Publication destinée aux Lycées de la République du Sénégal
Approuvée par le Ministère de l'Enseignement Préscolaire, de l'Élémentaire,
du Moyen Secondaire et des Langues Nationales

PHYSIQUE CHIMIE

Seconde S

Édition 2010

Publication destinée aux Lycées de la République du Sénégal
Approuvée par le Ministère de l'Enseignement Préscolaire, de l'Élémentaire,
du Moyen Secondaire et des Langues Nationales

PHYSIQUE CHIMIE

Seconde S

Édition 2010

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT PRÉSCOLAIRE, DE L'ÉLÉMENTAIRE, DU MOYEN SECONDAIRE ET DES LANGUES NATIONALES

Auteurs

Daouda NDONG, CPN de Sciences physiques
Badara GUEYE, CPI de Sciences physiques
Abdoulaye NDIAYE CPI de Sciences physiques
Amady NDIOKANE CPN de Sciences physiques
Cheikh Abdoul Khadir DIOP, Ph. D.

Éditeur en Chef

Abdou M. Sène, Ph.D.

Assistant Éditeur en Chef

Johnny L. Houston, Ph.D.

Consultants

Samba Fall Pape M. Sow Cherif Seck, Ph.D.

Graphiste/ Illustrateur

Daouda Ndong

Programme des Manuels Scolaires et Autres Outils d'Apprentissage

TLMP ECSU - Sénégal

Elizabeth City State University (ECSU)

Elizabeth City, Caroline du Nord 27909 (USA)

Un Projet pour le Gouvernement du Sénégal - Financé par l'Initiative pour l'Éducation en Afrique AEI de l'USAID

Programme des Manuels Scolaires et Autres Outils d'Apprentissage TLMP

Ont contribué :

Mamadou	**BA**	**Professeur au Lycée S. Limamoulaye**
Ibou	**BADJI**	**Conseiller pédagogique à Ziguinchor**
Marc	**NDECKY**	**Professeur au Lycée S. Limamoulaye**
Bira Fall	**DIOP**	**Professeur au Lycée J. F. Kennedy**
Biram	**DIOP**	**Professeur au Lycée S.N. Thiès**
El Hadj Ousseynou	**DIOP**	**Lycée Seydou Nourou Tall**
Ndèye SENE	**DIOUF**	**Conseillère pédagogique à Kaolack**
Awa Guéye	**DIAGNE**	**Inspectrice de spécialité à Dakar**
Ibrahima	**DIAW**	**Professeur au Lycée de Malick Sall de Louga**
Ibrahima	**DEME**	**Conseiller pédagogique à Diourbel**
Djibril	**FALL**	**Conseiller pédagogique à Louga**
Samba	**GACKO**	**Conseiller pédagogique à Dakar**
Alarba	**KANDE**	**Inspecteur de spécialité à Kaolack**
Momar	**MAR**	**Inspecteur de spécialité à Saint-Louis**
Ibrahima	**MBAYE**	**Conseiller pédagogique à Dakar**
Mamadou Moustapha	**NDIAYE**	**Professeur au Lycée Charles de Gaulle de Saint-Louis**
Mamadou	**NIANG**	**Conseiller pédagogique à Fatick**
Chérif	**SABALY**	**Conseiller pédagogique à Kolda**
Bocar	**SOW**	**Conseiller pédagogique à Thiès**
Demba Yéro	**SY**	**Inspecteur de spécialité à Thiès**
Abdoulaye Djiby	***TALL***	***Inspecteur de spécialité au MEPEMSLN***
Papa Ibrahima	***THIAM***	***Conseiller pédagogique à Tambacounda***
Mamadou	***WELE***	***Inspecteur de spécialité à Ziguinchor***

© 2010 par Abdou Maty Sene, Ph.D., Éditeur en Chef, par l'Agence Américaine pour le Développement International (USAID), USA et par le Ministère de l'Éducation du Sénégal.

Droits d'auteurs réservés. Aucune partie de ce document ne peut être adaptée ou reproduite ou photocopiée par quelque moyen que ce soit, sans l'autorisation de

Abdou Maty Sene, ou de l'Agence Américaine pour le Développement International (USAID) ou du Ministère de l'Éducation du Sénégal.

ISBN 978-0-9826319-0-4

Mot des auteurs

Ce manuel, conforme au programme sénégalais de la classe de seconde S en vigueur depuis la rentrée scolaire 2008-2009, destiné aux éleves des séries scientifiques vient pallier l'insuffisance de manuels scolaires de sciences physiques adaptés au programme. Sa conception est le fruit du travail d'une équipe sénégalaise composée de professeurs expérimentés, de conseillers pédagogiques, d'inspecteurs de spécialité, de professeurs d'université, d'inspecteurs généraux de l'éducation et en parténariat d'universitaires américains avec le concours de l'USAID/ECSU.

Tous les chapitres sont structurés de la même façon :

- Le cours suivi d'un essentiel schématique
- Une activité documentaire permettant d'utiliser les connaissances nouvellement acquises pour comprendre notre environnement.
- Une fiche d'activité éleve.
- Des exercices classés en trois catégories : connaisance, application et approfondissement du cours.

À la fin de chaque domaine une ou deux activités d'intégration sont proposées.

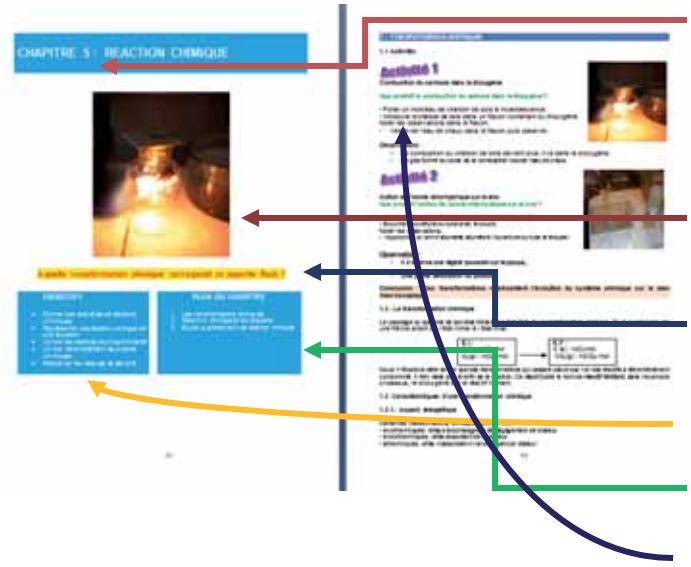
Il est conçu dans le but d'un enseignement mieux centré sur l'éleve qui doit réaliser lui-même l'essentiel des activités, ce qui le rend autonome.

Nous espérons que cet ouvrage constitue un outil de travail efficace à la fois pour les professeurs et les élèves pour assurer une meilleure qualité des enseignements-apprentissages.

Les auteurs remercient d'avance les utisateurs. Toutes remarques et suggestions en vue de l'amélioration de cet outil de travail sont les bienvenues.

Les auteurs

Présentation du manuel



Numéro et titre du chapitre

Le manuel est découpé en deux parties : physique et chimie. La pysique en seconde prend en compte les trois domaines suivants : Electricité, Mécanique et Optique.

Une photographie ou plusieurs illustre(nt) le thème étudié.

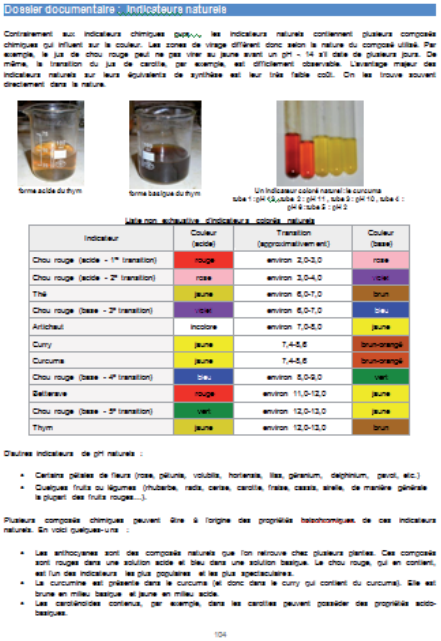
Une question déclenchante pour amorcer le chapitre.

Les objectifs du chapitre.

Le plan.

Des activités expérimentales

Des consignes à suivre pour réaliser l'expérience.



Dossier documentaire : Indicateurs naturels

Contrairement aux indicateurs chimiques parfois, les indicateurs naturels contiennent plusieurs composés chimiques qui influent sur la couleur. Les zones de virage diffèrent donc selon la nature du composé utilisé. Par exemple, le jus de chou rouge peut ne pas virer au jaune avant un pH = 14 s'il date de plusieurs jours. De même, la transition du jus de carotte, par exemple, est difficilement observable. L'avantage majeur des indicateurs naturels sur leurs équivalents de synthèse est leur très faible coût. On les trouve souvent directement dans la nature.

forme acide du thym — forme basique du thym — Un indicateur coloré naturel: le curcuma tube 1 : pH 0, tube 2 : pH 11 , tube 3 : pH 10 , tube 4 : pH 9 tube 5 : pH 2

Liste non exhaustive d'indicateurs colorés naturels

Indicateur	Couleur (acide)	Transition (approximativement)	Couleur (base)
Chou rouge (acide - 1re transition)	rouge	environ 2,0-3,0	rose
Chou rouge (acide - 2e transition)	rose	environ 3,0-4,0	violet
Thé	jaune	environ 6,0-7,0	brun
Chou rouge (base - 2e transition)	violet	environ 6,0-7,0	bleu
Artichaut	incolore	environ 7,0-8,0	jaune
Curry	jaune	7,4-8,6	brun-orangé
Curcuma	jaune	7,4-8,6	brun-orangé
Chou rouge (base - 4e transition)	bleu	environ 8,0-9,0	vert
Betterave	rouge	environ 11,0-12,0	jaune
Chou rouge (base - 5e transition)	vert	environ 12,0-13,0	jaune
Thym	jaune	environ 12,0-13,0	brun

D'autres indicateurs de pH naturels :

- Certains pétales de fleurs (rose, pâquerette, volubilis, hortensia, lilas, géranium, delphinium, pavot, etc.)
- Quelques fruits ou légumes (rhubarbe, radis, cerise, carotte, fraise, cassis, airelle, de manière générale la plupart des fruits rouges...).

Plusieurs composés chimiques peuvent être à l'origine des propriétés halochromiques de ces indicateurs naturels. En voici quelques-uns :

- Les anthocyanes sont des composés naturels que l'on retrouve chez plusieurs plantes. Ces composés sont rouges dans une solution acide et bleu dans une solution basique. Le chou rouge, qui en contient, est l'un des indicateurs les plus populaires et les plus spectaculaires.
- La curcumine est présente dans le curcuma (et donc dans le curry qui contient du curcuma). Elle est brune en milieu basique et jaune en milieu acide.
- Les caroténoïdes contenus, par exemple, dans les carottes peuvent posséder des propriétés acido-basiques.

104

Un document

Des documents en lien avec d'autres disciplines.

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ Une solution est un mélange homogène formé d'un solvant et de soluté (s)
- ✓ Le solvant est le liquide qui dissout les corps.
- ✓ Le soluté est le corps qui est dissous, il peut être solide, liquide ou gazeux.
- ✓ Une dissolution peut être endothermique, exothermique ou athermique
- ✓ L'eau est un solvant dissociant, ionisant et dispersant. C'est aussi un solvant hydratant
- ✓ Une solution est dite saturée lorsqu'elle ne plus dissoudre de soluté.

La concentration massique d'une espèce chimique A dans une solution donnée, notée C_m, est la masse m(A) du soluté A dissous par litre de solution.

$C_m = \frac{m(A)}{V}$ en $g.L^{-1}$

- m(A) : masse du soluté A en grammes (g)
- V : volume de la solution en litre(s) (L)

- ✓ La solubilité est la concentration massique maximale d'une solution
- ✓ La concentration molaire volumique d'une espèce chimique A dans une solution, notée [A] ou C, est le nombre de mole(s) du soluté A dissous par litre de cette solution.

$[A] = \frac{n(A)}{V}$ ou $C = \frac{n(A)}{V}$ (en $mol.L^{-1}$)

- n(A) : nombre de mole(s) de soluté en mol
- V : volume de la solution en litre(s) (L)

- ✓ Une solution de concentration donnée peut se préparer par :

- dissolution d'un soluté
- dilution d'une solution

L'essentiel du cours

C'est l'essentiel des notions développées dans chaque chapitre.

EXERCICES

A la fin de chaque chapitre

Des exercices qui permettent de vérifier l'assimilation des connaissances.

SOMMAIRE

1ère Partie : Physique

			pages
1.	Electricité	1- Phénomènes d'électrisation	6
		2- Généralités sur le courant électrique	17
		3- Intensité du courant électrique	29
		4- Tension électrique	43
		5- Dipôles passifs	60
		6- Dipôles actifs	76
		7- Amplificateur opérationnel : amplification d'une tension	85
2.	Mécanique	8- Généralités sur le mouvement	100
		9- Généralités sur les forces	109
		10- Le poids – La masse – Relation entre poids et masse	117
		11- Equilibre d'un solide soumis à des forces non parallèles	126
		12- Equilibre d'un solide mobile autour d'un axe	137
3.	Optique	13- Propagation rectiligne de la lumière	151
		14- Réflexion de la lumière	162
		15- Réfraction – dispersion de la lumière	168

2ème Partie : Chimie

4.	Chimie	1- Mélanges et corps purs (introduction aux sciences)	184
		2- Eléments, atomes, classification périodique des éléments	200
		3- Liaisons chimiques	216
		4- Mole, grandeurs molaires	229
		5- Réaction chimique	243
		6- Généralités sur les solutions aqueuses	253
		7- Solution aqueuse acide	266
		8- Solution aqueuse basique	282
		9- Notion de pH – Indicateurs colorés	292
		10- Caractérisation de quelques ions	304

PHYSIQUE

PHYSIQUE

CHAPITRE 1 PHENOMENES D'ELECTRISATION

En vous basant sur vos recherches personnelles, expliquez le phénomène de l'éclair.

OBJECTIFS

- Interpréter le phénomène d'électrisation
- Réaliser quelques phénomènes d'électrisation
- Distinguer un conducteur d'un isolant électrique
- Prendre conscience de l'importance de l'électrisation dans la vie courante.

PLAN DU CHAPITRE

1. Quelques modes d'électrisation
2. Charges électriques
3. Conducteurs et isolants électriques

1 - Quelques modes d'électrisation

1.1- Observations

Vous avez tous observé en vous peignant, que vos cheveux se dressent. Certains vêtements (laine, tissus synthétiques) se frottant contre la peau émettent des étincelles accompagnées de crépitements.

Le peigne, les vêtements se sont **électrisés**.

Ces phénomènes sont connus depuis l'Antiquité. Vingt-six siècles avant J.C., Thalès de Milet s'amusait à frotter de l'ambre jaune avec une peau de chat.

1.2 - Electrisation par frottement (triboélectricité)

Activité

- Approcher le bout d'une baguette (verre, ébonite, matière plastique...) non frottée de quelques objets légers tels que cheveux, duvets, bouts de papier.
- Frotter cette baguette contre un chiffon quelconque (tissu de laine, drap, peau de chat).
- Approcher l'extrémité frottée de la baguette de quelques objets légers tels que cheveux, duvets, bouts de papier. (doc 1)
- Observer et noter.

Doc 1 : Expérience d'électrisation d'une baguette

Observations : l'extrémité frottée de la baguette attire ces objets.

Conclusion : le **frottement** a provoqué l'électrisation de l'extrémité de la baguette. On dit que cette baguette a acquis une **charge électrique**.

1.3 - Electrisation par contact

Un pendule électrostatique est constitué d'une boule légère (moelle de sureau, polystyrène expansé...) recouverte d'une couche conductrice (feuille d'aluminium) suspendue à une potence par un fil. (fig.1)

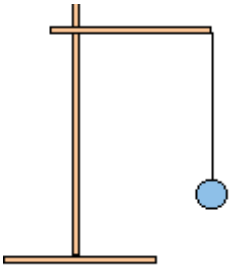
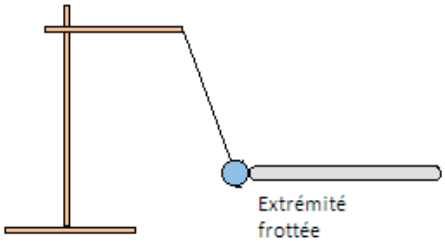


Fig. 1

Expérience 1

Mettons en contact l'extrémité frottée de la baguette avec la boule.



. Fig. 2

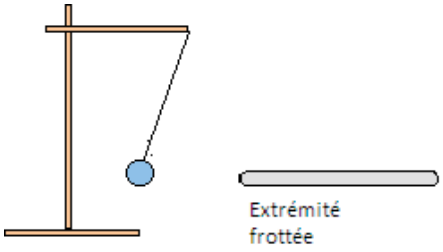


Fig. 3

Approchons la baguette de la boule.

Observons et notons

A une certaine distance, la boule attirée, entre en contact avec l'extrémité frottée (fig.2)
Après le contact la boule est repoussée par la baguette (fig.3)

Conclusion : La boule est repoussée parce qu'elle s'est électrisée **par contact** avec la baguette.

1.4 - Electrisation par influence

Un électroscope à feuilles est constitué d'une tige métallique supportant deux feuilles d'aluminium étroites et très fines. L'ensemble est placé dans une enceinte transparente et isolante (verre).

Expérience 2

Approchons une baguette électrisée du plateau de l'électroscope sans le toucher (Fig.2a).

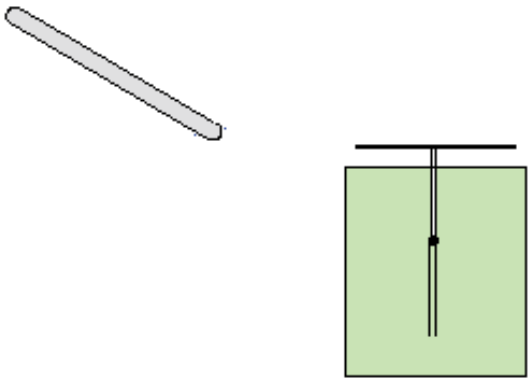


Fig.2a

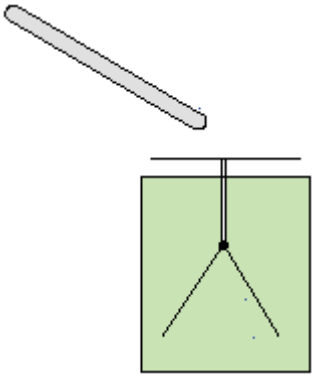


Fig.2b

Observons et notons

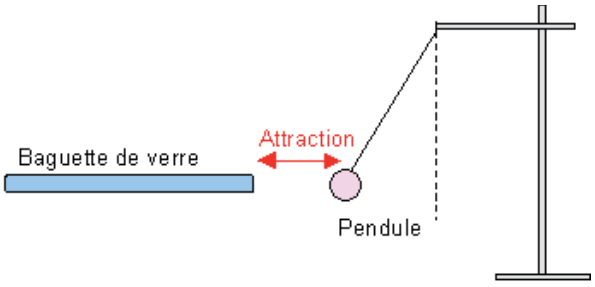
les feuilles de l'électroscope s'écartent (Fig.2b).

Si on éloigne la baguette, les feuilles retombent. Les feuilles se repoussent parce qu'elles sont électrisées sous **l'influence** de la baguette.

Expérience 3

Approchons une baguette de verre frottée d'un pendule sans le toucher. (fig. 3)
Observons et notons :
la baguette frottée attire la boule du pendule.
Conclusion : L'extrémité frottée de la baguette électrise la boule par **influence**.

Fig.3



2 - Charges électriques

2.1 – Les deux espèces d'électricité

Expériences 4

4.a Approchons deux extrémités de deux bâtons de verre frottées préalablement contre de la soie.(fig.4.a)

Observons et notons :

les deux extrémités se repoussent.

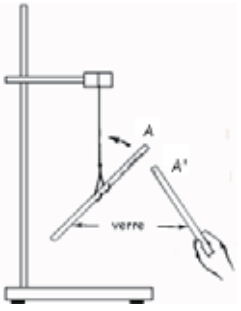


Fig.4.a

4.b Approchons deux extrémités de deux bâtons d'ébonite frottées préalablement contre de la soie. .(fig.4.b)

Observons et notons :

les deux extrémités se repoussent.

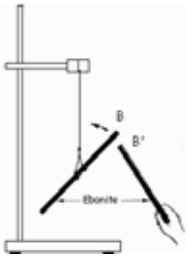


Fig.4.b

4.c Approchons les extrémités d'un bâton de verre et d'un bâton d'ébonite frottées préalablement dans les mêmes conditions. .(fig.4.c)

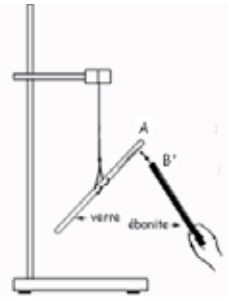


Fig.4.c

Observons et notons :

les deux extrémités s'attirent.

NB : Deux corps identiques frottés avec la même substance possèdent une électricité de même nature L'électricité qui apparaît sur le verre n'est pas de la même nature que celle qui apparaît sur l'ébonite.

L'expérience répétée avec d'autres corps montre qu'ils se comportent soit comme le verre soit comme l'ébonite.

Conclusions

Il existe deux sortes d'électricité. Par convention l'électricité qui apparaît sur le verre est positive, celle qui apparaît sur l'ébonite négative.

Deux électricités de même nature se repoussent et deux électricités de natures différentes s'attirent.

2.2 – Interprétation de l'électrisation

2.2.1 – Présentation sommaire de la structure de la matière

Tout corps contient à la fois des charges positives et des charges négatives. Les charges négatives sont portées par des particules très petites et identiques appelées **électrons.**

Les charges positives sont portées par des particules très petites et identiques appelées **protons**. La charge électrique est une grandeur physique qui s'exprime en coulomb (C).

La charge du proton est opposée à la charge de l'électron. La valeur absolue de cette charge est appelée **charge élémentaire** (plus petite charge électrique qui puissent exister). Elle est notée **e** et vaut **$e = 1{,}6.10^{-19}$ C**. Un corps qui contient autant de protons que d'électrons a une **charge totale nulle. On dit qu'il est neutre.**

2.2.2 – Interprétation de l'électrisation par frottement

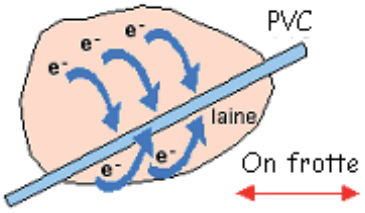
Le verre, lors de son frottement contre la soie, perd des électrons au profit de celle-ci. Le nombre de protons devient supérieur au nombre d'électrons. Le verre prend une charge positive.

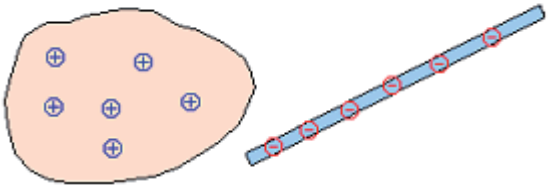
L'ébonite, lors de son frottement contre la soie, gagne des électrons au détriment de celle-ci. Le nombre de protons devient inférieur au nombre d'électrons. L'ébonite prend une charge négative.

L'électrisation par frottement est un transfert d'électrons d'un corps à un autre.

Lors de l'électrisation, le nombre d'électrons perdus par un corps est égal au nombre d'électrons gagnés par l'autre. On dit qu'il y a conservation de l'électricité.

Quand on met en contact des charges électriques égales en valeur absolue mais de signes contraires, elles se neutralisent mutuellement.





2.2.3 - Electrisation par contact

Lorsqu'un corps négatif touche un corps neutre, des électrons peuvent passer sur le corps neutre qui devient ainsi négatif. Lorsqu'un corps positif touche un corps neutre, il attire des électrons du corps neutre qui devient alors positif.

2.2.4 – Interprétation de l'électrisation par influence

En approchant un corps électriment neutre d'un corps chargé positivement, les charges positives en excès vont attirer les électrons du corps électriment neutre qui vont se concentrer sur la partie la plus proche du corps.

De même, en approchant un corps électriment neutre d'un corps chargé négativement, les charges négatives en excès vont repousser les électrons de l'isolant qui vont se concentrer sur la partie la plus éloignée du corps.

Ainsi, en approchant une charge négative du plateau d'un électroscope, les électrons du plateau sont repoussés vers les feuilles d'aluminium qui portent ainsi des charges de même nature et donc se repoussent.(Fig. 6.b)

Dans le cas d'une charge positive, le mouvement des électrons se fait en sens inverse.

L'électrisation par influence créé une dissymétrie électrique dans le corps influencé.

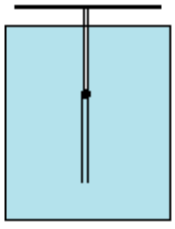


Fig.6.a

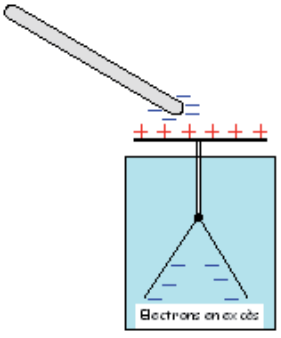


Fig.6.b

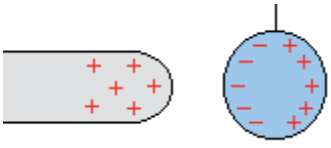


Fig.6.c

Les électrons libres sont répartis uniformément

Les électrons se retrouvent en excès dans les lamelles qui deviennent négatives et se repoussent.

Les électrons de la boule d'aluminium se déplacent sous l'influence de la charge de la baguette.

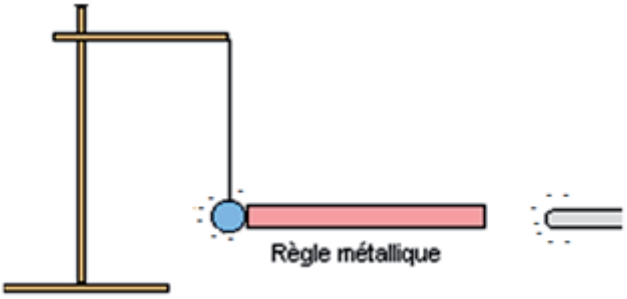
3 – Conducteurs et isolants

3 .1 – Mise en évidence expérimentale

Frotter un bâton d'ébonite avec une peau de chat pour le charger négativement.

Mettre en contact la boule du pendule le bâton d'ébonite frotté pour charger celle-ci.

Approcher le bâton d'ébonite de la règle métallique comme le montre la figure ci-contre.



Observer et noter.

Remplacer la tige métallique par une règle en bois et reprendre l'expérience.

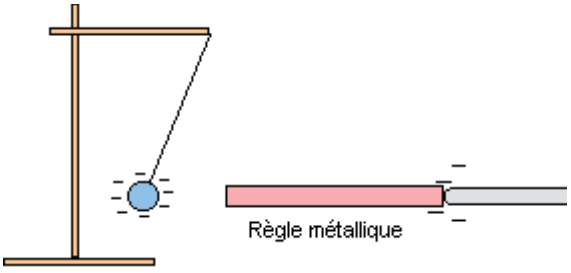
Observer et noter.

Observation : Lorsqu'on approche la baguette chargée de la règle métallique, le pendule est repoussé **: le pendule a été électrisé par influence**.

Avec une règle en bois ou en plastique, le pendule reste immobile **, il ne se charge pas.**

Interprétation

Un métal laisse facilement circuler les électrons : c'est un conducteur. Au contraire, dans un isolant, les électrons ne sont pas libres de se déplacer.



3.2 – Définitions

Un **conducteur** est un corps dans lequel **les charges électriques peuvent se déplacer** (exemples : les métaux, l'air humide, le bois humide, le corps humain).

Un **isolant** est un corps dans lequel **les charges électriques ne peuvent pas circuler** (exemples : verre, matières plastiques).

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ Un corps peut s'électriser par :
  - **frottement**
  - **contact**
  - **influence**

- ✓ Il existe deux sortes d'électricité :
  - **l'électricité positive** (défaut d'électrons)
  - **l'électricité négative** (excès d'électrons)

- ✓ Deux corps électrisés mis en présence :
  - se repoussent si leurs charges sont de même signe ,
  - s'attirent si leurs charges sont de signes contraires.

- ✓ La charge électrique est donnée par la relation $q = k.e$ où k est un entier relatif et $e = 1{,}6.10^{-19}$ C.

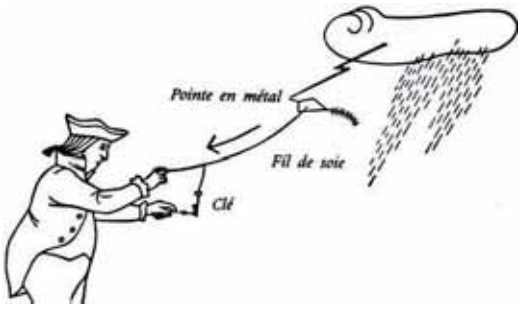
- ✓ Un conducteur électrique permet le passage des charges électriques.

- ✓ Un isolant électrique ne permet pas le passage des charges électriques.

ACTIVITE DOCUMENTAIRE : LA FOUDRE

C'est en 1752 que Benjamin Franklin (philosophe, homme d'état et savant américain, 1706- 1790) réalisa sa fameuse expérience avec un cerf-volant qu'il fit voler dans un orage.

Le cerf-volant était muni d'une pointe métallique à laquelle il avait attaché un fil de soie pouvant conduire au sol l'électricité des nuages d'orage. Quand Franklin mit la main près d'une clé métallique attachée au fil de soie, il y eut une étincelle entre la clé et son doigt. L'inconscient s'amusait à faire jaillir des étincelles en approchant le doigt d'une clé accrochée au fil du cerf-volant. Certains de ses disciples en sont morts. Franklin apportait par là la preuve que les nuages d'orage étaient chargés d'électricité où les nuages formaient un pôle et la Terre l'autre.



Il montra que l'éclair peut éclater entre un nuage et le sol, ou entre deux nuages. Un nuage orageux, cumulo-Nimbus (masses de plusieurs milliers de tonnes d'eau) en général, est chargé d'électricité (négative dans 90% des cas) provenant du frottement des particules de glace chargées **positivement** qui descendent à l'intérieur du nuage contre les gouttelettes d'eau qui, elles, montent. Elles sont chargées négativement. Le **bas du nuage,** chargé **négativement**, repousse les charges négatives du **sol** qui se trouve ainsi chargé **positivement** par influence. La tension entre un nuage et le sol ou entre deux nuages peut atteindre plusieurs dizaines de millions de volts.

La foudre comprend à la fois un phénomène lumineux électrique et dangereux, l'éclair, et un phénomène sonore, le tonnerre. Franklin mit au point le paratonnerre, constitué simplement d'un barreau de fer attaché au plus haut point d'un bâtiment et relié par des fils conducteurs au sol. La pointe aiguisée du barreau collecte les charges électriques des nuages au-dessus d'elle et, si par hasard l'éclair frappe la maison, la charge est transportée sans risque jusqu'au sol.

Les objets pointus : arbres, poteaux, pitons rocheux, minarets, clochers… sont très souvent frappés par la foudre. Il ne faut donc jamais s'abriter de l'orage sous un grand arbre ou se tenir à proximité d'un mât, d'un poteau... Il faut éviter de toucher ou de tenir à la main un objet métallique, surtout s'il est long et pointu (fourche, piquet, machette, hilaire, parapluie etc.).

Les dégâts causés par la foudre diminuèrent de manière remarquable au fur et à mesure qu'on dressait des paratonnerres sur les édifices. Pourtant, encore aujourd'hui, alors que deux milliards d'éclairs atteignent la planète annuellement, on estime qu'ils tuent vingt personnes et en blessent une centaine par jour. Dans certains cas, la mort par foudroiement n'est qu'apparente , il est alors possible de réanimer le foudroyé grâce à des mouvements de respiration artificielle.

Questions :

1) Benjamin Franklin est considéré comme un savant chanceux. Dites pourquoi.
2) Quel est le rôle du paratonnerre ?
3) L'invention de Benjamin Franklin devrait-il s'appeler paratonnerre ou parafoudre ? Justifiez votre réponse.
4) Pourquoi il est déconseillé de s'abriter de l'orage sous un grand arbre ou se tenir à proximité d'un mât, d'un poteau... et de toucher ou de tenir à la main un objet métallique, surtout s'il est long et pointu ?

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

Donnée : Charge élémentaire : $e = 1{,}6.10^{-19}$ C

1 **Compléter les phrases suivantes**

L'électrisation par …… est un transfert ……

L'électrisation par …… provoque une dissymétrie électrique sur un corps.

Si on approche un corps chargé positivement du plateau d'un électroscope, ce plateau prend une charge ……. tandis que les feuilles prennent …….. ……et s'écartent. Dans ce cas, les électrons sont attirés vers ……

Dans un …… les charges électriques se déplacent.

Dans un …….. les charges sont localisées là où elles apparaissent.

2 **- Cocher la case correspondante à la bonne réponse**

- On met en contact deux corps portant des charges électriques opposées (Q = -Q').

