

PHYSIQUE – CHIMIE (COURS 9 EME ANNEE)

PHYSIQUE :

I- Le Poids d'un corps :

1- Définition :

Le poids d'un corps est strictement égal à la **quantité de matière** qu'il contient, c'est-à-dire au nombre et à la masse de chacun de ses **atomes**.

Comme tous les objets qui ont une masse (certaines particules comme le **photon** n'ont pas de masse), la Terre exerce sur les objets une force qui les attire vers le sol : c'est l'**attraction gravitationnelle** (également appelée **attraction terrestre, pesanteur, gravité** ou **gravitation**).

2- Caractéristiques du poids d'un corps :

Le poids d'un corps est une force, appelée **poids de l'objet (noté P)**, s'exprime comme toutes les forces en **newtons (N)** et se mesure grâce à un **dynamomètre**.

Elle est proportionnelle à la **masse de l'objet** (notée **m**) et à l'**intensité de la pesanteur** (notée **g**) :
 $P = m \times g$.

C'est le poids qui provoque la chute d'un corps. Un corps lâché sans vitesse tombe verticalement, car seul son poids, dirigé vers le centre de la Terre, agit sur lui (**exemple** d'une pomme tombant d'un arbre sous l'effet de son poids).

Les caractéristiques du poids d'un corps sont :

- La direction : la verticale.
- Le Point d'application : le centre de gravité du corps.
- Le Sens : orienté vers le bas.
- L'intensité : ordre de grandeur de la force.

II- Notion de force :

1- Définition :

Force, grandeur physique sur laquelle sont fondées la **dynamique** et la **statique**.

Une force est définie comme un agent capable de modifier l'état de **repos** ou de **mouvement** d'un corps (en **dynamique**), ou de produire une déformation (en **statique**).

2- Caractéristiques :

De façon analogue, on peut agir sur un corps au repos (**par exemple**, en le poussant). Dans ce cas, le corps se met en mouvement et la force est définie (cette fois d'une façon dynamique) comme la cause du mouvement.

Agissant de façon identique sur des corps de masse différente, on peut faire, dans ce cas aussi, une comparaison des forces. On montre par l'expérience que la force est proportionnelle à l'**accélération** subie par le corps, et on peut la définir comme le produit de la masse au repos **m** du corps par l'accélération **a** qu'il subit (dans un repère fixe), c'est-à-dire **$F = ma$** . Cette équation est la **loi** fondamentale de la dynamique.

3- Classification :

Les forces peuvent être de différentes sortes : **électriques**, quand elles s'exercent entre charges électriques; **magnétiques**, quand elles se produisent entre **circuits** parcourus par des **courants** ou

entre **dipôles** magnétiques, ou encore sur des **particules** chargées en mouvement ; **gravitationnelles**, si elles se manifestent entre masses gravitationnelles; **nucléaires**, si elles s'exercent entre particules du **noyau** d'un **atome** ; **intermoléculaires**, si elles s'exercent entre **molécules** d'un corps, etc.

4- Mesure :

On peut arriver à la définition conceptuelle de force et à sa mesure à partir de considérations tirées de l'**expérience**. Si, **par exemple**, on suspend un objet pesant à un ressort, ce dernier se déforme en s'allongeant. Dans ce cas, la force est définie comme la cause de la déformation. Si on suspend ensuite des objets de **masse double, triple**, etc., l'allongement correspondant du ressort est proportionnel à la masse.

EXERCICE :

Des objets A, B, C ont respectivement pour poids 18 N, 17 N, 35 N, 30 N.

Représente les vecteurs poids PA, PB, PC, PD sachant que 1 cm représente 5N.

III- Principe des actions réciproques :

1- Enoncé du principe des actions réciproques :

Quand deux solides S_1 et S_2 sont en interaction mécanique, la force $F_{1/2}$ exercée par le solide S_1 sur le solide S_2 , est opposée à la force $F_{2/1}$, exercée par le solide S_2 sur le solide S_1 . Les deux forces F_1 et F_2 ont la même ligne d'action ; vectoriellement cela s'écrit :

$$F_{1/2} = F_{2/1}$$

1- Equilibre d'un solide soumis à deux forces :

Intuitivement, on dit qu'un solide est en équilibre sous l'action de deux (ou plusieurs) forces lorsque les effets de ces forces s'annulent.

Ainsi, lorsqu'un solide S , soumis à deux forces extérieures F_1 et F_2 , est en équilibre :

- Les deux forces ont la même droite d'action et sont de sens contraires ;
- Leur somme vectorielle est nulle.

$$F_1 + F_2 = 0$$

et on dit que leurs modules sont égaux : $F_1 = F_2$.

EXERCICE :

Soient deux pendules électriques A et B porteurs de charges de même signe ; il y a répulsion entre ces deux pendules.

Donne la nature de l'interaction entre les deux pendules.

Sur un schéma, représente les forces $F_{A/B}$ et $F_{B/A}$.

IV- Relation entre poids et masse :

1- La Masse :

- **Définition :**

La masse d'un corps est strictement égale à la **quantité de matière** qu'il contient, c'est-à-dire au nombre et à la masse de chacun de ses **atomes**.

La masse d'un corps est, tout comme celle d'un atome, indépendante de toutes conditions extérieures : déplacement, température, attraction terrestre, etc. Autrement dit, **la masse est invariable**.

Dans le Système international d'unités, la masse s'exprime en **kilogrammes (kg)** et non en **grammes (g)**. C'est la seule unité de base dont le nom comporte un préfixe.

1 kg = 1 000 g et 1 t = 1 000 kg.

2- Le Poids :

- **Définition :**

Comme tous les objets qui ont une masse (certaines particules comme le photon n'ont pas de masse), la Terre exerce sur les objets une force qui les attire vers le sol : c'est l'**attraction gravitationnelle** (également appelée **attraction terrestre, pesanteur, gravité** ou **gravitation**).

3- Relation entre poids et masse :

Cette force, appelée **poids de l'objet (noté P)**, s'exprime comme toutes les forces en **newtons (N)** et se mesure grâce à un **dynamomètre**. Elle est proportionnelle à la **masse de l'objet** (notée m) et à l'**intensité de la pesanteur** (notée g) : **$P = m \times g$** .

La valeur de g varie d'un point à un autre de la surface du globe, mais sa valeur moyenne sur Terre est d'environ **9,8 N/kg**. En particulier, la valeur de g **varie avec l'altitude** : à **6 400 km** d'altitude, sa valeur est divisée par **4** et à **12 800 km** d'altitude elle est divisée par **9**.

Contrairement à la masse qui est invariable, **le poids est donc variable** (il dépend de g).

C'est le poids qui provoque la chute d'un corps. Un corps lâché sans vitesse tombe verticalement, car seul son poids, dirigé vers le centre de la Terre, agit sur lui (**exemple** d'une pomme tombant d'un arbre sous l'effet de son poids).

EXERCICE :

Un corps pèse 24,10 N à Paris. Calcule son poids à l'équateur sachant qu'un poids de 9,81 N à Paris fait 9,78 N à l'équateur.

V- Travail d'une force – unités :

1- Définitions :

Force, grandeur physique sur laquelle sont fondées la **dynamique** et la **statique**.

Une force est définie comme un agent capable de modifier l'état de **repos** ou de **mouvement** d'un corps (en **dynamique**), ou de produire une déformation (en **statique**).

Travail, une force dont le point d'application se déplace sur sa ligne d'action accomplit un travail.

Exemples :

- Un ouvrier qui fait monter un fardeau,
- Un cheval qui tire une charrette,
- Un homme qui puise l'eau.

2- Travail d'une force :

Le travail d'une force constante, dont le point d'application se déplace sur sa ligne d'action, est proportionnel à l'intensité de cette force et à la longueur du déplacement de son point d'application.

$$W = F \times L$$

F est l'intensité de la force

L est la longueur de déplacement

W représente le travail de la force **F**.

Pour une force de pesanteur (poids d'un corps **par exemple**) :

$$W = Ph = mgh.$$

P est le poids du corps,

h est la hauteur du déplacement,

m est la masse du corps,

g est l'intensité de la pesanteur.

3- Unités de travail :

L'unité de travail est le **Joule** de symbole (**J**). Le joule est le travail d'une force constante, d'intensité égale à **1 newton** et dont le point d'application se déplace de **1 m** dans la direction de cette force.

Noms	Symboles	Valeur en joule
Kilojoule	Kj	10^3
Mégajoule	Mj	10^6
Watheure	Wh	3600
Kilowatheure	kWh	$36 \cdot 10^5$

4- Classification :

Les forces peuvent être de différentes sortes : **électriques**, quand elles s'exercent entre charges électriques; **magnétiques**, quand elles se produisent entre **circuits** parcourus par des **courants** ou entre **dipôles** magnétiques, ou encore sur des **particules** chargées en mouvement ; **gravitationnelles**, si elles se manifestent entre masses gravitationnelles; **nucléaires**, si elles s'exercent entre particules du **noyau** d'un **atome** ; **intermoléculaires**, si elles s'exercent entre **molécules** d'un corps, etc.

EXERCICES :

1- Calcule le travail de la force de traction (400 N) qu'un cheval exerce sur un trajet de 1 km.

2- Pour déboucher une bouteille avec un tire-bouchon ordinaire, on exerce une force constante de 50 N.

Détermine le travail de la force lorsque le bouchon se déplace de 2 cm.

VI- Notion de Puissance – Unités :

La **rentabilité** de toute machine est caractérisée par le rapport de la quantité d'énergie utile à la quantité d'énergie absorbée, rapport que l'on désigne en général par le terme **rendement** et qui est toujours inférieur à 1.

1- Définitions :

La puissance d'une force est le travail de cette force par unité de temps, d'où l'expression suivante :

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

p s'exprime en watts (W)

W s'exprime en joules (J)

t s'exprime en secondes (s).

quand le point d'application d'une force se déplace à la vitesse **v** ($v = \frac{l}{t}$),

alors, l'expression de la puissance devient :

$$p = \frac{W}{t} = \frac{f \times l}{t} = F \times \frac{l}{t} = F \times v$$

$$p = F \times v.$$

F s'exprime en newtons (N)

v s'exprime en mètres par secondes (m/s)

P s'exprime en watts (W).

2- Unités de puissance :

Dans le système international, l'unité de puissance est le **watt** (symbole **W**). Le watt est la puissance d'une force qui effectue un travail de **1 joule** pendant **1 seconde**.

On utilise aussi d'autres unités comme :

Noms	Symboles	Valeurs en watts
Kilowatt	kW	10^3
Mégawatt	MW	10^6
Cheval-vapeur	ch	736

EXERCICES :

1- Calcule la puissance d'un moteur qui accomplit un travail de 5 625 joules pendant 25 secondes.

