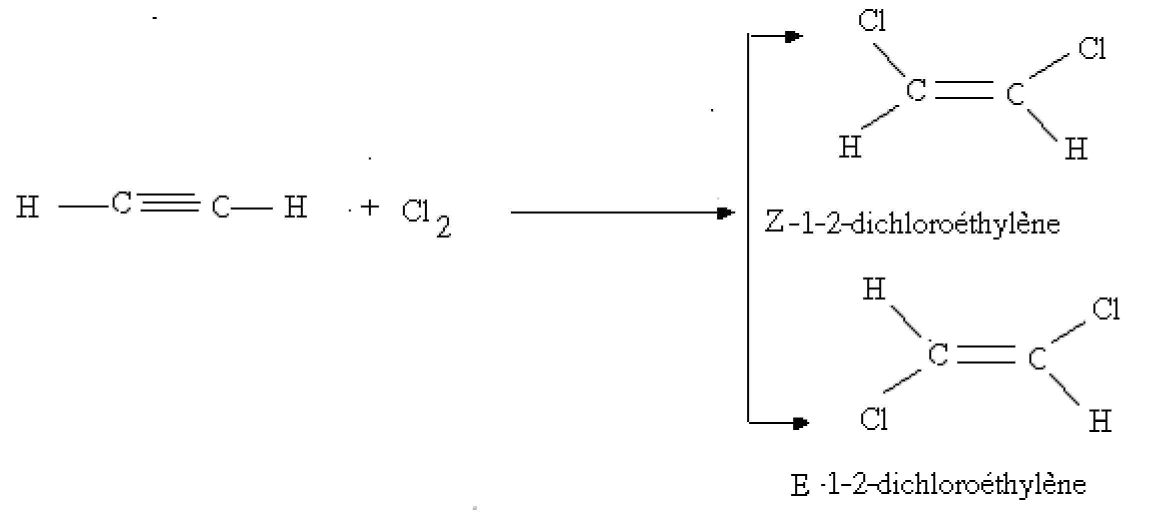
Exemples :



Remarque : Stéréo-isomères :

On appelle stéréo-isomères des composés qui ont la même formule brute, la même formule semi-développée mais des dispositions spatiales différentes.

Exemple :



Z :ensemble, E :opposé contre

- -Si X=HCl, HBr, HI (halogénures d'hydrogène), l'alcyne donne un composé insaturé halogéné puis un composé saturé dihalogéné.

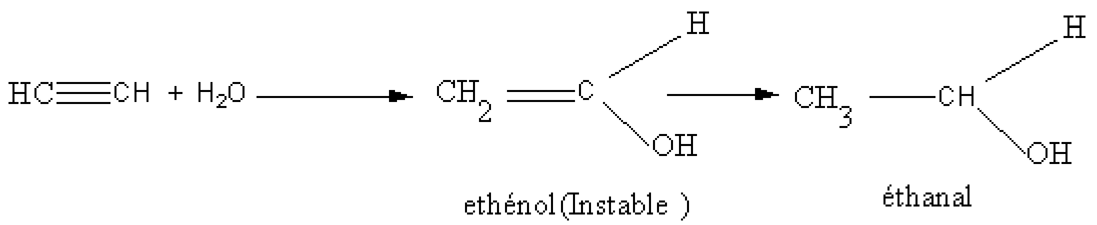
Il y a dissymétrie, la règle de Markownikov s'applique.

$H-C\equiv C-H+HCl\rightarrow H2C=CHCl$ (*monochloroéthylène*) suivi de

$H2C=CHCl+HCl\rightarrow CH_3CHCl_2(1-1dichloroéthane)$

-Si XY=H_2O en présence d'acide sulfurique et d'ions mercure (II) on a une hydratation..

L'alcyne donne un « énol » qui se transforme spontanément en cétone. Sauf l'acétylène qui donne un aldéhyde ;



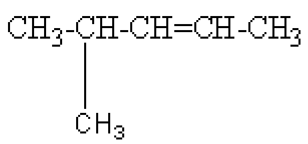
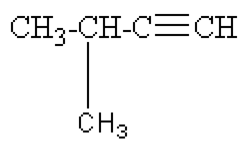
II) Applications :

Application 1 :

Donner les formules semi-développées :

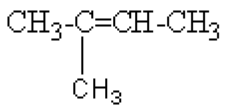
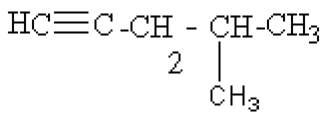
a) 4-méthyl-pent-2-ène
b) 3-méthyl-but-1-yne

Solutions :

a)	b)
	

Application 2 :

- Donner les noms des alcènes et alcynes suivants :

a) 	b) 

Solution:

a) 2- méthylbut-2-ène	4-méthylpent-1-yne

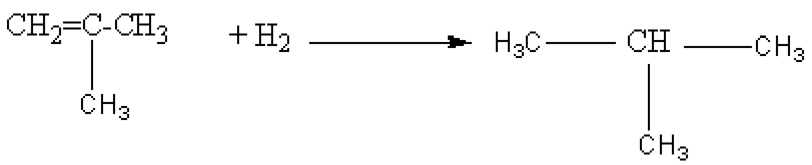
- Ecrire les équations bilans complètes suivantes :

a) méthypropène + dihydrogène $\longrightarrow$

b) propène + chlorure d'hydrogène $\longrightarrow$

c) propyne + chlorure d'hydrogène $\longrightarrow$

Solution :

a)  Méthylpropène Méthylpropane
b) $CH_3-CH=CH_2+HCl\longrightarrow\begin{cases}CH_3-CHCl-CH_3(2-chloropropane)(majoritaire)\\CH_3-CH_2-CH_2Cl(1-chloropropane)(\min oritaire)\end{cases}$ $\Pr opène$
c) $CH_3-C\equiv CH+HCl\longrightarrow\begin{cases}CH_3-CCl=CH_2(2-chloropropène)(majoritaire)\\CH_3-CH=CHCl(1-chloropropène)(\min oritaire)\end{cases}$ $\Pr opyne$

III) Exercices

Exercice 1 :

Compléter les réactions suivantes :

a) $CH_3\text{-}CH{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow$

b) $CH_3\text{-}CH_2\text{—}CH{=}CH_2 + H_2O \longrightarrow$

c) $n\ CH_2{=}CHCl \longrightarrow \ldots$

d) $CH_3\text{—}CH{=}CH\text{—}CH_3 + H_2 \xrightarrow{\text{platine}}$

e) $H\text{—}C{\equiv}C\text{—}H + H_2O \xrightarrow{Hg^{2+}}$

Exercice 2 :

Donner les formules des composés dont les noms suivants ;

a) diméthyl-2,6 heptyne-3
b) méthyl-5 hexène-2
c) méthyl-2 éthyl-4 hexène-2
d) cyclohexène

Exercice 3 :

On réalise l'addition d'eau sur le butène C_4H_8.

a) combien existe –t-il d'isomères du butène à chaîne carbonée non ramifiée.
b) écrire les équations des réactions possibles d'addition d'eau. Combien peut-on obtenir de butanols différents.

Exercice 4 :

Indiquer les formules développées des composés suivants :

- diméthyl-2,3 butène-1
- triméthyl-2,2,3 butène-3
- diméthyl-3,3 propène-1
- méthylcyclobutène

Certains des noms ci- dessus sont soit incomplets, soit incorrects : rectifiez –les.