La charge finale Q_f est :

☐ nulle ☐ Positive ☐ Négative

- Lors de l'électrisation par frottement d'un bâton de verre avec une peau de chat, le bâton de verre

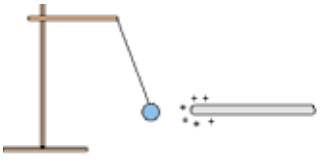
☐ arrache des électrons à la peau de chat ☐ cède des électrons à la peau de chat ☐ a une charge électrique négative

3 **- Questions de cours**

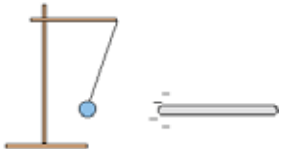
1) Citer les trois modes d'électrisation que vous connaissez.
2) Combien de sortes d'électricité y a-t-il ? Lesquelles ?
3) Le bâton d'ébonite frottée avec une peau de chat se charge d'électricité négative. Lequel du bâton d'ébonite et de la peau de chat arrache des électrons à l'autre ?
4) Qu'est-ce qu'un conducteur ? Qu'est-ce qu'un isolant ?

Applications directes du cours

4 - Pour chacune des expériences 1 et 2, la boule est électrisée. Quelle est, dans chaque cas le signe des charges portées par la boule ? On annotera les schémas.



Expérience 1



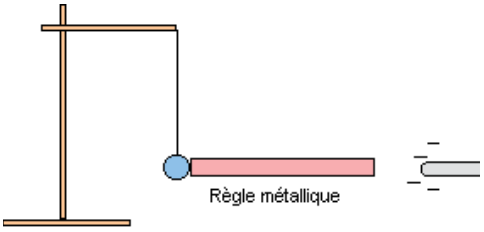
Expérience 2

5 - En descendant de voiture après avoir roulé, il vous est peut-être arrivé de ressentir une décharge électrique au moment où vous mettiez le pied sur le sol. Expliquez.

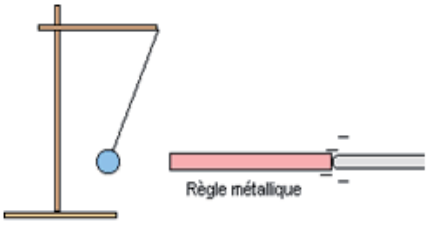
Une tresse métallique traînant sur la route permet à l'électricité de s'écouler dans le sol.

6 - On réalise les expériences décrites par les figures ci-dessous. La première expérience est réalisée avec une règle métallique , la deuxième expérience est réalisée avec une règle en bois. La boule est électriquement neutre avant le contact avec la tige électrisée.

Première expérience : Lorsque la baguette chargée touche la règle métallique, le pendule est repoussé. **Deuxième expérience** : Avec une règle en bois ou en plastique, le pendule reste immobile.



Avant contact



Après contact

1) La boule, initialement neutre électriquement porte des charges électriques après le contact de la tige électrisée avec la règle métallique.
   Quel est le signe de ces charges ? D'où proviennent-elles ? Expliquez.

2) Pourquoi lorsqu'on remplace la règle métallique par une règle en bois, la boule reste immobile ? Expliquez.

Utilisation des acquis

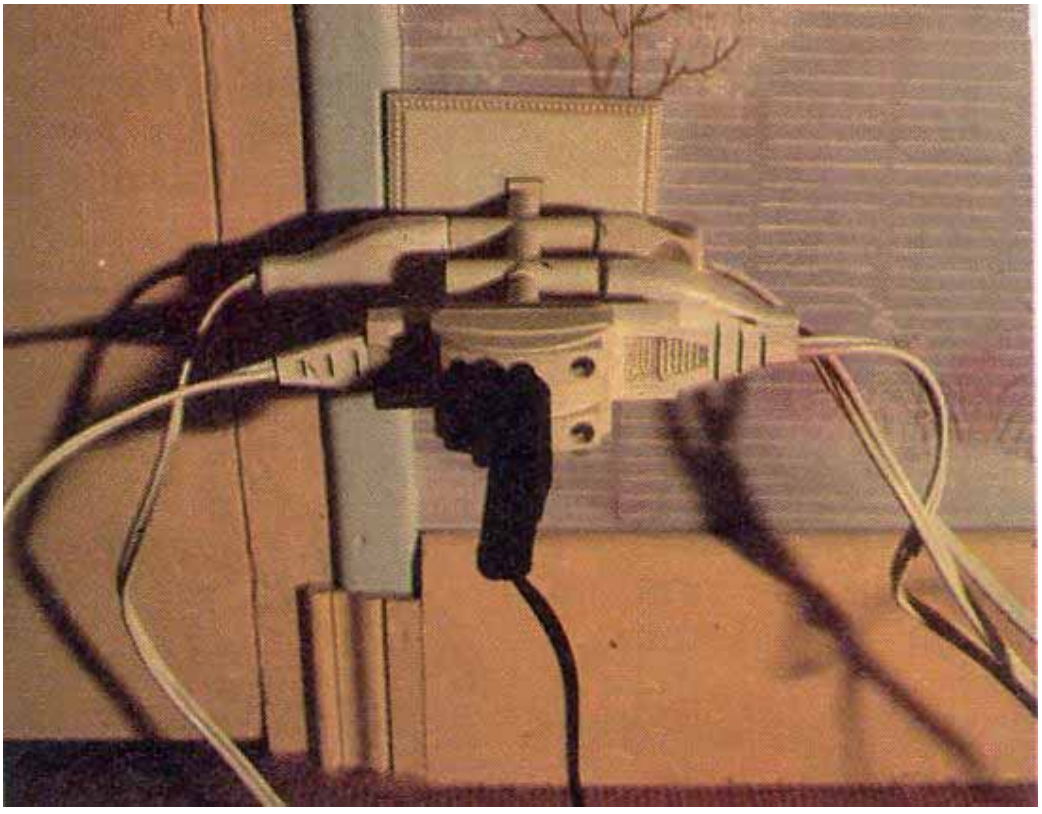
7 - On dispose de quatre bâtons électrisés A, B, C et D. A repousse B, B attire C, C attire D. Sachant que le bâton D a un déficit d'électrons, déterminer les charges des bâtons A, B, C et D.

8 - Une règle en plastique est frottée énergiquement.

Une charge électrique $q = -4.10^{-12}$ C s'est localisée dans la zone de frottement. La règle a-t-elle gagnée ou perdu des électrons ? Combien ?

PHYSIQUE

CHAPITRE 2 GENERALITES SUR LE COURANT ELECTRIQUE



Pourquoi doit-on éviter de brancher plusieurs appareils sur une même prise ?

OBJECTIFS

- Réaliser des circuits électriques
- Utiliser les effets du courant électrique
- Prendre conscience de l'importance des circuits électriques dans la vie courante
- Prendre quelques mesures de sécurité

PLAN DU CHAPITRE

1. Le circuit électrique
2. Conducteurs et isolants électriques
3. Circuits en série, circuits en dérivation
4. Les effets du courant électrique
5. Nature du courant électrique
6. Dangers du courant électrique – mesures de sécurité

1- Le circuit électrique

1.1- Un circuit électrique simple

ACTIVITE 1

- Relier une borne de la pile à une borne de la lampe avec un fil de connexion.
- Connecter l'autre borne de la lampe à une borne de l'interrupteur.
- Connecter la deuxième borne de l'interrupteur à la deuxième borne de la pile.
- Appuyer sur le bouton de l'interrupteur
- Observer la lampe.
- Enlever la pile et refermer le circuit
- Observer de nouveau la lampe.

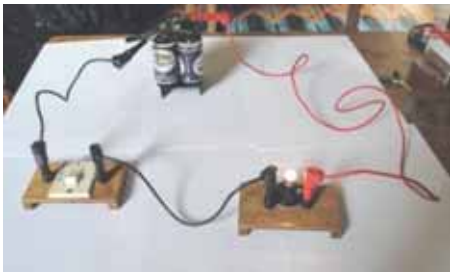


Photo1 : circuit électrique simple

Observations

- En appuyant sur le bouton de l'interrupteur, on ferme le circuit, la lampe s'allume
- En appuyant de nouveau sur le bouton de l'interrupteur, on ouvre le circuit. La lampe s'éteint.
- Si on enlève la pile quelle que soit la position de l'interrupteur la lampe ne s'allume pas.

Interprétation

- Lorsque l'interrupteur est en position fermé, le circuit est fermé : un courant électrique circule.
- Lorsque l'interrupteur est en position ouvert, le circuit est ouvert : le courant électrique ne circule plus.
- La pile est le dipôle qui fait circuler le courant dans un circuit électrique : c'est un **générateur électrique**.

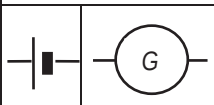
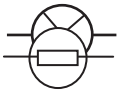
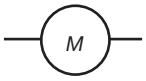
Définition

- Une chaîne continue de dipôles reliés entre eux par des fils de connexion et comportant au moins un générateur est un circuit électrique.
- Un courant électrique ne peut circuler que si le circuit électrique est fermé.
- Tous les éléments d'un circuit qui ont deux bornes (ou pôles) sont des dipôles.

Conclusion

La pile, la lampe et l'interrupteur reliés par des fils de connexion en **une chaîne ininterrompue** constituent un **circuit électrique**.

1.2- Symboles normalisés de quelques dipôles

Dipôles	Générateur	Lampe	Interrupteur	Diode électroluminescente (DEL)	Moteur
Photos					
Symboles			ouvert fermé		

Photos et symboles normalisés de quelques dipôles

1.3- Schématisation d'un circuit électrique

Pour simplifier la représentation d'un circuit et pour que tout le monde le reconnaisse, on en fait une représentation à l'aide de symboles graphiques : **le schéma électrique**. Sur un schéma électrique, chaque élément du circuit est représenté par **un symbole normalisé**.

Pour schématiser un circuit :

- On recherche les symboles des différents dipôles,
- On dessine ces symboles « horizontalement » ou «verticalement » puis on les relie par des traits horizontaux ou verticaux représentant les fils de connexion.
  Schématisons le circuit suivant :

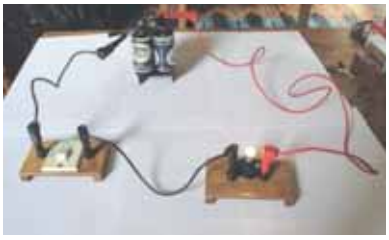


Photo du circuit

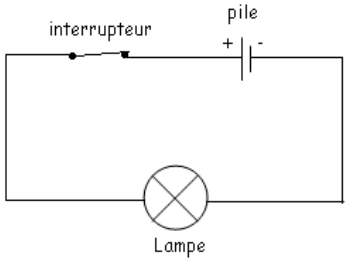


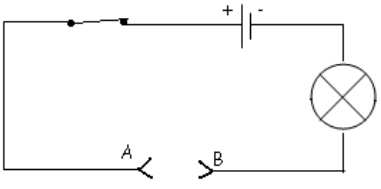
schéma du circuit

2- Conducteurs et isolants

ACTIVITE 2

- Réaliser le circuit électrique de la photo ci-dessous
- Intercaler, à l'aide de pinces crocodiles, des objets de matières différentes dans le circuit (voir tableau1).
- Observer et noter pour chaque matière si la lampe s'allume ou non.

Photo2 : conducteurs et isolants



On a représenté les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Objets	Compas en fer	Règle en plastique	Feuille de papier	Pièce de monnaie	Brin de balai	Aucun objet	Mine de crayon
matière	Fer	Plastique	Papier	Laiton	Bois sec	Air	Carbone graphite
La lampe s'allume-t-elle ?	oui	non	non	oui	non	non	oui

Tableau 1

Observation

- La lampe s'allume lorsqu'on a intercalé un métal ou du graphite (mine de crayon noir). Ces matières sont des **conducteurs électriques.**
- Lorsqu'on intercale un objet en matière plastique, du papier, du bois sec, la lampe ne s'allume pas. Ces matières sont des **isolants électriques.**

Conclusion

Les matières qui conduisent le courant électrique sont des conducteurs. Tous les métaux (cuivre, fer, aluminium, ...) sont des substances conductrices.

Les matières qui ne conduisent pas le courant électrique sont des isolants. L'air, les matières plastiques et le verre sont des substances isolantes.

3- Circuits en série, circuits en dérivation

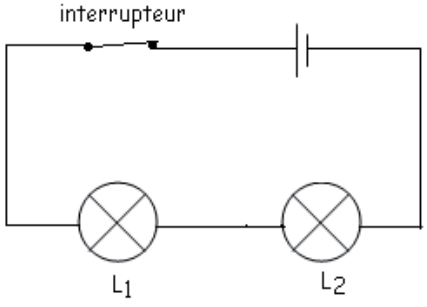
3.1- Le circuit série

Lorsqu'une pile alimente plusieurs lampes branchées les unes à la suite des autres, on dit que ces lampes sont montées **en série.**

ACTIVITE 3

- Réaliser le montage représenté par la photo ci-dessous.
- Observer l'éclat des lampes.
- Dévisser l'une des lampes et observer.
- Placer une troisième lampe à la suite des deux premières.
- Observer l'éclat des lampes.

montage en série



Circuit en série

Observations

- La luminosité des lampes reste faible. Elles ne fonctionnent pas de manière optimale.
- Si on dévisse l'une des lampes, l'autre lampe s'éteint : le circuit est ouvert, le courant ne passe plus.
- Avec trois lampes en série, les lampes brillent encore plus faiblement.

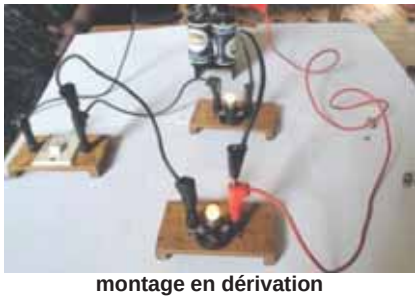
Conclusion

Dans un circuit en série, les dipôles sont placés à la suite les unes des autres.
Lorsqu'une lampe est détériorée ou dévissée, les autres s'éteignent : le courant ne circule plus.

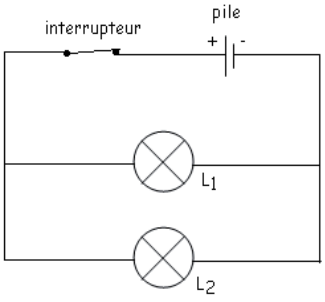
3.2- Le circuit en dérivation

ACTIVITE 4

- Réaliser le montage représenté par la photo ci-dessous.
- Observer l'éclat des lampes.
- Dévisser l'une des lampes et observer.
- Observer l'éclat des lampes.



montage en dérivation



Circuit en dérivation

Observation et interprétation

- Les lampes brillent normalement. Elles fonctionnent dans les conditions optimales.

- Si on dévisse l'une des lampes, l'autre lampe garde son éclat. Les deux lampes fonctionnent donc indépendamment l'une de l'autre.

Conclusion

Ce montage comportant deux lampes où l'une fonctionne même si l'autre est dévissée, est appelé montage en dérivation.

Définitions

- **Dans un montage en dérivation ou en parallèle, les deux lampes sont reliées entre elles en deux points du circuit, ces deux points sont appelés nœuds.**
- **Dans un montage comportant plusieurs dipôles associés en dérivation, si l'un des dipôles ne fonctionne plus, les autres continuent de fonctionner.**
- **La branche dans laquelle se trouve le générateur est la branche principale, les autres sont des branches dérivées.**

3.3 – Sens du courant électrique

Expérience 1

- Réalisons le dispositif représenté par la photo ci-contre.
- Fermons l'interrupteur.
- Noter le sens de rotation de l'aiguille aimantée et du moteur.
- Inversons les connexions aux bornes de la pile.
- Noter à nouveau le sens de rotation de l'aiguille aimantée et du moteur.

sens du courant

Observations et interprétation

- Quand on ferme l'interrupteur, l'aiguille aimantée dévie et le moteur tourne dans un sens.
- Quand on inverse les branchements aux bornes de la pile, l'aiguille dévie et le moteur tourne dans le sens inverse.
- On peut en déduire que le courant circule dans un sens déterminé.

Conclusion

Par convention, le courant électrique circule à l'extérieur d'un générateur de la borne positive (+) vers la borne négative (-).

Sur un schéma électrique, on indique le sens du courant par une flèche placée sur le circuit.

*Avant de découvrir la nature du courant électrique, les physiciens avaient ressenti la nécessité de lui donner un sens. Ils ont adopté un sens connu aujourd'hui sous le nom de sens conventionnel du courant. Ce sens va de la borne positive du générateur vers la borne négative à l'extérieur du circuit.

4- Les effets du courant électrique

Expérience 2

Réalisons le montage de la photo ci-contre.
fermons l'interrupteur.

Qu'observe-t-on :

- au niveau de la lampe ?
- au niveau de l'aiguille aimantée ?

au niveau de l'électrolyseur ?

Effets du courant électrique

- Quel effet du courant électrique est mis en évidence en touchant la lampe ?
- Quel effet du courant électrique est observé au niveau de l'aiguille aimantée ?
- Quel effet du courant électrique est observé au niveau de l'électrolyseur ?

Observations

La lampe brille : c'est **l'effet lumineux.**

La lampe s'échauffe : c'est **l'effet thermique.**

L'aiguille aimantée placée au voisinage du fil parcouru par un courant dévie : c'est **l'effet magnétique.**

Il apparait des bulles de gaz au niveau des électrodes de l'électrolyseur : c'est **l'effet chimique.**

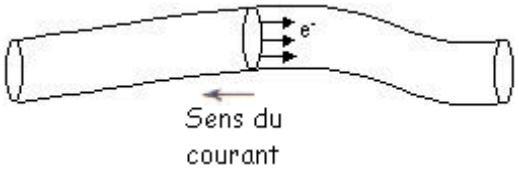
Conclusion

Les effets du courant électrique sont : l'effet lumineux, l'effet thermique, l'effet magnétique et l'effet chimique.

5 – Nature du courant électrique

5.1– Dans un conducteur métallique

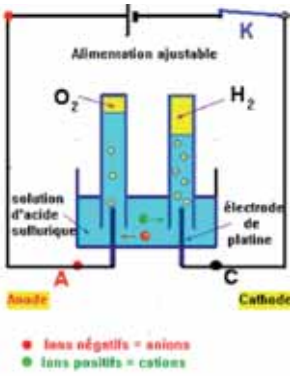
Dans un conducteur métallique, le courant électrique est un déplacement d'électrons libres circulant dans le sens opposé au sens conventionnel du courant.



Conducteur métallique

5.2– Dans une solution électrolytique

Dans un électrolyte (solution contenant des ions) le courant est dû au déplacement des ions positifs (cations) dans le sens conventionnel du courant et des ions négatifs (anions) en sens inverse.
La figure ci-contre montre la migration des ions dans une solution ionique.



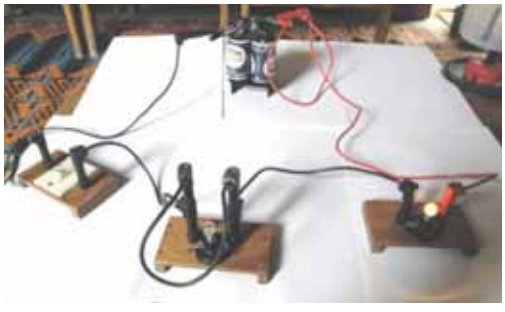
6 – Dangers du courant électrique – mesures de sécurité

6.1- Qu'est-ce qu'un court-circuit ?

Expérience 3

- Réalisons un circuit comprenant un générateur qui alimente deux lampes en série. (photo ci-dessous)

- Branchons un fil de connexion en dérivation entre les bornes d'une lampe.
- Que constate-t-on ?



court-circuit

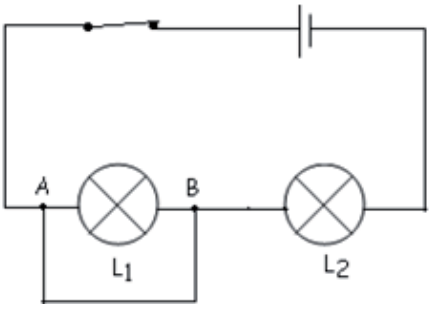


Schéma équivalent du court-circuit

Observations

- Lorsque l'on branche un fil de connexion en dérivation aux bornes d'une lampe (L_1), celle-ci s'éteint.
- L'autre lampe (L_2) brille davantage.

Interprétation

Le courant passe par le fil de connexion qui offre un passage plus facile.
On dit que l'on a mis la lampe en court-circuit.
La lampe L_1 qui était un frein au courant, a été remplacée par un fil de connexion.
Le courant est alors plus intense.

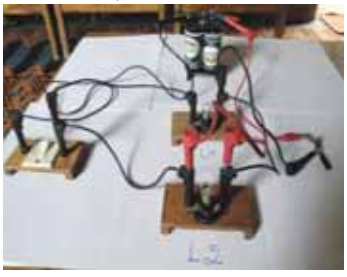
Définition

Un dipôle dont les bornes sont reliées par un fil de connexion, est mis en court-circuit.

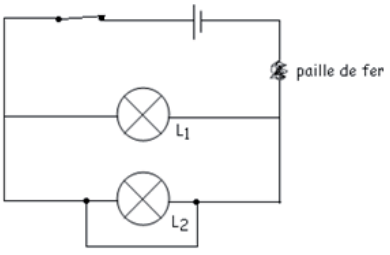
6.2- Dangers d'un court-circuit (Risque d'incendie)

Expérience 4

- Réalisons un circuit comprenant une pile qui alimente deux lampes en dérivation et court-circuitons la lampe L_2.
- Que constate-t-on ?



Danger d'un court-circuit



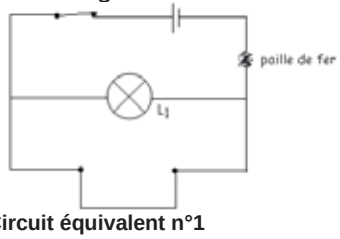
Danger d'un court-circuit

Observations

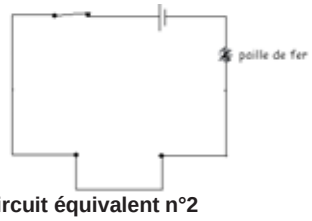
Lorsque l'on branche un fil de connexion aux bornes d'une lampe dans un montage en dérivation, les deux lampes s'éteignent et la paille de fer brûle.

Interprétation

Les deux bornes du générateur sont reliées directement par un fil de connexion :



Circuit équivalent n°1



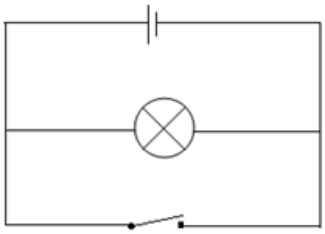
Circuit équivalent n°2

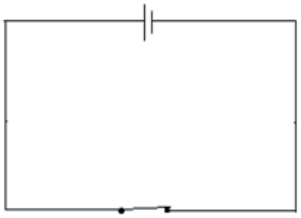
La pile est en court-circuit. Le courant devient intense : il provoque l'échauffement de la paille de fer, puis son inflammation.

Un court-circuit peut donc provoquer un incendie.

<u>Remarque</u> : Danger pour le générateur

Nous avions vu qu'il existe un montage permettant d'allumer une lampe alors que l'interrupteur était sur la position ouvert (ou arrêt).
Ce montage correspondait au schéma suivant.





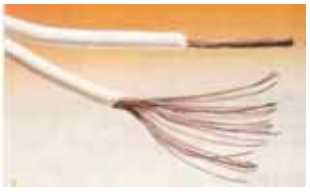
Circuit équivalent

Quand on ferme l'interrupteur, vu qu'il se comporte comme un fil de connexion, la pile est en court-circuit.
Si on avait utilisé un générateur, il aurait été rapidement détruit.

NB : Un générateur mis en court-circuit est rapidement détruit.

6.3- Comment se protéger d'un court-circuit ?

Un contact entre les fils électriques d'un cordon défectueux peut provoquer un court-circuit de la prise.
Lors d'un court-circuit, un fusible fond (il faut alors le remplacer) et un disjoncteur se déclenche (il faut alors le réenclencher) après avoir corrigé le défaut.
Un court-circuit est toujours dangereux. Il peut déclencher un incendie. Il convient donc de s'en protéger.
Pour éviter les dangers d'un court-circuit :



- on entoure les conducteurs d'une gaine isolante
- on place sur les installations électriques, des fusibles et des disjoncteurs.
- On évite de brancher trop d'appareils sur une multiprise pour ne pas la détériorer ou de provoquer un incendie.

Les fusibles et les disjoncteurs permettent d'éviter les risques d'incendie en cas de court-circuit.
Un disjoncteur différentiel peut protéger une personne de l'électrocution.

L'ESSENTIEL DU COURS

- **Une chaîne continue de dipôles électriques reliés entre eux par des fils de connexion et comportant au moins un générateur est un circuit électrique.**
- **Un courant électrique ne peut circuler que si le circuit électrique est fermé.**
- **Les matières qui conduisent le courant électrique sont des conducteurs. Tous les métaux (cuivre, fer, aluminium, ...) et les électrolytes sont des substances conductrices.**
- **Les matières qui ne conduisent pas le courant électrique sont des isolants. L'air, les matières plastiques, le bois sec et le verre sont des substances isolantes.**
- **Dans un circuit en série, les dipôles sont placés à la suite les unes des autres. Lorsqu'une lampe est détériorée ou dévissée, les autres s'éteignent : le courant ne circule plus.**
- **Dans un montage en dérivation ou en parallèle, les bornes des dipôles sont reliées entre elles en deux points du circuit, ces deux points sont appelés nœuds. Dans un montage comportant plusieurs dipôles associés en dérivation, si l'un des dipôles est endommagé ou ne fonctionne plus, les autres continuent à fonctionner. La branche dans laquelle se trouve le générateur est la branche principale, les autres branches sont des branches dérivées.**
- **Par convention, le courant électrique circule à l'extérieur d'un générateur de la borne positive (+) vers la borne négative (-).**
- **Sur un schéma électrique, on indique le sens du courant par une flèche placée sur le circuit.**
- **Les effets du courant électrique sont : l'effet lumineux, l'effet thermique, l'effet magnétique et l'effet chimique.**
- **Un dipôle dont les bornes sont reliées par un fil de connexion, est mis en court-circuit.**

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Compléter les phrases ci-dessous avec les mots suivants : conductrice/ disjoncteur/ ouvert/ dipôles électriques/ fusible / générateur/ isolante/ fermé/ positive/négative/ bornes

- Une pile, une lampe, un interrupteur comportent deux …… ce sont des …… ……..
- Le dipôle qui fait circuler le courant électrique est un …… .
- Dans un circuit électrique, le courant sort par la borne …… et entre par la borne …… du générateur. Si le circuit est ……, le courant électrique circule. Si le circuit est …… , le courant électrique ne circule pas.
- Une matière qui laisse passer le courant électrique est une matière …… . Une matière qui ne laisse pas passer le courant électrique est une matière…… .
- Pour se protéger des dangers d'un court-circuit, on place, sur les installations, des …… et des …… . En cas de court-circuit, un …… se déclenche et un …… fond.

2 Questions de cours (Répondre par une phrase.)

a) Comment met-on un dipôle en court-circuit ? que peut provoquer un court-circuit ?
b) A quoi est dû le courant électrique dans un conducteur métallique ? dans un électrolyte ?
c) Quels sont les effets du courant électrique ? citer quelques unes de leurs applications importantes.
d) Quel est le rôle de la prise de terre ?

3 Les images de deux circuits électriques (Fig.3.1 et Fig.3.2) sont données ci-dessous.

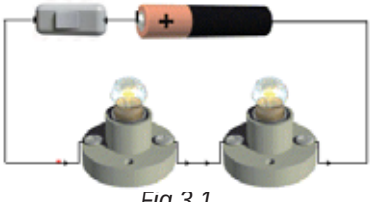


Fig.3.1

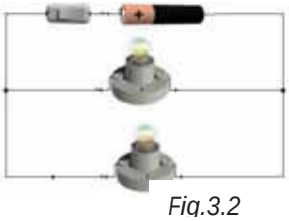


Fig.3.2

1) Dans chaque cas, dire de quel type de circuit il s'agit.
2) Reproduire les schémas des deux circuits en utilisant les symboles normalisés des dipôles.
3) Indiquer, dans chaque cas, le sens conventionnel du courant.
4) Que se passe-t-il si on court-circuite, dans chacun des cas, l'une des deux lampes ? Expliquer brièvement.

Applications directes du cours

5 On a réalisé l'expérience d'électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium (Na^+ , Cl^-) (Fig.5)
Deux électrodes en carbone plongent dans la solution. La lampe est constituée d'un filament métallique de tungstène, les fils de jonction sont en cuivre.

1) Placer sur le schéma ci-contre les mots : lampe, générateur, électrolyte, électrodes.

2) Cocher les cases correspondant aux différents porteurs de charges qui circulent dans :

	ions	**électrons**
les fils de jonction		
le filament de la lampe		
les électrodes		
l'électrolyte		

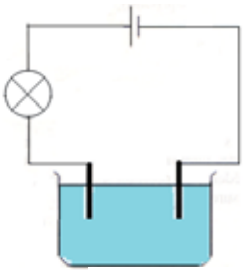


Fig.5

3) Indiquer sur le schéma le sens conventionnel du courant.
4) Faire apparaître sur le schéma le sens de déplacement :
- des électrons, - des ions Na^+, - des ions Cl^-.

6 Sur le montage ci-dessus (Fig.6) sont indiquées les trois positions possibles a, b et c pour brancher un fusible. Indiquer, pour chaque position du fusible, si le générateur est protégé en cas de court-circuit entre les bornes du moteur.

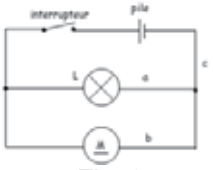


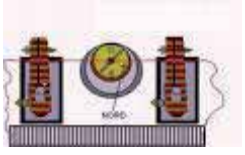
Fig. 6

7 **Etude d'un texte scientifique :** Sens du courant électrique

Fin 1819, J-C Oersted prépare chez lui, à l'attention d'amis et d'étudiants, une expérience scientifique par laquelle il veut démontrer qu'un fil traversé par un courant électrique s'échauffe. Désirant aussi effectuer quelques expériences sur le magnétisme, il installe une aiguille de boussole sur une planche en bois placée, par hasard, à proximité du fil préparé pour l'expérience et parallèlement à ce dernier.

Oersted remarque, à sa grande surprise, que le fil conducteur influence l'aiguille aimantée de la boussole lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Il écrit : « l'aiguille aimantée est déviée de sa position d'équilibre par l'action de l'appareil voltaïque ».

Cette découverte, contraire aux idées de l'époque, fut recommandée et interprétée par le français A-M Ampère en 1820.
Ampère affirme que le « fluide électrique » est un « courant » qui se déplace d'une borne du générateur vers l'autre à travers le circuit et que c'est à cause de ce déplacement que l'électricité agit sur l'aiguille de la boussole. Il choisit arbitrairement un sens au courant électrique.

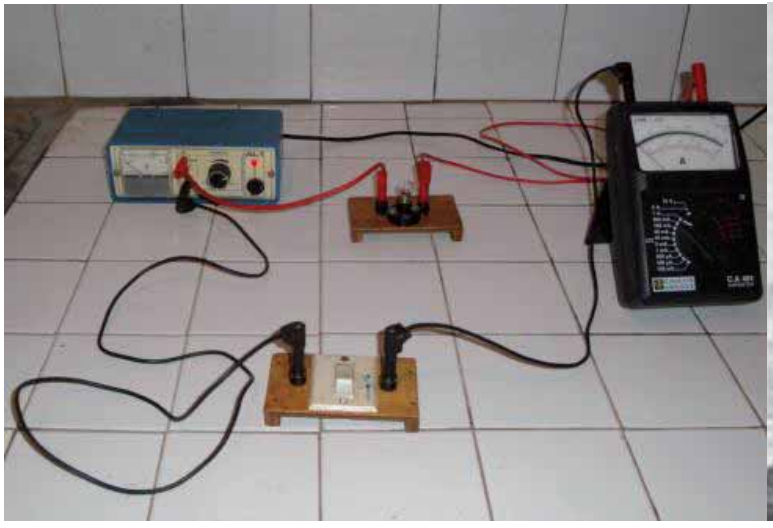


Après avoir lu ce texte et écouté les deux parties de l'émission 'l'expérience d'Oersted', répondre aux questions suivantes :

1) Quel est le générateur utilisé par Oersted pour réaliser ces expériences ?
2) Qu'a-t-il constaté lors de son expérience ?
3) L'aiguille de la boussole tourne toujours de la même façon tout le long d'un circuit ? Que peut-on en conclure ?
4) L'aiguille de la boussole tourne-t-elle toujours dans le même sens lorsqu'on inverse le branchement aux pôles de la pile ?
5) En quoi cette expérience montre-t-elle que le courant a un sens ?
6) Avec ces expériences, a-t-on trouvé le sens du courant électrique ?

PHYSIQUE

CHAPITRE 3 INTENSITE DU COURANT ELECTRIQUE



Quelle grandeur mesure-t-on avec l'appareil monté avec la pile et la lampe dans ce circuit?
Que vous suggère le nom Ampère ?

OBJECTIFS

- Définir l'intensité d'un courant électrique
- Connaître quelques ordres de grandeurs d'intensité de courant électrique
- Appliquer les lois de l'intensité du courant électrique
- Mesurer l'intensité d'un courant électrique dans un circuit

PLAN DU CHAPITRE

1. Notion d'intensité du courant électrique
2. Mesure d'intensité du courant électrique
3. Lois de l'intensité du courant électrique

1 - Notion d'intensité

1.1- Mise en évidence

ACTIVITE 1

Réaliser le montage de la photo 1 avec comme électrolyte une solution d'eau salée.

Observer l'éclat de la lampe.

Ajouter une petite pincée de sel et observer encore l'éclat de la lampe.

Ajouter une autre petite pincée de sel et observer encore l'éclat de la lampe.

Photo 1

Interprétation

En ajoutant du sel on augmente le débit des porteurs de charges (ions), la lampe L1 brille davantage : le courant devient plus intense.