Exprime cette puissance en chevaux-vapeur.

2- Calcule le travail fourni par un moteur de puissance 1 472 watts pendant 35 minutes.

VII- Les Machines simples :

Les machines simples sont des machines qui servent à faciliter l'exécution de certains travaux manuels, en fournissant peu d'effort physique.

Ce sont : le **levier**, la **poulie**, le **treuil**.

1- Le levier :

Machine simple constituée par une barre rigide qui s'appuie sur un point fixe et sur laquelle agissent deux forces.

Un levier comprend : une tige rigide **AB** s'appuyant sur un point ou axe **O** autour duquel elle peut tourner librement. Les segments **OA** et **OB** sont appelés bras de levier.

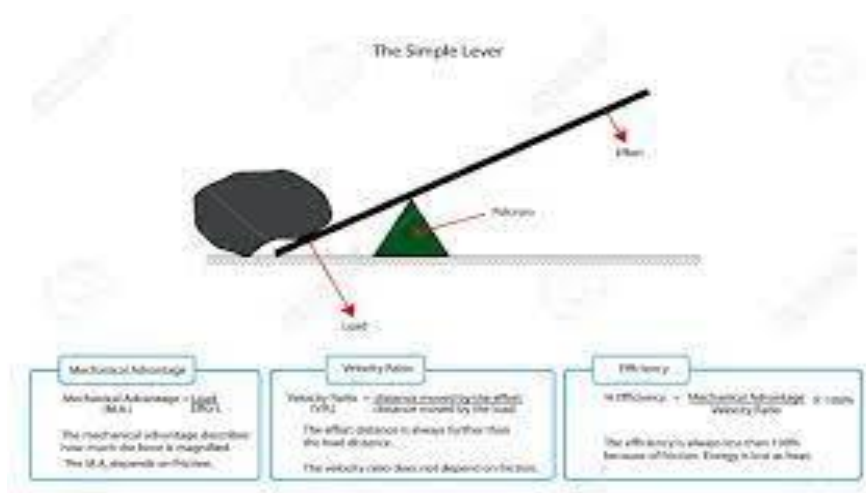
En **A** est appliquée la force résistante **R** et en **B** la force motrice **F**.

La condition d'équilibre du levier est exprimée par :

R **OA**

-- = ---- ou **F X OB = R X OA**.

F **OB**



Un levier

On distingue différents types de leviers :

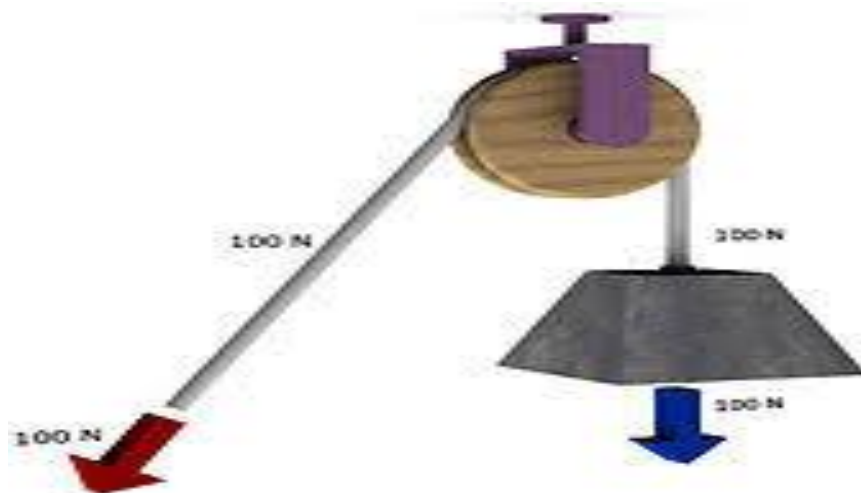
- **Leviers inter-appui** : ce sont les ciseaux, les tenailles, les pinces coupantes, etc.
- **Leviers inter-résistant** : ce sont la brouette, le couteau du boulanger, le casse-noix, etc.
- **Le levier inter-moteur** : ce sont l'étau, l'avant-bras, la pédale d'une machine à coudre, etc.

2- La poulie :

Machine simple pour soulever des poids, constituée par une roue, tournant autour d'un pivot fixé à un crochet, présentant sur sa jante une cannelure (gorge), dans laquelle glisse un organe flexible de transmission (câble, courroie, chaîne, etc.).

On distingue :

- **La poulie fixe**, une poulie est dite fixe si l'étrier est fixé à un support fixe. Le mécanisme peut être assimilé à un levier à bras égaux, et on a donc, en faisant abstraction des frottements, égalité entre puissance et résistance.
- **La poulie mobile**, une poulie est dite mobile si on attache le poids à l'étrier ; dans ce cas, la puissance est égale à la moitié de la résistance. Pour réduire encore la puissance pour vaincre une forte résistance, on a recours à des systèmes mixtes de poulies fixes et mobiles.



Une poulie

La condition d'équilibre s'écrit :

$$F \times ON = P \times OM.$$

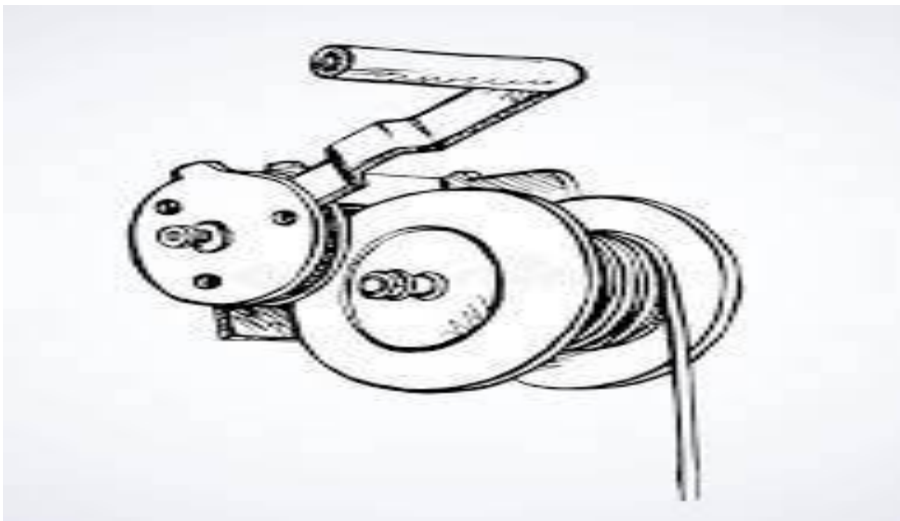
Puisque **ON** et **OM** sont deux rayons d'un même cercle, on obtient :

$$F = P.$$

3- Le Treuil :

Un treuil comprend :

- Un tambour ou cylindre tournant autour d'un axe.
- Une manivelle, actionnée à la main ou au moteur, qui entraîne le tambour dans sa rotation.
- Un câble dont une extrémité est fixée au tambour s'enroule sur ce dernier et permet ainsi de soulever un fardeau.



Un treuil

a- Conditions d'équilibre :

- **F** est la force motrice appliquée en **A** à la manivelle.
- **P** est le poids du fardeau.
- **OA = R** est le bras de levier de **F**.
- **OB = r** est le bras de levier de **P**.

Le treuil est en équilibre lorsque :

r

$$R \times F = r \times P \text{ ou } F = P \times \frac{r}{R}$$

R

EXERCICES :

1- A l'extrémité A d'une règle de poids négligeable, de longueur 0,5 m s'exerce une force de 1,5 N.

Calcule la force parallèle à la précédente qu'on doit exercer à l'autre extrémité B pour maintenir la règle en équilibre si le point d'appui est à 0,05 m de A.

2- Une barre de 0,60 m de longueur est mobile autour d'un axe horizontal situé en son milieu. On accroche un poids de 1 N à l'une de ses extrémités.

a- Cette barre est maintenue horizontale par un poids placé de l'autre côté de l'axe, à 0,08 m de celui-ci. Calcule l'intensité de ce poids.

b- Cette même barre étant maintenue horizontale par un poids placé à 0,20 m. calcule l'intensité de son poids.

VIII- Transformation du travail en chaleur :

L'énergie **fait partie de l'Univers** dans lequel nous vivons. On ne la voit pas, mais on peut en observer les effets : c'est grâce à l'énergie que la Terre tourne autour du Soleil, que les végétaux poussent et que les animaux grandissent.

1- Définition :

La **chaleur, concept physique** dérivé de la **sensation thermique**. La chaleur est aujourd'hui considérée comme une forme d'**énergie** et plus précisément comme l'**énergie de mouvement** (ou **cinétique**) que possèdent les **atomes** et les **molécules** des corps : chauffer une substance signifie fournir de l'énergie aux particules qui la composent.

2- Mesure :

La quantité de chaleur, dite plus simplement chaleur, se mesure en **calories (cal)** ou en **joules (J)**, alors que la **température** est considérée comme un indice du niveau énergétique thermique d'un corps, et se mesure en **degrés**, dans toutes les échelles thermométriques utilisées).

Q : quantité de chaleur reçue ou cédée par le corps ; elle s'exprime en Joule (**J**).

m : masse du corps ; elle s'exprime en **kg**.

c : chaleur massique de la substance du corps ; elle s'exprime en **J/kg.K** ou **J.kg⁻¹K⁻¹**.

t₁ : température initiale du corps.

t₂ : température finale du corps.

Le produit **mC** est appelé capacité calorifique du corps ; il s'exprime en **J/K** ou **J/°C**.

La chaleur se transmet d'un objet à un autre par, ou entre les différentes régions d'un même corps par convection, conduction ou rayonnement. Elle passe toujours des corps ayant la température la plus élevée aux corps ayant une température inférieure.

Des masses égales de substance demandent des quantités de chaleur différentes pour que leur température s'élève de la même quantité.

Tableau : Chaleur massique de quelques substances en **J/kg°C**.

Plomb	$0,13 \cdot 10^3$	Mercure	$0,14 \cdot 10^3$
Etain	$0,21 \cdot 10^2$	Huile	$1,3 \cdot 10^3$
Cuivre	$0,4 \cdot 10^3$	Benzine	$1,9 \cdot 10^3$
Fer	$0,46 \cdot 10^3$	Pétrole	$2,09 \cdot 10^3$
Aluminium	$0,91 \cdot 10^3$	Alcool	$2,42 \cdot 10^3$
Glace	$2,09 \cdot 10^3$	Eau	$4,18 \cdot 10^3$

Les effets produits par la chaleur sont principalement la dilatation thermique et les changements d'états des différentes substances.

Les **lois** qui régissent les transformations possibles de chaleur en travail sont étudiées par la **thermodynamique** ; le **premier principe** de cette discipline affirme que la chaleur est une forme d'énergie, alors que le **second** donne des limites à la transformation de chaleur en travail.