Exercice 5 :

a) Un carbure d'hydrogène de la famille des alcynes (formule générale : C_nH_{2n-2} admet comme proportion en masse 12 fois plus de carbone que d'hydrogène.

-En déduire la formule brute de ce carbure d'hydrogène.

-En donner la formule développée.

- Quels sont les types de liaison rencontrés dans cette structure

b) On réalise une hydrogénation complète de 20 cm^3 de carbure d'hydrogène (mesurés dans les conditions normales de température et de pression).

-Ecrire l'équation de la réaction

- Ecrire la formule développée du composé saturé obtenu.

- Quels sont les types de liaisons rencontrés dans cette structure

- Calculer la masse du composé obtenu

<u>Exercice 6</u> :

Un composé organique de masse moléculaire molaire 147,5g/mol, contient 72,20% de chlore, 24,40% de carbone et 3,40% d'hydrogène.

a) Quelle est sa formule brute ?
b) Quels isomères répondent à cette formule
c) Le corps étudié peut être obtenu par addition de dichlore sur un alcène déjà chloré sur le carbone lié à l'un des carbones porteur de la double liaison.

Donner la formule semi-développée du composé étudié.

Exercice 7 :

Donner les formules semi-développés du :

a/ 4-methylpent-2-ene b/3-methylbut-1-yne c/4-ethyl-2,3-dimethylhex-2-ene.

Exercice 8 :

Donner les noms des alcènes ou alcynes suivants :

$$\begin{array}{lll} \quad\quad CH_3 & \quad\quad\quad\quad\quad\quad CH=CH_2 & \quad\quad\quad\quad CH_3 \\ \textbf{a/}\ CH_3\text{-}C\text{=}CH\text{-}CH_3 & \textbf{b/}CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_3 & \textbf{c/}HC\equiv C\text{-}CH_2\text{-}CH\text{-}CH_3 \end{array}$$

Exercice 9 :

Ecrire les équations-bilan complètes, avec les formules semi-développées et les noms des produits pour les réactions suivantes:

a/méthylpropène + dioxygène $\longrightarrow$ ….. b/but-2-ène + dichlore …. $\longrightarrow$

c/pent-1-ène + eau $\longrightarrow$…. d/propène + chlorure d'hydrogène ….. $\longrightarrow$

e/propyne + chlorure d'hydrogène $\rightarrow$….. $\rightarrow$ …. (2reactions) f/but-1-yne + eau …. $\longrightarrow$

Exercice 10 :

L'addition de dichlore sur un alcène donne un composé halogène contenant 62,8 % de chlore en masse.

a/Déterminer la formule brute du compose halogéné . Quel était l'alcène ?

b/Cette formule brute correspond théoriquement à quatre isomères de position. Lesquels ?

c/En fait un seul des deux isomères est obtenu. Lequel ? Ecrire l'équation-bilan.

Exercice 11:

Le trichloroéthylène est un solvant industriel et domestique courant. Il est obtenu en trois étapes :

a/deux additions successives de chlore sur l'acétylène avec obtention d'un compose chlore saturé.

b/élimination d'une molécule de chlorure d'hydrogène sur une molécule du composé chloré. Ecrire les équations-bilan de ces réactions et nommer les composes chlorés.

Exercice 12 :

Un mélange gazeux est constitué d'un alcane, d'un alcène et de l'hydrogène. 100 ml de ce mélange chauffé en présence de nickel (catalyseur) donne un seul constituant dont le volume (mesuré dans les conditions que celles du mélange) est 70 ml.

1/Calculer la composition centésimale molaire de ce mélange. Que peut-on dire sur les compositions élémentaires (carbone et hydrogène) de l'alcane et de l'alcène ?

La combustion complète de 100 ml de ce mélange donne 210 ml (mesuré dans les mêmes conditions que celles du mélange) de dioxyde de carbone.

2/Donner les formules semi-développées et les noms des deux hydrocarbures.

Chapitre III : Composés aromatiques

I) Généralités :

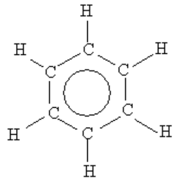
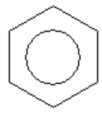
Les composés aromatiques sont des composés qui présentent des propriétés particulières ne correspondant pas tout à fait à celles des hydrocarbures saturés ni à celles des hydrocarbures insaturés. Le plus courant est le benzène.

1) Structure du benzène :

- Formule brute : C_6H_6
- La molécule est plane
- Les angles valentiels sont égaux à 120°
- d(C-C) : 1,41 Å.

Cette valeur ne correspond ni à la simple liaison (1,54Å.), ni à la double liaison (1,33 Å.)

- Représentation de la molécule de benzène

	Ou plus simplement 

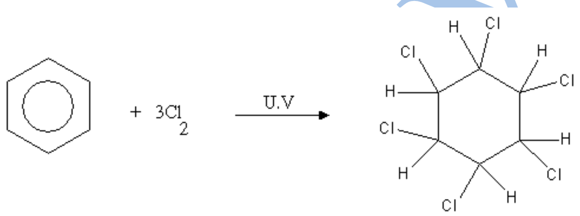
2) Propriétés chimiques :

Le benzène peut donner des réactions d'addition et des réactions de substitution.

2-1) Réactions d'addition :

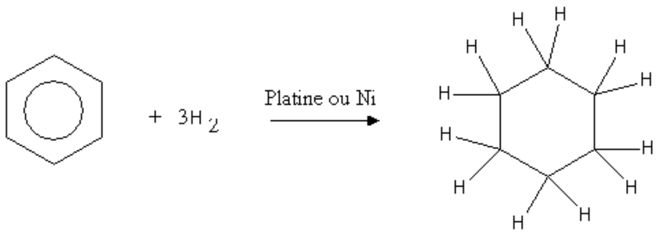
- **Avec le dichlore:**

$C_6H_6 + 3Cl_2 \xrightarrow{U.V} C_6H_6Cl$ (1, 2, 3, 4, 5, 6 hexachlorocyclohexane) ou bien



- **Avec le dihydrogène:**

$C_6H_6 + 3H_2 \xrightarrow{Platine\,ou\,Ni} C_6H_{12}$ (Cyclohexane) ou encore

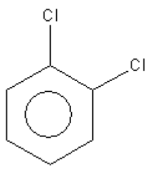
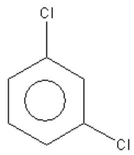
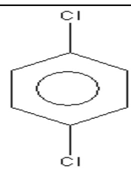