ACTIVITE 2

Réaliser le montage de la photo 2.

Fermer l'interrupteur et observer l'éclat de la lampe L1.

Ouvrir le circuit et insérer une lampe L2.

Fermer à nouveau le circuit et observer l'éclat de la lampe L1

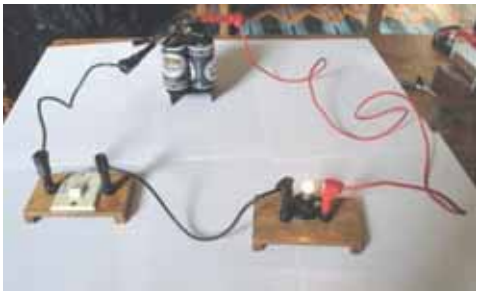


Photo 2

Observations

- Dans le premier montage la lampe L1 brille intensément.
- Dans le deuxième montage la lampe L1 brille faiblement.

Interprétation : En ajoutant une seconde lampe en série, on diminue le débit des porteurs de charges (électrons), la lampe L1brille moins : le courant devient moins intense.

Conclusion : La variation du débit des porteurs de charge est liée à une grandeur électrique appelée **intensité** du courant électrique.

Définition

L'intensité du courant électrique est une grandeur physique liée au débit des porteurs de charge (ions ou électrons). Elle est notée I et se mesure en ampères, symbole A.
Il existe des sous-multiples de l'ampère :

- le milliampère (mA) : 1 mA = 10^{-3} A
- le microampère (µA) : 1 µA = 10^{-6} A
- le nanoampère (nA) : 1 nA = 10^{-9}

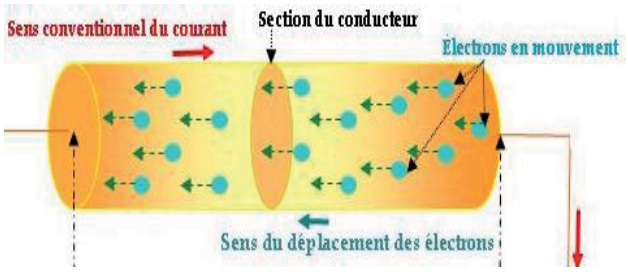
1.2- Ordres de grandeur de quelques intensités

Citons à titre d'exemples les valeurs de l'intensité du courant électrique dans quelques appareils.

Appareils	**Intensités (ordre de grandeur)**
Lampe à incandescence	0,1 à 5 A selon la lampe
Fer à repasser	3 à 6 A,
Radiateur	5 à 15 A,
Foudre	entre 6000 et 50000 A.
Antenne de télévision	entre 10 et 20 mA
Circuits électroniques	De quelques nanoampères à quelques microampères

1.2- Formule de définition

Dans un conducteur métallique, le courant électrique est un déplacement d'électrons (fig. 3). On admet que l'intensité du courant est liée au débit des électrons dans un conducteur. Plus le débit est important plus l'intensité du courant est grande.



Soit Q la quantité d'électricité (positive) traversant une section quelconque d'un conducteur, pendant la durée t. Par définition, l'intensité du courant est donnée par la relation :

$I = \frac{Q}{t}$	• Q en coulombs (C) • t en secondes (s) • I en ampères (A)

1.4- Relation entre intensité et débit de porteurs de charges.

Si N est le nombre d'électrons qui traversent une section de conducteur (fil cylindrique par exemple) pendant la durée t,

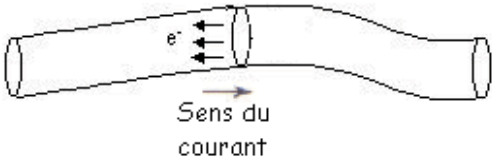


Fig. 4 : Débit des électrons dans un conducteur

On a : Q = N.e**,** Soit D le débit des électrons (nombre N d'électrons par unité de temps)

D = $\frac{N}{t}$ Il vient donc **I =** $\frac{Q}{t}$ **=** $\frac{N.e}{t}$ **= D.e**

L'intensité du courant est aussi reliée au débit d'électrons par **: I = D.e**

Remarque :

Pour les besoins industriels on utilise une unité de quantité d'électricité plus grande que le coulomb : l'ampère-heure (symbole Ah).

L'ampère-heure est la quantité d'électricité débitée par un courant d'intensité 1 A durant 1 h.

1 Ah = 3600 C

Exercice d'application :

Une quantité d'électricité Q = 1800 C traverse un circuit pendant une durée t = 3 minutes.

1. Quelle est la Valeur de l'intensité I qui passe dans ce circuit ?
2. Calculer le débit d'électrons qui traverse une section de ce conducteur pendant une seconde.
3. Convertir cette quantité d'électricité en Ah.

Solution

1) Valeur de l'intensité **I**

$$I = \frac{Q}{t}$$

A.N. : $I = \frac{1800}{180}$ $I = 10$ A

2) Débit d'électrons

$$D = \frac{I}{e} = \frac{10}{1{,}610^{-19}} \Rightarrow D = 6{,}25.10^{19} \text{ électrons/s}$$

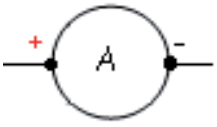
3) Conversion de la quantité d'électricité Q en Ah

Q = 1800 C or 1 Ah = 3600 C => $Q = \frac{1800}{3600} = 0{,}5$ Ah

2 – Mesure de l'intensité d'un courant électrique

2.1- Présentation de l'appareil de mesure

L'appareil qui permet de mesurer l'intensité d'un courant électrique est l'ampèremètre. Son symbole normalisé est représenté ci-dessous :



Il existe des ampèremètres à aiguille (Photo.5a), mais les plus utilisés sont les multimètres à affichage numérique (Photo.5b).

Photo.5a : Ampèremètre à aiguille

Photo.5b : Multimètre à affichage numérique

Pour les ampèremètres à aiguille on observe :

- l'inverseur (~ ▬ =) qui permet d'utiliser l'appareil en courant alternatif (~) ou en courant continu (=)
- la borne - (à gauche) ou borne de sortie du courant
- la borne + (à droite) ou borne d'entrée du courant
- ainsi qu'une deuxième borne d'entrée + notée + 10 A pour mesurer des intensités supérieures à 10 A.
- les calibres 10 A (branchement spécial) , 3 A , 1 A, 0,3A (300 mA), 0,03 A (30 mA) , 0,01A (10 mA).
- C'est le curseur qui permet de choisir le calibre désiré.

Pour le moment, nous ne mesurons que des courants continus, on placera l'inverseur sur la position = (courant continu).

2.2- Mesure de l'intensité d'un courant électrique

a) Activités

ACTIVITE 3

Réaliser le circuit de la photo ci-contre, l'ampèremètre étant en série, l'interrupteur étant en position ouvert.

Respecter les polarités.

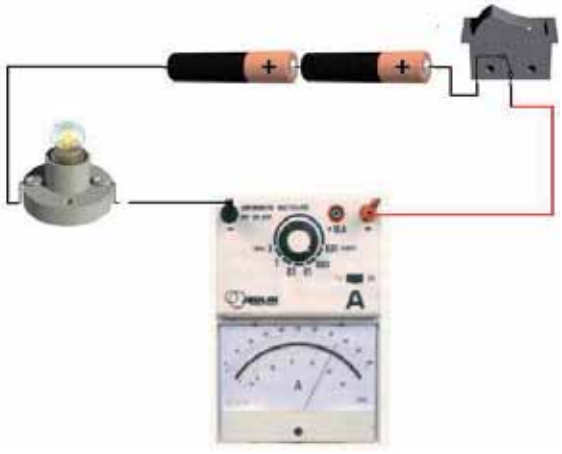
Mettre le sélecteur sur courant continu.

Choisir le calibre le plus grand.

Fermer l'interrupteur.

Noter la déviation n de l'aiguille sur le cadran utilisé.

Déterminer l'ordre de grandeur de l'intensité en appliquant la relation :



Mesure de l'intensité du courant

$$I = C\frac{n}{N}$$ avec

C calibre utilisé, n la déviation notée et N le nombre total de graduations sur le cadran utilisé.
L'aiguille se positionne-t-elle sur le premier tiers, la moitié ou sur les 2 tiers du cadran ?

ACTIVITE 4

Reprendre le montage précédent en prenant des calibres de plus en plus petits. Noter pour chaque calibre la déviation de l'aiguille et calculer l'intensité correspondante.
Comparer les différentes déviations de l'aiguille.
Quel est le calibre le mieux adapté ? (plus grande déviation).

b) Calibres d'un ampèremètre

Un ampèremètre, dans un état déterminé d'utilisation est caractérisé par son **calibre**.

Le calibre d'un ampèremètre est l'intensité maximale I qu'il peut mesurer (pour le branchement considéré).

Pour rechercher le calibre adapté il faut toujours commencer par le plus grand. Le calibre est adapté à la mesure si l'aiguille s'arrête dans le dernier tiers du cadran.

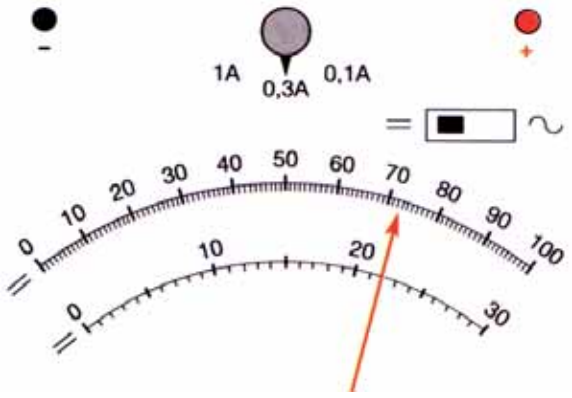
c) Exemple de lecture

Pour mesurer l'intensité (I) d'un courant électrique avec un ampèremètre à aiguille comportant N divisions, branché sur le calibre C (en ampères, par exemple) dont l'aguille s'immobilise devant la graduation n, on applique la relation :

$$I = C \times \frac{n}{N}$$

Application 1 :

- L'intensité est mesurée en **courant continu** (curseur en position =).
- Calibre utilisé : **0,3 A**
- Il y a deux échelles de lecture possibles : Echelle **30** et échelle **100**.
- Nombre de divisions lues :



- L'échelle **30** : n = 22
- L'échelle 100 : n = 72

Sur l'échelle 30, on a : $I = 22 \times \frac{0.3}{30}$ soit I = 0,22 A

Sur l'échelle 100, on a : $I = 72 \times \frac{0.3}{100}$ soit I = 0,22 A

Il est cependant avantageux de lire sur l'échelle 30 qui donne un rapport 0,01 simple et qui permet de calculer mentalement l'intensité du courant en multipliant la valeur lue par une puissance de 10 soit 10^{-2}.

d) qualité d'une mesure

Un ampèremètre n'est pas un appareil parfait. L'utilisateur de cet appareil de mesure a besoin de savoir quelle confiance il doit accorder à son appareil. Le fabricant inscrit sur l'appareil la **classe de précision**. Cette classe de précision permet d'estimer **l'incertitude absolue ΔI.** On obtient ΔI par la relation :

$$\Delta I = \frac{classe}{100} \text{Xcalibre}$$

- **Présentation du résultat**

Soit $\mathbf{I}_{mes}$ l'intensité mesurée. La valeur approchée I de l'intensité, la présentation du résultat est donnée par :

$$I = (\mathbf{I}_{mes} \pm \Delta I)\ A$$

- **Encadrement du résultat**

Soit $\mathbf{I}_{mes}$ l'intensité mesurée. La valeur approchée I de l'intensité est donnée par l'encadrement :

$$\mathbf{I}_{mes} - \Delta I \leq I \leq \mathbf{I}_{mes} + \Delta I$$

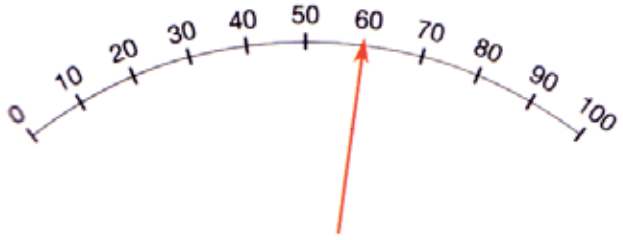
La précision de la mesure ou **le taux d'incertitude (**exprimé en pourcentage %) est donné par :

$$\frac{\Delta I}{I} \textbf{ (en \%)}$$

Plus le taux d'incertitude est faible plus la mesure est précise.

Application :

La figure ci-contre représente le cadran d'un ampèremètre branché dans un circuit où circule un courant continu. Le calibre choisi est 0,5 A.



1) Déterminer la valeur de l'intensité I. Exprimer la valeur en mA.

2) La classe de l'appareil étant 2, déterminer l'incertitude absolue ΔI sur la lecture de I.
3) Présenter le résultat et son encadrement.
4) Déterminer la précision de la mesure (c'est-à-dire le rapport $\frac{\Delta I}{I}$) , donner le résultat en %.

Solution :

1) Valeur de l'intensité I

- $I = C\frac{n}{N}$ (Calibre : C = 0,5 A, nombre de divisions du cadran : N = 100, nombre de divisions lues : n = 60)

$I = 0{,}5\frac{60}{100}$ = **0,30 A = 300 mA**

2) Détermination de l'incertitude absolue ΔI sur la lecture de I

$\Delta I = \frac{classe}{100}$ x calibre = $\frac{2}{100}$ x 0,5 ΔI = 0,01 A = 10 mA

3) Présentation du résultat et son encadrement

$$I = (\mathbf{300} \pm 10)\ mA$$

$$300 - 10 \leq I \leq \mathbf{300} + 10 \Rightarrow \mathbf{290\ mA \leq I \leq 310\ mA}$$

Détermination de la précision de la mesure

$\frac{\Delta I}{I} = \frac{10}{300}$ = 0,033 soit 3,3%

I = 300 mA à 3,3%

3- Lois de l'intensité du courant électrique

3.1- Loi d'unicité de l'intensité du courant électrique

Activité 5

Réaliser le montage de la Fig.1 ci-contre comportant :

- une pile
- deux lampes
- un interrupteur
- trois ampèremètres

des fils de connexion

Fermer l'interrupteur.

Mesurer les intensités des courants I_0, I_1 et I_2.

Donner la relation entre les intensités de courant I_0, I_1 et I_2.

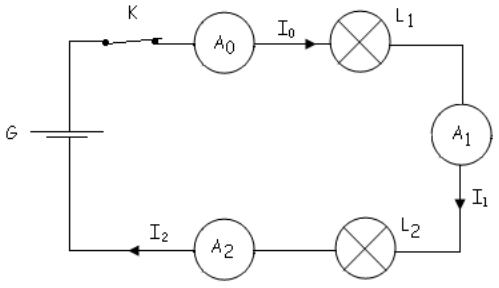


Fig.1

Résultats de l'expérience

On obtient : I_0 = 100 mA I_1 = 100 mA et I_2 = 100 mA

On vérifie que : $I_0 = I_1 = I_2$

Conclusion

L'intensité du courant est la même aux différents points du circuit : **c'est la loi d'unicité.**

Enoncé de la loi d'unicité :

L'intensité du courant est la même en tout point d'un circuit série fermé.

3.2- Loi des nœuds

a) Définitions

- Les points A et B sur la figure ci-dessus (Fig.2) sont des **nœuds**. **un nœud est un point de raccordement d'au moins trois branches.**
- Les points A et D reliés par des fils de connexion sont identiques ou électriquement indifférents. Il en est de même pour les points B et C.
- La branche BNPA qui comporte le générateur est **la branche principale**.
- Les branches A(A_1,L_1)B et A(A_2,L_2)B contenant les lampes sont des dérivations ou des branches secondaires.

b) loi des nœuds

Activité 6

Réaliser le montage de la Fig.2 comportant :

- une pile
- deux lampes
- un interrupteur
- un ampèremètre
- des fils de connexion

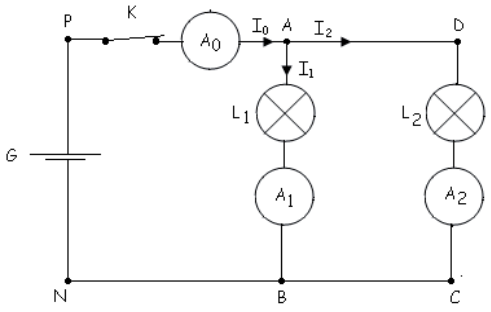


Fig.2

Fermer l'interrupteur.
Mesurer, en divers points du circuit, les intensités de courant I_0, I_1 et I_2 qui y passent.
Donner la relation entre les valeurs des intensités de courant I_0 et $I_1 + I_2$.

Résultats de l'expérience

On obtient : $I_0 = 300$ mA, $I_1 = 100$ mA et $I_1 = 200$ mA

$I_1 + I_2 = 300$ mA.

On vérifie que : $I_0 = I_1 + I_2$

Conclusion

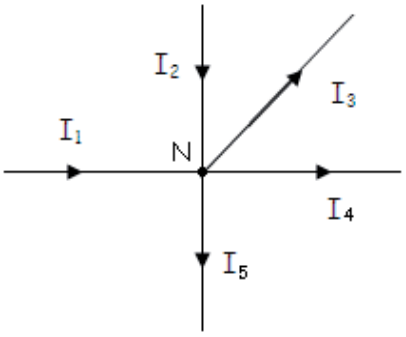
La somme des courants qui repartent du nœud A soit I_1+I_2 est égale au courant principal I_0 qui arrive à ce nœud : c'est **la loi des nœuds**.

Enoncé de la loi des nœuds

La somme des intensités de courant qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en repartent.

$$\sum I_{entrant} = \sum I_{sortant}$$

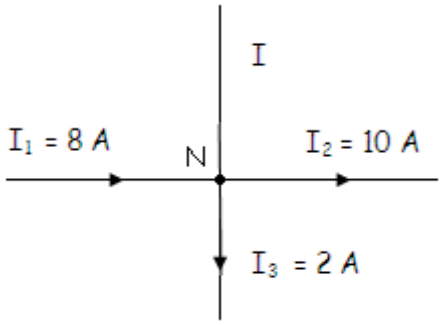
Par exemple



Au nœud N, on a :
$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$

N.B. : Il est dangereux de brancher plusieurs appareils sur une multiprise car tous ces appareils sont branchés en dérivation : l'intensité du courant arrivant à la multiprise est alors très grande. Ce fort courant produit un échauffement de la gaine du fil et peut provoquer un incendie.

Exercice d'application : Dans le cas suivant, donner les caractéristiques (intensité et sens) du courant I.



Solution

On calcule la somme des courants entrant connus et la somme des courants sortant connus puis on les compare. Le sens du courant inconnu est déterminé par la somme la plus petite.

$\sum Ientrant = \sum Isortant$

$\sum Isortant\ connus = I_2 + I_3 = 10 + 2 = 12$ A

$\sum Ientrant\ connus = I_1 = 8$ A

$\sum Ientrant\ \mathbf{connus} < \sum \mathbf{Isortant\ connus} \Rightarrow$ **I est entrant**

L'intensité inconnue arrive au nœud et son intensité est telle que : 8 + I = 12

$\Leftrightarrow$ I = 12 - 8 **I = 4 A**

L'ESSENTIEL DU COURS

L'intensité du courant continu a pour expressions : $I = \frac{Q}{t}$ et $I = D.e$

L'intensité d'un courant se mesure à l'aide d'un ampèremètre, appareil qui se monte en série dans le circuit en respectant ses polarités.

* Dans un circuit série ou dans une branche, l'intensité est la même en tout point.

* La somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en partent.

Fiche technique : le multimètre digital

La plupart des multimètres peuvent jouer le rôle de

voltmètre,
ampèremètre,
ohmmètre.

Pour choisir la fonction du multimètre :

1. sélectionner la position du commutateur de fonction,
2. connecter un fil à la borne COM (pour faciliter les repérages on emploie souvent un fil noir)
3. connecter un deuxième fil à la borne marquée du symbole de l'unité qui correspond à la grandeur qu'on veut mesurer. (on emploie souvent un fil rouge)

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 **Questions de cours**

a) Quelle est l'unité de l'intensité du courant électrique ?
b) Comment appelle-t-on l'appareil qui permet de mesurer l'intensité d'un courant électrique ? Quel est son symbole ?
c) Comment procède-t-on pour mesurer l'intensité d'un courant électrique à l'aide d'un ampèremètre ?
d) A quoi correspond le calibre d'un ampèremètre ?
e) Un ampèremètre possède les calibres suivants : 10 A, 2 A, 100 mA, 20 mA. On doit mesurer une intensité de 70 mA. Quel calibre doit-on choisir ?
f) Enoncer la loi d'unicité du courant électrique.
g) Dans un circuit électrique, qu'appelle-t-on nœud ?
h) Enoncer la loi des nœuds.

Applications directes du cours

2 Une quantité d'électricité Q = 2 Ah traverse un circuit pendant une durée t = 5 minutes.

1) Convertir cette quantité d'électricité en coulombs (C).
2) Quelle est la valeur de l'intensité I qui passe dans ce circuit ?
3) Calculer le débit D d'électrons qui traverse une section de ce conducteur pendant une seconde.

3 Une calculette en fonctionnement est parcourue par un courant électrique d'intensité I = 6,5 μA. Elle est alimentée par une pile pouvant débiter une charge électrique totale de valeur absolue Q = 75 C. Calculer, en jours, la durée t de fonctionnement de la calculette.

4 La figure ci-contre représente le cadran d'un ampèremètre branché dans un circuit où circule un courant continu. Les calibres disponibles sont :

1 A, 0,5 A, 0,1 A.

On lit sur l'échelle 0-100.

1) On choisit le calibre 0,5 A. La déviation est de 42 divisions. Déterminer la valeur de l'intensité I.
2) On change de calibre. On suppose que l'intenté conserve la valeur trouvée au 1).

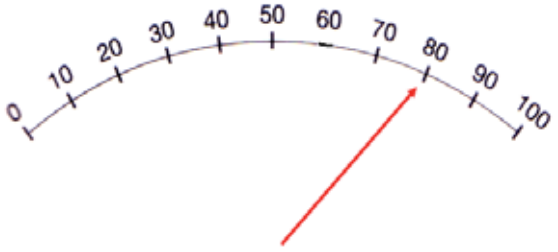
2 .a - Compléter le tableau ci-contre.
2.b - Indiquer le meilleur calibre utilisable.
2.c - Y a-t-il un calibre à ne pas choisir ?

Calibre	1 A	0,5 A	0,1 A
Division		42	
Intensité			

Utilisation des acquis

5 Lors d'un orage, un éclair zèbre le ciel pendant 3 ms. Il transporte une charge électrique Q = - 80 C du nuage vers le sol.
1) Sur un dessin, indiquer le sens conventionnel du courant électrique correspondant à cet éclair.
2) Calculer l'intensité moyenne I du courant électrique correspondant.
3) Calculer le nombre d'électrons qui se sont déplacés pendant l'éclair.

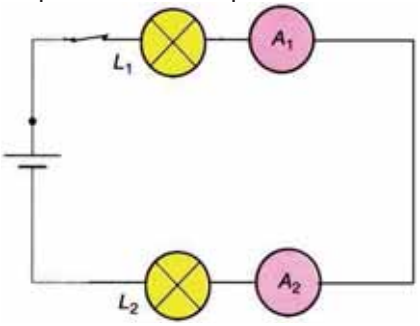
6 La figure ci-contre représente le cadran d'un ampèremètre branché dans un circuit où circule un courant continu. Le calibre choisi est 0,30 A.



1) Déterminer la valeur de l'intensité I. Exprimer la valeur en mA.
2) La classe de l'appareil étant 2, déterminer l'incertitude absolue ΔI sur la lecture de I.

Présenter le résultat et son encadrement.
3) Déterminer la précision de la mesure, donner le résultat en %.

7 On réalise le montage de la figure ci-dessous où L_1 et L_2 sont deux ampoules et A_1, A_2 deux ampèremètres comportant une échelle 0-100. Les calibres disponibles sont : 0,5 A, 0,3 A et 0,1 A.

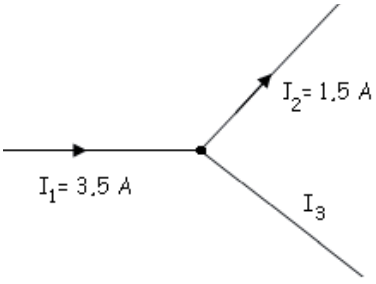


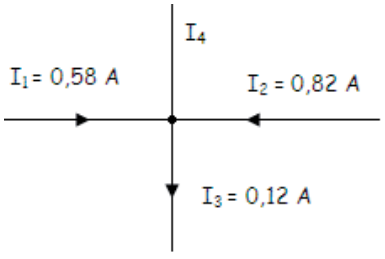
Les lectures sont reportées dans le tableau suivant.

Ampèremètre	A_1	A_2
Calibre	0,5 A	
Division	36	
Intensité (A)		

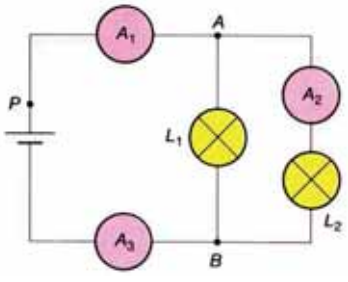
Compléter le tableau en prenant le soin de choisir convenablement le calibre pour l'ampèremètre A_2. On justifiera le choix fait.

8 Dans les cas suivants, donner les caractéristiques (intensité et sens) du courant inconnu.





9 On réalise le montage de la figure ci-dessous où L_1 et L_2 sont deux ampoules et A_1, A_2, A_3 trois ampèremètres comportant une échelle 0-100 et réglés sur le calibre 0,1 A.



Les lectures sont reportées dans le tableau suivant.

Ampèremètre	A_1	A_2	A_3
Division	75	32	
Intensité (A)			

1) Indiquer par des flèches les sens des courants électriques dans les différentes branches.
2) Quelle est la valeur de l'intensité I_1 du courant traversant la lampe L_1 ? Compléter le tableau de mesure.

PHYSIQUE

CHAPITRE 4 TENSION ELECTRIQUE

Ces lignes de courant haute tension issues de Manantali traversent certaines agglomérations. Quels dangers encourent ces populations ?

OBJECTIFS

- Mesurer une tension électrique
- Appliquer les lois de la tension électrique.
- Distinguer tension continue et tension variable
- Utiliser les conventions de signes pour l'intensité et la tension.
- Prendre des mesures de sécurité liées aux dangers du courant électrique

PLAN DU CHAPITRE

1. Notion de tension électrique
2. Mesure de la tension électrique
3. Propriétés de la tension électrique
4. Convention récepteur
5. Tensions variables
6. Dangers du courant électrique-Mesures de sécurité

1– Notion de tension

1.1- Mise en évidence expérimentale

Pour mettre en évidence la tension, nous utilisons l'oscilloscope

Il comporte deux bornes d'entrée : l'une (de couleur rouge) notée Y, l'autre (de couleur noir) étant la masse M .

(voir doc 1).

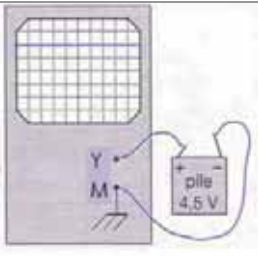
Doc 1 : oscilloscope

En l'absence de branchement électrique sur les entrées Y, M., on voit, au milieu de l'écran, une trace lumineuse (doc 2.).

Doc 2 : Oscilloscope en fonctionnement

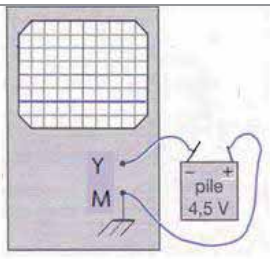
Relions alors la borne positive P d'une pile à l'entrée Y et la borne négative N à la masse, on constate que la trace lumineuse se déplace vers le haut (doc.3a).Du point de vue électrique, les bornes P et N ne sont pas dans le même état électrique, on dit qu'il existe une tension électrique entre les bornes P et N, cette tension notée U_{PN}, est positive.

Relions alors la borne positive P à la masse (M) et la borne négative N à l'entrée Y, la trace lumineuse se déplace vers le bas (doc.3b). Il existe donc une tension électrique entre N et P, et cette tension U_{NP} est négative.



Déplacement de la ligne lumineuse vers le haut : U_{PN} est positive

Doc. 3a



Déplacement de la ligne lumineuse vers le haut : U_{PN} est négative

Doc. 3b

1.2– Unité de tension

L'unité internationale de tension électrique est le **volt (**symbole **: V).**

On utilise les multiples et sous-multiples du volt.

le kilovolt	1kV = 10^{3} V
le millivolt	1 mV = 10^{-3} V
le microvolt	1 μV = 10^{-6} V

1.3 – Quelques ordres de grandeur de tension

- Tension entre les bornes de la prise d'une installation domestique : 220V à 230 V
- Lignes haute tension : de l'ordre de 400 kV
- La foudre : de l'ordre de 10 millions de volts
- Chargeur de téléphones portables : 3 à 5 V
- Batterie d'automobile isolée : 12V
- Torche (lampe de poche) : 3,5 V à 5 V.
- Tension de sécurité pour le corps humain : 24 V (au-delà de 24 V, une tension devient dangereuse pour l'homme).

1.4 – La tension, grandeur algébrique

Nous avons vu au 1.1 que si on applique les tensions U_{PN} puis U_{NP} sur l'oscilloscope, les déplacements de la trace lumineuse s'effectuent en sens inverses mais d'un même écart. On en déduit que ces deux tensions sont de signes opposés mais égales en valeur absolue

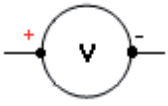
$$U_{PN} = -U_{NP}$$

La tension est une grandeur algébrique.

2 – Mesure d'une tension électrique

2.1 – Les appareils de mesure

L'appareil qui permet de mesurer la tension électrique est le voltmètre. Son symbole est donné ci-contre (Doc 5).



Notez que ses deux bornes ne sont pas identiques, l'une est la borne +, l'autre la borne -.

Doc 5

Il existe des voltmètres à aiguille, mais les plus utilisés sont les multimètres à affichage numérique (Doc 6) ; on utilise aussi l'oscilloscope (Doc 1)

Voltmètre à aiguille
Doc 5

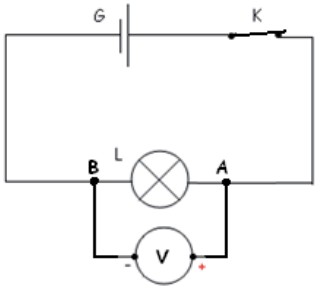
Multimètre à affichage numérique
Doc 6

2.2 – Mesure d'une tension électrique avec un voltmètre

2.2.1- Branchement du voltmètre

On mesure une tension U_{AB} (positive) en reliant le point A à la borne + du voltmètre et le point B à sa borne (doc.). **On dit alors que le voltmètre est en dérivation entre les deux points entre lesquels on mesure la tension.**

Doc 7a



Doc 7b

- Un voltmètre est branché en dérivation alors qu'un ampèremètre est branche en série.

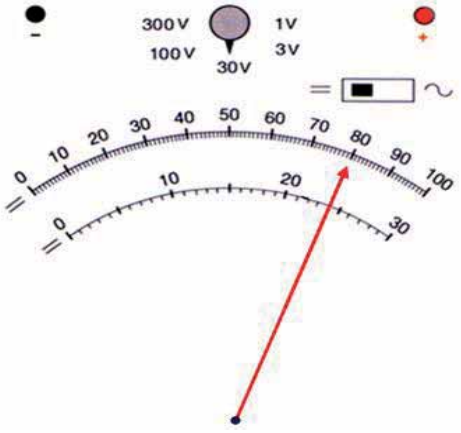
2.2.2- Calibres d'un voltmètre

Un calibre donné correspond à la tension maximale que le voltmètre peut mesurer (pour le branchement considéré).

2.2.3- Lecture d'une tension

Le principe de lecture est le même que celui de l'ampèremètre à aiguille
On utilise le calibre le plus grand pour avoir l'ordre de grandeur de la tension puis on choisit le calibre le mieux adapté pour une mesure plus précise.

Application : Calculons la valeur de la tension indiquée par ce voltmètre (doc 8.)



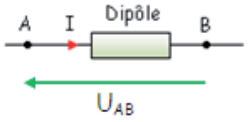
- Calibre : C = 30 V
- nombre de divisions du cadran : N = 30
- nombre de divisions lues : n = 24

$U = \frac{Cxn}{N}$ On trouve U = 24 V

3– Propriétés de la tension électrique

3.1 – Représentation d'une tension aux bornes d'un dipôle – Convention récepteur

La tension U_{AB} est représentée par une flèche allant de B vers A.



Représentation de la tension U_{AB}
La flèche va de B vers A.

La flèche indiquant la tension U_{AB} et celle représentant l'intensité sont de sens contraire : Il s'agit de la convention récepteur.

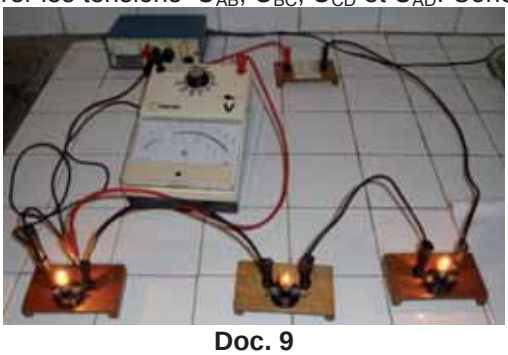
3.2 – Loi d'additivité des tensions

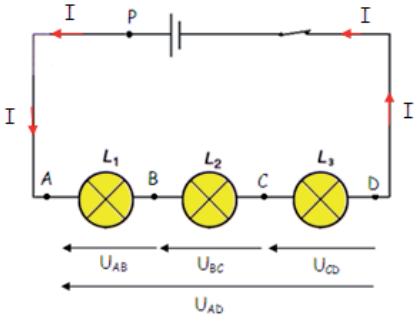
Activité 1

Réaliser le montage ci-dessous (doc 9) suivant comportant :

- une pile
- trois lampes
- un interrupteur
- des fils de connexion

Mesurer les tensions U_{AB}, U_{BC}, U_{CD} et U_{AD}. Conclure





Doc. 9

Avec un voltmètre, un groupe d'élèves à obtenu les valeurs suivantes

U_{AD}	U_{BC}	U_{CD}	U_{AB}
8,0 V	**3,0 V**	**3,2 V**	**1,8 V**

On vérifie que : $U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$.