Tableau : Pouvoir calorifique des principaux combustibles.

Combustibles	Pouvoir calorifique	Combustibles	Pouvoir calorifique
Hydrogène	124 700 k.J/m ³	Charbon	28 000 k.J/kg
Méthane	61 000 k.J/m ³	Méthanol	20 000 k.J/kg
Pétrole	42 000 k.J/kg	Ethanol	25 000 k.J/kg
Gaz naturel	37 600 k.J/m ³	Bois	17 000 k.J/kg
Gaz de ville	20 000 k.J/m ³	Essence	46 000 k.J/kg
Acétylène	50 160 k.J/m ³	Propane	94 000 k.J/kg
Fuel	41 800 k.J/kg		

Le pouvoir calorifique d'un combustible (solide, liquide) est la quantité de chaleur que dégage la combustion complète de **1 kg** de ce combustible ou de **1 m³** (mesuré dans les conditions normales de température et de pression) s'il est gazeux. Cette quantité s'exprime en général en **J/kg** ou **k.J/m³**.

3- Production :

La chaleur est produite par transformation d'un **travail mécanique (frottements, compression de gaz)** ; **absorption** de son, de la lumière et de l'énergie électromagnétique en général ; **dispersion diélectrique et hystérésis magnétique** ; lors des **réactions chimiques** ; lors des **réactions nucléaires** et des désintégrations des substances radioactives.

Questions :

- 1- Qu'est-ce que la chaleur ?
- 2- Cite les différentes sources de chaleur.
- 3- Quels sont les modes de transmission de la chaleur ?
- 4- Quelle est l'unité de mesure de la chaleur ?
- 5- Qu'est-ce que le pouvoir calorifique ?

EXERCICES :

1- Pendant la saison froide, Mariam veut chauffer 2 litres d'eau pour sa toilette matinale.

Détermine la quantité de chaleur qu'elle doit fournir à cette eau pour porter sa température de 15°C à 45°C.

2- On fournit à une masse m de 100 g d'eau prise initialement à la température de 25°C, une quantité de chaleur de 2 kJ.

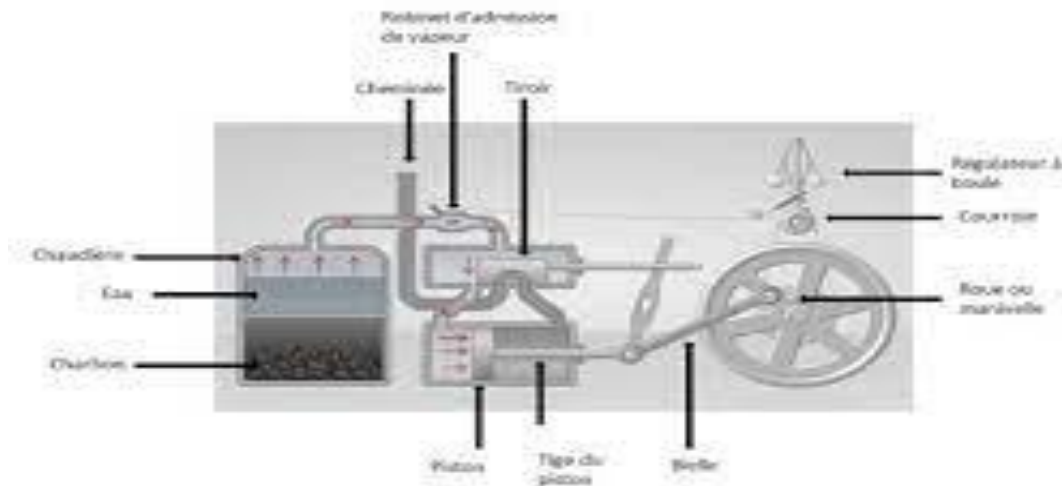
Trouve la température finale de cette eau. On donne $C_e = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

IX- Moteurs thermiques :

1- Machines à vapeur à piston et turbines à vapeur :

Dans les **machines motrices à vapeur** l'énergie du combustible est utilisée indirectement dans les **chaudières à vapeur** par l'intermédiaire de la vapeur d'eau produite.

Dans les **machines à vapeur à piston** la **dilatation** de la vapeur fournit du **travail** sur le mouvement d'un **piston** dans un **cylindre** à vapeur. Dans les **turbines à vapeur** l'énergie de la vapeur est d'abord transformée en énergie **cinétique** (due à la vitesse) et utilisée pour produire du travail par l'intermédiaire des **aubes**.



Machine à vapeur

- Moteurs à combustion interne :

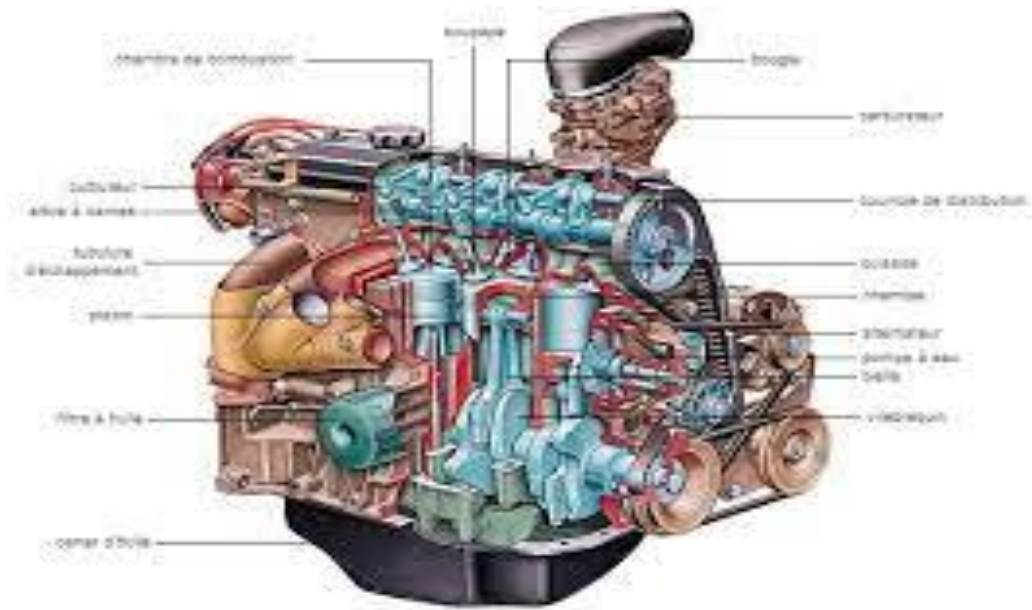
On les appelle ainsi car cette dernière a lieu directement à l'intérieur de la machine. Suivant le type de combustion on distingue les **moteurs à explosion**, les **moteurs Diesel** et les **turbines à gaz**.

- Moteurs à explosion :

Ils utilisent comme combustibles soit des **gaz**, en particulier le gaz pauvre des **gazogènes** ou des **hauts-fourneaux** et le gaz des **cokeries** gazières, soit les **huiles légères** comme l'**essence** ou le **benzène** qui doivent être finement pulvérisés dans un carburateur avant la **combustion**. Le mélange air-combustible est enflammé dans un cylindre par une étincelle électrique, les gaz brûlés étaient portés à volume pratiquement constant à haute pression et haute température ce qui produit par l'expansion qui s'en suit du **travail mécanique** par déplacement d'un piston.

- Moteurs Diesel :

Contrairement à ce qui se passe dans les moteurs à explosion, le combustible liquide est injecté dans de l'**air** à haute pression (**30 à 60 bars**) et haute température (**550...600°C**) de telle façon que la combustion ait lieu à pression pratiquement constante. Les combustibles utilisés sont des huiles moyennes (**gaz-oil** ou **diesel-oil**).



Moteur à explosion

Tableau. Rendement effectif η_e et consommation de chaleur et de combustible des moteurs thermiques.

Type de moteur	combustible	Rendement effectif η_e %	Consommation massique de chaleur q_e KJ/kw eh	Consommation massique de combustible C_e Kg/KW eh
Moteurs à explosion Petits moteurs à gaz	↑ gaz des gazogènes	0,25...0,30	11950...14200	-
	↑ gaz des hauts-fourneaux	0,30...0,35	10240...11950	-
Moteurs d'automobile	Essence	0,20...0,25	14200...18200	0,34...0,43
Moteurs d'avion	Essence	0,28...0,32	11380...13090	0,27...0,31
Moteurs Diesel petits	Gaz-oil	0,30...0,35	10240...11950	0,24...0,28
	grands	Gaz-oil	9100...10240	0,22...0,24
moteurs d'automobile	Gaz-oil	0,25...0,30	11950...14200	0,28...0,34

2- Turbines à gaz :

Dans ces machines, l'énergie produite par la dilatation des gaz brûlés chauds résultant de la combustion d'une fraction du **pétrole** brut raffiné ou de gaz est transmise aux aubes de la **turbine**. Les principaux composants d'une turbine à gaz sont : le **compresseur** (il s'agit le plus souvent d'un compresseur hélicoïde à plusieurs étages), la **chambre de combustion** (le plus souvent de forme concentrique) et la **turbine**. Cette dernière entraîne le compresseur, tous les **deux** étant situés sur le même **arbre**.

Réalisations :

- **Turbines à circuit ouvert**, l'air aspiré est comprimé entre **3** et **8 bars** dans le compresseur, le combustible liquide ou gazeux est brûlé vers **1 500 °C** dans la chambre à combustion, la température d'entrée dans la turbine est de **600** à **800°C**, l'expansion et le travail qui en résultent sont fournis dans la turbine même.

- **Turbines à circuit fermé** (ou à air chaud). De l'air ou d'autres gaz comme par **exemple** l'**hélium** s'écoulent en circuit fermé à la pression de **10** à **30 bars**. Le chauffage de l'air a lieu dans des chaudières spéciales, le combustible étant indifférent. Expansion dans la turbine et combustion dans le compresseur. Une partie de la chaleur perdue est récupérée par le circuit d'eau froide. Les **turbocompresseurs** à gaz d'échappement sont utilisés dans les moteurs à combustion interne pour entraîner les compresseurs et relever ainsi la puissance des moteurs (turbocompresseurs à suralimentation). La température des gaz d'échappement atteint **1 100°C**.

Les turbines à gaz équipent principalement les avions, la turbine entraînant alors **compresseur** et **hélice**. Elles atteignent **150 kW**.

3- Expression du travail :

$$W = F \times l$$

F est l'intensité de la force pressante exercée par la vapeur sur une surface du piston.

$$F = P_e \times S$$

- $P_e = P_{ad} - P_{ec}$ (P_e = pression effective ; P_{ad} = pression d'admission ; P_{ec} = pression d'échappement).