2-2) Réactions de substitution

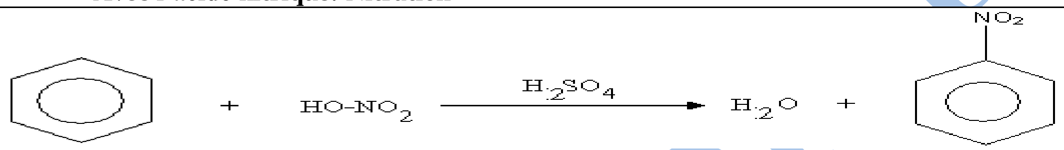
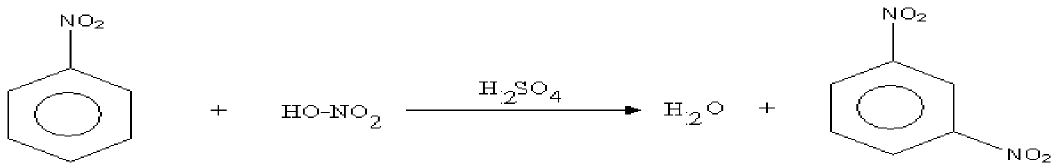
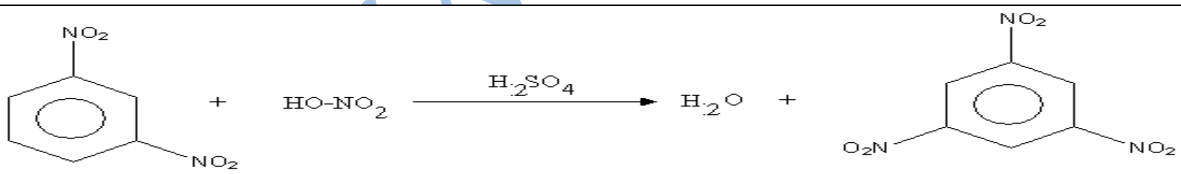
- **Avec le chlore**

$$C_6H_6 + Cl_2 \xrightarrow{AlCl3ouFeCl3} HCl + C_6H_5Cl\,(monochlorobenzene)$$
$$C_6H_5Cl + Cl_2 \xrightarrow{AlCl3ouFeCl3} HCl + C_6H_4Cl_2\,(dichlorobenzene)$$
$$C_6H_4Cl_2 + Cl_2 \xrightarrow{AlCl3ouFeCl3} HCl + C_6H_3Cl_3\,(trichlorobenzene)$$
$$C_6H_3Cl_3 + Cl_2 \xrightarrow{AlCl3ouFeCl3} HCl + C_6H_2Cl_4\,(tetrachlorobenzene)$$
$$C_6H_2Cl_4 + Cl_2 \xrightarrow{AlCl3ouFeCl3} HCl + C_6HCl_5\,(pentachlorobenzene)$$
$$C_6HCl_5 + Cl_2 \xrightarrow{AlCl3ouFeCl3} HCl + C_6Cl_6\,(hexachlorobenzene)$$

Remarque: Isomères de dichlorobenzène.

 1-2 dichlorobenzène ou orthodichlorobenzène	 1-3 dichlorobenzène ou métadichlorobenzène	 1-4 dichlorobenzène ou paradichlorobenzène

- **Avec l'acide nitrique: Nitration**

 mononitrobenzène
 1,3-dinitrobenzène
 1,3,5 trinitrobenzène

II) Applications

Application 1:

Quel volume de benzène doit-on utiliser pour préparer 100gr de paradichlorobenzène (1,4 dichlorobenzène) si le rendement de la réaction est de 80%:

$$\rho_{bezène} = 0,9Kg/L, C = 12g/mol, Cl = 35,5g\ et\ hydrogène$$

Solution:

Dans les condtions stoéchiométriques: Une mole de molécule de benzène (M=78g/mol) donne une mole de molécule de paradichlorobenzène (M=147g/mol).

Avec un rendement de 80%.

$$78 \rightarrow \frac{147.80}{100} = 117,6g$$

$$donc\, 78 \rightarrow 117,6g$$

$$m_{benzène} \rightarrow 100g\ d'ou$$

$$m_{benzène} = \frac{78.100}{117,6} = 66,33g$$

$$Comme\ m_b = \rho_b.V_b$$

$$alors\, V_b = \frac{m_b}{\rho_b}$$

$$A.N : \rho_b = 0,9Kg/l = 900g/l$$

$$V_b = \frac{66,33}{900} = 0,0737l\ soit\ \boxed{V_b = 73,7ml}$$

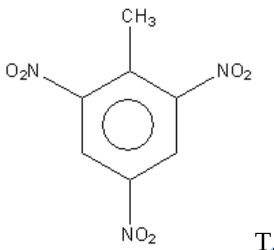
Application 2:

Le 2,4,6 trinitrotoluène obtenu par substitution de trois atomes d'hydrogène par action l'acide nitrique avec production d'eau.

Donner la formule du 2,4,6 trinitrotoluène et l'équation bilan de la réaction:

Solution

-formule:



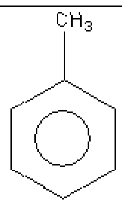
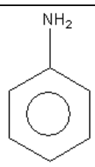
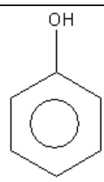
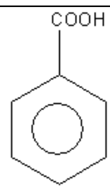
T.N.T

$$C_6H_5(CH_3) + 3HNO_3 \rightarrow 3H_2O + C_6H_2(NO_2)_3CH_3$$

Les réactions d'addition détruisent le noyau benzénique (la géométrie de la molecule est modifiée .

Les réactions de substitution conservent la géométrie de la molecule (le noyau benzénique est conserve)

-Autres composes aromatiques:

 Méthylbenzène (Toluène)	 Phénylamine (Aniline)	 Hydroxybenzène (phénol)	 Acide benzoïque

III) Exercices

Exercice 1

Combien existe-t-il de corps différents pouvant être appelés :

a) dichlorobenzène
b) trichlorobenzène
c) tétrachlorobenzène

Exercice 2:

On realise la bromation du benzène en presence du bromure de Fer(III) $FeBr_3$ et d'un éxès de dibrome. La réaction est conduite de telle façon que son rendement par rapport au benzène est de 80%.

A partir de 3,0g de benzène, combien a-t-on obtenu de monobromobenzène (donné les resultants en moles et en grammes)

Exercice 3:

Quand on ajoute du dibrome à une solution aqueuse de phénol, il se forme un précipité de tribromo-2,4,6 phénol. Calculer la quantité du dérivé bromé obtenu en faisant réagir 2g de phénol sur 8 g de dibrome, la réaction étant totale.

Exercice 4:

On envoie 1g de benzène vapeur avec du dihydrogène sur un catalyseur d'hydrogénation.

Le produit obtenu est brûlé avec un excès d'oxygène et on obtient 1,0g de vapeur d'eau et du dioxyde de carbone.

a) Calculer la masse de dioxyde de carbone obtenue.
b) Calculer la masse de benzène ayant réagi avec le dihyrogène.
c) Calculer le rendement de la réaction d'hydrogénation

Exercice 5

On considère les quatre composes suivants:

Hexane, Hex-2-éne, Hex-1-yne et Benzène

a) Imaginer des experiences simples permettant de distinguer ces produits entre eux..

b) On considère un mélange de ces quatre composes et on realise des experiences pour déterminer la composition du mélange.

- La densité du mélange rendu gazeux est d=2,8.
- L'hydrogénation totale de ce mélange nécessite 2760 cm^3 de dihydrogène (Volume mesuré dans les C.N.T.P
- En presence d'ions Hg^{2+}, 10g du mélange d'hydrocarbure additionné de 0,665g d'eau
- La combustion complète de 1g de mélange donne 3,25g de dioxyde de carbone. Calculer la composition du mélange en pourcentage de quantité de matière (nombre de moles).