<u>Conclusion</u> : La tension aux bornes de l'association en série des trois lampes est égale à la somme des tensions aux bornes de chaque lampe.

Ce résultat est valable quelle que soit la nature des dipôles et leur nombre.

Enoncé de la loi d'additivité des tensions

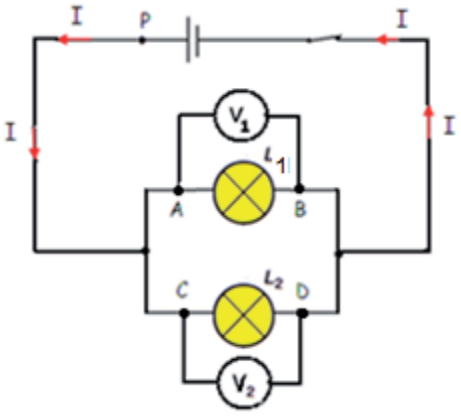
La tension aux bornes de l'association en série de plusieurs dipôles est égale à la somme des tensions aux bornes de chaque dipôle.

3.3 – Loi d'unicité de la tension entre deux points

Activité 2

Réaliser le circuit ci-dessous. (Doc. 10a)
Mesurer les tensions U_{AB} et U_{CD}. Conclure

Doc. 10a



Doc. 10b

Un groupe d'élèves à obtenu les valeurs suivantes

U_{AB}	U_{CD}
3,21 V	3,21 V

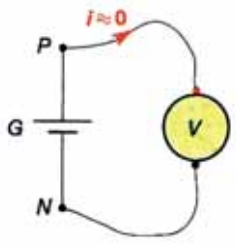
On vérifie que : $\mathbf{U_{AB} = U_{CD}}$.

Conclusion : La tension est la même aux bornes des deux dipôles montés en dérivation.

Enoncé de la loi d'unicité : La tension est la même aux bornes de plusieurs dipôles (d'un même circuit) montés en dérivation.

3.4- Tension aux bornes d'un générateur

Aux bornes d'un générateur en circuit ouvert, il existe une tension non nulle $U_{PN} > O$.



NB : En circuit fermé :

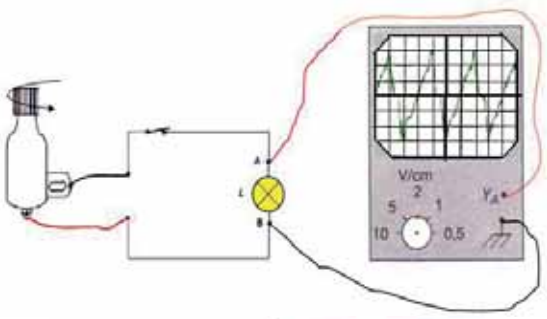
- **la tension aux bornes d'un fil de connexion est nulle,**
- **la tension aux bornes d'un interrupteur est nulle.**

4 – Tensions variables

4.1- Production d'une tension alternative à l'aide d'un alternateur de bicyclette

Lorsqu'on fait tourner la molette de l'alternateur de bicyclette, on visualise une tension variable sur l'écran de l'oscilloscope et la lampe s'allume.

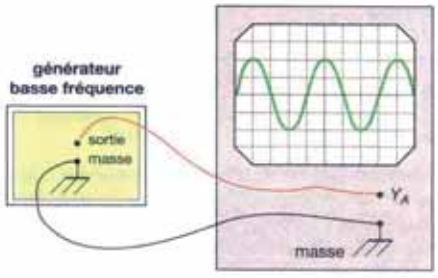
L'alternateur de bicyclette parfois improprement appelé dynamo permet de produire des tensions variables.



4.2- Exemples de tensions alternatives

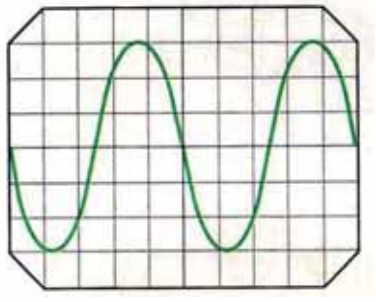
4.2.1- Visualisation

On utilise un générateur basse fréquence (G.B.F.) encore appelé générateur de fonctions. Comme l'oscilloscope, cet appareil comporte une masse reliée à sa carcasse métallique.

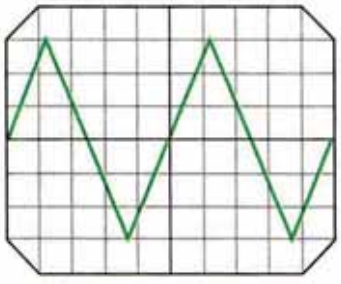


Visualisation de la tension délivrée par le générateur basse fréquence. La masse du GBF est reliée à la masse de l'oscilloscope.

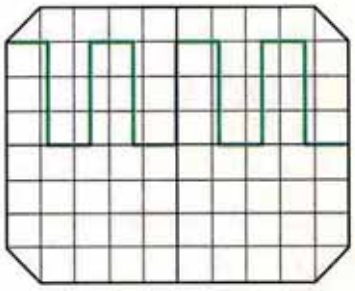
Le schéma du branchement est donné à la figure ci-dessus. Il est fondamental de relier les masses du GBF et de l'oscilloscope. Ensuite, la sortie du générateur est connectée à l'entrée Y_A de l'oscilloscope. On peut observer les oscillogrammes suivants :



Tension sinusoïdale



Tension triangulaire (ou en dents de scie)



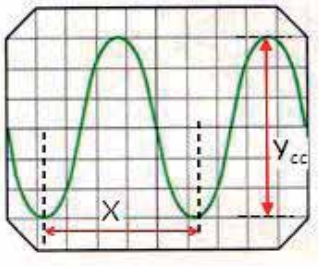
Tension de forme rectangulaire (ou en créneaux)

On constate que ces tensions sont périodiques.

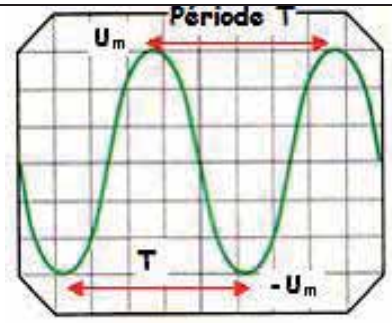
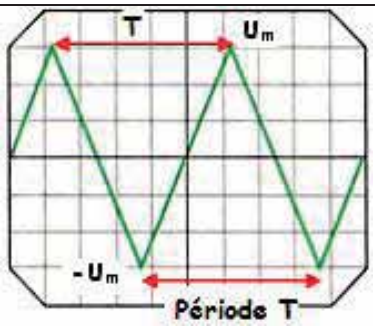
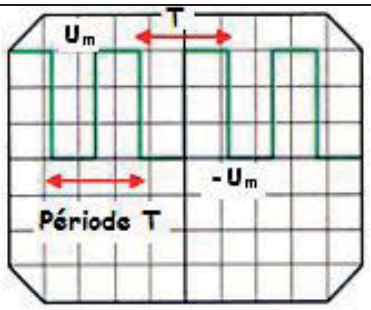
4.2.2- Période T et amplitude U_m d'une tension alternative

La période T d'une tension est la durée au bout de laquelle la tension reprend la même valeur en variant dans le même sens.

La période est déterminée à partir de la sensibilité du balayage appelée aussi sensibilité horizontale et notée s_B.



- **La période est déterminée par : $T = s_B.X$ (T s'exprime en secondes)**
- **La valeur de la tension crête à crête est donnée par : $U_{cc} = s_V.Y_{cc}$**
- **L'amplitude ou la tension maximale est déterminée par : $U_m = \frac{1}{2} U_{cc}$**

		
• sensibilité verticale s_V : 1 V/cm • sensibilité du balayage s_B: 10 µs/cm T = 5x10 µs = 50 µs T = 5.10^{-5} s U_m = 3x1 = 3 V	• sensibilité verticale s_V : 2 V/cm • sensibilité du balayage s_B:2 ms/cm T = 5x2 = 10 ms = 10.10^{-3} s T = 10^{-2} s U_m = 3x2 = 6 V	• sensibilité verticale s_V : 5 V/cm • sensibilité du balayage s_B: 10 ms/cm T = 2,5x10 = 25 ms T = 25.10^{-3} s U_m = 1,5x5 = 7,5 V

La fréquence est liée à période T par : $\mathbf{f = \frac{1}{T}}$

La fréquence s'exprime en hertz (Hz)

4.2.3- Tension maximale et tension efficace

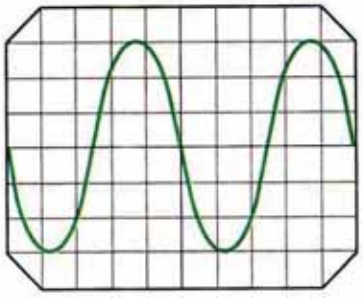
Les voltmètres utilisés en alternatif fournissent la valeur de la tension efficace entre les deux points où ils sont branchés. La tension efficace est notée U.

L'oscilloscope permet de mesurer la valeur maximale U_m d'une tension.

Par exemple une tension efficace de valeur U = 220 V a une valeur maximale $U_m = \sqrt{2}$ x220 V

Soit U_m = 310 V.

Exercice d'application : Avec un générateur basse fréquence, on applique, entre l'entrée Y_A d'un oscilloscope et sa masse, une tension alternative sinusoïdale u, on obtient l'oscillogramme de la figure suivante.



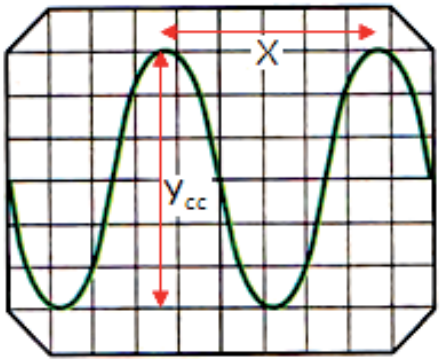
Les réglages de l'oscilloscope sont
- vitesse de balayage : 0,1 ms.cm^{-1}
- sensibilité verticale : 2 V.cm^{-1}

1) Quelle est la valeur de la tension crête à crête U_{cc} ?
En déduire la tension maximale U_m et la tension efficace U.

2) Quelle est la valeur de la période T de la tension ?
En déduire sa fréquence f.

Solution

1) - Valeur de la tension crête à crête U_{cc}



$$U_{cc} = s_V.Y_{cc}$$

A.N. : Y_{cc} = 6 cm s_V = 2 V.cm^{-1} **U_{cc} = 6x2 = 12 V**

-

- **Valeur de la tension maximale U_m**

$$U_m = \frac{U_{cc}}{2}$$

A.N. : $U_m = \frac{12}{2}$ **U_m = 6 V**

-Valeur de la tension efficace U

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

A.N. : $U = \frac{6}{\sqrt{2}}$ **U = 4,24 V**

2) -Période T de la tension

$$T = s_B.X$$

T correspond à X = 5 cm.

A.N. : s_B = 0,1 ms.cm^{-1} et X = 5 cm T = 5x0,1 = 0,5 ms soit **$T = 5.10^{-4}$s**

-Fréquence f de la tension

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

A.N. : $f = \frac{1}{5.10^{-4}}$ **f = 2000 Hz**

5- Dangers du courant électrique – mesures de sécurité

5.1- les dangers du courant électrique

Le courant électrique peut présenter plusieurs dangers : électrocution, incendies, ….–L'électrocution résulte du passage d'un courant trop intense dans le corps humain. Les risques qu'il présente vont de la brûlure (électrisation) à la mort.

D'une manière générale, une tension supérieure à 24 V peut être dangereuse.

Remarque : Les risques sont plus importants dans les milieux humides (Salle de bain , après la pluie…. par exemple).

5.2 - Quelques mesures de sécurité

Les précautions élémentaires suivantes peuvent s'avérer utiles

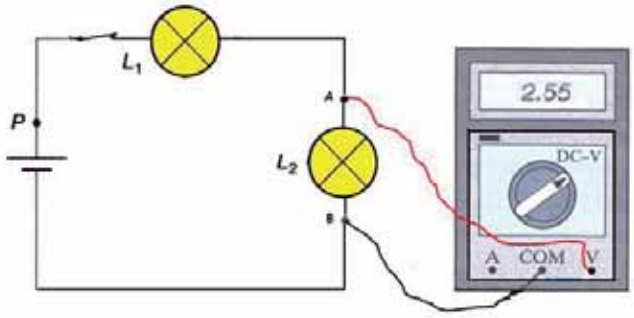
- Ne jamais utiliser un appareil électrique lorsqu'une partie du corps est immergée dans l'eau.
- Ne jamais laisser traîner une « rallonge » sous tension.
- Ne jamais dépanner une installation sans couper le courant au disjoncteur.
- Remplacer tout cordon d'alimentation en mauvais état.
- Installer des prises de sécurité ou des cache-prise pour protéger les jeunes enfants.

Dossier documentaire 1 : Le multimètre utilisé en voltmètre

La tension entre les bornes d'un dipôle peut être aussi mesurée avec un **multimètre.**

Dans le montage ci-dessous, le multimètre est branché en dérivation (parallèle) aux bornes A et B de la lampe L_2.
Avec le branchement A → V et B → COM, le multimètre mesure la tension U_{AB} positive.
Avec le branchement B → V et A → COM, le voltmètre affiche une tension négative.

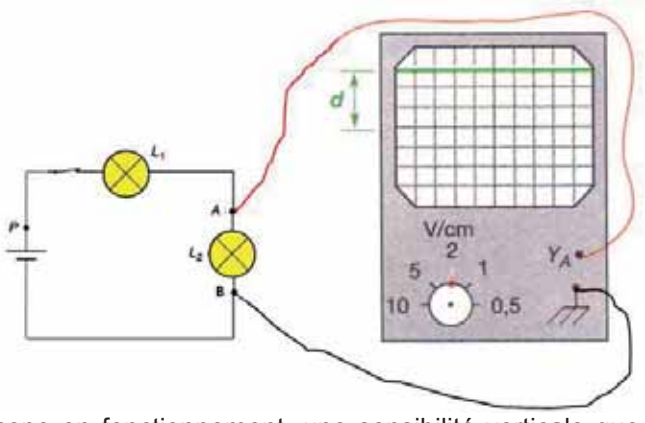
La tension est une grandeur algébrique : $U_{AB} = - U_{BA}$



- Placer le sélecteur sur V (en courant continu)
- Choisir le calibre
- La borne COM est reliée au (-) du générateur.
- La borne V est reliée au (+) du générateur.

Dossier documentaire 2 : Mesure d'une tension électrique avec un oscilloscope

On utilise un oscilloscope dont la trace lumineuse est initialement au milieu de l'écran. On relie le point A à l'entrée Y de l'oscilloscope et le point B à la masse M. La ligne lumineuse se déplace de d (cm).
Il est possible de mesurer le déplacement de la ligne lumineuse, l'écran étant quadrillé en centimètres, on obtient assez facilement la valeur de d en cm (attention : chaque cm est divisé en 5 parties égales, chacune de ces parties représente donc 0,2 cm).



Il existe, pour un oscilloscope en fonctionnement, une sensibilité verticale que nous noterons s_V. Cette grandeur indique la tension qui produit, sur l'écran de l'oscilloscope, un déplacement de la ligne lumineuse de 1 cm. Exemples : 2 V par cm qui s'écrit 2 $V.cm^{-1}$. Il est possible de changer très facilement, grâce au sélecteur, de sensibilité verticale.

$U = s_V x d$	**U : tension en volts (V)** **s_V : sensibilité verticale ($V.cm^{-1}$)** **d : déplacement (cm)**

Dans cet exemple :

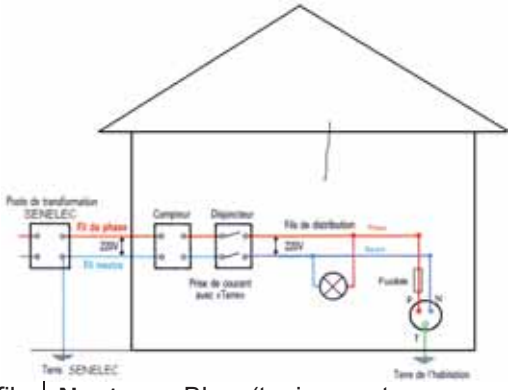
- la sensibilité verticale $s_V = 2\ V.cm^{-1}$
- le déplacement d = 3 cm

La tension mesurée vaut : U = 2x3 = 6 V

Dossier documentaire 3 : Les dangers du courant Electrique et mesures de sécurité

Un poste de transformation de SENELEC alimente en 220V une installation domestique par deux fils de ligne : **la phase et le neutre**.
Le compteur enregistre la consommation électrique et permet sa facturation par SENELEC.
Le disjoncteur joue le rôle d'un double interrupteur sur les deux fils de distribution.
Les appareils sont branchés en dérivation directement ou par l'intermédiaire d'une prise de courant sur ces deux fils de distribution. Dans chaque pièce d'une habitation, les prises de courant et les appareils fixes (éclairage, chauffe-eau) sont alimentés par des lignes secondaires protégées par un fusible en série sur le fil de phase.

Pour diverses raisons (protection de la ligne contre la foudre,...) SENELEC relie le fil neutre à la terre (symbole ⏚) avant de faire parvenir l'électricité chez les utilisateurs. **Toute installation doit comporter obligatoirement une «terre» : gros conducteur de cuivre enfoui dans les fondations de l'habitation, toutes les «fiches de terre » des prises de courant y sont reliées pour des raisons de sécurité.**



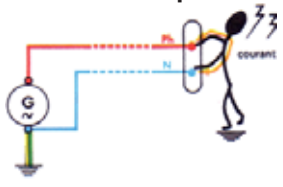
Dans une installation domestique, les trois fils du câble électrique utilisent généralement un code de couleur.

Neutre = Bleu (toujours et aucune autre couleur tolérée)
Terre = Jaune et Vert (idem, pas d'autre couleur possible)
Phase = Rouge, Orange, violet, Marron, Noir etc. (sauf bien sûr bleu ou jaune et vert)

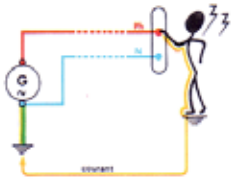
L'électricité est produite dans des centrales électriques. Elle est transportée à très haute tension (THT) 400 000 V ou 400 kV au départ des centrales, puis abaissée progressivement jusqu'à 220 V grâce à des transformateurs.

Dangers pour les personnes
L'électrocution (mort)
L'électrisation (brûlures…..)

Risques d'électrocution



Entre la phase et le neutre



Entre la phase et la terre

Dangers pour les matériels
L'incendie
La destruction
La surcharge de l'installation
De trop nombreux appareils fonctionnant simultanément entraînent une surintensité dans les fils de distribution.

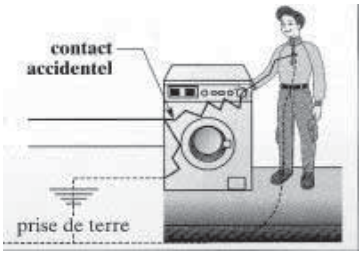
<u>Un court-circuit</u> se produit lorsque le fil de phase touche le neutre ou la terre.

Si des fils sont accidentellement dénudés, un contact peut s'établir directement, ou par l'intermédiaire de la terre, entre la phase et le neutre : l'intensité du courant devient très grande, provoque l'échauffement des conducteurs et peut provoquer un incendie.

Bien que mauvais conducteur, le corps humain est en danger de mort dès qu'un courant de 30 mA le traverse.

Protection pour les personnes

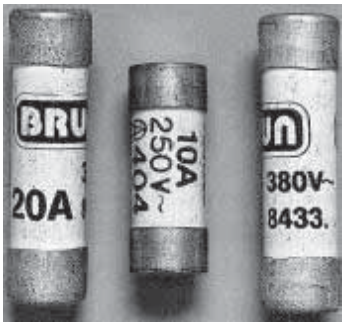
La prise de terre : Lorsque le fil de phase touche la carcasse d'un appareil, une partie du courant est évacuée vers le sol par ce fil.



Le disjoncteur différentiel (de 30 mA) est placé en tête de circuit. Il compare la différence d'intensité du courant entre le fil de phase et le neutre. Dès qu'il détecte un écart supérieur à 30 mA (intensité dangereuse pour l'homme) c'est qu'il y a une « fuite » de courant dans le circuit et le disjoncteur coupe le courant.

Protection pour les matériels

Les fusibles : Si l'intensité du courant qui le traverse est supérieure à la valeur indiquée dessus, il fond et donc coupe le circuit.



Fusibles

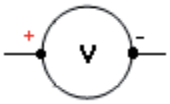
Disjoncteur différentiel

Ce type de fusibles sont généralement utilisés dans les disjoncteurs à maximum de courant. Si l'intensité du courant devient trop grande (à partir d'une certaine valeur fixée par le contrat SENELEC-usager), il coupe le courant.

La protection des circuits de chaque pièce est assurée par des fusibles, celle de l'ensemble de l'installation est assurée par un disjoncteur.
Le coupe-circuit à fusible doit être placé sur le fil de phase, le plus près possible du compteur. Un interrupteur se place toujours sur le fil de phase.

L'ESSENTIEL DU COURS

- L'appareil qui permet de mesurer la tension électrique est le voltmètre. Son symbole est donné ci-contre.



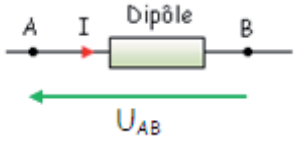
- L'unité internationale de tension électrique est le volt (symbole : V).
  On utilise les multiples et sous-multiples du volt.

le kilovolt	1kV = 10^{3} V
le millivolt	1 mV = 10^{-3} V
le microvolt	1 μV = 10^{-6} V

- La tension est une grandeur de nature algébrique : $U_{PN} = - U_{NP}$

- Un voltmètre se place en dérivation alors qu'un ampèremètre se branche en série.

- Dans la convention récepteur, la tension U_{AB} est représentée par une flèche allant de B vers A alors que celle représentant le courant est de sens inverse.



Représentation de la tension U_{AB}

La flèche représentant U_{AB} va de B vers A.

- loi d'additivité des tensions : La tension aux bornes de l'association en série de plusieurs dipôles est égale à la somme des tensions aux bornes de chaque dipôle.
- loi d'unicité : La tension est la même aux bornes de plusieurs dipôles (d'un même circuit) montés en dérivation.
- La tension efficace U et la tension maximale U_m sont reliées par la relation : $U_m = U\sqrt{2}$
- La fréquence f d'une tension alternative est liée à période T par : $f = \frac{1}{T}$
- Le courant électrique peut présenter plusieurs dangers. Il est alors indispensable de prendre les mesures de sécurité nécessaires lors de sa manipulation.

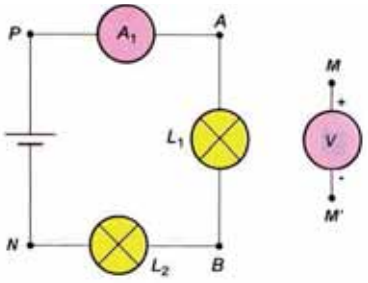
EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Questions de cours

a) Quel appareil permet de mesurer la tension électrique ? préciser son mode de branchement.
b) Quelle est l'unité de tension électrique ?
c) On applique, entre l'entrée d'un oscilloscope et la masse, une tension continue U le spot se déplace vers le bas. Quel est le signe de la tension ?
e) Quelle différence y a-t-il entre une tension continue et une tension variable ?
f) Donner un exemple de tension périodique. Une tension variable est-elle toujours périodique ?
g) Définir la période d'une tension périodique.
Quelle est la relation qui lie la période et la fréquence ?
h) Qu'est-ce que la tension crête à crête U_{cc} d'une tension sinusoïdale ?
i) Quelle relation y a-t-il entre la valeur maximale U_m et la valeur efficace U d'une tension alternative sinusoïdale ?

2 L'appareil de mesure utilisé est un voltmètre à aiguille.

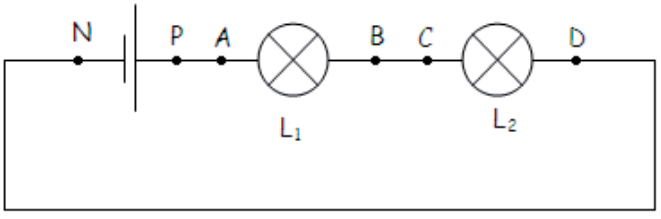


1) Indiquer les connexions à réaliser pour mesurer la tension aux bornes de la lampe L_1 avec le voltmètre.
2) Représenter la flèche symbolisant la tension U_{BN}.
3) Quel est le signe de tension U_{NP} ?

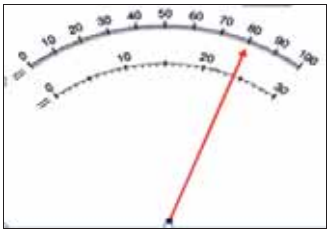
Applications directes du cours

3 Un voltmètre numérique est utilisé pour mesurer les tensions U_{PN} et U_{CD}.

U_{PN} = 6 V et U_{CD} = 4 V.
Calculer la tension U_{AB}.



4 La figure ci-contre représente le cadran d'un voltmètre branché dans un circuit parcouru par un courant continu. Les calibres suivants peuvent être lus sur le cadran : 1V, 10V, 30V,100V, 300V.



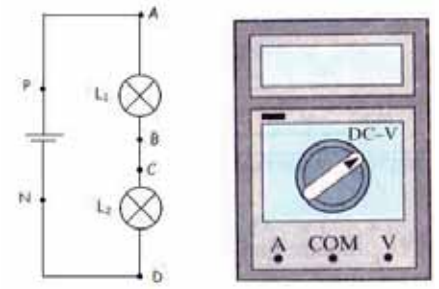
1) Le calibre utilisé est 30 V. Déterminer la valeur de la tension U mesurée par le voltmètre.
2) On veut mesurer une tension de 5V. Quel est le calibre le mieux adapté ? quelle est la graduation indiquée par l'aiguille du voltmètre ?

5 On réalise le montage de la figure ci-contre.

On mesure, à l'aide d'un voltmètre : U_{AO} = 7 V, U_{CO} = 5 V, U_{AB} = 15 V.
Déterminer la valeur des tensions : U_{AC}, U_{BO} et U_{BC}.

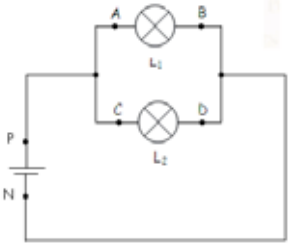
6 Soit la figure ci-contre.

1) Reproduire le schéma de la figure et placer le voltmètre permettant de mesurer la tension U_{CD}. Comment est-il monté ?
2) Représenter la tension U_{CD} par un segment fléché.
3) On donne : $U_{AB} = 2$ V et $U_{DC} = -4$ V. Calculer U_{PN}.



7 On considère le montage ci-contre.

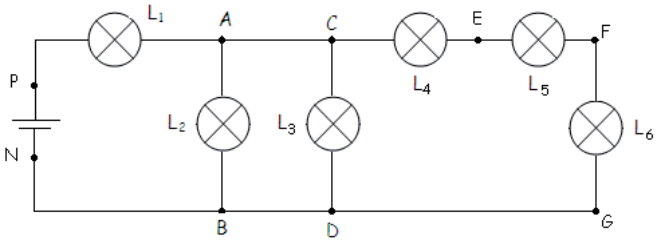
On mesure la tension U_{DC}. On trouve $U_{DC} = -4{,}5$ V.
Calculer les tensions U_{AB} et U_{PN}.



8 On considère le circuit suivant.

On connaît les tensions suivantes :
$U_{PN} = 10$ V, $U_{AB} = 3{,}5$ V, $U_{CE} = 1{,}5$ V ,
$U_{FG} = 1{,}0$ V.

Calculer les tensions U_{CD}, U_{CF}, U_{DE} et U_{FE}.

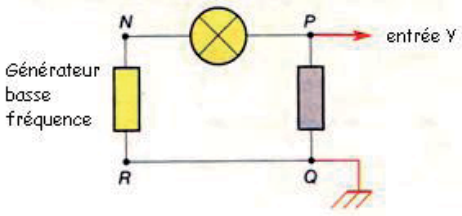


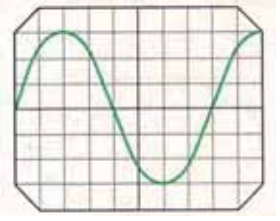
Utilisation des acquis

9 On réalise le montage de la figure suivante.

L'oscillogramme obtenu est donné ci-contre.
Les réglages de l'oscilloscope sont :

- vitesse de balayage : 2 ms.cm-1
- sensibilité verticale : 5 V.cm-1





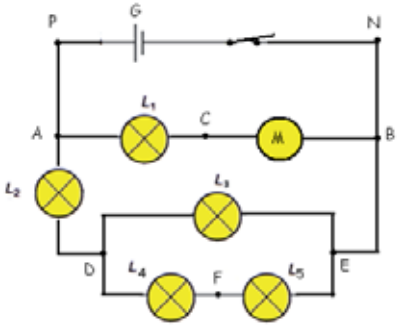
1) De quel type de tension s'agit-il ?

2) Quelle est la valeur de la période T de la tension ? En déduire sa fréquence f.
3) Quelle est la valeur de la tension maximale U_m ? En déduire la tension efficace U.

10 On considère le circuit suivant.

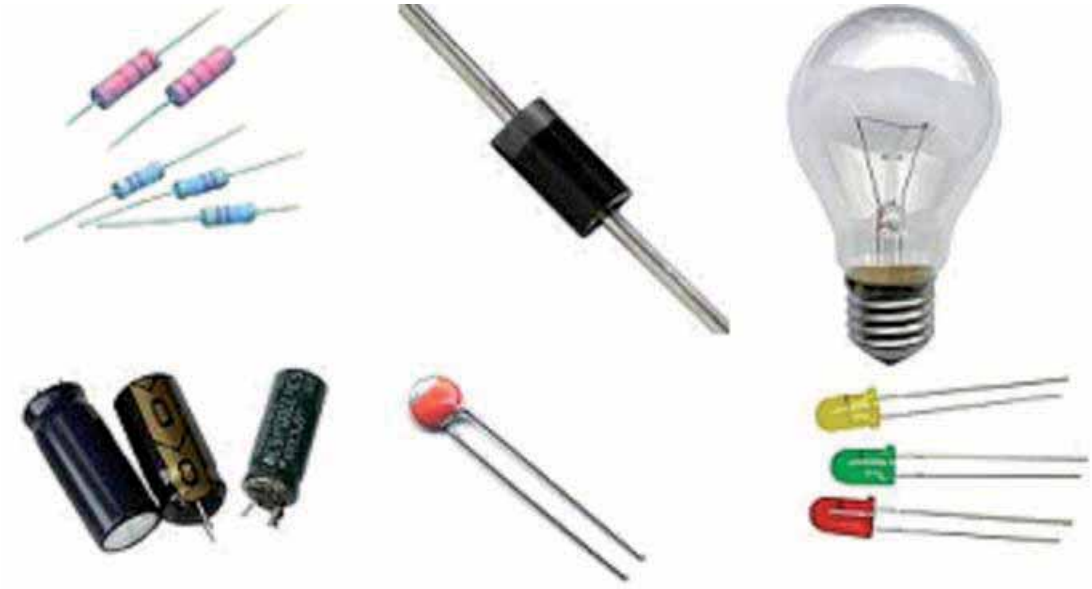
On connaît les tensions suivantes : $U_{PN} = 15$ V, $U_{CB} = 5$ V, $U_{DE} = 7$ V, $U_{DF} = 3$ V.

Déterminer les tensions : U_{AC}, U_{AD} et U_{FE}.



PHYSIQUE

CHAPITRE 5 : DIPOLES PASSIFS



Où trouve-t-on ces composants ? A quoi servent-ils ?

OBJECTIFS

- Distinguer dipôles passifs et dipôles actifs
- Utiliser la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique
- Utiliser les lois d'association des résistors
- Utiliser la relation $R = \rho L/S$
- Reconnaître les caractéristiques de quelques dipôles passifs.
- Prendre des mesures de sécurité liées au fonctionnement des dipôles

PLAN DU CHAPITRE

1. Généralités sur les dipôles
2. Etude d'un dipôle passif linéaire : le résistor
3. Etude d'un dipôle passif non linéaire : la diode à jonction

1- Généralités sur les dipôles

1.1- Dipôle électrique

Le **dipôle électrique** est un conducteur électrique possédant **deux bornes**. Exemples : résistors, piles, lampes, moteurs électriques, diodes, condensateurs, alimentations stabilisées, générateurs de signaux,...).

1.2 – Classification des dipôles : dipôles passifs et dipôles actifs

Activité 1

Mesurer la tension aux bornes de chacun des dipôles suivants (résistor, lampe, pile, électrolyseur)

Résultats de l'expérience

Dipôle	Résistor	Lampe	Pile	Electrolyseur
Tension à vide (en V)	0	0	1,3	0,0

Observations

- La tension de la pile n'est pas nulle en circuit ouvert.
- La tension aux bornes des autres dipôles (résistor, lampe, électrolyseur) est nulle en circuit ouvert.