- **S** est la surface du piston et **l** sa course.

Dans la machine à vapeur à simple effet, (la vapeur ne travaille que sur une face du piston).

$$W_s = P_e \times S \times I$$

- W_s s'exprime en J
- P_e s'exprime en Pa
- S s'exprime en m^2
- I s'exprime en m

Pour une machine à vapeur à double effet, (la vapeur agit sur les deux faces du piston).

$$W_d = P_e \times S \times I \times 2$$

NB. $W_d = 2W_s$.

4- Expression de la puissance :

La puissance P d'une machine est le travail qu'elle accomplit en une seconde.

- **Dans une machine à simple effet :**

$$P_s = P_e \times S \times I \times n$$

- P s'exprime en watts
- n est le nombre de tours par seconde du Volant (vitesse de rotation)

- **Dans une machine à double effet :**

$$P_d = P_e \times S \times I \times n \times 2$$

P_d s'exprime en watts.

$$P_d = 2 P_s$$

NB. Un tour du Volant correspond à deux courses du piston.

5- Rendement d'un moteur thermique :

On appelle rendement d'un moteur thermique, le rapport entre le travail produit par ce moteur et l'énergie calorifique fournie par le combustible pendant le même temps.

$$Q - Q'$$

$$R = \frac{Q - Q'}{Q}$$

$$Q$$

NB.

$$Q - Q' \quad Q \quad Q' \quad Q'$$

$R = \frac{Q - Q'}{Q} = \frac{Q'}{Q} > R = 1 - \frac{Q'}{Q}$. Puisque $Q' < Q$, alors $R < 1$.

$$Q \quad Q \quad Q \quad Q$$

Le rendement d'un moteur thermique est inférieur à 1.

Pour améliorer le rendement, il faut soit augmenter la température de la source chaude, soit diminuer la température de la source froide.

EXERCICES :

- 1- Le piston d'une machine à vapeur a une surface de 0,025 m². La vapeur est admise à la pression de 1 176 000 Pa et elle s'échappe directement dans l'atmosphère.

Calcule la force qui pousse le piston (pression atmosphérique : 98 000 Pa).

- 2- Une machine à vapeur sans condensateur, à double effet, a les caractéristiques suivantes :

- pression de la vapeur dans la chaudière = 2 060 100 Pa.

- surface du piston : $l = 0,80$ m ;

- nombre de tours de l'arbre par seconde : $n = 3$ trs/s.

- pression atmosphérique : $P_{ec} = 98\,100$ Pa.

- a- Etablis les expressions du travail de la vapeur par course du piston et de la puissance de la machine ; précise les unités.
- b- Calcule cette puissance en watt et en chevaux-vapeur en sachant que 1 ch = 736 watts.

X- Notion d'intensité du courant :

1- Définitions :

a- **Intensité électrique** : est le **débit d'électricité** qui circule dans un circuit électrique.

L'intensité **I** d'un courant électrique est la quantité d'électricité qui traverse une section d'un conducteur en une seconde (c'est un débit de quantité d'électricité).

q

Soit $I = \frac{q}{t}$ d'où $q = I \times t$

t

- **q** s'exprime en Coulomb (**C**)
- **I** s'exprime en ampère (**A**)
- **t** s'exprime en seconde (**s**)

L'unité principale de mesure de l'intensité du courant est l'**Ampère (A)**. On utilise couramment les unités tels que :

- **le milli-ampère** : $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$
- **le micro-ampère** : $1 \text{ UA} = 10^{-6} \text{ A}$
- **le nano-ampère** : $1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$
- **le pico-ampère** : $1 \text{ PA} = 10^{-12} \text{ A}$

L'instrument de mesure de l'intensité du courant est l'ampèremètre qui est toujours monté en série.
Son symbole est **A**.

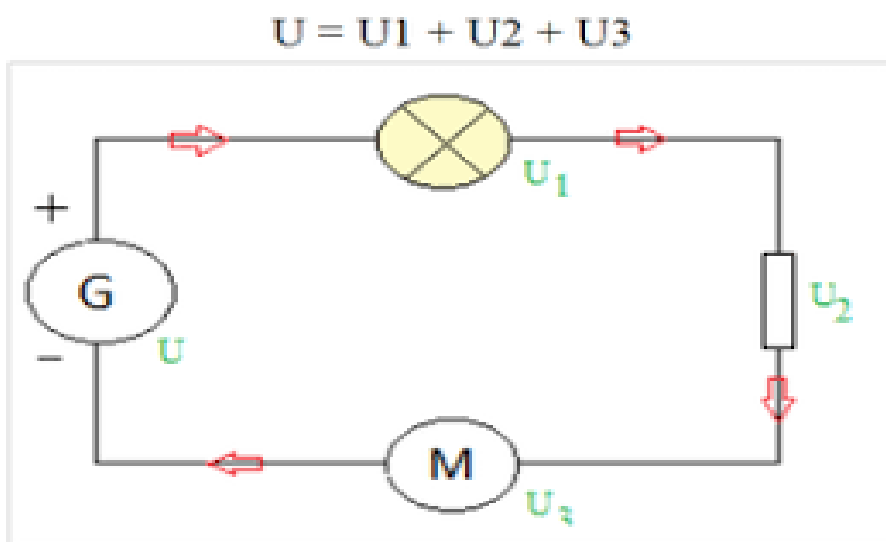
1 ampère-heure = 3 600 coulombs.

+ -----**A**----- -

On distingue deux types d'ampèremètre :

- Ampère mètre à aiguille ;
- Ampère mètre digital.

b- Tension électrique : ou différence de potentiel électrique, expression issue de l'ancienne description du **champ électrostatique**, comme altération élastique d'un hypothétique milieu appelé **éter**. L'instrument de mesure de tension est le **voltmètre** de symbole (**V**).



Circuit électrique

Questions :

- 1- Qu'est ce que l'électricité ?
- 2- Cite les différents types d'électricité.
- 3- Donne le nom de l'instrument de mesure de l'électricité et son symbole.
- 4- Quelles sont les unités de mesure de l'intensité du courant ?

EXERCICES :

1- Un ampèremètre muni d'un cadran de 100 divisions possède les calibres 0,1 A ; 0,5 A ; 1 A.

On effectue successivement avec cet instrument les mesures suivantes consignées dans le tableau ci-dessous :

Calibre (A)	0,1		0,5		1	
Lecture (div)	48	82	18	64	45	90
Intensité (A)						

Copie et complète ce tableau.

2- Calcule en coulombs la quantité d'électricité qui traverse une lampe électrique pendant 1 h 45 mn, sachant que l'intensité du courant est de 0,25 A.

XI- Electrolyse : Etudes qualitative et quantitative :

A- Etude qualitative :

1- Définitions :

- **Electrolyse, procédé de séparation** des composants d'une solution électrolytique par action du **courant électrique** et, plus généralement, ensemble des transformations chimiques qui se produisent dans un **électrolyseur** pendant le passage du courant électrique.

- **Électrolyseur, système électrochimique** formé d'un **électrolyte** (solution aqueuse d'un

sel, d'un **acide**, d'une **base** ou encore **sel fondu**) en contact avec **deux électrodes métalliques**, entre lesquelles on applique une **tension** continue au moyen d'un **générateur**.

- **Electrolyte**, composé chimique qui, en solution, subit une **dissociation électrolytique**.

Tous les **sels** et de nombreux **acides** et **bases** non organiques, dissous dans l'eau, se scindent complètement en **ions** : ils sont appelés **électrolytes forts**. D'autres substances, en général des acides et des bases organiques et certains sels présents dans les solutions en partie sous forme d'ions, en partie sous forme de **molécules** indissociées, prennent le nom d'**électrolytes faibles**.

2- Lois qualitatives de l'électrolyse :

En pratique, cela signifie que, à concentration égale, la conductibilité électrique (qui dépend du nombre d'ions) d'un électrolyte faible est inférieure à celle d'un électrolyte fort.

Sous l'effet du champ électrique ainsi créé entre les électrodes, les **ions positifs (cations)** et les **ions négatifs (anions)**, présents dans l'électrolyte, migrent respectivement vers l'électrode chargée négativement (**cathode**) et vers l'électrode chargée positivement (**anode**).

B- Etude quantitative :

1- Définitions :

- **La mole :**

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant de particules qu'il y a d'atomes de carbone réels dans 12 g de carbone.

Elle est représentée par le symbole (**mol**), unité de mesure de la quantité de matière dans le système S.I.

- **Le Volume molaire d'un gaz :**

Le volume molaire d'un gaz est le volume d'une mole de ce gaz.

$V_0 = 22,4 \text{ l/m}$ ou l.mol^{-1} .

Dans les conditions normales de température ($T_0 = 273 \text{ K}$) et de pression ($P_0 = 1,013 \cdot 10^5$)

- **La Masse molaire atomique :**

La masse molaire atomique est la masse d'une mole d'atome. Elle s'exprime en **g/mol**.

$$M/C = 12 \text{ g/mol}$$

- **La Masse molaire moléculaire :**

La masse molaire moléculaire est la masse d'une mole de molécule. Elle correspond à la somme des masses molaires atomiques des différents éléments entrant dans la composition du corps.

Exemple : $M(\text{CO}_2) = M(\text{C}) + M(\text{O}) \times 2$

$$= 12 + 16 \times 2$$

$$= 12 + 32 = 44 \text{ g/mol}$$

2- Loi d'Avogadro-Ampère :

Dans les mêmes conditions de température et de pression, les volumes égaux de n'importe quel gaz renferment les mêmes nombres de mole.

N est appelé le nombre d'Avogadro :

$$N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

- On appelle Faraday, la quantité d'électricité portée par une mole d'électrons de mole.

$$F = N \times e \text{ d'où :}$$

$$1F = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times [1,6 \cdot 10^{-19}] = 96\,320 \text{ C. Dans la pratique on prend :}$$

$$1 F = 96\,500 \text{ C.}$$

$$q = I \times t$$

- **q** s'exprime en coulombs (**C**)
- **I** s'exprime en ampère (**A**)
- **t** s'exprime en secondes (**S**).

Le nombre de moles d'électrons transportés au cours de l'électrolyse est :

q

$N_e = \frac{q}{F}$

F

- n_e s'exprime en moles (**mol.**)
- q s'exprime en coulombs (**C**)
- F s'exprime en coulombs par moles (**C mol⁻¹**)

En désignant par m la masse du corps, par V son volume, par M sa masse molaire, par n le nombre de moles contenues dans la masse m , et par V_o le volume molaire (dans le cas des gaz) on a :

m

- $n = \frac{m}{M}$ d'où $m = n \times M$

M

V

- $n = \frac{V}{V_o}$ d'où $V = n \times V_o$

V_o

EXERCICES :

1- On réalise l'électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre CuSO_4 dans un électrolyseur traversé par un courant de 3,6 A pendant 15 mn.