Outre les applications du cours sur les composés aromatiques, ces exercices introduisent l'utilisation du rendement dans les réactions organiques.

Exercice 6 :

Quel volume de benzène doit-on utiliser pour réparer 100 g de paradichlorobenzène (1,4-dichlorobenzène) si le rendement de la réaction est 80% ?

M_c : 12g/mol M_{cl} : 35,5g/mol M_H : 1g/mol $\rho_{benzene}$: 0,9 kg/L.

Exercice 7 :

Donner les différents isomères du xylène (diméthylbenzène), de formule : C_8H_{10}.

Exercice 8 :

Par action du chlore sur le toluène (méthylbenzène), il peut se produire une ou plusieurs substitutions d'atomes d'hydrogène. On opère en présence de chlorure d'aluminium, la substitution s'effectue alors sur le cycle aromatique (en présence de lumière UV et sans chlorure d'aluminium, ce serait le groupe méthyle qui réagirait).
1/Prévoir les isomères (noms et formules) qui résultent d'une monosubstitution.
2/En supposant que chacune des 5 atomes d'hydrogène a autant de chance que les autres d'être substitué, quel est le pourcentage de chacun de ces isomères dans le mélange final ?

Exercice 9 :

Soit un mélange de benzène et de toluène, de volume total V= 118 cm^3. La combustion complète de ce mélange donne de l'eau et V'= 20,25 L de dioxyde de carbone.

- Donner la composition centésimale molaire du mélange initial.
- $\rho_{benzène} = \rho_{toluène} = 0,9 kg/L$ Volume molaire gazeux : 25L/mol
- M_c :12g /mol M_H : 1g/mol.

Chapitre IV: Fonctions chimiques oxygénées

Et Amines

I) Fonctions chimiques oxygénées :

Une fonction chimique est un atome ou groupe d'atomes donnant aux molécules qui le (les) contient (contiennent) certaines propriétés chimiques caractéristiques.

1) Alcools:

- Formule brute: $C_nH_{2n+2}O$
- Formule semi- développée: $R-OH$ (R :radical alkyl)
- Classes:
  - **Alcools primaires**

Formule générale: $R-CH_2-OH$

Exemples:

CH_3-OH : methanol

CH_3-CH_2-OH :ethanol

$CH_3-CH_2-CH_2-OH$: propan –1-ol

$$\begin{array}{l} CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2OH \end{array}$$

2-méthylpropan-1-ol

- **Alcools secondaires:**

Formule générale: $R-CHOH-R'$

Exemples:

$CH_3-CHOH-CH_3$: propane-2-ol

$$CH_3-CHOH-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

3-méthylbutan-2-ol

- **Alcools tertiaires:**

Formule générale:

$$R-\overset{\displaystyle R''}{\overset{|}{\underset{\displaystyle R'}{\underset{|}{C}}}}-OH$$

Exemples:

$$CH_3-\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}}}-OH$$

Méthylpropan-2-ol

2) Les etheroxydes

- Formule brute: $C_nH_{2n+2}O$

Formule semi-développée: $R-O-R'$

Exemples:

$CH_3-O-CH_3\,(méthoxyméthane)$

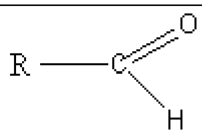
$CH_3-O-CH_2-CH_3\,(méthoxyéthane)$

Remarque: Les étheroxydes et les alcools ont la même formule brute:

Ce sont des isomères de fonction.

3) Les aldéhydes:

- Formule brute: $C_nH_{2n}O$
- Formule semi-développée:

$R-CHO$ ou	

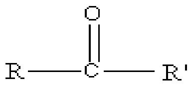
Exemples:

$HCHO\,(méthanal)$

$CH_3CHO\,(éthanal)$

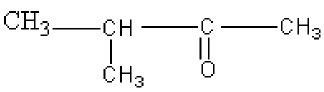
4) Les cétones:

- Formule brute: $C_nH_{2n}O$
- Formule semi - développée:

$R-CO-R'$ OU	

Exemple:

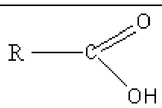
$CH_3-CO-CH_3\,(propanone\,(ou\ propan-2-one)$

 (3-méthylbutan-2-one)

Remarque:Les aldehydes et les cétones ont la même formule brute mais des formules semi- développées différentes: Ce sont des isomères de fonction.

5) Acides carboxyliques:

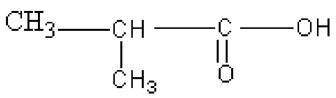
- Frmule brute: $C_nH_{2n}O_2$
- Formule semi- développée:

$R-COOH$ ou	

Exemple:

$HCOOH$ (acide méthanoïque)

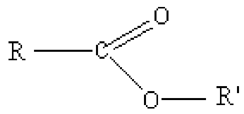
CH_3COOH (acide éthanoïque)



Acide méthylpropanoïque

6) Esters:

- Formule brute: $C_nH_{2n}O_2$
- Formule semi- développée:

$R-COO-R'$ OU	

Exemples:

$HCOOCH_3\ (méthanoate\ de\ méthyle)$

$HCOOCH_2CH_3\ (méthanoate\ d'éthyle)$

: Les acide carboxyliques et les esters ont la même formule brute

mais des formulas semidéveloppéees différentes,

Ce sont des isomers de fonction.

II) Les Amines :

1) Définition :

On appelle amines les composés obtenus à partir de la molécule d'ammoniac NH_3, par substitution d'un, de deux ou de trois groupes alkyles à un, deux ou trois atomes d'hydrogène.
Formule générale : $C_nH_{2n+3}N$

2) Classes d'amine :

a) Amine primaire :

Une amine est dite primaire si l'atome d'azote est lié au plus à un seul atome de carbone ($R-NH_2$).

Nomenclature : Les amines primaires sont nommées de façon analogue aux alcools, en remplaçant **Ol** par le préfixe **amine**. Le numéro de l'atome de carbone qui porte le groupe – NH_2 est indiqué entre tirets avant le suffixe amine.

Exemples :

1) $CH_3 - NH_2$ Méthylamine ou méthanamine
2) $CH_3 - CH_2 - NH_2$ Ethylamine ou ethanamine
3) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - NH_2$ Propan – 1 – amine

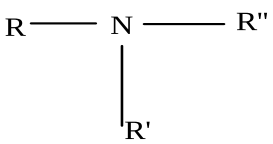
b) Amine secondaire : Une amine est dite secondaire si l'atome d'azote est lié à deux atomes de carbone (R-NH-R').

Nomenclature : La chaîne la plus longue contenant le groupe – NH donne la racine du nom (alkanamine) qui est précédé du nom du substituant et de l'indice N suivi d'un tiret qui est placé en tête.

Exemples :

1) $CH_3 - NH - CH_3$ Diméthylamine ou N- méthylméthanamine
2) $CH_3 - NH_2 - CH_2 - CH_3$ N, méthyléthanamine

c) Amine tertiaire : Une amine est dite tertiaire si l'atome d'azote est lié à trois atomes de carbone (R-N(R')-R'').



Nomenclature : Lorsque qu'une amine tertiaire a deux substituant identiques, son nom est obtenue en faisant précéder le nom de l'amine du nom d'un substituant, précédé du préfixe N,N- di et suivi d'un tiret. Si les substituants sont différents, son nom est obtenu en faisant précéder le nom de l'amine du nom des substituants, précédé de l'indice N- cités dans l'ordre alphabétique, séparés par un espace, le dernier étant suivi d'un tiret.