Conclusion

La pile est un dipôle actif.

Le résistor, la lampe, l'électrolyseur sont des dipôles passifs.

Définitions

Un dipôle est dit passif si, en circuit ouvert, la tension à ses bornes est nulle. Exemples de dipôles passifs : résistor, lampe, électrolyseur, moteur etc.

On appelle dipôle actif tout dipôle capable de débiter un courant. Exemples : piles, alimentations stabilisées, générateurs de signaux, …

Remarque : Tout dipôle qui a une tension à vide non nulle n'est pas forcément un dipôle actif. Exemples : les diodes et les transistors sont des dipôles passifs à tension à vide non nulle.

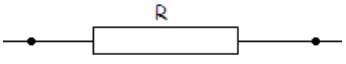
2 – Etude d'un dipôle passif linéaire : Le résistor

2.1 – Description et représentation du résistor

La photo ci- contre est celle d'un résistor type radio, il a une forme quasi-cylindrique et se présente avec des bagues de couleurs (anneaux) autour de celui-ci (Doc. 4).

Doc. 4 Exemple de résistor

La représentation symbolique d'un résistor est indiquée ci-contre (Doc 5):



Doc. 5 Représentation symbolique d'un résistor

2.2- Un exemple de montage : le montage potentiométrique

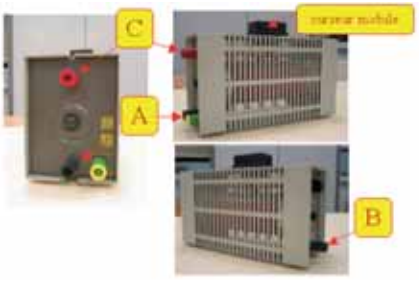
Un rhéostat est constitué d'un fil électrique bobiné, d'un curseur (lame métallique que l'on peut déplacer et qui est en contact avec le fil électrique bobiné) et de trois bornes A, B et C.

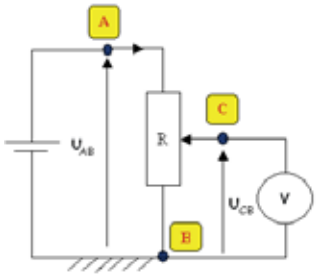
Expérience 1

- Réaliser le circuit du schéma ci-contre (Doc. 3)
- Mesurer la tension U_{AB}

- Déplacer le curseur C d'un bout à l'autre du rhéostat et mesurer la tension U_{CB}

- Vérifier que U_{CB} est une tension continue variable.





Doc. 3 : montage potentiométrique

Résultats

U_{AB} = 12 V, U_{CB} est comprise entre 0 V et 12 V.

Conclusion

Le "montage potentiométrique" permet, à partir d'une tension continue fixe, d'avoir une tension continue réglable.

2.3- Caractéristique courant-tension (I, U) ou U = f(I) d'un résistor

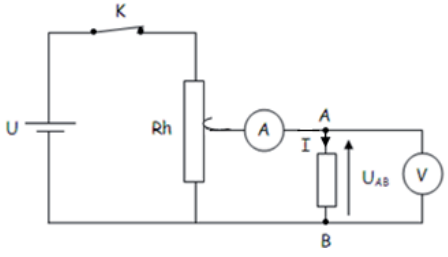
Expérience 2

Réaliser le montage de la figure ci-contre. (Doc. 6).

Déplacer le curseur du rhéostat et noter dans un tableau les différentes indications du voltmètre et de l'ampèremètre.

Tracer, en choisissant une échelle appropriée, la courbe donnant les variations de la tension U_{AB} en fonction de l'intensité I.

Quelle est la nature de la courbe ? Déterminer sa pente (coefficient directeur).



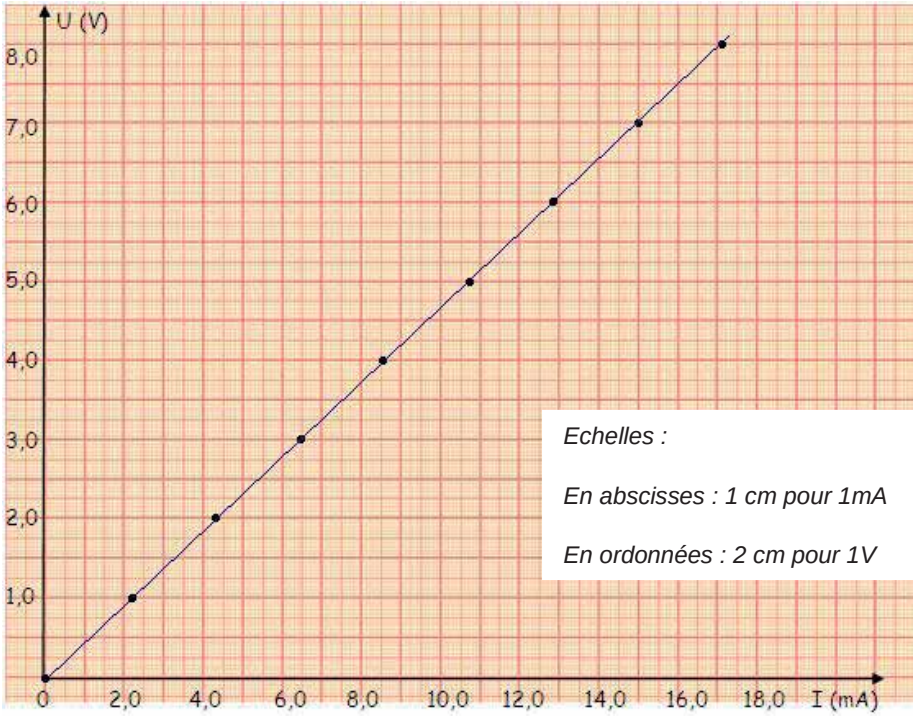
Doc 6. Utilisation du montage potentiométrique pour l'étude de la caractéristique du résistor

- **Tableau de mesures**

En déplaçant le curseur, on a obtenu les résultats rassemblés dans le tableau ci-dessous :

U_{AB} (V)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
I (mA)	0,0	2,2	4,3	6,5	8,6	10,7	12,9	15,0	17,2

- **Tracé de la caractéristique intensité-tension (I, U) ou U = f(I)**



La caractéristique représentant la tension U_{AB} en fonction de l'intensité I est une droite passant par l'origine et de coefficient directeur a.

$a = \Delta U / \Delta I = (7,0 - 0,0)/(15,0.10^{-3} - 0,0) = 4,7.10^{2}$ S.I

2-2-1 Résistance R d'un résistor

La pente de la droite U_{AB} = f(I) appelée résistance est une caractéristique du résistor. On la note généralement R.

Dans le système international (SI) d'unités, la résistance s'exprime en ohms (Ω) du nom du physicien allemand Georg Ohm (1789-1854).

Pour l'expérience précédente $R= 4,7.10^{2}$ Ω

On utilise aussi les sous-multiples et multiples de l'ohm :

Le microhm	**1 μΩ = 10^{-6} Ω**
Le milliohm	**1 mΩ = 10^{-3} Ω**
Le kilohm	**1 kΩ = 10^{3} Ω**
Le mégohm	**1 MΩ = 10^{6} Ω**

2.2.2 - Conductance G d'un résistor

L'inverse d'une résistance est une conductance, elle se note, en général, **G**.

G =1/R	• **G en siemens (S) ou (Ω^{-1})** • **R en ohms (Ω)**

L'unité S.I. de conductance porte le nom de siemens (S) ou Ω^{-1}.

2.3- Loi d'Ohm pour un résistor

2.3.1- Enoncé de la loi d'Ohm pour un résistor

La tension U entre les bornes d'un résistor est proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse. Le coefficient de proportionnalité R est la résistance du résistor

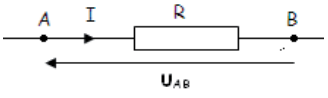
U = R.I	• **U : tension en volts (V)** • **R : résistance en ohms (Ω)** • **I : intensité en ampères (A)**

NB : Tous les dipôles qui, comme le résistor, obéissent à la loi d'Ohm $\mathbf{U_{AB} = R.I}$ sont appelés **conducteurs ohmiques**.

2.3.2- Convention récepteur

On étudie généralement les dipôles passifs avec la convention récepteur.

Dans la convention récepteur (Doc. 7) : les flèches symbolisant l'intensité du courant et la tension positive aux bornes du dipôle sont en sens inverses.



Doc. 7 : Convention récepteur $U_{AB} > 0$

2.4- Limites de fonctionnement et mesures de sécurité

Il ne faut pas soumettre un dipôle passif à n'importe quelle valeur de tension au risque de le détériorer. Il faut respecter les indications données par le constructeur.

2.5- Mesure pratique d'une résistance

2.5.1- Mesure d'une résistance à l'aide d'un multimètre utilisé en ohmmètre

Activité 2

- Brancher un multimètre aux bornes A et B du résistor étudié précédemment en l'absence de courant et isolé du circuit (Doc. 8), A relié à la borne notée V/Ω et B relié à la borne notée COM.
- Placer le sélecteur dans la zone Ω sur le plus grand calibre.
- Lire la valeur indiquée.
- Pour une mesure plus précise, choisir le calibre le mieux adapté.

Doc. 8 Utilisation d'un multimètre en ohmmètre

Résultat

Le multimètre affiche la valeur **R = 0,009 MΩ.**
Autrement dit **R = 9 kΩ**

Puisque la valeur de la résistance est de l'ordre de 9 kΩ, on peut adopter le calibre 20 kΩ.

On lit alors : **R = 9,93 kΩ**

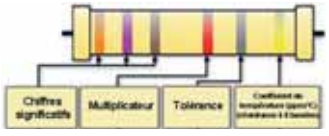
Le calibre suivant (2 kΩ) est inférieur à la valeur de R. Nous ne pourrons donc pas l'utiliser.

2.5.2- Utilisation du code de couleurs

2.5.2.1- Présentation du code des couleurs

On peut voir sur un résistor des anneaux de couleur. Chaque couleur correspond à un chiffre (voir Doc.9). La correspondance entre les chiffres et les couleurs des anneaux constitue ce qu'on appelle le **code des couleurs,** il permet de déterminer la **valeur en ohms d'une résistance**. Pour déterminer cette valeur, il faut d'abord placer le résistor dans le bon sens. En général, le résistor a un anneau doré ou argenté, qu'il faut placer **à droite**. Dans d'autres cas, c'est l'anneau le plus large qu'il faut placer à droite.

Il existe **des résistors** à 4, 5 ou 6 anneaux. Pour les résistors à 5 et 6 anneaux, les trois premiers anneaux donnent les **chiffres significatifs**, le quatrième donne le **multiplicateur** (la puissance de 10 avec laquelle il faut multiplier la valeur indiquée par les chiffres significatifs). Pour les résistors à 4 anneaux, les deux premiers anneaux sont les chiffres significatifs et le troisième est le multiplicateur. (voir Doc. 9)



Résistor à six anneaux

Couleurs	Chiffre 1	Chiffre 2	Chiffre 3	Puissance de 10	Tolérance
Noir	0	0	0	0	20%
Marron	1	1	1	1	1%
Rouge	2	2	2	2	2%
Orange	3	3	3	3	
Jaune	4	4	4	4	
Vert	5	5	5	5	
Bleu	6	6	6	6	
Violet	7	7	7	7	
Gris	8	8	8	8	
Blanc	9	9	9	9	
Argent				-2	10%
Or				-1	5%

Doc. 9 : code des couleurs

A chaque couleur correspond un chiffre :

0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**

le marquage indique :

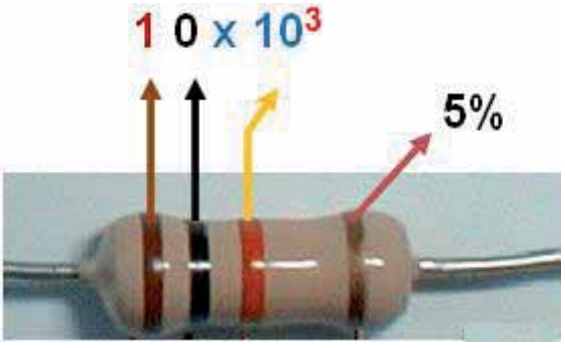
R = 10 × 103 Ω à 5% près.

soit : R = 10 kΩ à 5% près.

5% de 10 kΩ = 0,5 kΩ.

La résistance R est donc comprise dans l'intervalle :

9,5 kΩ ≤ R ≤ 10,5 kΩ



(marron - 1, Noir – 0, Orange – 3, , Or - 5%)

Le résultat de la mesure **R = 9,93 kΩ** est bien compatible avec le marquage. On pourra finalement écrire : **R ≈ 9,9 kΩ**

2.6- Association de résistors

2.6.1- Association en série

Activité 3

Avec un ohmmètre, déterminer la résistance aux bornes de chacun des résistors R_1, R_2 et R_3 puis de leurs associations.

Pour chaque association, comparer la valeur obtenue avec celle de la somme des résistances des résistors associés. Conclure.

Résultats et exploitation

Résistor			
Valeur (Ω)	10	15	33

(R_1, R_2)	**(R_1, R_3)**
(R_2, R_3)	**(R_1, R_2, R_3)**

Association de résistors	(R_1, R_2)	(R_1, R_3)	(R_2, R_3)	(R_1, R_2, R_3)
Valeur (Ω)	25	43	48	58

Doc. 10 Tableau de valeurs

Conclusion

On constate que la valeur obtenue aux bornes d'une association est égale à la somme des résistances des résistors associés.

Il est donc possible de remplacer plusieurs résistors associés **en série** par un résistor unique, appelé **résistor équivalent de résistance R_{eq}.**

Généralisation

Pour une association de résistors en série, la résistance équivalente est égale à la somme des résistances.

Si n est le nombre de résistors associés en série, on a : $\mathbf{R_{éq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n}$.

Remarque : Pour n résistors identiques de résistance R on a : $R_{éq} = nR$.

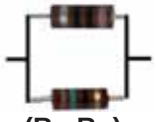
2.6.2- Association en parallèle

Activité 4

- Avec un ohmmètre, déterminer la résistance aux bornes de chacun des résistors R_1, R_2 et R_2 et de leurs associations comme le montre les figures du tableau du Doc. 11.
- Pour chaque association, comparer l'inverse de la valeur obtenue avec celle de la somme des inverses des résistances des résistors associés. Conclure.

Résultats et exploitation

Résistor			
Valeur (Ω)	10	15	33

 **(R_1, R_2)**	**(R_1, R_3)**	**(R_2, R_3)**	**(R_1, R_2, R_3)**

Association de résistors	**(R_1, R_2)**	**(R_1, R_3)**	**(R_2, R_3)**	**(R_1, R_2, R_3)**
Valeur (Ω)	6,1	7,7	10,3	5,1

Doc. 10 Tableau de valeurs

Conclusion

On constate que l'inverse de la valeur obtenue aux bornes d'une association est égale à la somme des inverses des résistances des résistors associés.

Il est donc possible de remplacer plusieurs résistors associés **en série** par un résistor unique, appelé **résistor équivalent de résistance R_{eq}.**

Généralisation

Pour une association de résistors en parallèle, l'inverse de la résistance équivalente (la conductance équivalente $G_{éq}$) est égale à la somme des inverses des différentes résistances (la somme des conductances).

Si n est le nombre de résistors associés en parallèle, l'inverse de la résistance équivalente est donnée par :

$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \ldots\ldots + 1/R_n$$

Ou encore : $$G_{éq} = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots\ldots\ldots + G_n$$

Remarque 1 : Pour n résistors identiques de résistance R : $1/R_{éq} = n/R$ d'où $R_{eq} = R/n$

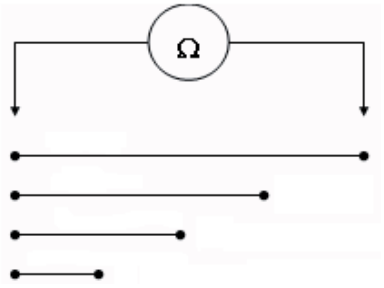
Remarque 2 : Pour une association en parallèle, la résistance $R_{éq}$ est plus petite que la plus petite des résistances.

Remarque 3 : Pour deux résistors de résistances R_1 et R_2 en parallèle, on a : $R_{éq} = R_1.R_2/(R_1+R_2)$

Attention : La formule précédente $R_{éq} = R_1.R_2/(R_1+R_2)$ est valable **uniquement pour deux résistances**.

2.7 - Résistance d'un fil métallique homogène de section constante

Activité 5



Doc 12-a

De quoi dépend la résistance électrique d'un matériau ?

On dispose de cinq fils de nichrome, d'un fil de cuivre et d'un fil de ferronickel même diamètre mais de longueurs L différentes longueurs et différentes sections de fil fixés sur une planche.

(Doc 12-a)

- Mesurer avec un ohmmètre la résistance de chaque fil.
- Calculer le rapport R/L pour chaque fil. Conclure

Résultats et exploitation

Nature du fil étudié	**nichrome**	**nichrome**	**nichrome**	**nichrome**
Longueur (cm)	50	75	100	100
diamètre (mm)	0,2	0,2	0,2	0,5
Résistance mesurée (Ω)	17 Ω	25 Ω	34 Ω	5 Ω
R/L	34,0	33,3	34,0	50 ,0

Nature du fil étudié	**nichrome**	**Cuivre**	**Ferronickel**
Longueur (cm)	100	100	100
diamètre (mm)	0,7	0,2	0,2
Résistance mesurée (Ω)	2,6 Ω	0,1 Ω	4,6 Ω
R/L	26,0	1,0	23,0

Conclusion

- Outre la nature du matériau, la résistance électrique dépend de la longueur et de la section du matériau :
  - La résistance augmente lorsque longueur du matériau augmente,
  - La résistance diminue lorsque la section du matériau augmente.

- **La résistance d'un fil est proportionnelle à sa longueur**.
- **La résistance R d'un fil est inversement proportionnelle à sa section S.**

Généralisation

La résistance d'un conducteur homogène de section constante est :

- **proportionnelle à sa longueur L**
- **inversement proportionnelle à sa section S et dépend de la nature du conducteur par un facteur ρ appelé sa résistivité.**

R = ρL/S	• **R : Résistance du fil en ohms (Ω)** • **ρ : résistivité du métal en (Ω.m)** • **L : longueur du fil en mètres (m)** • **S : section du fil en (m^2)**

3 – Etude d'un dipôle passif non linéaire : La diode à jonction

3.1– Description et représentation du composant

Les diodes à jonction (communément appelées diodes) sont des composants dissymétriques. Elles se présentent sous forme d'un petit cylindre portant un anneau d'un côté. Doc.13-a

Doc. 13-a Photo d'une diode

Le symbole d'une diode est représenté ci-contre. Doc.13-b

Doc.13-b Symbole d'une diode

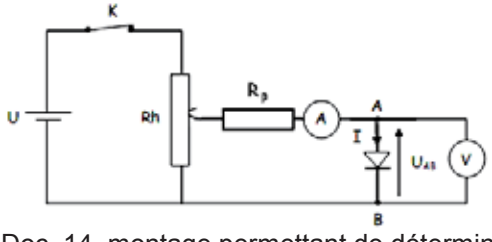
3.2- Caractéristiques tension-courant (U, I) ou I = f(U) d'une diode

Expérience 3

Réalisons le montage de la figure ci-contre Doc. 14.

Déplaçons le curseur du rhéostat et noter dans un tableau les différentes indications du voltmètre et de l'ampèremètre.

Quelle est la tension U_{AB}= U_s à partir de laquelle la diode devient conductrice ?



Doc. 14. montage permettant de déterminer la caractéristique I = f(U) d'une diode

Retournons la diode, déplaçons le curseur et notons les indications du voltmètre et de l'ampèremètre.
Attention : Prendre des tensions comprises entre les valeurs -0,8 V et + 1,2 V.
Traçons la courbe I = f(U_{AB})

Analysons l'allure de la courbe.
Quelle conclusion pouvons-nous en tirer ?

- **Tableaux de mesures**

- Avec la diode, on a obtenu les résultats rassemblés dans le tableau ci-dessous :

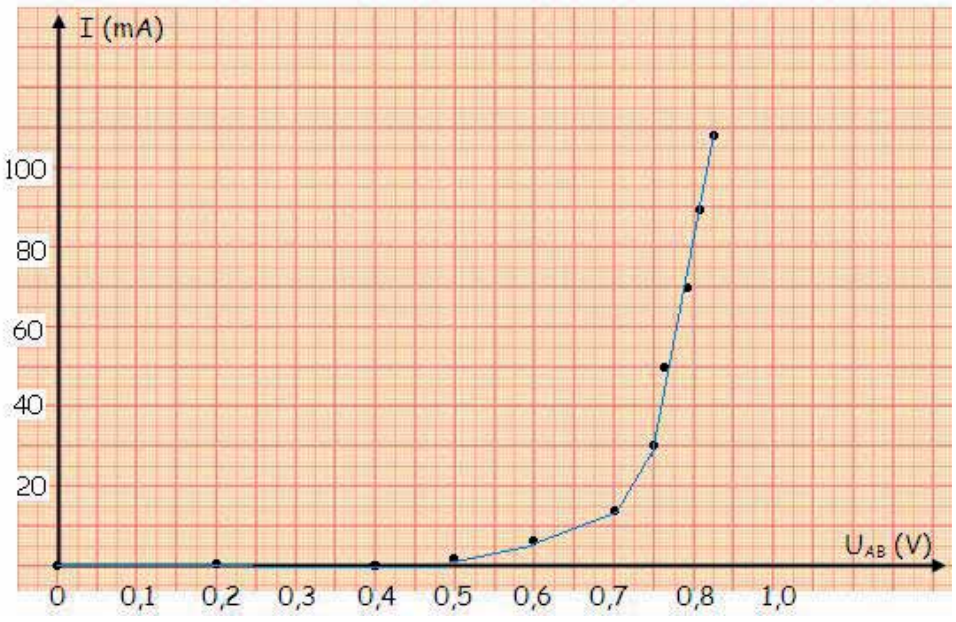
U_{AB} (V)	0,00	0,20	0,40	0,50	0,60	0,70	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83
I (mA)	0	0	0	1	3	12	30	50	70	89	108

- La tension U_{AB} = Us = 0,5V

- Avec la diode retournée, on a obtenu les résultats rassemblés dans le tableau ci-dessous :

U_{AB} (V)	- 0,20	-0,40	-0,50	-0,60	-0,70	-0,75
I (mA)	0	0	0	0	0	0

Tracé de la caractéristique tension-intensité (U, I) ou I = f(U)



Exploitation

Analyse de la courbe :

- pour $U_{AB} < 0$, l'intensité du courant est nulle,
- pour $0 < U_{AB} < 0,5$ V, l'intensité du courant reste nulle,
- à partir de $U_{AB} = U_s = 0,5$ V la diode commence à conduire, l'intensité du courant croît.

Conclusion

La caractéristique représentant l'intensité $I = f(U_{AB})$ n'est pas linéaire.
La diode ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens, $U_{AB} > 0$.
La diode est conductrice à partir de la valeur de la tension $U_{AB} = U_s = 0,5$ V

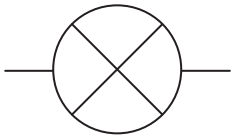
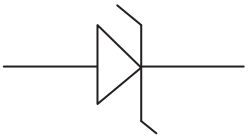
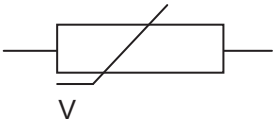
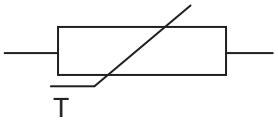
Généralisation

- En direct (U_{AB}›0), une diode est **montée dans le sens** passant. Elle ne commence à conduire qu'à partir d'une tension U_s dite tension seuil.
- En inverse ($U_{AB} < 0$), une diode ne laisse pas passer le courant. Elle est montée dans le sens bloquant.

3.3- Limites de fonctionnement et mesures de sécurité

La diode étudiée est une diode au silicium, l'intensité limite est I_m = 120 mA. Au-delà de cette limite la diode est détruite. On protège la diode en plaçant dans le circuit une résistance dite de protection. Les diodes sont utilisées, entre autres, pour le redressement d'un courant alternatif.

3.4 – Autres dipôles passifs non linéaires

Lampe	Diode Zener	Varistance (VDR)	Thermistance (TDR)
			

L'ESSENTIEL DU COURS

- Le **dipôle électrique** est un conducteur électrique possédant deux bornes.
- Un dipôle est dit passif si, en circuit ouvert, la tension à ses bornes est nulle.
- On appelle dipôle actif tout dipôle capable de débiter un courant.
- Pour une association de résistors en série, la résistance équivalente est égale à la somme des résistances.
  Si n est le nombre de résistors associés en série, on a : $\mathbf{R_{éq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n}$.

  Remarque : Pour n résistors identiques de résistance R on a : $R_{éq} = nR$.

- Pour une association de résistors en parallèle, l'inverse de la résistance équivalente (la conductance équivalente $\mathbf{G_{éq}}$) est égale à la somme des inverses des différentes résistances (la somme des conductances).
  Si n est le nombre de résistors associés en parallèle, l'inverse de la résistance équivalente est donnée par :

$$\mathbf{1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \ldots\ldots + 1/R_n}$$

  Ou encore : $\mathbf{G_{éq} = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots\ldots\ldots + G_n}$

- La résistance d'un conducteur homogène de section constante est :
- proportionnelle à sa longueur L
- inversement proportionnelle à sa section S et dépend de la nature du conducteur par un facteur ρ appelé sa résistivité.

$\mathbf{R = \rho L/S}$	• R : Résistance du fil en ohms (Ω) • ρ : résistivité du métal en (Ω.m) • L : longueur du fil en mètres (m) • S : section du fil en (m^2)

- En direct ($U_{AB} > 0$), une diode est **montée dans le sens** passant. Elle ne commence à conduire qu'à partir d'une tension U_s dite tension seuil.
- En inverse ($U_{AB} < 0$), une diode ne laisse pas passer le courant. Elle est montée dans le sens bloquant.
- Les diodes sont utilisées, entre autres, pour le redressement d'un courant alternatif. On les protège en plaçant dans le circuit une résistance dite de protection.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Questions de cours

1.1 Qu'est-ce qu'un dipôle passif ? Citer trois exemples de dipôles passifs et donner leur représentation symbolique.
1.2 Qu'est-ce qu'un dipôle actif ? Citer un exemple de dipôle actif et donner sa représentation symbolique.
1.3 Dans l'étude d'un résistor, quelle(s) grandeur(s) détermine t-on à partir de sa caractéristique U = f(I) ?
1.4 Enoncer la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique puis écrire son expression.
1.5 Comment appelle-t-on la tension à partir de laquelle une diode commence à conduire ?

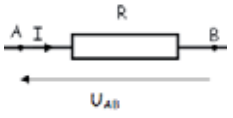
Applications directes du cours

2 Quelle est la résistance R d'un conducteur ohmique dont la tension entre ses bornes est U = 10 V et l'intensité du courant électrique qui le traverse est I = 2 mA ?

3 Quelle est la résistance R d'un fil conducteur cylindrique de diamètre d = 8 mm, de longueur L = 402 dm et de résistivité ρ = 2,50 $\mu\Omega$.m ? En déduire sa conductance G.

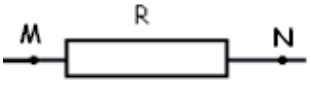
4 On dispose de dix résistors identiques ayant chacun une résistance R = 1 kΩ.
Quelle est la résistance équivalente $R_{éq}$ pour une association de ces résistors : - en série ? - en parallèle ?
En déduire, pour chacune de ces associations, la conductance équivalente $G_{éq}$.

5 Lorsqu'on applique une tension U_{AB} = 6,0 V aux bornes d'un conducteur ohmique, un courant d'intensité I = 0,5 A le traverse.



5.1 Calculer la résistance R du conducteur ohmique.
5.2 En déduire l'intensité du courant électrique qui traverse le conducteur ohmique si l'on applique une tension U_{AB} = 1,5 V à ses bornes.
5.3. En déduire la tension U_{AB} aux bornes du conducteur ohmique lorsque l'intensité du courant électrique qui le traverse est I = 120 mA.

6 Un conducteur ohmique (M, N) a une résistance R = 27 Ω.

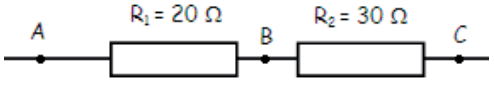


6.1 On lui applique une tension U_{NM} = 3 V
- Sur le schéma représenter le sens du courant par une flèche.
- Calculer la valeur de l'intensité de ce courant.

6.2 Calculer U_{NM} lorsqu'un courant d'intensité 100 mA traverse ce dipôle de M vers N.

Utilisation des acquis

7 On considère l'association de résistors ci-contre.

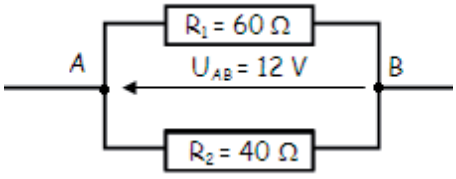


La valeur de l'intensité du courant électrique qui la traverse est I = 500mA.

7.1 Calculer U_{AB} et U_{BC}, en déduire U_{AC}.

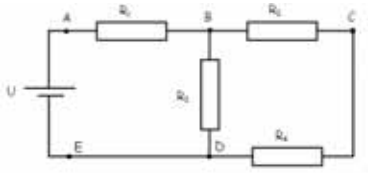
7.2 A partir de la loi d'association de résistors appropriée, calculer la résistance équivalente R_{AC} de l'association (A, C) des résistors R_1 et R_2.
7.3 En déduire la tension aux bornes A et C de cette association.
Comparer ce résultat à celui obtenu à la première question.

8 On considère l'association de résistors ci-contre.



8.1 Calculer I_1 et I_2, les intensités respectives des courants qui traversent les résistors de résistance R_1 et R_2. En déduire la valeur de l'intensité du courant arrivant au nœud A
8.2 A partir de la loi d'association de résistors appropriée, calculer la résistance équivalente R_{AB} de l'association (A, B) des résistors R_1 et R_2.
En déduire la valeur l'intensité du courant qui traverse le résistor équivalent. Comparer ce résultat à celui trouvé à la question précédente.

9 On a représenté ci-contre le schéma d'un circuit électrique constitué d'un générateur délivrant une tension U = 20 V et d'une association de quatre conducteurs ohmiques de résistances respectives : R_1 = 140 Ω , R_2 = 100Ω, R_3 = 120 Ω , R_4 = 30Ω.



9.1 Déterminer littéralement puis numériquement la résistance équivalente R_{AE} de l'association des conducteurs ohmiques de résistances R_1, R_2, R_3 et R_4

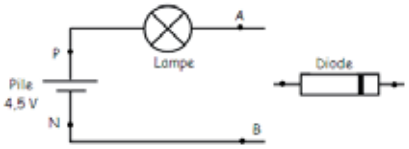
9.2 Déterminer la valeur de l'intensité I du courant débité par le générateur ?

10 Afin de tracer la caractéristique d'un conducteur ohmique de bornes A et B, on a relevé pour chaque valeur de la tension à ses bornes, l'intensité I du courant qui le traverse. On a obtenu le tableau de valeurs suivant :

I (mA)	0	4,6	9,1	13,6	18,2	22,7	27,2	31,8
U_{AB} (V)	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0

10.1 Faire un schéma du montage permettant d'obtenir ces résultats.
10.2 Tracer la caractéristique intensité-tension, utiliser l'échelle suivante : en abscisse : 1 cm 5 mA
En ordonnée : 1 cm ↔ 1,0 V.
10.3 En déduire la valeur R de la résistance de ce conducteur ohmique.

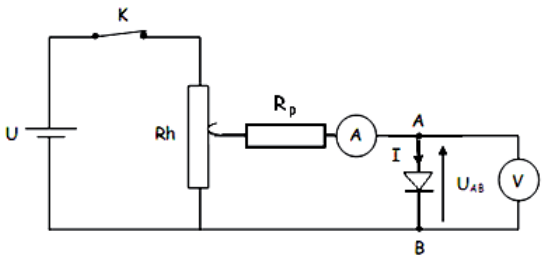
11 On considère le schéma ci-contre.



11.1 Dessiner le schéma du circuit où la diode est correctement insérée afin que la lampe puisse s'allumer.
11.2 Pour l'étude de cette diode, on réalise maintenant le circuit du schéma ci-dessous. On a relevé pour chaque valeur de la tension U_{AB} aux bornes de la diode, l'intensité I du courant qui la traverse. On a obtenu le tableau de valeurs suivant :

U_{AB} (V)	0	0,10	0,20	0,24	0,28	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40
I (mA)	0	0	5	10	20	90	140	195	245	300

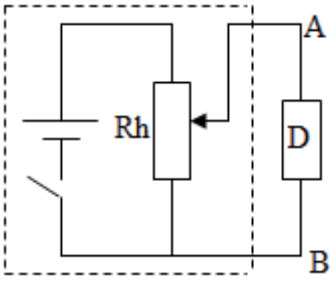
11.3 Quel est le rôle du résistor de résistance R_P ?
11.4 Tracer, à l'aide du tableau ci-dessus, la caractéristique $I = f(U_{AB})$ de la diode.
Echelles : abscisses : 2 cm pour 0,1 V,
ordonnées : 2 cm pour 50 mA.
11.4.1 Noter sur la caractéristique les points P et Q d'abscisses respectives 0,36 V et 0,40 V Quelle est l'allure de la portion de caractéristique comprise entre ces points P et Q ?