- a- Ecris l'équation de la réaction à la cathode de l'électrolyseur.
- b- Calcule la masse de cuivre déposée à la cathode de l'électrolyseur.

On donne : $M(\text{Cu}) = 64 \text{ g/mol}$; $1 F = 96\,500 \text{ C/mol}$.

2- On électrolyse une solution d'acide sulfurique. L'ampèremètre utilisé indique 0,5 ampère et l'expérience a duré 5 mn.

- a- Ecris l'équation bilan des réactions aux électrodes.

- b- Calcule le volume du gaz dégagé à la cathode.
- c- Calcule la masse du gaz dégagé à la cathode.

On donne $F = 96\,500 \text{ C/mol}$; volume molaire normal = $22,4 \text{ l/mol}$.

XII- Effet Joule : applications

1- Définition :

Transformation de l'énergie électrique en énergie thermique lors du passage du courant dans un conducteur.

La **quantité de chaleur Q** libérée par un conducteur à la **température T** est proportionnelle au **courant I** qui le traverse, et à la **tension V** imposée à ses bornes par unité de temps : $Q = KVIT$ où **k** est un coefficient de proportionnalité.

En tenant compte de la **loi d'Ohm**, on peut encore écrire $Q = kV^2T/R$ ou $Q = kI^2RT$ où **R** est la résistance du conducteur.

En mesurant **V** en **volt**, **I** en **ampère** et **Q** en **calories**, **k** est égal à $4,18 \cdot 10^3 \text{ cal/J}$.

Joule, unité de mesure (**J**) du travail, de l'énergie et de la quantité de chaleur dans le système S.I. **1 J** est le travail effectué par une force de **1 newton** lorsque son point d'application se déplace de **1 m** dans la direction de la force : $1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$.

2- Applications :

L'effet joule peut être utile ou nuisible :

a- Effet utile :

L'effet joule est fréquemment utilisé pour :

- Le chauffage électrique (fer à repasser, chauffe-eau, four électrique, radiateur, ...).
- L'éclairage par incandescence (ampoule incandescente).
- Le coupe-circuit à fusible.

b- Effet nuisible :

L'effet joule est nuisible lorsqu'il occasionne :

- Des risques d'incendie.
- Des pertes d'énergie en ligne lors du transport du courant électrique.

3- Loi de Joule :

Pour un résistor de résistance **R** parcouru par un courant **I**, la tension à ses bornes est :

$$\mathbf{U = R \times I}$$

La puissance électrique reçue est :

$$\mathbf{P = U \times I = R \times I^2}$$

d'où l'énergie électrique consommée est $\mathbf{W = p \times t = U \times I \times t = R \cdot I^2 \cdot T}$

$$\mathbf{W = R \cdot I^2 t}$$

- **W** s'exprime en joule (**J**)
- **R** s'exprime en ohm (**Ω**)
- **I** s'exprime en ampère (**A**)
- **t** s'exprime en secondes (**S**).

EXERCICES :

1- Calcule la puissance électrique dissipée par effet Joule dans un rhéostat de 23 Ω parcouru par un courant de 5 A.

Trouve la quantité de chaleur, en Joules et en kWh, dégagée en une demi-heure de fonctionnement.

2- On veut chauffer un litre d'eau de 15° à 45°C au moyen d'un chauffe-eau électrique plongé

dans cette eau et parcouru par un courant électrique de 4 A.

La différence de potentiel aux extrémités du chauffage est 220 V.

Calcule :

- a- La résistance électrique du chauffe-eau.
- b- La quantité de chaleur fournie (en joules) par le chauffe-eau.
- c- La durée de l'expérience.
- d- La quantité d'électricité qui aura traversé le chauffe-eau.

On donne : chaleur massique de l'eau $C_e = 4\,180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

XII- Résistance et résistors :

Résistance, grandeur dépendant des caractéristiques physiques et géométriques d'un **conducteur**, mesurant la tendance à dissiper, par l'**effet Joule**, c'est-à-dire sous forme thermique, l'énergie d'un **courant électrique** parcourant le **circuit**.

De façon équivalente, on peut définir la résistance comme le rapport entre la différence de **potentiel** (si elle est constante) et l'**intensité** du courant (**loi d'Ohm**).

La résistance d'un conducteur de longueur **L** et de section constante **S** es donnée par :

ρL

$R = \frac{\rho L}{S}$ où **ρ** est la **résistivité** du conducteur.

S

Les **résistors** permettent de modifier l'intensité du courant dans un circuit et peuvent être branchés indifféremment dans un sens ou dans l'autre (on dit que ce sont des **dipôles** symétriques passifs).

1- Loi d'Ohm :

La **tension U** aux bornes d'un résistor est égale au produit de sa **résistance R** par l'**intensité I** du courant qui le traverse, soit :

$$U = R \times I$$

- **U** s'exprime en volts (**V**)
- **R** s'exprime en ohm (**Ω**)
- **I** s'exprime en ampère (**A**)

Tout dipôle qui obéit à la loi d'Ohm est un conducteur ohmique ou un résistor.

2- Résistance d'un résistor :

La résistance d'un conducteur de résistivité **p**, de longueur **l** et de section **s** est donnée par la relation :

$$R = p \times l / s$$

- **R** s'exprime en ohms (**Ω**)
- **p** s'exprime en ohm.mètres (**$1\Omega.m$**)
- **l** s'exprime en mètres (**m**)
- **s** s'exprime en mètre carré (**m^2**)

3- Unités de résistance :

L'unité **SI** de résistance est l'ohm (**Ω**). L'ohm est la résistance d'un résistor qui, parcouru par un courant de 1 ampère a à ses bornes une tension de **1 volt**.

On utilise aussi les unités suivantes :

Noms	Symboles	Valeurs en Ω
Kiloohm	KΩ	10^3
Mégaohm	MΩ	10^6

4- Puissance dissipée :

$$P = U \times I$$

- **P** s'exprime en W
- **U** s'exprime en v
- **I** s'exprime en A

Avec la relation $U = R X I$, l'expression de la puissance peut s'écrire :

$$P = U X I = R X I^2 \text{ soit : } P = R X I^2$$

$$U \quad U^2$$

$$U = R X I \text{ -----> } I = U/R; \text{ d'où } P = R (---)^2 = ---$$

$$U^2 \quad R \quad R$$

$$P = ---$$

$$R$$

EXERCICES :

1- Un résistor est traversé par un courant de 0,29 A : la tension aux bornes de ce dipôle est

Alors de 24 V.

a- Calcule la résistance de ce dipôle.

b- Calcule la tension aux bornes du résistor lorsqu'il est traversé par un courant de 0,1 A.

2- Un conducteur ohmique a une résistance $R = 330 \Omega$; il est parcouru par un courant

d'intensité $I = 72 \text{ mA}$.

Calcule la tension U qui existe entre les bornes de ce conducteur.

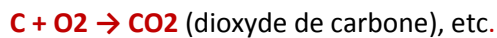
CHIMIE :

XIII- Equations de réactions :

1- Définition :

Une **réaction chimique** est une transformation de la matière au cours de laquelle des **espèces chimiques** mises en réaction disparaissent pour donner naissance à d'autres espèces chimiques.

2- Equations de réactions :



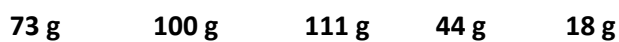
Les corps de départ sont appelés « **réactifs** » ou « **produits initiaux** » et les corps formés sont appelés « **produits finaux** ».

3- Conservation de la masse :

a- Enoncé de la loi :

Lors d'une réaction, la masse des produits formés est égale à la masse des réactifs.

Exemple :



- **Masse totale des réactifs : $73 + 100 = 173 \text{ g}$**
- **Masse totale des produits : $111 + 44 + 18 = 173 \text{ g}$**

NB: Masse totale des réactifs = masse totale des produits.

b- Calcul des quantités de matière : (masse, volume)

En désignant par **m** la masse du corps, par **V** son volume, par **M** sa masse molaire, par **n** le nombre de moles contenues dans la masse **m**, et par **V₀** le volume molaire normal dans le cas des gaz ; on :

m

• $n = \frac{m}{M}$ d'où $m = n \times M$

V

• $n = \frac{V}{V_0}$ d'où $V = n \times V_0$

EXERCICES :

1- On fait 220 g de propane (C₃H₈) dans du dioxygène.

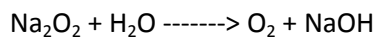
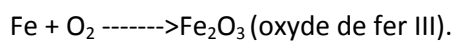
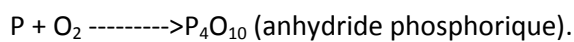
a- Ecris l'équation bilan de la réaction.

b- Détermine la masse de dioxygène nécessaire à la réaction.

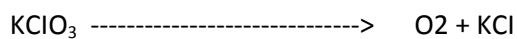
c- Détermine la masse de dioxyde de carbone formé.

M (C) = 12 g/mol ; M(O) = 16 g/mol ; M(H) = 1 g/mol.

2- Equilibre s'il y a lieu, les équations chimiques suivantes:



(oxylithe) (soude)



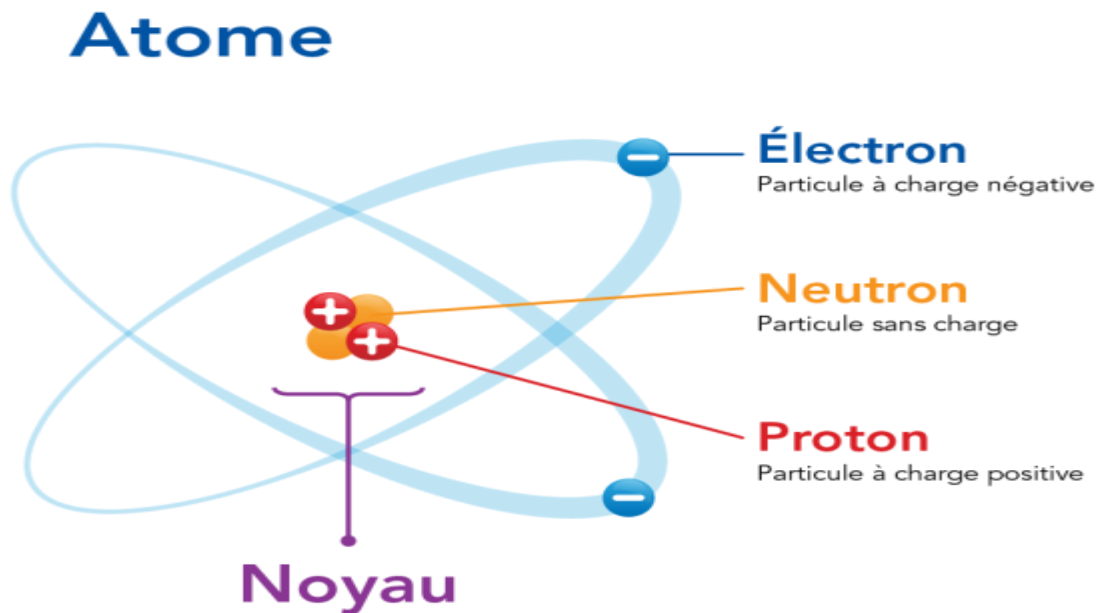
Chlorate de potassium Chlorure de potassium

XIV- Structure de l'atome et classification périodique des éléments :

A- Structure :

Il est possible de comparer la structure d'un atome à celle du Système solaire : le **noyau de l'atome** se trouve au centre (comme le Soleil), tandis qu'à sa périphérie gravitent les **électrons** (comme les planètes).