Exemples :

$CH3 - NH - CH_3$ $\vert$ CH_3	**Triméthylamine ou** **N,N- diméthyl-méthanamine**
$CH3 - N - CH_2 - CH_3$ $\vert$ $CH3$	**N,N- diméthyl-éthanamine**
$CH3 - N - CH_2 - CH_3$ $\vert$ CH_2 $\vert$ CH_3	**N-éthyl N-méthyl-éthanamine**

III) Applications:

Application 1:

Identifier la fonction chimique dans chacun des composés suivants, puis donner le nom correspondant:

$a)$ $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$	$b)$ $CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_2-CH_3$	c) $CH_3-CH_2-CH-CHO$ $\vert$ CH_3

Solution

Groupement fonctionnel	Fonction	Nom du composé
a) -OH	alcool	butan-1-ol(classe primaire)
b)-O-	etheroxyde	1-éthoxypropane
c)-CHO	aldéhyde	2-méthylbutanal

Application 2:

Identifier la fonction chimique dans chacun des composés suivants puis donner le nom correspondant:

$a)CH_3-CO-CH_2-CH_2-CH_3$

$b)CH_3-CH_2-CH_2-COOH$

$c)CH_3-CH_2-COO-CH_3$

Groupement fonctionnel	Fonction	Nom du composé
a) -CO-	Cétone	Pentan-2-one
b)-COOH	Acide carboxylique	Acide pentanoïque
c)-COO	Ester	Propanoate de méthyle

IV) Exercices

Exercice 1

Donner les formules semi- développées et les noms des isomères de formule brute $C_4H_{10}O$. Grouper ces 7 isomères par fonction. Préciser la classe des alcools.

Exercice 2

Donner les formules semi- développées et les noms des aldéhydes et des cétones isomères de formule brute $C_5H_{10}O$. Grouper ces 7 isomères par fonction

Exercice 3

Donner les formules semi- développées et les noms des acides carboxyliques et des esters isomères de formule $C_4H_8O_2$. Grouper ces 6 isomères par fonction.

Exercice 4 :

Donner les noms des amines suivantes et préciser leurs classes:

a) CH_3 - CH_2 - CH_2 – CH_2 - NH_2 ; b) CH_3 – $CH(NH_2)$ – CH_3

c) CH_3 - CH_2 – NH –CH_2 – CH_3 ; d)) CH_3 - CH_2 – NH –CH_2 – CH_2 – CH_3

Exercice 5 :

Une amine à une masse molaire M=59 g/mol.

a) Donner sa formule brute

b) Donner les formules semi-développées et les noms des amines possibles.

<u>Exercice 6 :</u>

I Donner les formules semi-développées des <u>alcools</u> suivants :

a/ méthylpropan-1-ol b/ méthylpropan-2-ol

II Donner les formules semi-développées des <u>acides carboxyliques</u> suivants :

a/ acide méthylpropanoïque b/ acide 2,3-diméthylbutanoïque

III Donner les formules semi-développées des <u>aldéhydes</u> suivants :

a/ hexanal b/ 2-méthylbutanal

IV Donner les formules semi-développées des <u>cétones</u> suivantes :

a/ pentan-2-one b/ 3-méthylbutan-2-one

V Donner les formules semi-développées des <u>esters</u> suivants :

a/ éthanoate de méthyle b/ méthanoate de propyle

VI Donner les formules semi-développées des <u>etheroxydes</u> suivants :

a/ méthoxyméthane b/ 1-éthoxypropane

<u>Exercice 7 :</u>

Donner les noms et les fonctions chimiques suivants :

CH_3 CH_3-CH_2

a/ CH_3-CH_2-CH-CO-CH_3 b/ CH_3-CH_2-CH-COOH c/ HCOO-CH_2-CH_3

CH_3 CH_3 CH_3

e/ CH_3-CH-CHOH-CH_3 e/ CH_3-CH-CHO f/ CH_3-CH_2-O-CH-CH_3

<u>Exercice 8 :</u>

Donner les formules semi-développées et les noms des isomères correspondant à la formule brute suivante : C_3H_8O (3 isomères) deux alcools, un éther-oxyde.

Préciser la classe (primaire, secondaire ou tertiaire) de l'alcool.

<u>Exercice 9 :</u>

Donner les formules semi-développées et les noms des aldéhydes et des cétones correspondant à la formule brute suivante : C_4H_8O (3 isomères) deux aldéhydes, une cétone.

<u>Exercice 10 :</u>

Donner les formules semi-développées et les noms des acides carboxyliques et des esters correspondant à la formule brute suivante : $C_4H_6O_2$ (3 isomères) un acide, deux esters.

DEUXIEME PARTIE: OXYDO-REDUCTION

Chapitre V: L'Oxydo-réduction

I Généralités

1) Définitions :

- Un réducteur est une espèce chimique susceptible de donner un ou plusieurs électrons.

Exemple:

$$\underset{Réducteur}{Zn} \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2e^-$$

- Un oxydant est une espèce chimique susceptible de capter un ou plusieurs électrons

Exemple

$$\underset{Oxydant}{O_2} + 4e^- \rightleftharpoons 2O^{2-}$$

- Une oxydation est une perte d'électrons

Exemple:

$$Al \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftharpoons}} Al^{3+} + 3e^-$$

le sens (1) est une oxydation

- Une réduction est un gain d'électrons:

Exemple:

$$Cu^{2+} + 2e^- \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftharpoons}} Cu$$

le sens (1) est une réduction

- Une oxydo-réduction est un processus au cours duquel le réducteur cède des électrons (e^-) qui sont captés par l'oxydant.

2) Couple Oxydant/Réducteur (Couple Rédox) :

Un couple Oxydant/Réducteur est l'ensemble formé par un oxydant et un réducteur qui se correspondent dans la même demi équation Rédox, noté Ox/Réd :

$$Ox + ne^- \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftharpoons}} Réd \quad : \quad \text{Demi-équation Réd-Ox}$$

Exemples:

Fe^{3+}/Fe^{2+} : $Fe^{3+} + 1e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}$: demi – équation Redox

MnO_4^-/Mn^{2+} : $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$: demi – équation Redox

Remarque : L'écriture d'une demi-équation Rédox nécessite :

-La conservation de la charge électrique (assurée par les électrons)

-La conservation des éléments (s'il s'agit d'équilibrer l'oxygène, on apporte des molécules d'eau , pour l'hydrogène on apporte des ions H^+ si la réaction a lieu en milieu acide)

3) Nombre d'oxydation n.o :

C'est le nombre d'électrons perdus ou gagnés par un atome pour former une molécule ou un ion.

- Règles :
  - Le n.o d'un corps simple est égale à zéro.
  - La somme algébrique des n.o de tous les atomes de la molécule est nulle.
  - Par convention, le n.o de l'oxygène dans les composés est (-II), celui de l'hydrogène (+I)
  - Le n.o d'un ion simple est égale à la charge de l'ion.
  - La somme algébrique des n.o de tous les atomes d'un ion polyatomique est égale à la valeur algébrique de la charge de cet ion.