11.4.2 Pour 0,36 V ≤U ≤ 0,40 V, on pose l'équation de sa caractéristique sous la forme : I = aU + b.
Calculer, en unités S.I, les valeurs des coefficients a et b.
11.4.3 On assimile la partie ascendante de la caractéristique à la droite PQ. Déterminer la tension de seuil U_S de la diode.

12

1) Pour étudier un dipôle D, on réalise le montage ci-contre :
Rh est un rhéostat, G une source de tension constante égale à 9 V



1.1 Par quel nom désigne-t-on le montage encadré en pointillé qui permet d'obtenir une source de tension variable à partir d'un générateur de tension constante ?
1.2 Placer dans ce dispositif un voltmètre permettant de mesurer la tension u_{AB} entre les bornes du dipôle D, et un ampèremètre mesurant l'intensité I du courant qui traverse D.

2. Avec ce dispositif, on réalise une série de mesures en relevant les valeurs prises par l'intensité I et la tension $u_{AB,}$ pour différentes positions du curseur C.
Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous

U(V)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9,5	10,4	11	12
I(A)	0	0 ,015	0,04	0,075	0,12	0,19	0,3	0,5	0,7	0,9	9,6	1	1,02	1,04

2.1 Tracer la courbe caractéristique tension- intensité du dipôle D sur le papier millimétré joint en annexe. On prendra comme échelle : en abscisse 1 cm pour 1V et en ordonnée, 1cm pour 100 mA.
2.2 Ce dipôle est –il linaire ou non linéaire ? Passif ou actif ?justifier sommairement les réponses données.
2.3 Ce dipôle peut –il être un conducteur ohmique ? Une diode à jonction ? Pourquoi ?
2.4 Dans quel domaine de tension le dipôle D se comporte-t-il comme un conducteur ohmique ?quelle est alors sa résistance ?

3) On réalise avec le dipôle D, un circuit série comprenant une pile délivrant une tension constante égale à 9V et une diode Zener de tension Zener Uz = 5V.
3.1. Représenter le circuit. Un courant passe-t-il dans le circuit ? Quelle est la tension aux bornes du dipôle D ?
3.2. On remplace la pile de 9V par une de 12V. Un courant passe-t-il dans le circuit ? Si oui déterminer sa valeur.

PHYSIQUE

CHAPITRE 6 DIPOLES ACTIFS

Quels sont ces dipôles ? Quelle est leur utilité ?

OBJECTIFS

- Utiliser la convention récepteur et la convention générateur
- Utiliser la loi d'Ohm pour un dipôle actif linéaire
- Donner quelques utilisations pratiques de dipôles actifs
- Prendre quelques mesures de sécurité dans l'utilisation des dipôles actifs

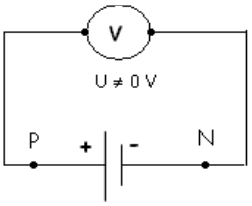
PLAN DU CHAPITRE

1. Rappels et compléments
2. Etude d'un dipôle actif linéaire : La pile
3. Générateurs usuels

1– Rappels et compléments

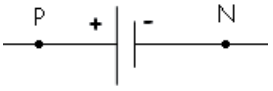
1.1-dipôles actifs

Un dipôle est dit actif si, en circuit ouvert, la tension à ses bornes n'est pas nulle. On le montre en branchant un voltmètre directement à ses bornes : l'aiguille du voltmètre indique une tension non nulle. Exemples : piles, groupes électrogènes, alimentations de labo, générateurs de signaux, … etc.).



Générateur

Représentation symbolique d'un générateur. Le pôle positif P est représenté par le grand trait le pôle négatif N par le petit trait.



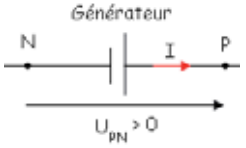
Générateur

U ≠ 0 V

1.2 – Convention générateur

On étudie les dipôles actifs avec la convention générateur.

Dans la convention générateur, les flèches symbolisant l'intensité du courant et la tension aux bornes du générateur sont de même sens.

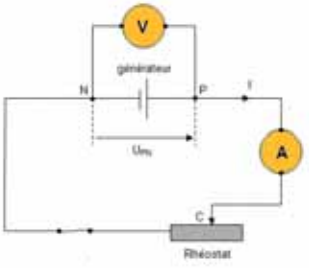


Puisqu'il s'agit d'un générateur, le courant sort par sa borne positive (intensité I), et on évalue la tension U qui est positive.

2 – Etude d'un dipôle actif linéaire : La pile

Expérience

2.1- Le montage



- Réalisons le montage représenté à la figure ci-contre (Doc. 1) comportant, en série, la pile à étudier, l'ampèremètre, un rhéostat monté en résistance variable et un interrupteur.
- Ouvrons l'interrupteur et relevons les valeurs de l'intensité I du courant et de la tension U_{PN} aux bornes du générateur.
- Fermons l'interrupteur puis déplaçons le curseur du rhéostat.
- Notons dans un tableau les différentes indications du voltmètre et de l'ampèremètre.
- Tracer, en choisissant une échelle appropriée, la courbe donnant les variations de la tension U_{PN} en fonction de l'intensité I.
- Quelle est la tension à vide de la pile appelée aussi force électromotrice f.é.m. et notée E ? quelle est alors l'intensité du courant électrique ?
- Quelle est la nature de la courbe ? Déterminer sa pente (coefficient directeur).
- Ecrire son équation sous la forme : $U_{PN} = aI + b$ (On explicitera les constantes numériques a et b)

- **Résultats**

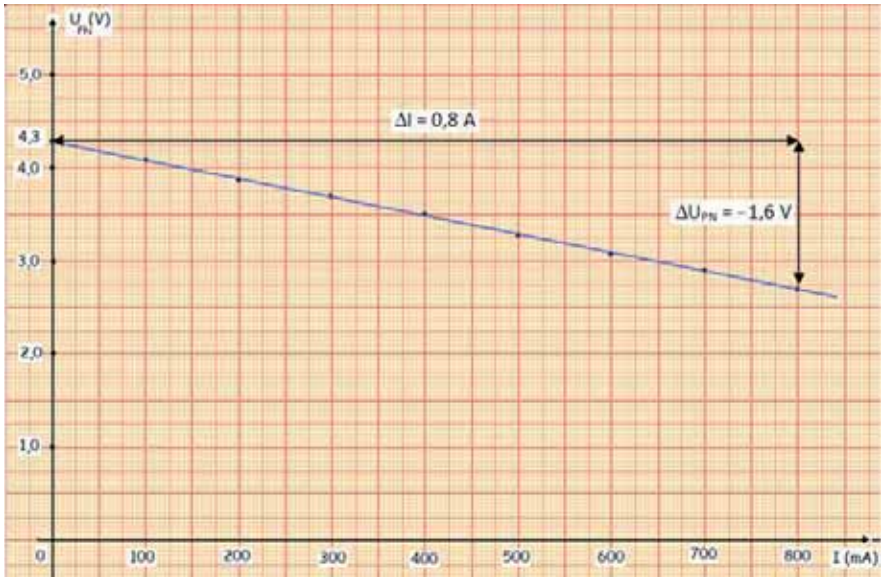
A circuit ouvert, le voltmètre indique la tension E = 4,3 V (tension à vide ou f.é.m.) et l'ampèremètre indique la valeur I = 0 A.

- **Tableau de mesure**

Avec la pile, on a obtenu les résultats rassemblés dans le tableau ci-dessous :

I (mA)	0	100	200	300	400	500	600	700	800
U_{PN} (V)	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	2,7

- **Tracé de la caractéristique intensité-tension (I,U)**



La caractéristique représentant la tension U_{PN} (en V) en fonction de l'intensité I (en A) est une droite de coefficient directeur négatif.

2.2- Force électromotrice E (f.é.m) et résistance interne r de la pile

- **Force électromotrice ou f.é.m E de la pile**

La f.é.m. E est l'ordonnée à l'origine de la caractéristique intensité-tension, soit ici :

$$E = 4,3 \text{ V}$$

E s'exprime en volts comme la tension U_{PN}.

L'unité S.I. de force électromotrice est le volt (V).

On remarque que si l'on fait I = 0, on obtient $\mathbf{U_{PN}} = E$, la f.é.m. d'une pile s'identifie donc à la tension à ses bornes en circuit ouvert (tension à vide de la pile).

- **Résistance interne r de la pile**

La courbe $U_{PN} = f(I)$ est une droite d'équation $U_{PN} = aI + b$ peut s'écrire $U_{PN} = -rI + E$
La résistance interne r est donc l'opposé du coefficient directeur de la caractéristique.
Pour la pile étudiée ici, on obtient, en se reportant à la caractéristique : $\Delta U_{PN} = -1,6$ V et $\Delta I = 0,8$ A

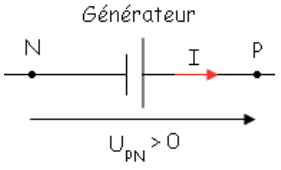
D'où : $r = -\frac{\Delta U_{PN}}{\Delta I} = \frac{1.6}{0.8} = 2{,}0$ Unités S.I.

On obtient r en unités du système international, r étant le quotient d'une tension par une intensité, il s'exprime en ohms. La résistance interne de la pile étudiée ici vaut donc r = 2,0 Ω.
Les piles utilisées dans la pratique ont une résistance interne de l'ordre de l'ohm, notez que cette valeur n'est pas indiquée par le constructeur, elle varie au cours de l'utilisation de la pile.

2.3- Loi d'Ohm pour un générateur

La loi d'Ohm traduit la relation entre la tension U_{PN} aux bornes de la pile et l'intensité I du courant qu'elle débite.

$U_{PN} = E - rI$	**U_{PN} : tension (V)** **E : f.é.m. (V)** **R : résistance interne (Ω)** **I : intensité (A)**



2.4 – Intensité de court-circuit I_{CC} d'un générateur

On met un générateur en court-circuit (**déconseillé**) en reliant ses deux pôles par un fil métallique. On forme ainsi un circuit fermé parcouru par un courant dont l'intensité porte le nom d'intensité de court-circuit I_{CC}.
Pour la calculer, on écrit que la tension U_{PN} est alors nulle (court-circuit) :

$$\mathbf{U_{PN} = 0 \text{ soit } E - rI_{CC} = 0 \text{ ce qui donne : } I_{CC} = \frac{E}{R}}$$

2.5 – Association en série directe et en série inverse de piles

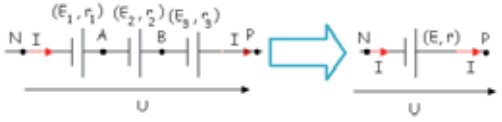
- **Association en série directe**

Soient trois générateurs $G_1(E_1, r_1)$, $G_2(E_2, r_2)$ et $G_3(E_3, r_3)$ associés en série "directe".

Le générateur résultant a pour f.é.m. E la somme des f.é.m. des différents générateurs et pour résistance interne r la somme des résistances internes des différents générateurs.

$E = E_1 + E_2 + E_3$ et $r = r_1 + r_2 + r_3$

$U = E_1 + E_2 + E_3 - (r_1 + r_2 + r_3)I$



Pour n générateurs $G_1(E_1, r_1)$, $G_2(E_2, r_2)$, $G_3(E_3, r_3)$, … et $G_n(E_n, r_n)$, associés en série "directe", on a :

$U = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots + E_n - (r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n)I$

Si les n générateurs sont identiques, on a : $U = nE_1 - n\,r_1 I$ ou $U = n(E_1 - r_1 I)$.

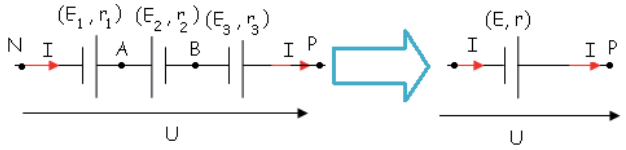
- **Association en série inverse**

Soient trois générateurs $G_1(E_1, r_1)$, $G_2(E_2, r_2)$ et $G_3(E_3, r_3)$ associés en série "inverse".

Le générateur résultant a pour f.é.m. E la différence de la somme des f.é.m. des générateurs associés en série directe et de la somme des f.é.m. des générateurs associés en série inverse et pour résistance interne r la somme des résistances internes des différents générateurs.

$E = E_1 - E_2 + E_3$ et $r = r_1 + r_2 + r_3$

$U = E_1 - E_2 + E_3 - (r_1 + r_2 + r_3)I$

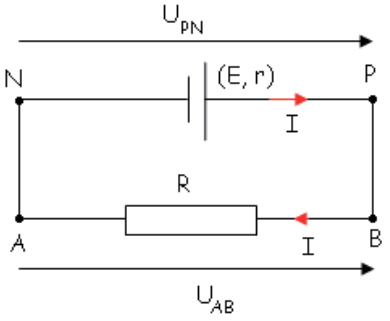


Cette relation est généralisable à plusieurs générateurs associés en série directe et série inverse.

2.7 – Loi de Pouillet

Considérons un circuit comportant un générateur (f.é.m. E, résistance interne r) et un conducteur ohmique de résistance R sont associés en série.

Notons I l'intensité du courant dans le circuit (elle sort par la borne positive du générateur).
Evaluons les tensions U_{PN} et U_{AB} en appliquant :



- La loi d'Ohm aux bornes du générateur : $U_{PN} = E - r.I$ (1)
- La loi d'Ohm aux bornes du conducteur ohmique : $U_{AB} = RI$ (2)

$$U_{PN} = U_{AB}$$

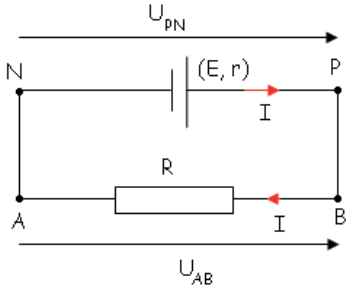
$$E - r.I = RI \Rightarrow \mathbf{I = \frac{E}{R + r}}$$

C'est la loi de Pouillet, elle s'applique pour les circuits ne comportant pas de dérivation.

Dans un circuit sans dérivation, on obtient l'intensité du courant en divisant la f.é.m. du générateur par la somme des résistances du circuit.

2.8 – Point de fonctionnement d'un circuit

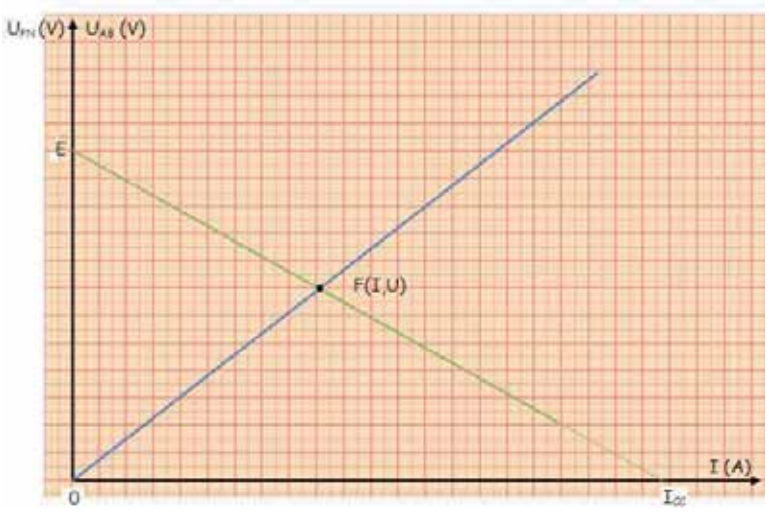
Dans un circuit électrique donné, chaque dipôle a un point de fonctionnement défini par le couple de valeurs (tension, intensité).
Considérons le circuit ci-contre.
Pour déterminer le point de fonctionnement F du circuit, on trace les caractéristiques intensité-tension des deux dipôles :



U_{PN} = E – rI pour le générateur

U_{AB} = RI pour le résistor

Le point F est le point de fonctionnement du circuit.



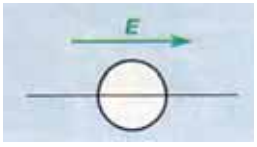
3 – Générateurs usuels

3.1 – Source idéale de tension

La loi d'Ohm aux bornes d'un générateur est donnée par **: U_{PN} = E – rI**

Supposons nulle ou négligeable la résistance interne, on obtient alors : U_{PN} = E quelque soit I.

Un tel appareil porte le nom de source idéale de tension et il est représenté par le schéma de la figure ci-dessus.



Source idéale de tension

La flèche indique la polarité de ce générateur : le pôle + à droite et le pôle - à gauche pour que la tension U_{PN} correspondant à la flèche soit égale à E.

Une source idéale de tension maintient entre ses deux bornes une tension constante et indépendante de l'intensité du courant qu'elle débite.

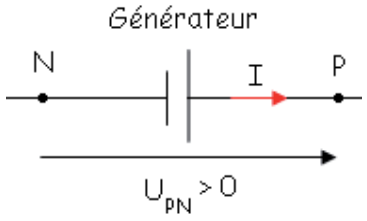
3.2 - Autres exemples de générateurs

Accumulateurs, chargeurs de batteries, chargeurs de portables, photopiles, groupes électrogènes… sont des générateurs.

L'ESSENTIEL DU COURS

- Une source idéale de tension maintient entre ses deux bornes une tension constante et indépendante de l'intensité du courant qu'elle débite.

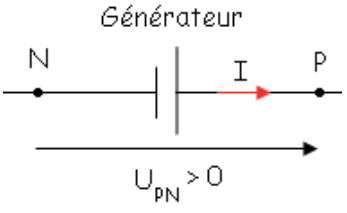
- Dans la convention générateur, les flèches symbolisant l'intensité du courant et la tension aux bornes du générateur sont de même sens.



- La loi d'Ohm est la relation entre la tension U_{PN} aux bornes de la pile et l'intensité I du courant qu'elle débite.

$U_{PN} = E - rI$

U_{PN} : tension (V)
E : f.é.m. (V)
R : résistance interne (Ω)
I : intensité (A)



- Pour n générateurs $G_1(E_1, r_1)$, $G_2(E_2, r_2)$, $G_3(E_3, r_3)$, … et $G_n(E_n, r_n)$, associés en série "directe", on a :

$U = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots + E_n - (r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n)I$

- Si les n générateurs sont identiques, on a : $U = nE_1 - n\,r_1 I$ ou $U = n(E_1 - r_1 I)$.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1

1-1 Qu'est-ce qu'un dipôle actif ? Donner sa représentation symbolique Donner un exemple..
1-2- Dans l'étude d'une pile, quelles grandeurs détermine-t-on à partir de sa caractéristique U = f(I) ?
1-3- Donner l'expression de la loi d'Ohm pour un générateur en convention récepteur puis en convention générateur
1-4- Que vaut la tension aux bornes d'un générateur idéal?

Applications directes du cours

2 Mamadou dispose d'une pile de f.é.m. E = 4,5V et de résistance interne r =1,2Ω.

2-1- Quelle est la tension à ses bornes si elle débite un courant d'intensité I = 0,5A ?
2-2- Quelle est l'intensité débitée par la pile si la tension à ses bornes vaut 3,5V ?

3 L'équation de la caractéristique d'un générateur s'écrit :

U_{PN} = 24 – 0,1 I (unités S.I)

3-1- En déduire sa fém. E et sa résistance interne r
3-2- Tracer, en précisant les unités, la caractéristique intensité-tension de ce générateur-

4 Modou court-circuite par un fil de résistance négligeable une pile de f.é.m. E = 9 V et de résistance r = 10 Ω.

4-1- Schématiser le circuit
4-2- Quelle est la tension aux bornes de la pile ?
4-3- Calculer l'intensité I_{cc} du courant de court-circuit
4-4-Le geste de Modou est-il conseillé

5 Trois générateurs $G_1(E_1$=4,5V, r_3= 1,5Ω), $G_2(E_2$=6,0V, r_2=2Ω) et $G_3(E_3$= 9,0V, r_3=10Ω) sont associés en série directe.

5-1- Schématiser l'association puis le générateur équivalent
5-2- Déterminer, par le calcul, la force électromotrice E et la résistance interne r du générateur équivalent. .

6 Les générateurs G_1 (E_1=4,5V, r_3= 1,5Ω) et G_2 (E_2=6,0V, r_2=2Ω) sont associés en série directe alors que le générateur G_3 (E_3= 9,0V, r_3=10Ω) est associé aux autres en série inverse. .

6-1- Schématiser l'association puis le générateur équivalent
6-2- Déterminer, par le calcul, la force électromotrice E et la résistance interne r du générateur équivalent. .

7 On dispose d'un générateur G(E = 6V, r = 2Ω) et de deux conducteurs ohmiques de résistance R_1= 10Ω et R_2 = 15Ω associés en série avec ce générateur.

7-1- Schématiser le circuit
7-2- Déterminer, par le calcul, l'intensité I du courant qui traverse ces différents dipôles.

Utilisation des acquis

9 Pour déterminer les valeurs de la f.é.m. E et de la résistance interne r d'une pile, on mesure la tension U à ses bornes lorsqu'elle débite un courant d'intensité I. On a obtenu les mesures suivantes :

$U_1 = 4{,}20V$ quand $I_1 = 200mA$

$U_2 = 3{,}75V$ quand $I_2 = 500mA$

8-1- Calculer les valeurs de E et de r.

8-2- Quelle est l'intensité I_{cc} du courant de court-circuit de cette pile ?

9- On dispose de deux générateurs :

$G_1(E_1 = 24V, r1 = 4\Omega)$, $G_2\ (E_2 = 24V,\ r_2 = 0{,}01\Omega)$

9-1- Calculer la tension aux bornes de chacun d'eux si l'intensité du courant qui les traverse est I = 5A.

9-2- Tracer, sur un même graphique, les caractéristiques intensité-tension de ces deux générateurs pour une intensité comprise entre 0 et 5A

Echelles : 1 cm → 0,5A , 1 cm → 2V

9-3- Tracer, sur le graphique précédent, la caractéristique intensité-tension d'une source idéale de tension de f.é.m. E = 24V

Lequel des générateurs G_1 ou G_2 est presque idéal ? Pourquoi ?

10 Les constructeurs automobiles relient le pôle – de la batterie à la carcasse métallique du véhicule. Un automobiliste met en contact, malencontreusement, le + de la batterie de l'automobile et la carcasse métallique du véhicule par une clé métallique (Doc.). Le phénomène s'accompagne d'étincelles et d'un important échauffement.

La résistance de la clé est R = 0,01Ω. La batterie a une f.é.m. E = 24V et une résistance interne r = 0,01Ω.

1- Faire le schéma du montage électrique équivalent

2- Déterminer l'intensité du courant électrique débité par la batterie

3- Déterminer la tension aux bornes de la batterie

L'automobiliste, en voulant retirer la clé avec sa main, établit un contact électrique avec la carcasse de l'automobile (Doc.)

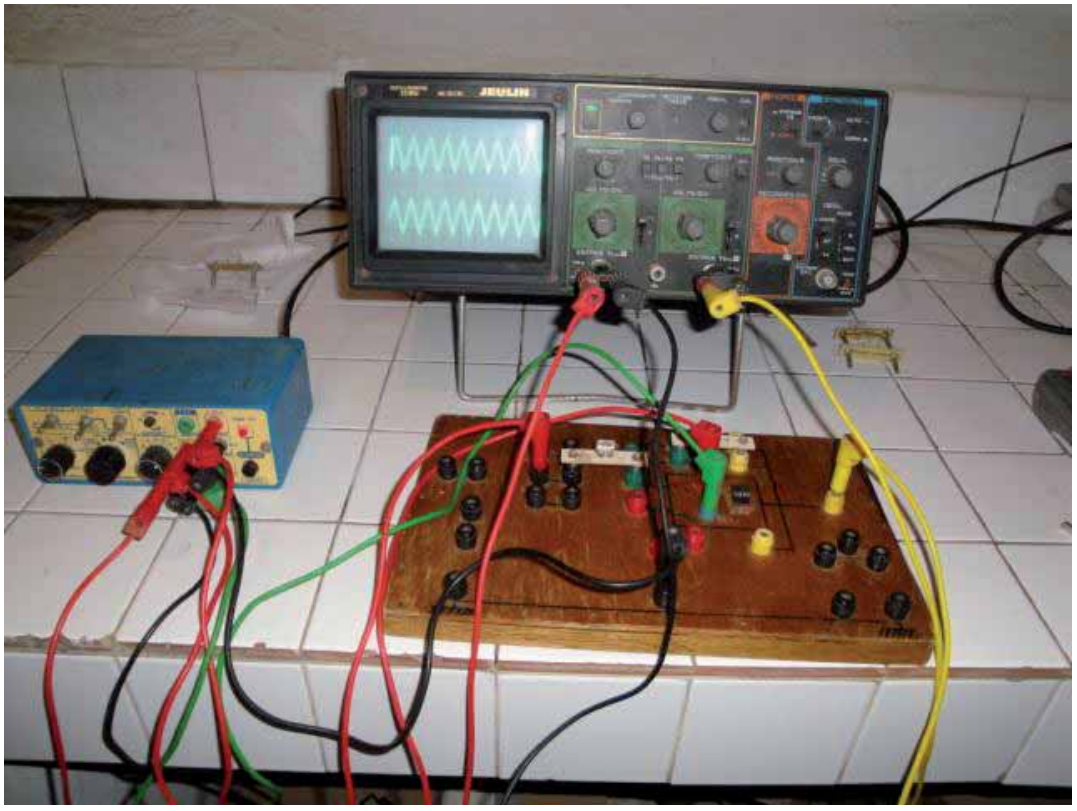
4- Calculer l'intensité du courant dans le corps de l'automobiliste, en admettant que la partie de son corps parcourue par le courant équivaut à un conducteur ohmique de résistance $R_c = 800\Omega$

5- Y'a –t- il danger pour l'automobiliste ?

On admet qu'il y a danger pour un homme s'il est parcouru par un courant continu d'intensité supérieure à 24mA pendant quelques minutes

PHYSIQUE

CHAPITRE 7 AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL : AMPLIFICATION D'UNE TENSION



Pourquoi est-il souvent nécessaire d'amplifier une tension ?

OBJECTIFS

- Distinguer les bornes d'un amplificateur opérationnel (entrées inverseuse E^-, non inverseuse E^+ et sortie S).
- Utiliser les propriétés de l'amplificateur opérationnel parfait en régime linéaire ($U_{E+} = U_{E-}$ ou $\varepsilon = 0$, $I^+ = I^- = 0$)
- Distinguer les montages amplificateurs inverseur, non inverseur avec le montage suiveur.
- Réaliser des montages avec l'A.O
  Calculer le gain d'un amplificateur.

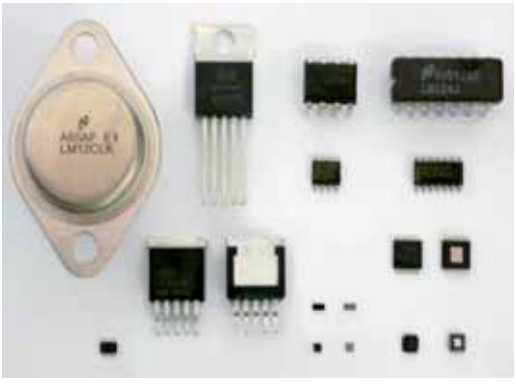
PLAN DU CHAPITRE

1. Présentation et fonctionnement de l'amplificateur opérationnel
2. Propriétés fondamentales de l'A.O.
3. Etude théorique de quelques montages utilisant l'amplificateur opérationnel
4. Etude expérimentale de quelques montages utilisant l'amplificateur opérationnel

1- Présentation et fonctionnement de l'amplificateur opérationnel

1.1- Introduction

L'amplificateur opérationnel intégré, plus communément désigné sous l'abréviation « ampli op » fait partie des circuits intégrés linéaires (CIL) ou analogiques, l'autre famille étant les circuits logiques ou digitaux (portes, bascules…). Les amplificateurs opérationnels permettent de réaliser de très nombreux montages : amplificateurs, oscillateurs, comparateurs, filtres actifs… L'amplificateur opérationnel fut utilisé dans les premiers ordinateurs (au début des années 1960) pour effectuer des opérations arithmétiques, d'où l'origine de son nom.



Par la suite, l'amplificateur opérationnel est utilisé dans bien d'autres applications comme la commande de moteurs, la régulation de tension, les sources de courants ou encore les oscillateurs.
On le trouve communément sous la forme de **circuit intégré.**

1.2- Description

L'amplificateur opérationnel, en abrégé A.O., fait partie des **circuits intégrés**. Il équivaut à une vingtaine de composants : transistors, diodes, résistances... associés sur une « puce » de silicium de très petite surface (environ 1 mm^2). C'est un composant de faible volume, il se présente sous forme de parallélépipède dont les dimensions sont de quelques millimètres.

Amplificateur Opérationnel 741

Il comporte **huit bornes** de branchement. Un repère (le détrompeur) ou un point de repérage permet de numéroter chacune des bornes.

1.3- Brochage et alimentation de l'amplificateur opérationnel

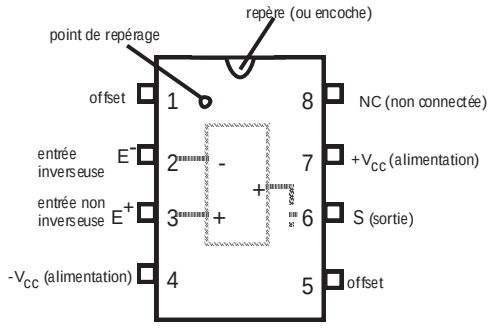
a) Brochage de l'A.O.

Un A.O. comprend toujours **cinq bornes d'accès :**

- deux entrées (une entrée non inverseuse notée E^+ et une entrée inverseuse notée E^-),

- une sortie S,

- deux bornes d'alimentation continue ($+V_{CC}$ et $-V_{CC}$)



Amplificateur opérationnel **:** grâce au repère ou au point de repérage, on peut numéroter les bornes du composant.

Ce brochage est commun aux A.O. suivants : TL 081, TL 071, TDB 081, CA 3140, LF 356, LF 357, LM 741, µA 741, etc.

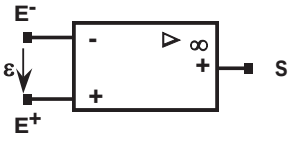
- la borne 2 est l'entrée inverseuse E^-,
- la borne 3 est l'entrée non inverseuse E^+,
- les bornes 4 et 7 servent à polariser l'A.O. (alimentation),
- la borne 6 est la sortie S,
- les bornes 1 et 5 (bornes offset) et la borne 8 permettent dans des montages complexes, d'améliorer les performances de l'A.O..

b) Représentation symbolique de l'A.O.

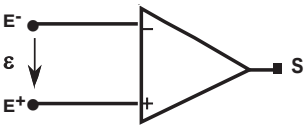
Le symbole normalisé de l'A.O. est donné ci-contre.

La polarisation de l'A.O. n'est pas représentée, seules les bornes E^+ et E^- et S apparaissent.

L'indication $\triangleright\infty$ permet d'identifier l'A.O. **idéal.**



Remarque : On rencontre encore souvent, même dans des documents récents la représentation triangulaire de l'A.O.. Cette symbolisation d'origine anglo-saxonne doit maintenant être abandonnée.

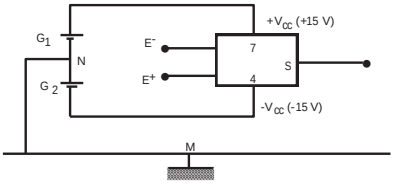


Alimentation de l'A.O.

Alimenter ou mieux polariser un A.O., c'est lui appliquer deux tensions qui vont lui permettre de fonctionner.

On applique sur les bornes 7 et 4 les tensions respectives $+V_{CC}$ = +15 V et $-V_{CC}$ = -15 V par rapport à un point N relié à la masse.

On peut réaliser l'opération en utilisant deux générateurs G_1 et G_2 de f.é.m. égale à 15 V.

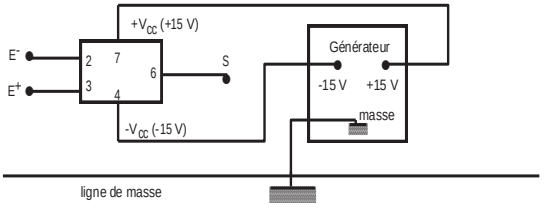


On a alors :

$u_{7N} = u_{7M} = +V_{CC} = +15$ V

et $u_{4N} = u_{4M} = -V_{CC} = -15$ V.

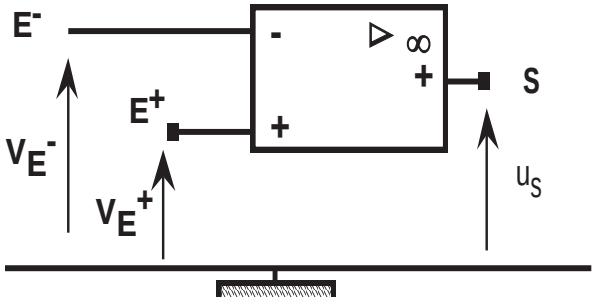
On utilise maintenant pour la polarisation des A.O. des **alimentations symétriques** (+15 V , -15 V) comportant un point milieu : la **masse** que l'on relie à la **ligne de masse**.