Chaque type d'atome (ou **élément chimique**) possède un nombre fixe d'électrons (et de protons) : c'est le **nombre de charge** ou **numéro atomique** (noté **Z**).



Structure de l'atome

Les particules constituant de l'atome sont :

1- Electron :

C'est une particule de charge électronique (**e**) négative ayant une masse (**m_e**) très petite. C'est le constituant universel de la matière.

Sa charge électronique (**e**) = **-1,6.10⁻¹⁹ coulomb**.

$$m_e = 0,91 \cdot 10^{-31} \text{ kg.}$$

2- Proton :

C'est une particule de charge positive. Sa charge est égale en valeur absolue, à celle de l'électron. Sa masse est **1 836 fois** supérieure à celle de l'électron :

$$q_p = + e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb.}$$

$$m_p = 1\,836 m_e = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

3- Neutron :

Le neutron est une particule de charge électronique nulle.

On appelle :

Z le nombre de protons

N le nombre de neutrons

A = Z + N est le nombre de nucléons dans le noyau.

La charge du noyau est égale à **Z.e**.

Le nombre de masse de l'atome est : **A = Z + N** (la masse de l'électron étant négligée devant celle du noyau).

B- Classification périodique des éléments :

En 1869, le chimiste russe **Mendeleïev**, après avoir classé les éléments par **masse atomique** croissante, les disposa sur un tableau en plaçant sur une même verticale, les corps qui présentaient les mêmes analogies chimiques.

Il avait laissé certaines cases vides dans ce tableau car il avait prévu l'existence d'autres éléments.

La classification proposée par **Mendeleïev** comprend des **périodes** ou **lignes** et des **groupes** ou **familles** ou **colonnes**.

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Masse atomique → 55,845 26 ← Numéro atomique (nombre de protons dans le noyau)
 Symbole chimique → Fe
 Nom → fer

Sources : IUPAC, Wikimedia Commons

La structure du tableau périodique se présente comme suit:

1- Les Périodes :

Le tableau périodique renferme **7 périodes** dont **3 courtes** et **4 longues**.

- **Périodes courtes**, la **première** ne renferme que deux éléments (**hydrogène H** et **l'hélium H2**) ; tandis que les **deux autres** renferment **8 éléments** chacune.

- **Périodes longues**, la **4^{ème}** et la **5^{ème}** renferment chacune **18 éléments** chacune, la **6^{ème}** renferme **32 éléments** et la **7^{ème}** est incomplète.

2- Les Groupes :

Il existe deux **grands groupes** : le **groupe des métaux** et le **groupe des non- métaux**. Le tableau périodique est composé de **8 groupes** constitués de **8 sous-groupes** secondaires.

a- Groupe I :

C'est le groupe des **métaux alcalins** (**hydrogène H, lithium Li, sodium Na, potassium K**). Ces éléments ont tendance à céder (**perdre**) un électron pour saturer leurs couches électroniques périphériques.

b- Groupe II :

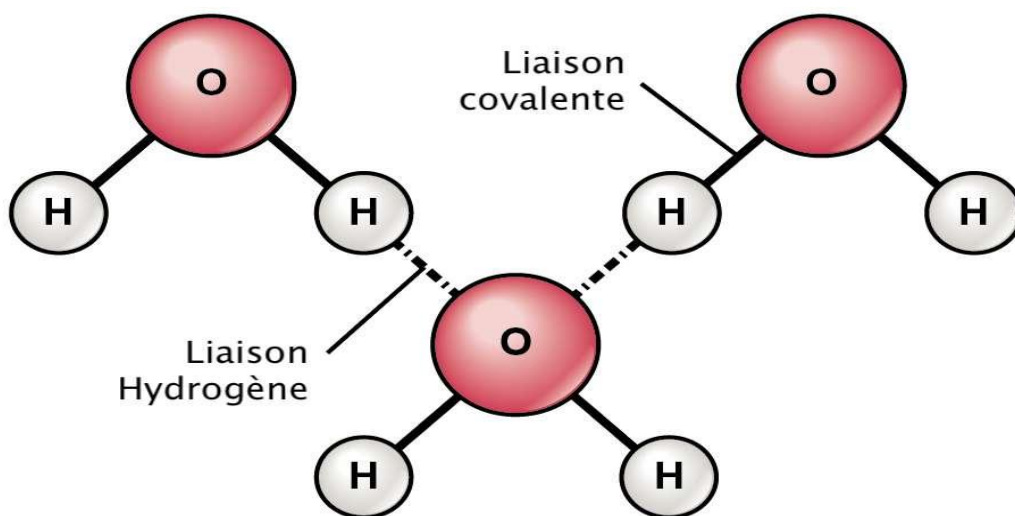
C'est le groupe des **métaux alcalins-terreux** (**Béryllium B2, Magnésium Mg, Calcium Ca**). Ces métaux ont tendance à céder **deux électrons** pour saturer leurs dernières couches électroniques.

c- Groupe III :

C'est le groupe des **allogènes** (**Fluor F, Chlore Cl, Brome Br, Iode I**). Ces éléments ont tendance à capter (gagner) un électron pour saturer leurs couches électroniques périphériques.

d- Groupe IV :

C'est le groupe des **gaz rares** (**Hélium H2, Néon Ne, Argon Ar, Krypton Kr**). Leurs dernières couches électroniques sont saturées. Les gaz rares ne sont pas prêts à capter ni à perdre un électron, donc ils n'admettent pas de réactions chimiques. On dit qu'ils sont **inertes**.



(Schéma d'une liaison chimique)

EXERCICES :

1- Donne le nombre de protons et de neutrons dans les noyaux des atomes suivants :

16	35	23	Na
8 O	17 Cl	11	

2- Un élément occupe la 7^e colonne et la 2^e ligne de la classification périodique : trouve son Numéro atomique ; donne son nom.

3- Le magnésium a pour numéro atomique $Z = 12$; dans quelle colonne et quelle ligne de la classification périodique des éléments est-il situé ?

XV- Oxydo - réduction :

A- Oxydation :

1- Définitions :

- **Oxydation, réaction chimique** correspondant à la **combinaison** ou d'un **composé chimique** avec l'**oxygène** (**par exemple** : l'oxydation lente du **fer** à l'**air** avec formation de **rouille** ; la **combustion** du **charbon** de bois qui donne de l'**anhydride carbonique** ; l'oxydation de l'**anhydride sulfureux** en **anhydrique sulfurique** et celle de l'**ammoniac** en **acide nitrique**).

- **Oxydant**, corps pouvant fournir des atomes d'oxygène, c'est-à-dire produire des réactions

d'oxydation.

Dans un sens plus général, on appelle oxydation toute réaction dans laquelle il y a perte d'**électrons** de la part d'un **élément**, qu'il soit à l'état d'élément ou sous forme de composé, ou de la part d'un **groupe fonctionnel** dans une **molécule**, suivie d'acquisitions de ces électrons par une substance dite en général **réductrice (oxydoréduction)**.

Dans le cas du fer, l'oxydation peut être causée non seulement par l'oxygène, mais aussi par la **vapeur d'eau** à haute température, par les **halogènes**, les **hydracides**, les **ions des métaux nobles** comme le **nickel**.

Dans tous ces cas, en effet, le fer perd **deux électrons** comme dans l'oxydation directe par l'oxygène. Un **sel ferreux** peut être oxydé en donnant un dérivé ferrique avec perte d'un électron sous l'action d'**acides oxydants**, de **permanganates**, de **chromates**, de **peroxydes d'halogènes**.

Un groupe d'une molécule organique, tel un groupe **méthyle alcool – CH₂OH**, peut être oxydé en donnant un groupe **aldéhyde**, **carboxyle** ou l'**anhydride carbonique** avec augmentation de la **valence** de l'atome de carbone.

C- Réduction :

1- Définitions :

- **Réduction**, processus au cours duquel on a diminution du degré d'oxydation d'une espèce chimique, comme résultat de l'acquisition d'**électrons**.

- **Réducteur**, corps capable d'enlever des atomes d'oxygène à un composé oxygéné.

Les corps avides d'oxygène tels que le dihydrogène, le carbone, le soufre et certains métaux (Al, Zn et Fe) sont des réducteurs.

2- Méthodes :

La réduction peut se faire par voie chimique ou par voie électrochimique.

- **Dans le premier cas**, la réduction se fait au dépens d'un élément ou d'un autre composé

Chimique, appelé **réducteur**, qui subit une **oxydation** : dans la réduction de l'**oxyde ferrique** (Fe_2O_3) par le **carbone** (C), selon la réduction :

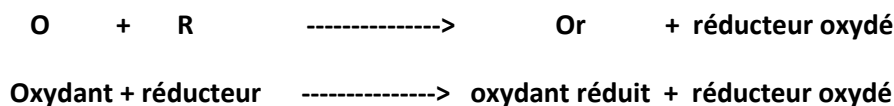


Le fer passe du degré d'oxydation **+3** au degré d'oxydation **0**, tandis que le carbone passe de **0** à **+4**.

- **Dans le second cas**, l'espèce intéressée par la réduction réagit directement à la **cathode**, comme dans la préparation des métaux par **électrolyse** de **solutions aqueuses** ou de **sels fondus**, ou encore est réduite par l'action de l'**hydrogène actif** qui se forme à la cathode, comme dans la réduction des composés organiques, **par exemple** : du **nitrobenzol** et de l'**aniline**.

D- Oxydo-réduction :

Le phénomène d'oxydo-réduction est toujours simultané. On peut le résumer par le schéma suivant :



EXERCICES :

1- On oxyde 36 grammes de carbone par l'oxyde de cuivre II.