4) Comparaison des pouvoirs réducteurs de quelques métaux et l'hydrogène

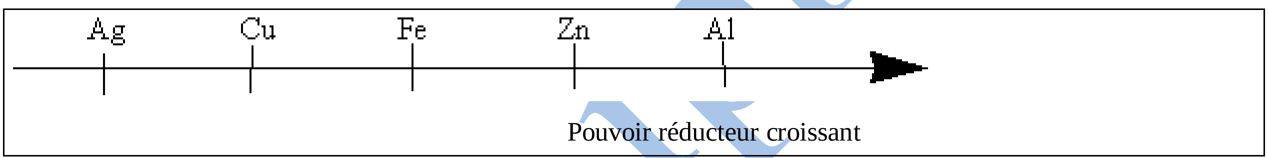
4-1) Cas des métaux :

Pour comparer les pouvoirs réducteurs de deux métaux M_1 et M_2 , il suffit de plonger une lame du métal M_1 dans une solution contenant des ions du métal M_2 :

-Si une réaction a lieu alors M_1 est plus réducteur que M_2 .

-Si aucune réaction ne se produit : M_2 est plus réducteur que M_1 .

Ainsi on peut classer les métaux usuels en fonction de leur pouvoir réducteur comme suit:



4-2) Cas des métaux et l'hydrogène

Pour comparer les pouvoirs réducteurs d'un métal M et l'hydrogène, Il suffit de plonger une lame du métal M dans une solution contenant des ions H^+ (Solutions acides).

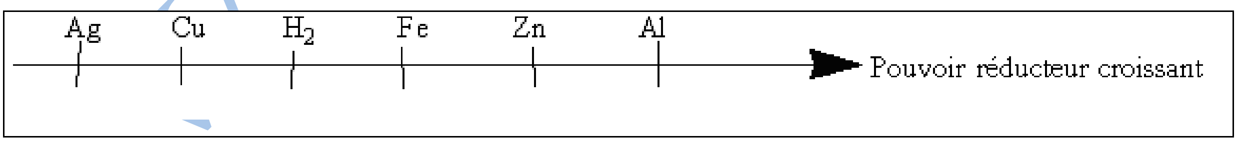
- Si une réaction a lieu alors:

M est plus réducteur que l'hydrogène

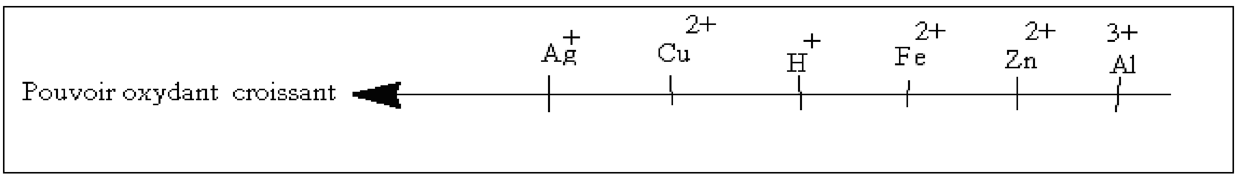
- Si aucune réaction ne se produit

l'hydrogène est plus réducteur que M

Ainsi l'hydrogène est moins réducteur que Al, Zn, Fe et plus réducteur que Ag et Cu:



Remarque : aux réducteurs précédents correspondent respectivement les formes oxydées suivantes dont les pouvoirs oxydants sont classés comme suit :



5) Notion de potentiel- Pile

L'ensemble constitué d'une plaque de métal M plongeant dans une solution contenant des ions métalliques M^{n+} constitue une demie pile ; la plaque de métal est appelé électrode

Exemples :

- Zn^{2+}/Zn - Cu^{2+}/Cu

Une pile est constituée par deux demi-piles reliées électriquement par un pont salin. Chaque demi-pile met en présence un réducteur, le métal M et son oxydant conjugué le cation M^{n+} .

Le pôle négatif de la pile est constitué par le métal le plus réducteur, et le pôle positif par le métal le moins réducteur.

- Exemple : Pile Daniell

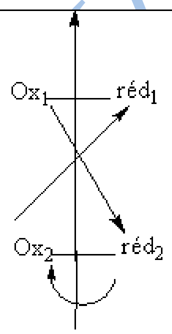
Zn^{2+}/Zn et Cu^{2+}/Cu

- Par définition, le potentiel du couple de référence H^{+}/H_2 est égal à zéro $E^0(H^+/H_2) = 0$
- Le potentiel Rédox $E(M^{n+}/M)$ d'un couple Rédox (M^{n+}/M) est égal à la d.d.p, en circuit ouvert entre l'électrode métallique et l'électrode standard à hydrogène : $E(M^{n+}/M) = (V_M - V_{E.S.H})_{I=0}$ (électrode standard à hydrogène).
- Lorsque la demi-pile (M^{n+}/M) est dans les conditions standard : concentration (M^{n+}) = 1 mol/l sous une pression égale à 1 bar, le potentiel est dit standard et noté $E^0(M^{n+}/M)$.

La F.e.m d'une pile est égale à la différence entre le potentiel Rédox du couple présent au pôle positif et le potentiel Rédox du couple présent au pôle négatif.

Remarque : Soit deux couples Rédox Ox_1/Red_1 et Ox_2/Red_2 dont les potentiels standard sont respectivement E_1^0 et E_2^0.

Si $E_1^0 > E_2^0$ alors on a :



$$(Ox_1 + n_1e^- \rightleftharpoons red_1).n_2$$
$$(red_2 \rightleftharpoons ox_2 + n_2e^-).n_1$$

$$n_2Ox_1 + \cancel{n_2n_1e^-} + n_1red_2 \rightarrow n_2\,red_1 + n_1ox_2 + \cancel{n_1n_2e^-}$$

Exemple :

$$E^0(Ag^+/Ag) = 0.80V$$
$$E^0(Ni^{2+}/Ni) = -0.23V$$
$$Solution$$
$$(Ag^+ + 1e^- \rightleftharpoons Ag)2 : réduction$$
$$Ni \rightleftharpoons Ni^{2+} + 2e^- : oxydation$$
$$\boxed{2Ag^+ + Ni \rightarrow 2Ag + Ni^{2+}}$$

II) Applications

Application 1 :

On réalise une pile standard mettant en jeu les couples (Ag^+/Ag) et Ni^{2+}/Ni dont les potentiels standard sont :

$$E^0(Ag^+/Ag) = 0.80V$$
$$E^0(Ni^{2+}/Ni) = -0.23V$$

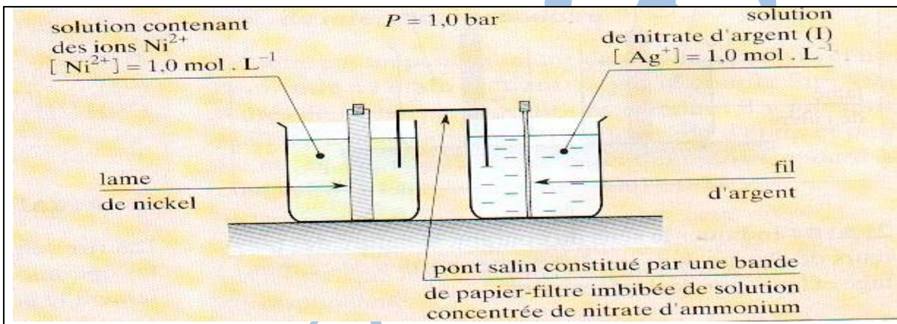
M(Ni)=58,7g/mol, M(Ag)=108g/mol.