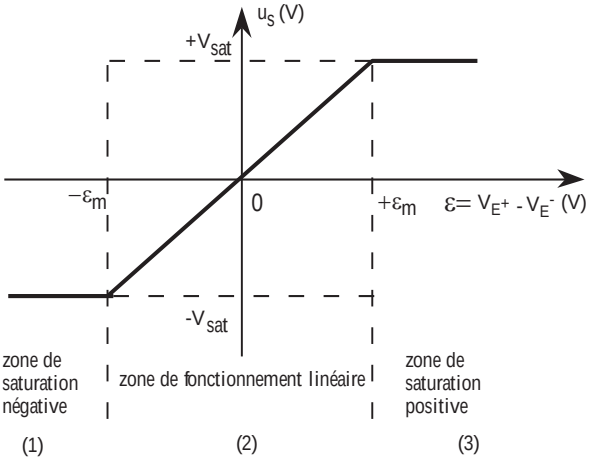


2 - Propriétés fondamentales de l'A.O.

2.1-Caractéristiques d'un A.O.

- La caractéristique d'un A.O. est la courbe représentative de la fonction $u_S = f(\varepsilon)$ avec $\varepsilon = V_{E^+} - V_{E^-}$





- **Ordre de grandeur**

10^{-4} V $\leq \varepsilon_m \leq 10^{-3}$ V et $i_S \approx 10$ mA

Le coefficient directeur de la partie (2) est appelé coefficient d'amplification, il est noté μ et vaut environ 10^5.

2.2-Règles d'or de l'A.O. idéal

- La tension différentielle d'entrée est nulle $\varepsilon = V_{E^+} - V_{E^-} = 0 \Rightarrow V_{E^+} = V_{E^-}$ (les tensions dans les deux bornes sont égales). Si $\varepsilon = V_{E^+} - V_{E^-} \neq 0$, alors l'A.O. est en saturation.

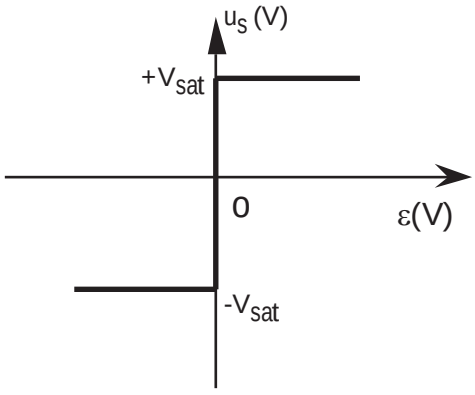
- Les courants d'entrée de l'A.O. I^+ et I^- ont des intensités nulles : $I^+ = 0$ et $I^- = 0$.

- Le courant de sortie I_S peut sortir de l'A.O. ou y pénétrer, son intensité n'est pas nulle.

- La tension de sortie u_S est, en valeur absolue, inférieure à la tension d'alimentation : $|u_S| < V_{sat} = 15$ V.

2.3-Utilisation de l'A.O. en amplificateur

En pratique, lorsque ce composant est utilisé dans un montage amplificateur, il peut être représenté par un modèle très simplifié qui permet d'interpréter les propriétés principales de ce montage. On admet les propriétés suivantes :

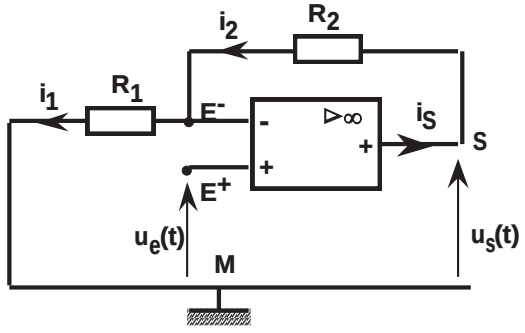


- la résistance différentielle d'entrée (résistance entre E^+ et E^-) est infinie,
- la résistance de sortie est nulle,
- la tension différentielle d'entrée $\varepsilon = V_{E^+} - V_{E^-}$ est nulle ($\varepsilon = 0$),
- le coefficient d'amplification différentielle (en boucle ouverte) $\mu = \frac{|u_s|}{|u_e|}$ est infini,
- les courants de polarisation de l'A.O sont nuls : $I^+ = 0$ et $I^- = 0$.

3- Etude théorique de quelques montages utilisant l'amplificateur opérationnel

3.1 - Montage amplificateur non inverseur

Schéma de principe



Analyse

Nous recherchons la relation entre la tension de sortie u_S et la tension d'entrée u_e.

La tension d'entrée u_e est reliée directement à l'entrée non inverseuse E^+: $V_{E^+} = u_e$

En régime linéaire, $V_{E^+} = V_{E^-}$ donc $V_{E^-} = u_e$

Appliquons la loi des nœuds au point E^- :

$i_1 + I^- = i_2 \Rightarrow i_1 = i_2$ (1) car $I^- = 0$

Exprimons les intensités i_1 et i_2 en appliquant la loi d'Ohm :

- Considérons le résistor R_1 entre les points M et E^- :

$V_{E^-} - V_M = R_1 i_1$ avec $V_M = 0$ et $V_{E^-} = u_e$

donc $u_e = R_1 i_1 \Rightarrow u_e = R_1 i_1$ soit $i_1 = \frac{u_e}{R_1}$ (2)

- Considérons le résistor R_2 entre les points E^- et S :

$V_S - V_{E^-} = R_2 i_2$ avec $V_S = u_s$ et $V_{E^-} = u_e$

donc $u_s - u_e = R_2 i_2$ soit $i_2 = \frac{u_s - u_e}{R_2}$ (3)

Les équations de fonctionnement de l'A.O. sont donc : $\begin{cases} i_1 = i_2 & (1) \\ i_1 = \frac{u_e}{R_1} & (2) \\ i_2 = \frac{u_s - u_e}{R_2} & (3) \end{cases}$

(2) et (3) compte tenu de (1) donnent : $\mathbf{u_S = u_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$

Dans un montage amplificateur non inverseur :

- **la tension d'entrée u_e est directement appliquée sur l'entrée non inverseuse E^+,**
- **l'entrée inverseuse E^- est reliée à la masse à travers une résistance R_1,**
- **l'A.O. est bouclé par une résistance R_2,**
- **u_e et u_S sont reliées par la relation : $u_S = u_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$,**
- **le gain en tension de l'amplificateur est positif et supérieur à 1 : $G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.**

Exercice d'application 1 : Soit le montage suivant utilisant un amplificateur opérationnel parfait de tension de saturation V_{sat} = 15 V. Il est alimenté par un générateur G est de f.é.m. E = 3 V et de résistance interne r =100 Ω.

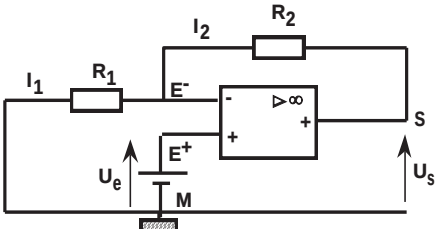
1) Montrer que la tension d'entrée $U_e = E$.

2) Établir la relation donnant la tension de sortie U_S en fonction de la tension d'entrée U_e et des résistances R_1 et R_2.

3) Déterminer R_2 sachant que $U_S = 4U_e$ et R_1 = 1 kΩ.

4) Quelles sont alors les valeurs des intensités des courants I_1 et I_2 qui traversent respectivement R_1 et R_2 ? Indiquer leur sens sur le schéma.

5) Quelle tension U_e maximale peut-on amplifier avec ce montage ?



Solution

1) Montrons que la tension d'entrée $U_e = E$.

$U_e = E - rI+ = E$ puisque $I^+ = 0$ (aucun courant ne rentre dans l'ampli op).

2) Relation donnant U_S en fonction de la tension d'entrée U_e et des résistances R_1 et R_2.

$U_S = (1 + \frac{R_2}{R_1})xUe$

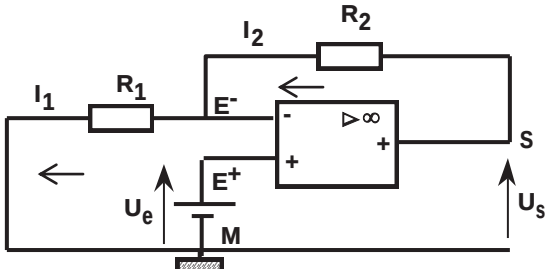
3) $G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = (G-1)xR_1$ A.N. : $R_2 = (4-1)x1 = 3\ k\Omega$.

4) Valeurs des intensités de courant I_1 et I_2.

$U_e = U_{E+M} = U_{E+}$ de même $U_S = U_{SM} = R_2I_2 + R_1I_1$

Or $I_2 = I_1 + I^- = I_1$ puisque l'ampli op est idéal ($I^- = 0$) donc $I_2 = I_1$

Ainsi $U_s = (R_1 + R_2).I_1 \Rightarrow I_2 = I_1 = \frac{Us}{R_1 + R_2}$



avec $U_s = 4U_e = 12$ V.

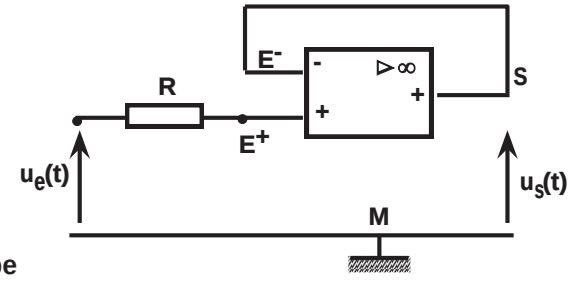
A.N. : $I_2 = I_1 = \frac{3}{(1 + 3).103} = 0{,}75.10\text{-}3$ A

$I_2 = I_1 = 0{,}75$ mA.

4) $U_{smax} = 4U_{emax} \Rightarrow U_{emax} = \frac{+Vsat}{4}$.

A.N.: $U_{emax} = \frac{15}{4} = 3{,}75$ V.

3.2 - Montage suiveur



- **Schéma de principe**
- **Analyse**

On peut Considérer ce montage comme un cas particulier du montage amplificateur non inverseur, son gain en tension en tension vaut $G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.

Ce gain prend la valeur 1 si $R_1 = \infty$ et $R_2 = 0$ (l'A.O. est bouclé par un court-circuit).

On a alors $u_s = u_e$.

Dans un montage suiveur :

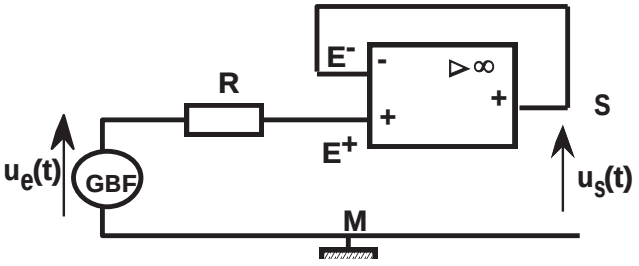
- **la tension d'entrée U_e est appliquée sur l'entrée non inverseuse E^+ à travers une résistance R (de protection),**
- **l'A.O. est bouclé par un court-circuit,**
- **la tension de sortie us est toujours égale à la tension d'entrée U_e : U_s = UE,**
- **le gain en tension de l'amplificateur est égal à 1 : G = 1**

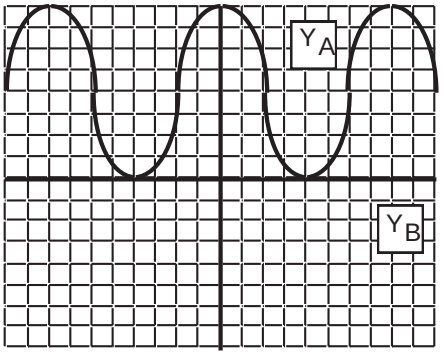
Exercice d'application 2 : On étudie le montage suivant utilisant un A.O. parfait. Le montage comporte un GBF délivrant une tension sinusoïdale. L'oscillogramme représente l'allure de la tension visualisée sur la la voie Y_A.

On donne : $|U_{sat}| = 12$ V

Les réglages de l'oscilloscope sont : - base de temps : 0,2 ms.div^{-1}.

- sensibilité verticale sur les deux voies : 2 V.div^{-1}





1) Quel montage peut-on reconnaître ici ? quel est le rôle de la résistance R ?

2) Quelle est la valeur N de la fréquence de la tension d'entrée et de la tension de sortie ?

3) Déterminer la valeur maximale U_{em} de la tension d'entrée et U_{sm} de la tension de sortie.

4) Reproduire l'oscillogramme en faisant figurer la courbe correspondant à la voie Y_B.

5) S'il y avait saturation, quelle serait l'allure de l'oscillogramme ?

Réponse :

1) Montage suiveur

2) Valeur N de la fréquence de la tension d'entrée et de la tension de sortie

$T = 8x0,2.10^{-3} = 1,6$ ms or $N = \frac{1}{T} = 625$ Hz.

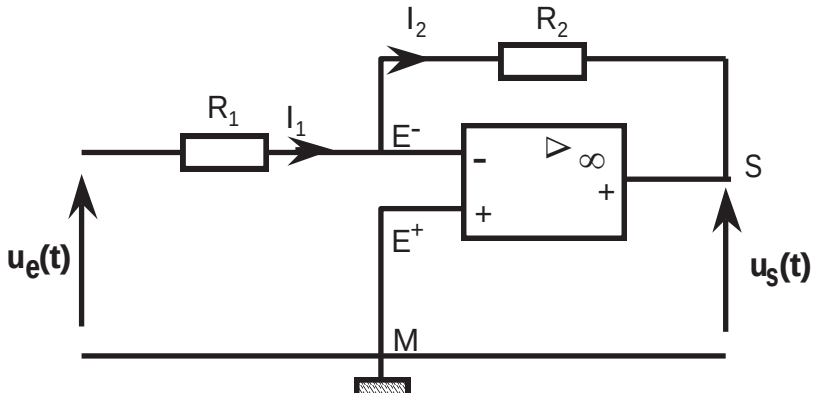
3) Valeurs maximales des tensions U_{em} et U_{sm}

$U_{em} = U_{sm} = 4x2 = 8$ V

5) $u_s(t)$ serait écrêtée.

3.3- Montage amplificateur inverseur

- **schéma de principe**



- **Analyse**

Nous recherchons la relation entre la tension de sortie u_S et la tension d'entrée u_e.

L'entrée non-inverseuse E^+ est à la masse : $U_{E+} = 0$.

En régime linéaire, $U_{E^+} = U_{E^-}$ donc $U_{E^-} = 0$

Appliquons la loi des nœuds au point E^- :

$i_1 = i_2 + I^- \Rightarrow i_1 = i_2$ (1) car $I^- = 0$

Exprimons les intensités i_1 et i_2 en appliquant la loi d'Ohm :

- Considérons le résistor R_1 entre les points A et E^- :

$U_{AE^-} = R_1 i_1$ avec $U_A = u_e$ et $U_{E^-} = 0$

donc $u_e - 0 = R_1 i_1 \Rightarrow u_e = R_1 i_1$ soit $i_1 = \dfrac{u_e}{R_1}$ (2)

- Considérons le résistor R_2 entre les points E^- et S :

$U_{E-S} = R_2 i_2$ avec $V_S = u_S$ et $U_{E-} = 0$

donc $-u_S = R_2 i_2$ soit $i_1 = -\frac{u_S}{R_2}$ (3)

Les équations de fonctionnement de l'A.O. sont donc : $\begin{cases} i_1 = i_2 & (1) \\ i_1 = \frac{u_e}{R_1} & (2) \\ i_1 = -\frac{u_S}{R_2} & (3) \end{cases}$

(2) et (3) compte tenu de (1) donnent : $\mathbf{u_S = -\frac{R_2}{R_1} u_e}$

Dans un montage amplificateur inverseur :

- **la tension d'entrée U_e est appliquée sur l'entrée inverseuse E^- à travers une résistance R_1,**
- **l'entrée non inverseuse E^+ est reliée directement à la masse,**
- **l'A.O. est bouclé par une résistance R_2,**
- **u_e et u_S sont reliées par la relation : $U_S = -\frac{R_2}{R_1} U_e$,**
- **le gain de l'amplificateur est négatif : $G = -\frac{R_2}{R_1}$**

4 – Etude expérimentale d'un montage utilisant l'amplificateur opérationnel

4.1 - Montage amplificateur non inverseur

Expérience

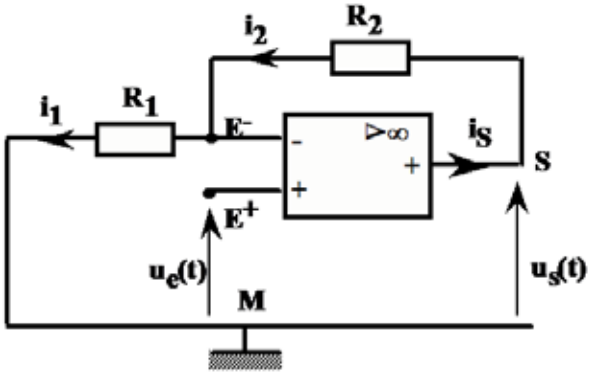
Réaliser le montage amplificateur non inverseur avec $R_1 = 1{,}0\ k\Omega$ et $R_1 = 2{,}2\ k\Omega$

Pour chaque valeur de la tension d'entrée U_e mesurer la tension de sortie U_s.

Tracer la courbe $U_s = f(U_e)$

Déterminer le gain d'amplification $G = \frac{U_S}{U_e}$.

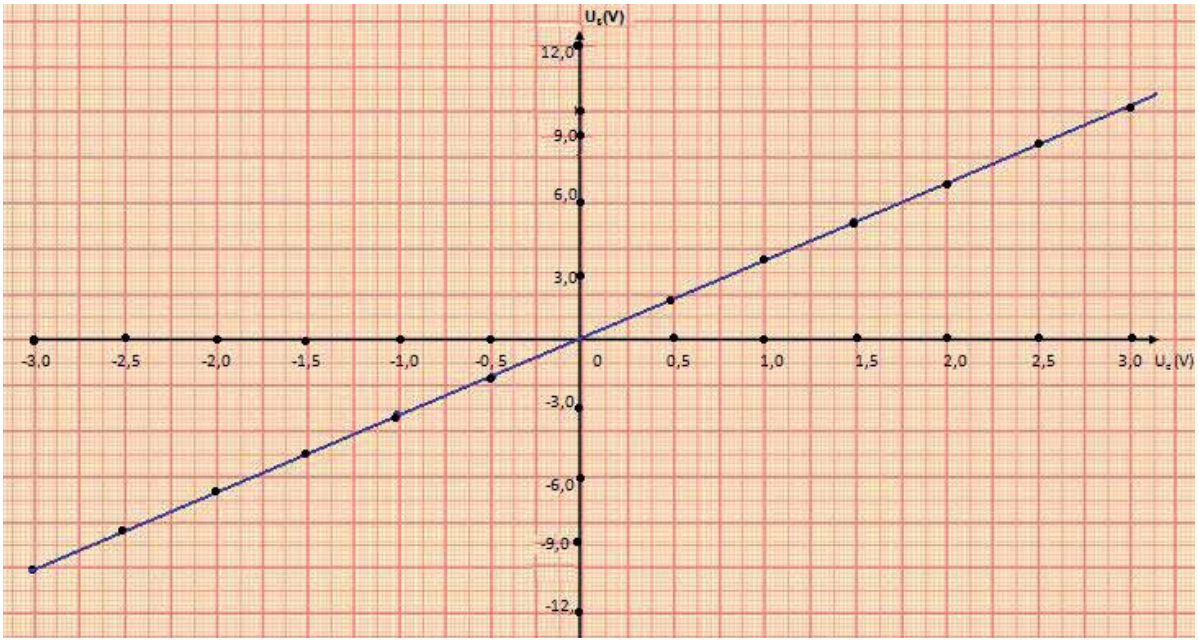
Comparer G à $1 + \frac{R_2}{R_1}$



Résultats des mesures

U_e (V)	-3,0	2,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
U_s (V)	-9,6	-8,0	-6,4	-4,8	-3,2	-1,6	0	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6

- **Tracé la courbe $U_s = f(U_e)$**



Le tracé de la courbe donne une droite (fonction linéaire) de pente 3,2 : **$U_s = 3{,}2.U_e$**

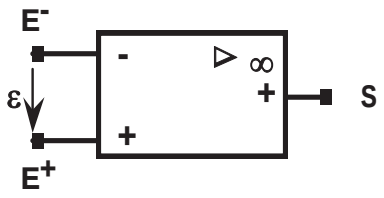
Donc **G = 3,2**

- **Comparaison de G et $1 + \frac{R_2}{R_1}$**

$1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + 2{,}2 = 3{,}2$ donc $G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ (c'est le gain d'amplification)

L'ESSENTIEL DU COURS

Représentation symbolique



E- : entrée inverseuse

E+ : entrée non inverseuse

S : sortie

I^+ et I^- sont les courants d'entrée ($I+ = 0$ et $I- = 0$)

$\varepsilon = V_{E+} - V_{E-}$: tension différentielle d'entrée.

Les alimentations +15 V et -15V ne sont pas représentées.

En régime linéaire

L'A.O. n'est pas saturé, la tension de sortie us est (en valeur absolue) inférieure à la tension de saturation V_{sat} (15V en général),

$U_s > 0 \Rightarrow U_s < +V_{sat}$

$U_s < 0 \Rightarrow U_s > -V_{sat}$

Dans ces conditions, pour un A.O. idéal : $I^- = I^+ = 0$

$\varepsilon = V_{E+} - V_{E-} = 0$ donc $V_{E+} = V_{E-}$

Un montage amplificateur permet d'obtenir une tension de sortie $U_s = GU_e$.
G est le gain ou facteur d'amplification.

En régime non linéaire

La tension de sortie est, en valeur absolue, égale à la tension de saturation V_{sat} , **$|U_s| = +V_{sat} = 15$ V.**

Dans ces conditions : $I^- = I^+ = 0$ et $\varepsilon = V_{E+} - V_{E-} \neq 0$ donc $V_{E+} \neq V_{E-}$

Lorsque la tension d'entrée devient très importante tout en restant inférieure à 15 V, l'A.O. est saturé et $U_s = V_{sat}$.

EXERCICES

Dans tous les exercices l'A.O. est considéré comme idéal

Connaissances essentielles du cours

1 **Question de cours**

a) Dessiner le symbole d'un amplificateur opérationnel.
b) Entre quels points mesure-t-on la tension de sortie d'un amplificateur opérationnel ?
c) La tension d'entrée d'un A.O. est-elle toujours appliquée au même point ?
d) Quelles sont les valeurs des intensités des courants entrant dans un A.O. par les bornes E^+ et E^- ?
e) Rappeler les deux propriétés fondamentales d'un amplificateur opérationnel fonctionnant en régime linéaire.
f) Comment nomme-t- on la valeur maximale de la tension de sortie d'un amplificateur opérationnel ?
g) Dans un montage comprenant un amplificateur opérationnel dans quel ordre doit-on mettre en marche le générateur et l'alimentation (- 15V , 0 , + 15V) et dans quel ordre doit-on arrêter leur fonctionnement ?
h) Quel est le rôle de l'alimentation symétrique dans un montage comprenant un amplificateur opérationnel ?
i) La tension d'entrée d'un A.O. est-elle toujours appliquée au même point ?

2 **Compléter les phrases suivantes :**

a) Dans un montage amplificateur fonctionnant en régime ..... la tension de sortie est en valeur absolue inférieure à la tension de saturation.

b) Dans un montage amplificateur il faut toujours ..... l'amplificateur opérationnel avant d'appliquer une tension d'entrée.

c) La précaution d'utilisation d'un amplificateur opérationnel exige l'arrêt du générateur fournissant la tension d'..... avant l'alimentation symétrique.

3 Un amplificateur opérationnel est alimenté par générateur (- 15V , 0 , + 15V)

Quel est l'ordre de grandeur de la valeur maximale de la tension de sortie ?

Comment appelle-t-on cette tension maximale ?

A quoi sert le générateur (- 15V , 0 , + 15V) ?

Applications directes du cours

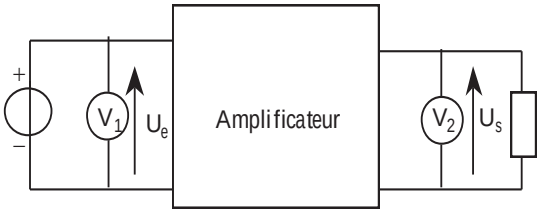
4 Dans le montage suiveur sur quelle entrée est appliquée la tension d'entrée u_e ? Même question que dans le montage non-inverseur et inverseur.

5 Le gain en tension d'un montage est G = 10.

a) La tension d'entrée vaut 0,32 V, calculer la valeur de la tension de sortie.

b) La tension de sortie vaut 12 V, calculer la valeur de la tension d'entrée.

6 Sur le montage de la figure suivante comprenant un amplificateur opérationnel alimenté par un générateur (- 15V , 0 ,+ 15V), on a mesuré Les tensions U_e et U_S. On trouve :



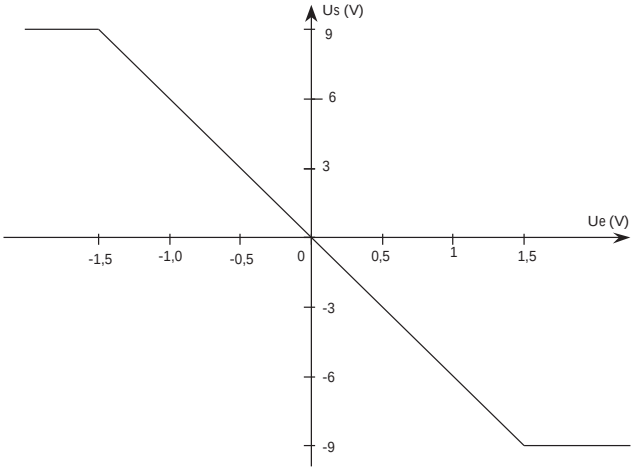
U_e = 2,0 V et U_S = 5,0 V.

On donne : V_{sat} = 13 V

a) Calculer le gain en tension du montage.

b) Calculer U_S lorsque U_e prend successivement les valeurs : - 1,6V , 4 V , -6 V , 6 V.

7 Le document ci-contre donne la représentation graphique de la tension de sortie U_S en fonction de la tension d'entrée U_e.



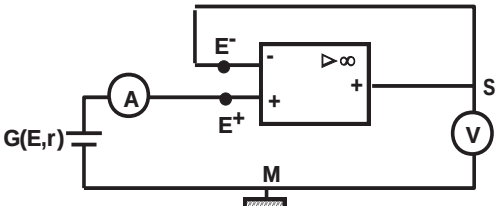
1) Dans quel domaine de tension l'A.O. fonctionne-t-il en régime linéaire ?

2) Quelles sont les valeurs des tensions de saturation ?

3) Déterminer le gain ou facteur d'amplification A du montage.

4) Ce montage est-il inverseur ou non inverseur ? Justifier.

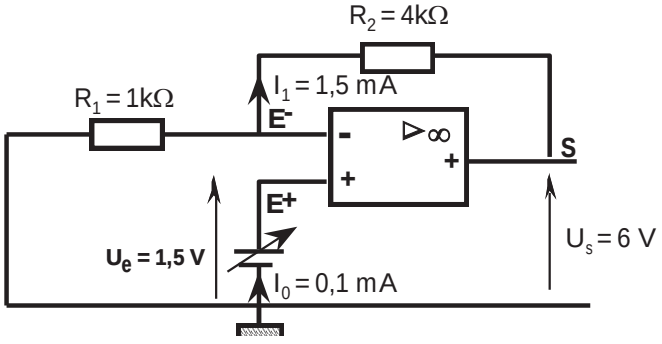
8 Soit le montage de la figure ci-dessous où le générateur est une pile G(E= 4,5 V , r = 2 Ω).



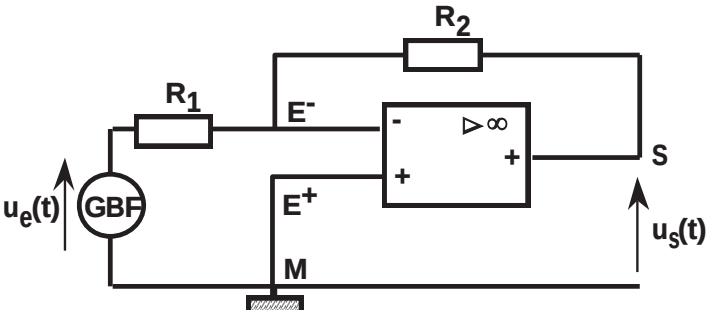
Quelles sont les valeurs indiquées par les appareils de mesure ?

Utilisation des acquis

9 Trouver trois erreurs dans les indications de la figure suivante où la tension d'entrée U_e = 1,5 V.



10 On considère le montage suivant :



La tension délivrée par le GBF est alternative sinusoïdale de fréquence N.

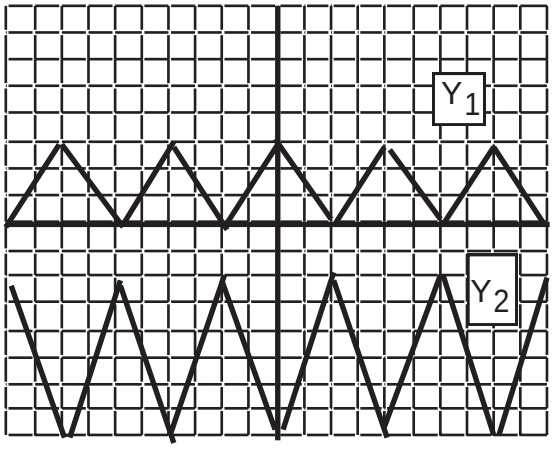
On donne : R_1 = 1 kΩ et R_2 = 2 kΩ.

1) Indiquer sur le schéma (par $\rightarrow Y_A$ et $\rightarrow Y_B$) les connexions à effectuer pour visualiser sur l'écran d'un oscilloscope la tension d'entrée $u_e(t)$ sur la voie Y_A et la tension de sortie $u_s(t)$ sur la voie Y_A.

2) Les réglages de l'oscilloscope sont :

- base de temps : 0,5 $ms.div^{-1}$.

- sensibilité verticale sur les deux voies : 500 $mV.div^{-1}$



On obtient l'oscillogramme ci-contre.

2.a- Déterminer la fréquence N de la tension d'entrée et de sortie.

2.b- Quelle relation existe-t-il entre $u_e(t)$ et $u_s(t)$?

2.c- Le montage est-il inverseur ou non-inverseur ? Justifier.

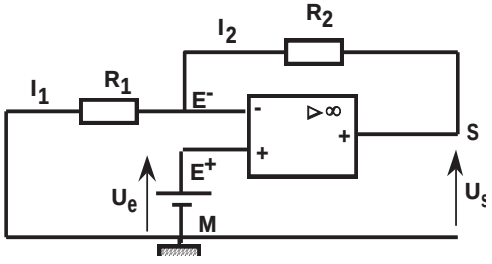
2.d- Soient U_{em} et U_{sm} les valeurs maximales respectives des tensions u_e et u_s. Comparer le gain d'amplification du montage défini par $G = \frac{U_{sm}}{U_{em}}$ au rapport $\frac{R_2}{R_1}$.

11 Soit le montage suivant utilisant un amplificateur opérationnel parfait de tension de saturation V_{sat} = 15 V. Il est alimenté par un générateur G est de f.é.m. E = 3 V et de résistance interne r =100 Ω.

1) Montrer que la tension d'entrée $U_e = E$.

2) Établir la relation donnant la tension de sortie U_s en fonction de la tension d'entrée U_e et des résistances R_1 et R_2.

3) Déterminer R_2 sachant que $U_s = 4U_e$ et R_1 = 1 kΩ.



4) Quelles sont alors les valeurs des intensités des courants I_1 et I_2 qui traversent respectivement R_1 et R_2 ? Indiquer leur sens sur le schéma.

5) Quelle tension U_e maximale peut-on amplifier avec ce montage ?

PHYSIQUE

CHAPITRE 8 GENERALITES SUR LE MOUVEMENT

C

Qu'est ce que le mouvement ? comment le décrit-on ? Quelle est son importance dans la vie ?

OBJECTIFS

- Choisir un référentiel pour décrire un mouvement
- Donner les propriétés de quelques mouvements
- Connaître les ordres de grandeur de vitesses moyennes de quelques mobiles
- vitesse

PLAN DU CHAPITRE

1. Relativité du mouvement
2. Référentiel – Repères d'espace et de temps
3. Mouvement d'un solide indéformable
4. Vitesse

1 – Relativité du mouvement

1.1 - Examen d'une situation problème

Examinons la situation ci-dessous

Question : Quel est le mouvement de l'apprenti de « car rapide » ?

Exemples de réponses recueillies :

- L'apprenti est immobile par rapport au « car rapide ».
- L'apprenti se déplace suivant une droite par rapport au panneau publicitaire et au piéton.

Ces réponses sont-elles contradictoires ? Justifier.

En réalité, ces réponses sont toutes deux valables.

Le mouvement d'un mobile est relatif à l'objet par rapport auquel on l'étudie.

1.2 – Le mouvement

Un objet est en mouvement par rapport à un autre si la position d'un, au moins, de ses points varie au cours du temps.

2 – Référentiel – Repères d'espace et de temps

2.1 - Référentiels

2.1.1 – Notion de référentiel

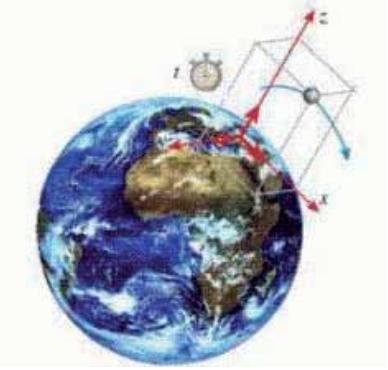
Un référentiel est un objet par rapport auquel on étudie le mouvement d'autres objets.

Exemples : Dans la situation examinée plus haut, deux référentiels sont utilisés.
Le référentiel « car rapide » et le référentiel panneau publicitaire.