Ecris l'équation bilan de la réaction et calcule :

- a- le volume de dioxyde de carbone dégagé ;
- b- la masse de cuivre déposé.

$M(\text{Cu}) = 64 \text{ g/mol}$; $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$; volume molaire normal $V_0 = 22,4 \text{ l}$.

2- On fait passer un courant d'oxyde de carbone sur de l'oxyde de cuivre II à chaud.

- a- Ecris l'équation bilan de la réaction.
- b- Calcule le volume d'oxyde de carbone qu'il faut utiliser pour former 320 grammes de cuivre.

$M(\text{Cu}) = 64 \text{ g/mol}$; $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$; volume molaire normal $V_0 = 22,4 \text{ l}$.

XVI- Aluminium :

1- Etat naturel :

Elément chimique (Al), n.at. 13, p. at.26, 9815, p.f.660°C, p. éb. 2 270°C, dens.2, 70 g/cm³ ; réseau cristallin cubique à faces centrées. Il est, sous forme de nombreux composés, largement répandu dans la **nature** (7,51% dans la croûte terrestre) mais ne peut être extrait que de la **bauxite**, un de ses oxydes hydratés (**Al₂O₃**).

L'**oxyde pur** et cristallin (**corindon**) peut présenter plusieurs coloris et les caractéristiques de pierres précieuses (**rubis, saphirs**).

2- Caractéristiques chimiques :

L'aluminium est solubilisable par les **acides** à caractère non oxydants (par exemple l'**acide chlorhydrique**) et par les **alcalis** forts ; les acides oxydants (par exemple l'**acide nitrique**) l'attaquent peu, car sa surface est recouverte d'une couche protectrice d'oxyde (**passivation**) ; en revanche, les solutions salines exercent sur lui une forte action corrosive.

L'aluminium présente une propriété hautement **électropositive**, et constitue donc un excellent **réducteur**.

Il appartient au **IIIe groupe** de la classification périodique et manifeste toujours dans ses composés le degré d'oxydation + 3. Parmi ses composés, il faut rappeler l'**alun (sulfate)** et l'**alumine (oxyde)**.

L'**hydroxyde Al (OH)₃** est un précipité blanc doté d'une propriété **amphotère** dans la mesure où il se transforme soit en acides (avec formation des sels d'aluminium respectifs), soit en **bases** (avec formation d'**aluminates**).

3- Caractéristiques physiques :

L'aluminium est un métal au coût relativement modeste, présentant une conductibilité électrique et thermique élevée, une haute malléabilité, une grande souplesse, avec un comportement particulier face à la corrosion.

La charge de rupture varie entre 9 et 20kg/mm² et l'allongement entre 30-40% (pour un matériau recuit) et 2% (matériau soumis à des travaux mécaniques). Il est également intéressant dans les

applications nucléaires, en dépit de ses limites d'emploi, dues à sa température de fusion basse, car c'est un faible absorbeur de neutrons. Sa bonne résistance à la corrosion est due à sa passivation, citée plus haut, qui protège le métal de l'attaque ultérieure de l'air, de l'eau, de l'acide citrique.

XVII- Fer :

1- Etat naturel :

Elément chimique (Fe) ; n. at. 26 ; p. at. 55,847 ; p.f. 1 536°C ; p. éb. 3 000 °C ; dens. 7, 86 g/cm³, réseau cristallin cubique centre.

C'est le métal de très loin le plus utilisé. En dehors de petits gisements au **Groenland**, on ne trouve le fer à l'état natif que dans les météorites, qui en contiennent **90%**.

Le fer est extrêmement répandu sous forme de minerais, comme les **oxydes (hématite Fe₂O₃ et magnétite Fe₃O₄)**, les **oxydes hydratés (limonite Fe₂O₃, H₂O)**, les **sulfures (pyrites FeS₂)**, les **carbonates (sidérite FeCO₃)**, les **silicates**.

Le fer est extrait des oxydes par **réduction** et **carburation** avec du charbon dans les hauts fourneaux, où se forme d'abord de la **fonte** qui peut être convertie en **acier** ; le fer peut aussi être tiré des produits solides (**oxydes de fer**) obtenus comme résidu dans le grillage des pyrites.

Le fer est un composant essentiel des organismes animaux, car il fait partie de la **molécule d'hémoglobine** (chaque molécule d'hémoglobine contient **quatre atomes de fer**) ; de plus, il est présent en petite quantité dans presque tous les aliments.

2- Propriétés physiques et chimiques :

Le fer existe sous trois formes cristallines appelées **fer x**, **fer o** et **fer y** (cubiques centrées pour les deux premières, cubique à faces centrées pour la troisième). Au moment où il se solidifie, il est sous la forme o, stable jusqu'à **1 401°C**.

A cette température, il se transforme en fer y, stable jusqu'à **906°C** ; au-dessous de cette température, c'est la forme x qui est stable (**ferrite**), **magnétique** au-dessous de **768°C**. A l'air, le fer

réagit lentement en présence d'eau, se recouvrant de **rouille (carbonate basique hydraté)**, alors qu'il reste inaltéré dans l'air sec.

Chauffé au rouge, il peut décomposer l'eau en libérant de l'**hydrogène** ; il est facilement attaqué par l'**acide chlorhydrique** et par l'**acide sulfurique** dilués ; il ne se dissout pas dans l'**acide nitrique** concentré, car il se forme une couche compacte et protectrice d'oxyde.

Le fer donne deux séries principales de composés : les **composés ferreux (degré d'oxydation +2)** et les **composés ferriques (degré d'oxydation +3)**.

Il existe aussi des composés où le fer est présent avec pour degrés d'oxydation **0** (par exemple : les **fer-carbonyles**) et **+6 (les ferrates)**. Les composés ferriques sont généralement plus stables que les composés ferreux : la valeur du potentiel normal d'**oxydoréduction** du couple **Fe³⁺ / Fe²⁺**, égale à **0,77 volt**, montre en effet que le fer+2 a une certaine tendance à s'oxyder en donnant du fer+3.

EXERCICES :

- 1- a- Calcule le volume de dioxygène nécessaire pour brûler 108 g de poudre d'aluminium.
c- Calcule la quantité de chaleur dégagée.

$M(\text{Al}) = 27 \text{ g/mol}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$; $V_0 = 22,4 \text{ l/mol}$; la combustion d'une mole d'aluminium fournit 800 kJ.

- 2- On prépare 30 g de chlorure de fer III. Calcule la masse de fer et le volume de dichlore nécessaire à cette préparation.

$M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g/mol}$; $M(\text{Fe}) = 56 \text{ g/mol}$; $V_0 = 22,4 \text{ l/mol}$.

XVIII- Zinc :

1- Etat naturel :

Élément chimique (Zn), n. at. 30, p. at. 65,37, p. f. 419,5°C, dens. 7,14g/cm³, réseau cristallin hexagonal.

C'est un métal connu depuis l'**Antiquité** pour son alliage avec le **cuivre (laiton)**. Il n'est pas très répandu dans la **nature** où il se trouve principalement forme sous forme de **sulfure (blende, ou sphalérite, et wurtzite)**, de **carbonate (smithsonite)**, d'**oxyde (zincite)** et de **silicate (calamine ou hémimorphite)**.

2- Propriétés physico-chimiques :

Le minerai le plus important pour l'extraction du zinc est la blende qui, comme tous les autres minerais de ce métal est associée à des minerais de **plomb** ; avant toute opération, il faut donc procéder à une **flottation** préliminaire pour séparer les **deux types** de minerais.

La blende ainsi séparée est grillée dans des fours spéciaux, afin d'éliminer une grande partie du **soufre** et de transformer la **blende** en **oxyde**, dans cette phase, les **fours à lit fluidisé** ont presque complètement remplacé les **fours à creuset horizontaux** à cause de leur capacité nettement supérieure.

La **réduction** de l'oxyde à l'état de métal est faite par une **voie thermique** ou par **voie électrochimique**.

Dans le **premier cas**, l'oxyde de zinc est mélangé à un excès de **charbon** et soumis à la réduction dans des **cornues de distillation** spéciales où le zinc est distillé et passe en phase vapeur.

Dans les installations les plus modernes, les cornues sont de **type vertical**, et ont des parois en carborundum, tandis que l'énergie nécessaire à la réduction et à la distillation est directement fournie à l'intérieur des cornues sous forme d'énergie électrique.

Dans la **méthode électrolytique**, on procède à la **lixiviation** de l'**oxyde de zinc** avec de l'**acide sulfurique**, à la purification de la solution de **sulfate de zinc** ainsi obtenue et à l'**électrolyse** de cette solution sur des plaques d'**aluminium** ; le dépôt de **zinc** est détaché périodiquement de celles-ci, lorsque la couche de métal a atteint une épaisseur donnée, tandis que la solution acide retirée des cuves électrolytiques est recyclée et ramenée au stade de la lixiviation.

Il est intéressant de citer une méthode pour la **lixiviation à pression directe** des minerais sulfurés, qui supprime la nécessité d'opérer le grillage et la **désulfuration** dans les fours, ainsi que l'adoption maintenant presque générale de **cathodes** de grande dimension (**3 m²** contre **1 m²** pour les cathodes traditionnelles) avec détachement automatique de la couche de zinc déposée.

Le zinc a un comportement typiquement métallique ; il est rapidement attaqué par les **acides**, car son potentiel normal est **$E_0 = 0,762$ volt**. Il se dissout aussi dans les **alcalis** avec formation de **zincates**.

3- Utilisation :

La grande partie du zinc produit est utilisée pour recouvrir des **surfaces en fer (zincage)** ; ses alliages, parmi lesquels les **laitons** sont nombreux.

Dans ses composés, il ne présente que le degré d'**oxydation +2** ; l'**oxyde de zinc (ZnO)** est une poudre blanche qui s'obtient en brûlant le métal ; il est employé comme **pigment** et pour les **cosmétiques**.

L'**hydroxyde de zinc Zn (OH)₂**, blanc gélatineux, précipite par **alcalinisation** de **solutions de sels** de zinc ; il a des propriétés **amphotères** typiques : il se dissout soit dans les acides, soit dans les alcalis, avec formation de ce dernier cas d'**hydroxo-complexes** appelés **zincates**, correspondant à l'**ion Zn (OH)₂⁻**.

Le **sulfure de zinc (ZnS)**, blanc, précipite lorsqu'on traite par l'**acide sulfhydrique** des solutions du métal en milieu non acide ; il entre dans la fabrication des **lithopones**, pigments pour peinture.

Le **chlorure de zinc (ZnCl₂)**, **hygroscopique**, s'obtient par dissolution du métal ou de l'oxyde dans l'**acide chlorhydrique**.

Le **sulfate de zinc hydraté (ZnSO₄ · 7H₂O)** est employé en **teinturerie** et pour des **bains électrolytiques**.