1)décrire en s'aidant d'un schéma annoté la réalisation d'une telle pile.

2) Déterminer la polarité de la pile, sa force électromotrice et la réaction de fonctionnement

Solution :

1)



2 Le pôle positif de cette pile est constitué par le métal du couple de plus haut potentiel :l'argent, le pôle négatif est alors le nickel. La f.e.m de la pile standard s'en déduit :

$$e_{Ni-Ag} = e^0_{Ni-Ag} = E^0(Ag^+/Ag) - E^0(Ni^{2+}/Ni).$$
$$Soit\ e^0_{Ni-Ag} = 0,80 - (-0,23) = 1,03V.$$

Lorsque la pile débite, le cation de la demi – pile du couple de plus haut potentiel est réduit et le métal de la demi – pile du couple de plus bas potentiel rédox est oxydé :

$$*A\ l'electrode\ de\ Nickel \ominus : \quad Ni \rightarrow 2e^- + Ni^{2+}$$
$$*A\ l'electrode\ d'argent \oplus : \quad Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$$
$$Bilan : \quad ----------------$$
$$\boxed{2Ag^+ + Ni \rightarrow 2Ag + Ni^{2+}}$$

Application 2 :

Dans chacun des cas suivants, écrire les demi-équations rédox et en déduire l'équation-bilan.

1) La lecture de la table des potentiels standard nous montre que :

$$E^0(Fe^{2+}/Fe) = -0,44V$$
$$E^0(I_2/I^-) = 0,54V$$

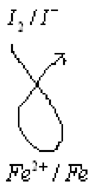
2) La lecture de la table des potentiels standard nous montre que :

$$E^0(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = 0,68V \text{ en milieu sulfurique et que}$$
$$E^0(I_2/I^-) = 0,54V$$

Solution :

$$E^0(Fe^{2+}/Fe) = -0,44V$$
$$E^0(I_2/I^-) = 0,54V$$

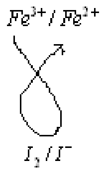
Nous en déduisons que le diiode oxyde le fer d'après le schéma suivant

	$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$ $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ L'équation de la réaction s'écrit : $\boxed{Fe + I_2 \rightarrow Fe^{2+} + 2I^-}$

2)

$$E^0(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = 0,68V \text{ en milieu sulfirique et que}$$
$$E^0(I_2/I^-) = 0,54V$$

L'ion Fe(III) oxyde l'ion iodure comme l'indique le schéma suivant :

	$(Fe^{3+} + 1e^- \rightarrow Fe^{2+}) \times 2$ $(2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-) \times 1$ L'équation de la réaction s'écrit : $\boxed{2Fe^{3+} + 2I^- \rightarrow 2Fe^{2+} + I_2}$

III) Exercices

Pouvoir Oxydant	Au^+	Ag^+	Cu^{2+}	H^+	Pb^{2+}	Sn^{2+}	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Al^{3+}
Pouvoir Réducteur	Au	Ag	Cu	H_2	Pb	Sn	Fe	Zn	Al

Exercice1:

Former des couples oxydants-réducteurs en utilisant uniquement les éspèces chimiques suivantes et écrire pour chaque couple la demi-équation correspondante à chacun d'eux:

Zn^{2+} , Pb^{2+}, Cr^{3+}, Hg, Cu, Pb, Cr, Zn

Exercice 2 :

Equilibrer, faire apparaitre l'oxydation, la réduction, indiquer l'oxydant et le réducteur dans les équations-bilan suivantes :

1. $Au^{3+} + Cu \longrightarrow Au + Cu^{2+}$
2. $Zn^{2+} + Al \longrightarrow Zn + Al^{3+}$
3. $Pb + H^+ \longrightarrow Pb^{2+} + H_2$

Exercice 3 :

1. Indiquer si une réaction se produit lors de la mise en contact des composés A et B.

2. Si la réaction est possible.
2.1 Ecrire la demi-équation d'oxydation
2.2 Ecrire la demi-équation de réduction
2.3 Ecrire l'équation-bilan

A	étain	or	Acétate de plomb(II)	Plomb	argent	Sulfate de zinc
B	Acide chlorhydrique	Chlorure de cuivre (II)	Fer	Sulfate de fer (II)	Chlorure d'or (III)	Etain

Exercice 4 :

1. On mélange une solution de sulfate de cuivre (II) et une solution de sulfate de zinc. Y-at-il réaction entre les ions de ces solutions ? Si oui, laquelle ou lesquelles ?
2. On ajoute de la poudre de plomb. Y-a-t-il réaction ? Si oui laquelle ou lesquelles ?

Exercice 5:

Peut-on décolorer une solution de sulfate de cuivre (II) en y versant:

a) De la poudre d'argent
b) De la poudre de zinc
Justifier les réponses

Exercice 6:

On depose une goutte de chlorure de mercure (II) sur une plaque de cuivre; on observe un depôt gris. Ecrire le schéma de la réaction; quelle conclusion en tirez-vous ?

Exercice 7:

Un fil d'aluminium trempé dans une solution de chlorure d'étain (II), se recouvre de fines aiguilles d'étain et d'aluminium passe en solution sous forme d'ion Aluminium (III);

Ecrire l'équation de la réaction qui a eu lieu.

Comparer les pouvoirs oxydants des couples : Sn^{2+}/Sn et Al^{3+}/Al .

Exercice 8:

On observe les réactions suivantes:

- une lame de plomb plongeant dans une solution de cuivre (II) se recouvre de cuivre;
- une lame de cuivre plongeant dans une solution de nitrate d'argent se recouvre d'un dépot noir (argent très divisé)
- Une lame de fer plongeant dans une solution de nitrate de plomb (II) se recouvre de plomb.

a) Ecrire les équations bilans des réactions observées.

b) En déduire un classement du pouvoir réducteur des métaux mis en jeu

c) Peut-on prévoir ce qui se passera si on plonge une lame de cuivre dans la solution de nitrate de plomb (II) ?

Exercice 9:

Une lame d'argent plongeant dans solution de chlorure d'or ($AuCl_3$) se recouvre d'or.

a) Que peut-on dire du pouvoir réducteur de l'or? Situez l'or dans la classification des métaux usuels;

Peut-on relier la place de l'or dans cette classification au fait que l'on trouve l'or dans la nature à l'état natif?

b) Dans 150cm^3 de chlorure d'or à 10^{-2} mol/l, on ajoute un excès de poudre de cuivre. y-a-t-il une réaction?

c) Si la réaction se produit, déterminer quelles sont, en fin de réaction, la concentration molaire en ions cuivre (II) et la masse de cuivre disparue ?

Exercice 10:

On réalise 3 piles en associant les demi piles suivantes :

A) Une lame de platine (inattaquable) trempant dans une solution de chlorure de fer (II) et de chlorure de fer (III) de concentration 1 mol/l chacun ;

B) Une lame de platine trempant dans une solution de sulfate de manganèse (II), de permanganate de potassium et d'acide sulfurique de concentration 1 mol/l chacun ;

C) Une lame de cuivre trempant dans une solution de sulfate de cuivre (II) de concentration 1mol/l.