Le zinc donne de nombreux complexes (par exemple : des **complexes ammoniacaux**) dans lesquels il présente l'**indice de coordination 4**.

XIX- Méthane :

1- Etat naturel :

Hydrocarbure aliphatique, premier terme de la série des **alcane**s, de formule **CH₄**, p. **éb. -161,6°C**, p. **f. -182,5°C**.

C'est un gaz incolore, inodore, sans saveur, non toxique, qui brûle à l'**air** avec une flamme bleuâtre peu lumineuse.

2- Propriétés physico-chimiques :

Il est peu soluble dans l'eau et dans l'alcool et forme avec l'air, dans des proportions déterminées (de 5,3 à 14% en volume), un **mélange explosif** appelé **grisou**.

Dans la nature, il est présent dans le **gaz naturel** dont il est l'un des principaux constituants. La molécule de méthane a une structure **tétraédrique**, avec l'atome de carbone au centre et les **quatre** atomes d'**hydrogène** aux sommets.

3- Formation :

Le méthane d'origine naturelle se forme par **décomposition** des **substances organiques végétales** en l'absence d'**oxygène** ; c'est pour cette raison qu'il est souvent inclus dans les **gisements carbonifères**, industriellement, il s'obtient dans les traitements de **distillation sèche** des combustibles solides ; il est contenu dans une proportion en volume voisine de **30%** dans le **gaz de ville** et dans le **gaz des cokeries**.

Il se forme également dans tous les processus de traitement chimique des **dérivés du pétrole**, en quantité variant avec le type de processus, les conditions de travail adoptées et la matière première traitée.

Ainsi, il se trouve à **50%** et plus dans les gaz obtenus par certains procédés de **craquage** en phase liquide ; il se dégage en outre, en même temps que de l'hydrogène, des **hydrocarbures non condensables**.

Enfin, il se forme dans le **procédé Fischer-Tropsch** de production d'**essence synthétique** et, accidentellement, dans d'autres réactions employant des mélanges d'**oxyde de carbone** et d'**hydrogène**, spécialement en présence de **catalyseurs** contenant du **fer libre**.

EXERCICES :

1- a- Calcule la masse minimale de soufre qu'il faut faire agir sur 13 g de zinc pour obtenir du sulfure de zinc en utilisant tout le métal.

b- Calcule le volume de gaz que l'on peut obtenir dans les conditions normales par action d'un excès d'acide chlorhydrique sur le sulfure de zinc obtenu.

$M(\text{Zn}) = 65 \text{ g/mol}$; $M(\text{S}) = 32 \text{ g/mol}$; $L(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g/mol}$; $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$; volume molaire normal $V_0 = 22,4 \text{ l}$.

2- Calcule le volume de dioxygène nécessaire à la combustion complète de 1 kg de méthane.

$M(C) = 12 \text{ g/mol}$; $M(H) = 1 \text{ g/mol}$; $M(O) = 16 \text{ g/mol}$; Volume molaire normal $V_0 = 22,4 \text{ l}$.

XX- Ethylène :

1- Etat naturel :

Hydrocarbure aliphatique non saturé de formule $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$; c'est le premier terme de la famille des oléfines, p. éb. – $102,5^\circ\text{C}$, p. f. – 169°C .

2- Propriétés chimiques :

C'est un gaz incolore, d'odeur agréable. Il est préparé par **déshydrogénation** ou par **cracking** de fractions légères de **pétrole** (**éthane**, **propane**, **butane** et autres hydrocarbures légers supérieurs), généralement en l'absence de catalyseur, à des températures comprises entre **700** et **1 000°C**, ou encore par cracking de fractions plus encore lourdes (**gazole**, **naphtas**), en présence de vapeur surchauffée ; dans tous les cas, l'**éthylène** est séparé des autres hydrocarbures par **distillation fractionnée**. Le rendement maximal s'obtient dans le procédé fondé sur la déshydrogénation de l'éthane.

3- Production :

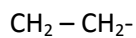
Il est préparé industriellement par oxydation directe de l'**éthylène** avec un fort excès d'**air** à **250-300°C** sur des catalyseurs à base d'argent, méthode qui a presque complètement remplacé la méthode traditionnelle de production à partir de la **chlorhydrine éthylénique** (matière première utilisée, entre autres, pour la fabrication des résines **polyesters**), de **détergeant** non ioniques et de **polyglycols**.

4- Utilisation :

L'éthylène est la matière première conduisant à la fabrication de très nombreux produits intermédiaires pour les synthèses chimiques, comme la **chlorhydrine éthylénique**, l'**oxyde d'éthylène**, le **styrène**, le **chlorure d'éthyle** et le **dychloroéthane**.

En outre, par **hydratation catalytique**, il peut donner de l'**éthanol** et, par **polymérisation**, du **polyéthylène** ou **polythène**.

- **Oxyde d'éthylène**. C'est un liquide incolore, très volatil (p. éb. 13°C), ininflammable, d'odeur agréable, très réactif à cause de l'instabilité du cycle **triatomique époxydique** de formule :



Il réagit avec l'eau en donnant du **glycol éthylénique**, tandis qu'avec les **acides** et les **alcalis** il donne des **monoesters** correspondants.

XXI- Acétylène :

1- Propriétés :

Hydrocarbure non saturé à triple liaison **CH = CH1**, premier terme des hydrocarbures acétyléniques. C'est **gaz** incolore plus léger que l'**air**, densité **0,91g/cm3**, **p.éb. - 85°C**, pur, son odeur est éthérée, il brûle en présence d'**oxygène**, avec une flamme lumineuse et un grand développement de chaleur (environ **2 800°C** dans le **chalumeau** oxyacétylénique) ; il est **toxique** et doit être manipulé avec précaution.

2- Production :

L'acétylène est produit industriellement soit à partir de carbure de calcium, par la réaction dans l'eau



soit à partir d'hydrocarbures.

Dans le premier cas, on emploie aujourd'hui des gazogènes continus alimentés en vapeur d'eau par le bas, tandis que la masse du carbure pulvérisé est maintenue en agitation mécaniquement, ou fluidifiée par cette même vapeur.

A partir des hydrocarbures, c'est-à-dire des fractions pétrolières ou de gaz naturel, l'acétylène peut être obtenu par le procédé **Sachsse**, ou ses variantes, par oxydation partielle avec l'oxygène ou par **pyrolyse**, donc en absence d'oxygène (procédé **Wulff**, dit à régénération, et analogues) ; dans tous les cas, des températures très élevées sont nécessaires, de **1 000 à 2 500°C**, et les gaz doivent être brusquement refroidis par jet d'eau froide (**quenching**) pour éviter que la réaction ne se poursuive plus avant (dans le cas de l'oxydation) ou bien ne retourne en arrière (dans le cas de la pyrolyse).

3- Utilisation :

L'acétylène est utilisé dans de nombreuses synthèses chimiques, et particulièrement dans le domaine de la fabrication des **monomères** pour **résines vinyliques**, ainsi que pour la fabrication d'aldéhyde acétique et de nombreux autres produits chimiques ; on l'utilise en outre dans les **chalumeaux** oxyacétyléniques pour la taille et la soudure des métaux.

EXERCICES :

- 1- On fait brûler complètement 1,4 l d'éthylène pur. Calcule :
 - a- le volume et la masse de gaz carbonique formé.
 - b- la masse d'eau obtenue.
 - c- le volume d'air utilisé au cours de la combustion

$M(C) = 12 \text{ g/mol}$; $M(H) = 1 \text{ g/mol}$; $M(O) = 16 \text{ g/mol}$; volume molaire normal $V_0 = 22,4 \text{ l}$.

- 2- Calcule en kilogrammes la masse de 30 cm^3 d'acétylène. Masse volumique de l'acétylène $1,177 \text{ g/l}$.

XXII- Ethanol :

1- Etat naturel :

Alcool aliphatique primaire de formule **C₂H₅OH**, p.f. – 117,3°C, p.éb. 78,3°C, dens. 0,789g/cm³.

C'est un liquide incolore, d'odeur caractéristique, **miscible** à l'**eau**, à l'**éther**, à l'**acétone**, au **chloroforme** en toutes proportions ; il brule à l'air avec une flamme bleue et forme avec l'air des mélanges explosifs lorsque que sa proportion en volume est comprise entre **3,7** et **13,7%**.

Il e trouve dans la nature à l'état libre et en combinaison dans de nombreuses **essences de fleurs** et dans les **fruits**. Il est produit industriellement par **fermentation** des **sucre**s et par **synthèse**.

2- Propriétés physico-chimiques :

a- Production par fermentation :

On part de résidus agricoles contenant de l'**amidon** ; on les transforme d'abord en **monosaccharides**, soit par l'**hydrolyse**, soit par fermentation au moyen de **diastases**, puis on transforme les monosaccharides en éthanol suivant la réaction :



Qui est provoquée par plusieurs **enzymes**, parmi lesquelles la **zymase**. Par **distillation** des produits de fermentation, on obtient de l'éthanol contenant environ **5%** d'eau.

b- Production par synthèse :

La production synthétique d'éthanol par **hydratation** de l'**éthylène** revêt aujourd'hui une très grande importance industrielle. Elle peut être réalisée dans une réaction à deux temps ou bien par hydratation directe.

- **Dans le premier cas**, l'éthylène est absorbé dans des tours avec de l'acide sulfurique

Concentré introduit par le haut il se forme du **sulfate d'éthylène** qui est ensuite hydrolysé avec de l'eau à **60-70°C**, en donnant l'éthanol et de l'**acide sulfurique** dilué qui est récupéré, concentré et réintroduit dans le cycle.

- **Dans le second cas**, la réaction se déroule en phase gazeuse, sous pression, et avec un fort excédent de vapeur d'eau, sur des **catalyseurs** à base de **phosphates métalliques**, à une température de **200-250°C**. Les deux méthodes ont l'une et l'autre des rendements de **90 à 95%**.

3- Utilisations :

L'éthanol est employé principalement pour la fabrication d'**aldéhyde acétique**, de **chloroforme**, de **chloral**, de nombreux **esters** et comme solvant. Afin d'éviter que l'éthanol (qui constitue le composant alcool des **vins**, des **liqueurs**, etc.) soit employé pour la fabrication des **boissons**, on lui ajoute de petites quantités de produits malodorants (**dénaturation**).

EXERCICE :

- 1- Calcule en kg la masse de 10 dm^3 d'éthanol à 0°C . masse volumique de l'éthanol à 0°C : $0,79 \text{ g/ml}$.
- 2- Calcule en m^3 le volume de $9\,840 \text{ kg}$ d'alcool éthylique pris à 0°C . masse volumique de l'alcool à 0°C : $0,79 \text{ g/l}$.