La f.e.m de la pile réalisée avec A et C est 0,43V. Le cuivre est la borne négative.

La f.e.m de la pile réalisée avec B et C est 1,17V. Le cuivre est la borne négative.

1) Sachant que $V_{Cu^{2+}/Cu} = +034V$, déterminer les potentiels d'oxydoréduction des couples Fe^{3+}/Fe^{2+} et MnO_4^-/Mn^{2+} .

2) En déduire quelle serait la force électromotrice de la pile réalisée avec A et B

3) Ecrire les équations bilans des réactions dans chaque pile lorsqu elle débite.

Exercice11 :

On a un mélange sous forme de poudre de cuivre, d'aluminium et de zinc. On ajoute de l'acide chlorhydrique en excès sur 10,5g de ce mélange.

Après réaction, il reste un résidu solide de 2,4g et le gaz qui s'est dégagé lors de l'attaque par l'acide occupe un volume de 5,66l dans les conditions normales de température et de pression.

a) Calculer la composition du mélange en pourcentage massique.

b) Le résidu solide est mis en contact avec une solution aqueuse de nitrate d'argent. Il se produit une réaction. Si cette réaction est totale, quelle est la quantité et la nature du nouveau solide apparu ?

Exercice 12 :

Connaissant les potentiels standards des couples Pb^{2+}/Pb^{2+} $(E^0_{Pb^{2+}/Pb^{2+}} = -0,13V$ *et* $(E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0,76V)$

Quelle réaction peut-on prévoir entre ces deux couples ?

On dissout 130g d'éthanoate de plomb de formule : $Pb(CH_3COO)_2$ dans 1 litre d'eau. On verse dans un tube à essai 10cm^3 de la solution aqueuse obtenue et on ajoute de la grenaille de zinc en gros excès.

a) Quelle est la masse de zinc qui disparaît ?
b) Quelle est la concentration en ions zinc de la solution obtenue ?
c) Quel aurait été l'état final si on avait ajouté seulement 150mg de grenailles de zinc à 10cm^3 de la solution d'éthanoate de plomb ?

<u>Exercice 13:</u>
On dispose de deux béchers A et B.
Dans un bécher A on met 10g de fer en poudre et 1 L d'une solution de chlorure de cuivre (II) de concentration molaire 0,1 mol/L. On agite.
Dans une bécher B on met 10g de cuivre en poudre et 1 L d'une solution de chlorure de fer (II) de concentration molaire 0,1 mol/L. On agite.
Donner les masses du ou des solides et les concentrations des ions présents dans les solutions de chaque bécher..
Masses molaires atomiques : M_{ca} = 63,5g/mol M_{fe} = 56g/mol

<u>Exercice 14 :</u>
Après avoir ajouté quelques gouttes d'acide sulfurique, on dose 20 ml dune solution de sulfate de fer (II) par une solution de permanganate de potassium de concentration molaire volumique 0,06 mol/L.
La première goutte de permanganate qui ne se décolore pas correspond à 12 ml versés.
Quelle est la concentration molaire volumique en ions fer(II) de la solution dosée ?

Classification périodique

légende

masse molaire atomique en g . mol^{-1} (1) → 9,0

numéro atomique → 4

symbole (2) → Be

nom → Béryllium

notes : (1) basé sur le ^{12}C
(2) état physique du corps pur simple à 25 °C et 1,013 bar :
noir = solide ; **rouge** = gaz ; **vert** = liquide ; **violet** = préparé par synthèse

période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	1,0 H 1 Hydrogène																	4,0 He 2 Hélium
II	6,9 Li 3 Lithium	9,0 Be 4 Béryllium											10,8 B 5 Bore	12,0 C 6 Carbone	14,0 N 7 Azote	16,0 O 8 Oxygène	19,0 F 9 Fluor	20,2 Ne 10 Néon
III	23,0 Na 11 Sodium	24,3 Mg 12 Magnésium											27,0 Al 13 Aluminium	28,1 Si 14 Silicium	31,0 P 15 Phosphore	32,1 S 16 Soufre	35,5 Cl 17 Chlore	39,9 Ar 18 Argon
IV	39,1 K 19 Potassium	40,1 Ca 20 Calcium	45,0 Sc 21 Scandium	47,9 Ti 22 Titane	50,9 V 23 Vanadium	52,0 Cr 24 Chrome	54,9 Mn 25 Manganèse	55,8 Fe 26 Fer	58,9 Co 27 Cobalt	58,7 Ni 28 Nickel	63,5 Cu 29 Cuivre	65,4 Zn 30 Zinc	69,7 Ga 31 Gallium	72,6 Ge 32 Germanium	74,9 As 33 Arsenic	79,0 Se 34 Sélénium	79,9 Br 35 Brome	83,8 Kr 36 Krypton
V	85,5 Rb 37 Rubidium	87,6 Sr 38 Strontium	88,9 Y 39 Yttrium	91,2 Zr 40 Zirconium	92,9 Nb 41 Niobium	95,9 Mo 42 Molybdène	99 Tc 43 Technétium	101,1 Ru 44 Ruthénium	102,9 Rh 45 Rhodium	106,4 Pd 46 Palladium	107,9 Ag 47 Argent	112,4 Cd 48 Cadmium	114,8 In 49 Indium	118,7 Sn 50 Etain	121,8 Sb 51 Antimoine	127,6 Te 52 Tellure	126,9 I 53 Iode	131,3 Xe 54 Xénon
VI	132,9 Cs 55 Césium	137,3 Ba 56 Baryum	138,9 La 57 Lanthane	178,5 Hf 72 Hafnium	180,9 Ta 73 Tantale	183,9 W 74 Tungstène	186,2 Re 75 Rhénium	190,2 Os 76 Osmium	192,2 Ir 77 Iridium	195,1 Pt 78 Platine	197,0 Au 79 Or	200,6 Hg 80 Mercure	204,4 Tl 81 Thallium	207,2 Pb 82 Plomb	209,0 Bi 83 Bismuth	210 Po 84 Polonium	210 At 85 Astate	222 Rn 86 Radon
VII	223 Fr 87 Francium	226 Ra 88 Radium	227 Ac 89 Actinium															

VI	140,1 Ce 58 Cérium	140,9 Pr 59 Praséodyme	144,2 Nd 60 Néodyme	145 Pm 61 Prométhium	150,4 Sm 62 Samarium	152,0 Eu 63 Europium	157,3 Gd 64 Gadolinium	158,9 Tb 65 Terbium	162,5 Dy 66 Dysprosium	164,9 Ho 67 Holmium	167,3 Er 68 Erbium	168,9 Tm 69 Thulium	173,0 Yb 70 Ytterbium	175,0 Lu 71 Lutétium
VII	232,0 Th 90 Thorium	231,0 Pa 91 Protactinium	238,0 U 92 Uranium	237,0 Np 93 Neptunium	242 Pu 94 Plutonium	243 Am 95 Américium	247 Cm 96 Curium	247 Bk 97 Berkélium	251 Cf 98 Californium	254 Es 99 Einsteinium	253 Fm 100 Fermium	256 Md 101 Mendélévium	254 No 102 Nobélium	257 Lr 103 Lawrencium