2.1.2- Exemples de référentiels

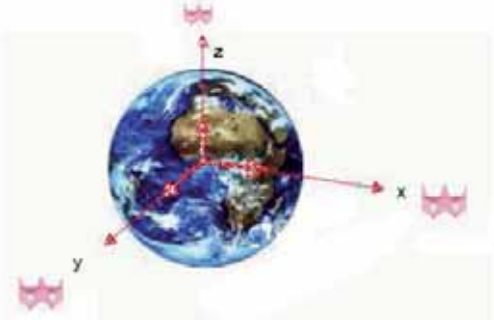
Le choix d'un référentiel est arbitraire. A priori tout objet peut servir de référentiel. L'étude ultérieure des lois physiques régissant les mouvements des objets montre qu'il existe des référentiels mieux adaptés que d'autres. Dans ces référentiels, les descriptions de mouvements et les lois physiques mises en jeu sont plus simples. Parmi ceux-ci :

Le référentiel terrestre : il est constitué par la Terre (ou par tout ce qui est fixe par rapport à la Terre). C'est le cas du référentiel du laboratoire. Ce référentiel est bien adapté à l'étude (entre autres) des mouvements de courte durée des objets à la surface de la Terre. Dans ce référentiel, la Terre est immobile lors de l'expérience et tout solide fixe par rapport à la Terre est un référentiel terrestre. C'est le cas du laboratoire ou de la salle de classe.



Référentiel terrestre

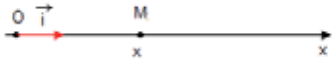
Le référentiel géocentrique : c'est un référentiel associé à un repère dont les axes concourent au centre de la Terre et dirigés vers trois étoiles fixes très éloignées les unes des autres. L'une de ces étoiles est l'étoile polaire. Ce référentiel est adapté à l'étude du mouvement de la Lune et des satellites de la Terre.



Référentiel terrestre

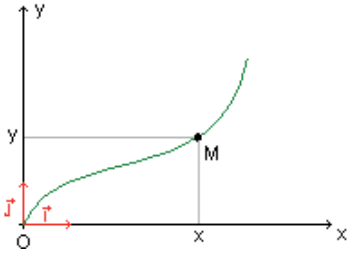
2.2 - Repère d'espace

Pour repérer la position d'un mobile M, il est nécessaire d'associer un repère au référentiel.
On appelle repère le système de repérage dans l'espace associé au référentiel.



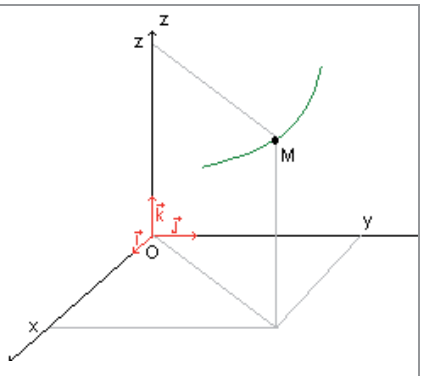
Repère à une dimension

Le mouvement s'effectue sur une droite



Repère à deux dimensions

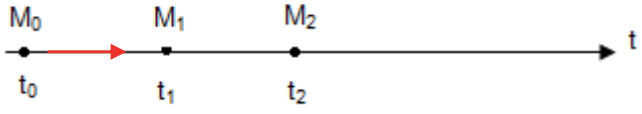
Le mouvement s'effectue dans une droite



Repère à trois dimensions

Le mouvement s'effectue dans l'espace

2.3 – Repère de temps ou de date



Le mobile M occupe les positions M_0, M_1 et M_2 respectivement aux dates (instants) t_0, t_1 et t_2. Chacune de ces dates est appelée aussi instant.

On utilise une horloge pour repérer les dates.

Une durée est l'intervalle de temps séparant deux dates.

3- Mouvement d'un solide

3.1 - Etude de mouvements

Observer et caractériser les types de mouvements des mobiles ci-dessous.

Comparer les directions et longueurs des segments.

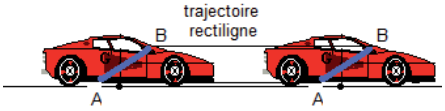
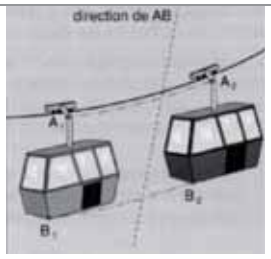
	

Schéma 1 : voiture en mouvement	Schéma 2 : descente d'un téléphérique	Schéma 3 : mouvement d'une grande roue

Schéma 1 : voiture en mouvement **:** on remarque tout segment de la voiture reste parallèle à lui même au cours du mouvement et chaque point de la voiture décrit une droite.

Schéma 2 : descente d'une charge : tout segment de la charge reste parallèle à lui même au cours du mouvement et chaque point de la voiture décrit une courbe.

Schéma 3 : mouvement d'une grande roue : tout segment de la charge reste parallèle à lui même au cours du mouvement et chaque point de la voiture décrit un cercle.

3.1.1 Mouvement de translation

Un solide est en mouvement de translation si tout segment du solide reste parallèle à lui même au cours du mouvement.

On distingue plusieurs types de mouvements de translation

- Translation rectiligne : celui de la voiture en mouvement (Schéma 1)
- Translation curviligne : celui du téléphérique (Schéma 2)
- Translation circulaire : celui de la grande roue (Schéma 3)

3.1.2 - Mouvement de rotation

Un solide est en rotation autour d'un axe fixe si le mouvement de chacun de ses points est un cercle centré sur l'axe de rotation.

3.2. Trajectoire d'un point mobile

La trajectoire d'un mobile est l'ensemble des positions successives de ce mobile au cours du temps.

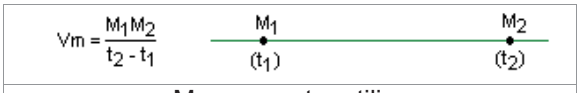
4 - Vitesse

4.1 – Analyse d'une fiche de contravention

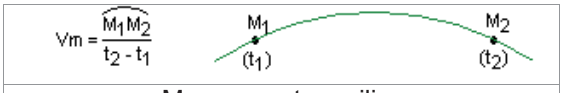
Sur la fiche de contravention d'un automobiliste roulant entre Dakar et Thiès, il est écrit « allure excessive ». Que comprendre par cette expression ? Cette allure est-elle la même au cours du trajet ?

4.1- Vitesse moyenne

La vitesse moyenne d'un mobile est le quotient de la longueur du trajet par le mobile par la durée du parcours.



Mouvement rectiligne



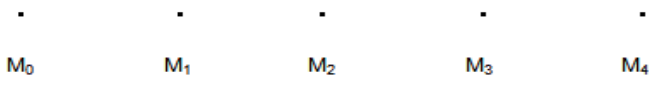
Mouvement curviligne

4.2 - Vitesse instantanée

La vitesse instantanée d'un mobile est la vitesse de ce mobile à un instant t.

La vitesse instantanée d'un mobile à la date t est la vitesse moyenne du mobile pendant une brève durée autour de la date t.

$$V_1 = \frac{M_2M_0}{t_2 - t_0}$$

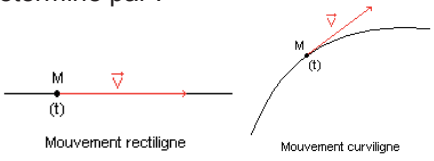


La vitesse instantanée est la valeur indiquée par le tachymètre (indicateur de vitesse) d'un véhicule.

4.3 - Vecteur vitesse

A un instant de date t, le mouvement d'un mobile est déterminé par :
- La position du mobile.
- Le vecteur vitesse $\vec{V}$ du mobile caractérisé par :

- sa direction : la tangente à la trajectoire.
- son sens : celui du mouvement.
- sa valeur : la vitesse instantanée du mobile.



Exercice d'application 1
Chacun des schémas ci-dessous représente l'enregistrement, sur une table à coussin d'air, du mouvement d'un mobile. La flèche indique le sens du mouvement. L'origine du repère coïncide avec le premier point M_o de l'enregistrement. L'intervalle de temps séparant deux points consécutifs est τ = 25 ms.
Déterminer la vitesse instantanée du mobile aux dates t = 60 ms et t' = 400ms.
Représenter le vecteur vitesse aux dates t et t'.

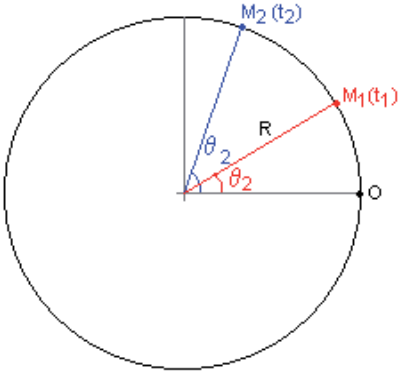
Echelle : 1/20

4.4 - Vitesse angulaire

La vitesse angulaire d'un point mobile est l'angle balayé par ce point par unité de temps.

Sa valeur moyenne entre deux instants t1 et t2 est donnée par la relation :

$$\omega_m = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$$ avec ω_m en rad .s^{-1}, θ_2 et θ_1 en radians (rad), t_2 et t_1 en secondes (s)



- **Relation entre la Vitesse instantanée V et la vitesse angulaire ω d'un mobile**

$$V = \frac{M_1M_2}{t_2 - t_1}$$

$$\Leftrightarrow V = \frac{OM_2 - OM_1}{t_2 - t_1}$$

$$\Leftrightarrow V = \frac{R\theta_2 - R\theta_1}{t_2 - t_1}$$

$$\Leftrightarrow V = R\omega$$

V = R.ω	V : vitesse linéaire en m.s^{-1}. R : rayon de la trajectoire en m. ω : vitesse angulaire en rad.s^{-1}

Exercice d'application 2

Un disque 45 tours (le disque effectue 45 tours par minute) a un diamètre d = 17 cm.
1) Calculer la vitesse angulaire ω du disque.
2) En déduire la vitesse V d'un point de la périphérie du disque et représenter le vecteur vitesse de ce point.

Echelle : 1 cm pour 20 cm.s^{-1}

L'ESSENTIEL DU COURS

Le mouvement d'un mobile est relatif à l'objet par rapport auquel on l'étudie.

Un objet est en mouvement par rapport à un autre si la position d'un, au moins, de ses points varie au cours du temps.

Un référentiel est un objet par rapport auquel on étudie le mouvement d'autres objets.

Un solide est en mouvement de translation si tout segment du solide reste parallèle à lui même au cours du mouvement.

On distingue trois types de mouvements de translation **:** rectiligne, curviligne et circulaire.

Un solide est en rotation autour d'un axe fixe si le mouvement de chacun de ses points est un cercle centré sur l'axe de rotation.

La trajectoire d'un mobile est l'ensemble des positions successives de ce mobile au cours du temps.

La vitesse moyenne d'un mobile est le quotient de la longueur du trajet par le mobile par la durée du parcours.

La vitesse instantanée d'un mobile est la vitesse de ce mobile à un instant t.

La vitesse angulaire d'un point mobile est l'angle balayé par ce point par unité de temps.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1

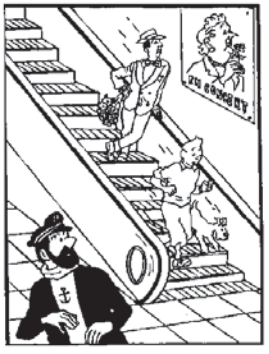
a) Quand dit-on qu'un corps est en mouvement ?
b) Un corps en mouvement peut-il être immobile par rapport à un autre corps ? Quel nom donne-t-on à cette caractéristique du mouvement ?
c) Qu'est-ce que la trajectoire d'un mobile ?
d) Qu'est-ce qu'un référentiel ?

Applications directes du cours

2 Dans la scène ci-contre, Tintin et Milou se déplacent vers le bas de l'escalier roulant qui se déplace lui aussi vers le bas. L'homme au bouquet, jambes croisées, est appuyé à la main courante de l'escalier. Haddock attend sans bouger au pied de l'escalier.
Dans l'image on trouve les personnages et objets suivants : Haddock, Tintin, Milou, l'homme au bouquet, l'affiche de la Castafiore, la casquette du capitaine, le bouquet.

Compléter le tableau en choisissant l'une des expressions :" **en mouvement** " ou « **au repos** »

Personnage ou objet	**par rapport au sol**	**par rapport aux marches de l'escalier**
Tintin		
L'homme au bouquet		
L'affiche de la Castafiore		
La casquette du capitaine		



3 Répondre par vrai ou faux. Rectifier si nécessaire.

a) Il est plus judicieux d'étudier le mouvement d'une voiture sur une route par rapport au référentiel terrestre.

b) Il est plus judicieux d'étudier le mouvement des satellites de la Terre par rapport au référentiel terrestre.

c) Un solide est en mouvement de translation si tout segment du solide reste parallèle à lui même au cours du mouvement.

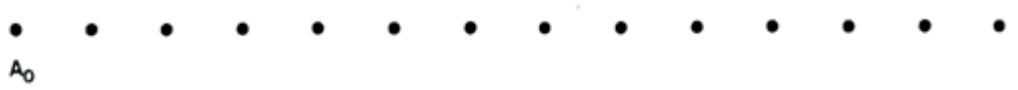
d) Un mouvement de translation est toujours rectiligne.

g) Un solide est en rotation autour d'un axe fixe si un seul de ses points décrit un cercle centré sur l'axe de rotation.

Utilisation des acquis

4 On a enregistré sur une table à coussin d'air le mouvement d'un mobile. L'origine du repère coïncide avec le premier point M_o de l'enregistrement. L'intervalle de temps séparant deux points consécutifs est τ = 20 ms.

- Déterminer la vitesse instantanée du mobile aux dates t_1 = 20 ms et t_4 = 80ms.
- Représenter le vecteur vitesse aux dates t_1 et t_4.
- Calculer la vitesse moyenne du mobile entre les dates t_1 = 20 ms et t_4 = 80ms. Echelle : 1/5

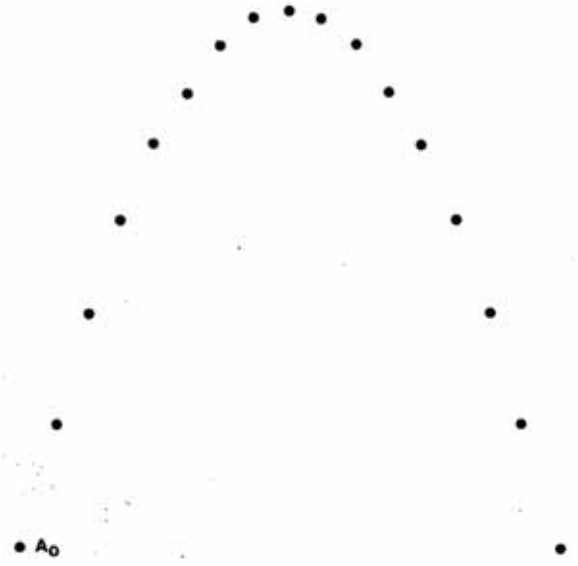


5 On a enregistré sur une table à coussin d'air le mouvement d'un mobile. L'origine du repère coïncide avec le premier point A_o de l'enregistrement. L'intervalle de temps séparant deux points consécutifs est Δt = 20 ms.

- Déterminer la vitesse instantanée du mobile aux dates t_1 = 40 ms et t_3 = 60 ms.

- Représenter le vecteur vitesse aux dates t_1 et t_3.

On prendra : 1 cm pour 0,25 m.s^{-1}



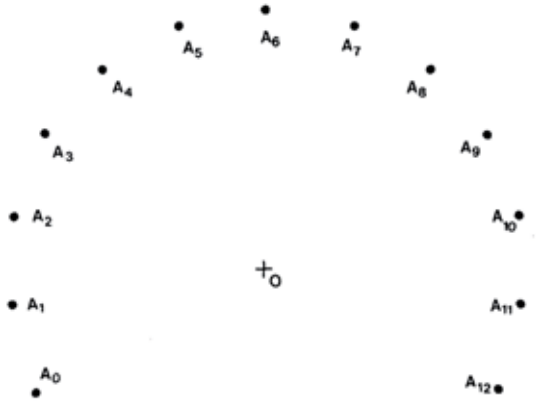
Echelle : 1/10

6 On a enregistré sur une table à coussin d'air le mouvement d'un mobile. L'origine du repère coïncide avec le premier point A_o de l'enregistrement. L'intervalle de temps séparant deux points consécutifs est Δt = 25 ms.

Déterminer la vitesse instantanée du mobile aux dates t_3 = 75 ms et t' t_8 = 200 ms.

Représenter le vecteur vitesse aux dates t_3 et t_8.

On prendra : 1 cm pour 0,25 m.s^{-1}



Echelle : 1/20

PHYSIQUE

CHAPITRE 9 : GENERALITES SUR LES FORCES

Comment modéliser l'action de la tête du footballeur sur le ballon ?

OBJECTIFS

- Identifier une force par ses effets.
- Distinguer interaction de contact et
- interaction à distance.
- Représenter une force.
- Utiliser le principe des interactions.

PLAN DU CHAPITRE

1. Notion de force
2. Modèle mathématique de la force
3. Classification des forces
4. Principe des interactions ou des actions réciproques

1 - Notion de force

1.1- Effets d'une force

1.1.1- Effet dynamique

Quel est l'effet du coup de pied du joueur sur le ballon ?

Doc.1

Quel est l'effet des mains du gardien de but sur le ballon ?

Doc.2

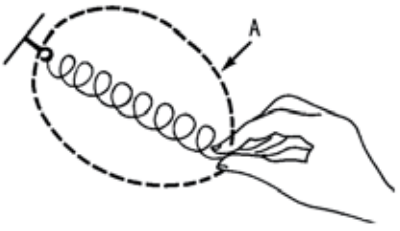
Au moment de la frappe, l'action mécanique ou force, exercée par le pied du joueur, met le ballon en mouvement. (Doc1)
Les actions mécaniques, exercées par les mains du gardien de but détournent le ballon. (Doc2)

Une force peut mettre un objet en mouvement ou modifier son mouvement : l'effet de la force est dite alors dynamique.

1.1.2- Effet statique

En tirant avec la main l'une des extrémités d'un ressort accroché en un point fixe, celui-ci se déforme : les mains exercent sur le ressort une force.

En appuyant légèrement avec les mains, un ballon de baudruche, celui-ci se déforme : les mains exercent une force sur le ballon.



La main produit une déformation du système A maintenu au repos.

Une action mécanique peut modifier la forme d'un objet : l'effet de la force est dite alors statique.

1.2- Conclusion

On appelle force toute action capable de :

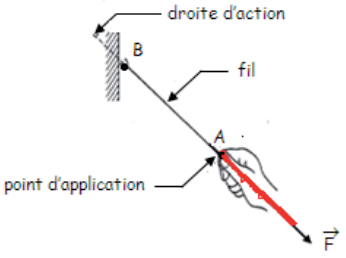
- produire ou modifier le mouvement d'un corps.
- provoquer la déformation d'un corps.

2 – Modèle mathématique de la force

2.1- Caractéristiques d'une force

Une force est une grandeur vectorielle caractérisée par:
- son point d'application : en général c'est le point où s'exerce l'action mécanique. (le point A)

- sa droite d'action : c'est la direction selon laquelle elle agit. (la droite AB)



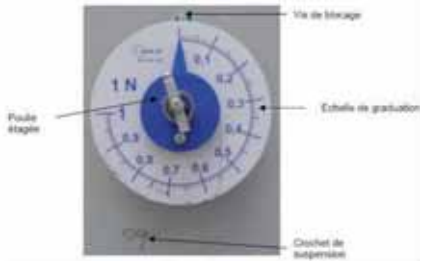
son sens : celui du mouvement qu'elle tend à produire.

sa norme : c'est sa valeur numérique. Elle est appelée intensité de la force

Le vecteur $\vec{F}$ de la figure ci-contre représente l'action d'une main qui tire sur un fil.

2.2- Unité et mesure d'une force

La valeur d'une force se mesure avec un **dynamomètre**, son unité dans le système international d'unités (S.I.) est le **newton de symbole N**.



2.3- Représentation d'une force

Activité 1

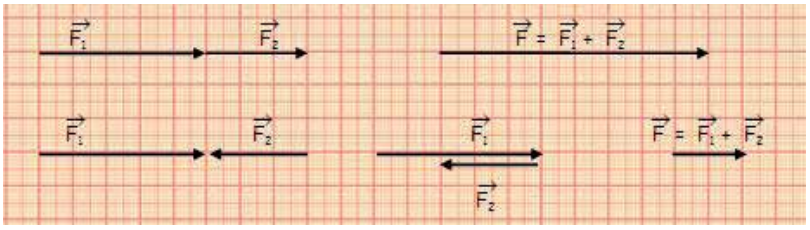
Représente la force $\vec{F}$ exercée par l'objet sur le dynamomètre en choisissant l'échelle **1 cm pour 1 N**.

Doc.

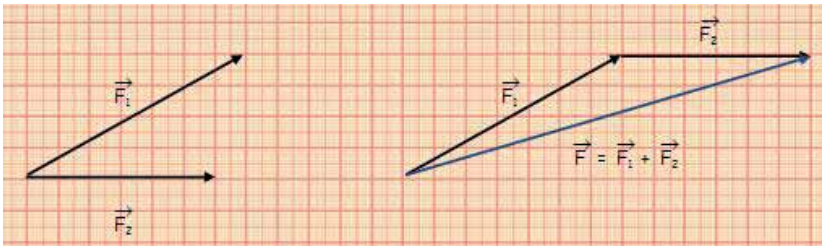
2.4- Composition et de décomposition des forces

2.4.1- Composition des forces

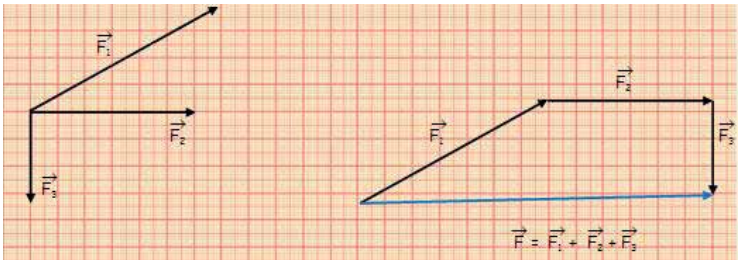
2.4.1.a - Somme ou résultante de deux forces parallèles



2.4.1.b - Somme de deux forces non colinéaires

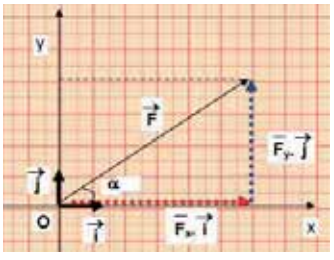


2.4.1.c - Sommes de trois forces non colinéaires



2.4- Décomposition d'une force

Une force peut toujours être décomposée dans un système d'axe Oxy.



Pour cela, nous devons d'abord choisir l'origine du système d'axe pour pouvoir dessiner deux axes perpendiculaires entre eux (O), à l'aide de la règle et de l'équerre, en utilisant deux flèches qui donnent leur direction.

On trace alors des parallèles à Ox et Oy qui passent par l'extrémité de la flèche.

Ces parallèles coupent les axes. En reliant l'origine O à chacun des points d'intersection, on obtient les composantes $\overline{\mathbf{F}_x}$ et $\overline{\mathbf{F}_y}$.

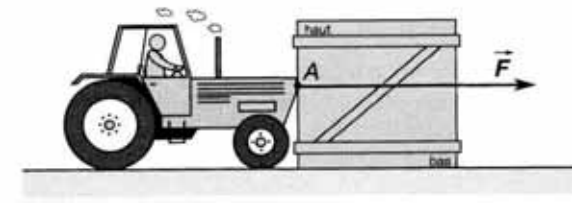
$$\vec{F} = F_x.\vec{i} + F_y.\vec{j}$$

Avec $F_x = F.\cos\alpha$ et $F_y = F.\sin\alpha$

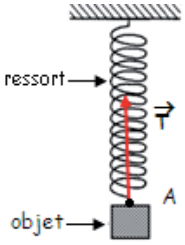
3– Classification des forces

3.1- Forces de contact

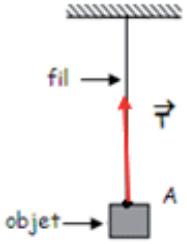
Une force de contact ne se manifeste que lorsqu'il y a contact entre l'objet qui subit la force et l'objet qui la crée.
Exemples :



Action d'un engin sur la caisse

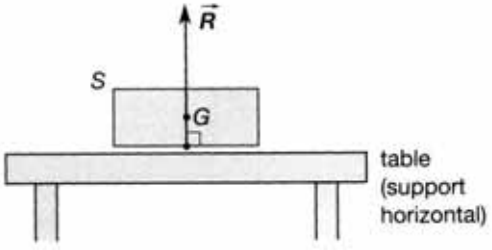


Tension d'un ressort



$\vec{T}$ Tension d'un fil $\vec{T}$

L'action de l'engin sur la caisse, les tensions du fil et du ressort sont des forces de contact **localisées** puisqu'elles s'exercent sur une surface ou un volume suffisamment petit pour être assimilé à un point.
Le point où s'exerce une force localisée est son point d'application.



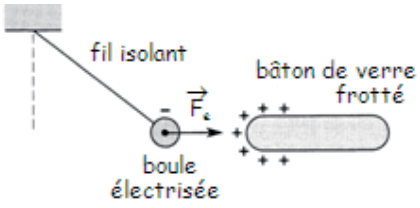
Réaction $\vec{R}$ d'un support sans frottement

La réaction de la table sur l'objet est une action mécanique **répartie**, elle s'exerce sur une surface.
Elle est orthogonale au support lorsqu'in n'y a pas de frottement. Lorsqu'il y' a frottement, elle n'est pas perpendiculaire au support.
Lorsque la force est répartie, son point d'application est le centre de gravité (centre d'inertie) de l'objet.

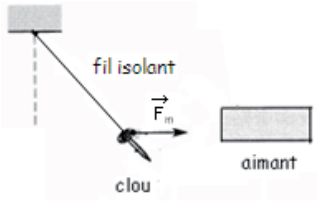
3.2 - Forces à distance

Une force à distance peut se manifester sans qu'il y ait contact entre l'objet qui subit la force et l'objet qui crée cette force.

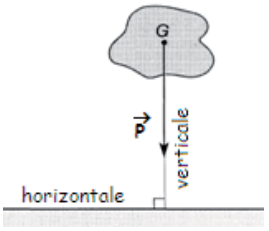
Exemples :



Force électrique $\vec{F}_e$



Force magnétique $\vec{F}_m$



Poids $\vec{P}$ d'un corps

Remarque : Toute force à distance est une force répartie. Son point d'application est le centre d'inertie de l'objet.

4– Principe des interactions ou des actions réciproques

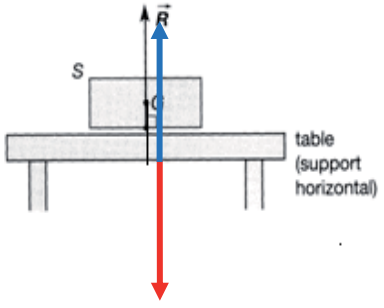
4.1- Enoncé du principe

« Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B ».

A et B étant deux corps en interaction, la force $\vec{F}_{A/B}$ exercée par A sur B et la force $\vec{F}_{B/A}$ exercée par B sur A vérifient toujours l'égalité vectorielle : $\vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{B/A} = \vec{0}$

Que A et B soient immobiles ou en mouvement, ces forces ont la même droite d'action, des sens opposés et la même intensité : on dit qu'elles sont directement opposées,

4.2- Exemples d'illustration



On applique au solide (S) le principe des actions réciproques

$\vec{F}_{T/S} = \vec{R}$ **(Réaction de la table sur le solide S)**

$F_{S/T}$ **: Force exercée par le solide sur la table**

D'après le principe des actions réciproques, on a :

$$F_{T/S} = - F_{S/T}$$

$$F_{T/S} = F_{S/T}$$

$$\vec{F}_{S/F} + \vec{F}_{F/S} = \vec{0}$$

$\vec{F}_{S/F} = \vec{P}$ **(poids de l'objet)**

$\vec{F}_{F/S} = \vec{T}$ **(Tension du fil)**

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

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ On appelle force toute action capable de :

- produire ou modifier le mouvement d'un corps.
- provoquer la déformation d'un corps.

- ✓ Une force est une grandeur vectorielle caractérisée par :
  - son point d'application : en général c'est le point où s'exerce l'action mécanique. (le point A)

- sa droite d'action : c'est la direction selon laquelle elle agit. (la droite AB)

- son sens : celui du mouvement qu'elle tend à produire

- sa norme : c'est sa valeur numérique. Elle est aussi appelée intensité de la force.

- ✓ La valeur d'une force se mesure avec un dynamomètre, son unité dans le système international d'unités (S.I.) est le newton de symbole N.

- ✓ **Enoncé du principe des actions réciproques :** « Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B ».

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 **Questions de cours**

a) Qu'appelle-t-on force ?

b) Avec quel instrument mesure-t-on l'intensité d'une force ? Quelle est l'unité S.I. de force ?

c) Citer les caractéristiques d'une force.

d) Qu'est-ce qu'une force de contact ? Donner deux exemples de forces de contact et dire pour chacune d'elles si elle est localisée ou répartie (en surface ou en volume).

e) Qu'est-ce qu'une force à distance ? Donner deux exemples de forces à distance et dire pour chacune d'elles si elle est localisée ou répartie (en surface ou en volume).

Applications directes du cours

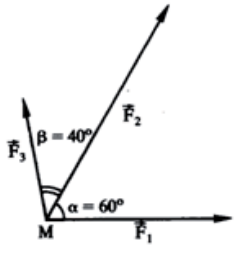
2 Faire le bilan des forces agissant sur la bille en acier dans les deux cas suivants. Préciser par quel corps est exercée chaque force et s'il s'agit d'une action de contact ou à distance. Représenter les vecteurs force sans respecter d'échelle.

3 Deux forces (M, $\vec{F}_1$) et (M, $\vec{F}_2$) d'intensités égales font entre elles un angle α , $||\vec{F}_1|| = ||\vec{F}_2|| = 3$ N.

Déterminer la somme $\vec{F}$ de ces deux forces pour $\alpha = 0$, $\alpha = 60°$, $\alpha = 90°$, $\alpha = 120°$, $\alpha = 180°$.

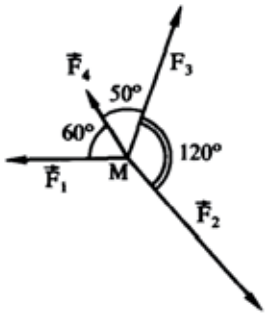
Utilisation des acquis

4 Déterminer la somme $\vec{F}$ des forces coplanaires (M, $\vec{F}_1$), M, $\vec{F}_2$), (M, $\vec{F}_3$) disposées comme l'indique la figure ci-contre avec $||\vec{F}_1|| = 3$ N , $||\vec{F}_2|| = 4$ N et $||\vec{F}_3|| = 2$ N.

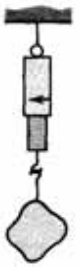


5 Soient deux forces pouvant être représentées par les vecteurs liés (M, $\vec{F}_1$) et (M, $\vec{F}_2$) telles que $||\vec{F}_1|| = ||\vec{F}_2||$ et faisant entre elles un angle α. Pour quelle valeur de α leur somme $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ a-t-elle une intensité égale à l'intensité de l'une d'entre elles ?

6 Déterminer graphiquement la somme des forces représentées avec $||\vec{F}_1||$= 3 N , $||\vec{F}_2||$ = 5 N et $||\vec{F}_3||$= 4 N et $||\vec{F}_3||$= 2 N.



7 On suspend un solide (S) au crochet d'un dynamomètre. Ce dernier indique une intensité de 2,0 N. Soient $\vec{F}_{D/S}$ le forces exercée par le dynamomètre (D) exerce sur le solide (S) et $\vec{F}_{s/D}$ celle que le solide (S) exerce sur le dynamomètre (D).



1) Quel est le point d'application de chacune de ces forces ? Quel est l'intensité de chacune de ces forces ?

2) Représenter les forces $\vec{F}_{D/S}$ et $\vec{F}_{s/D}$. On prendra pour échelle : 1 cm $\leftrightarrow$ 1,0 N.

8 On applique au point O d'un solide (S) deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$.

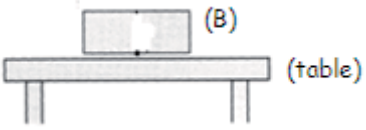
- La force $\vec{F}_1$ est horizontale et orientée de gauche à droite, son intensité $||\vec{F}_1||$= 50,0 N.
- La force $\vec{F}_2$ est horizontale et orientée vers le haut et fait un angle α = 40° vers la droite, son intensité $||\vec{F}_2||$= 30,0 N.

1) Comment appelle-t-on le point O ?

2) Représenter les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$. On prendra pour échelle : 1 cm $\leftrightarrow$ 10,0 N.

3) Représenter graphiquement la résultante des deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$. (On tracera $\vec{F}$ et on donnera son intensité).

9 Une brique (B) est posée sur une table plane et horizontale.



1) Représenter la force $\vec{F}_{B/T}$ que la brique exerce sur la table et la force $\vec{F}_{T/B}$ que la table exerce sur la brique.

2) Comment appelle-t-on la force $\vec{F}_{B/T}$? Cette force est-elle une force de contact ou une force à distance ? Est-elle localisée ou à répartie (en surface ou en volume) ?

3) Comment appelle-t-on la force $\vec{F}_{T/B}$? Cette force est-elle une force de contact ou une force à distance ? Est-elle localisée ou à répartie (en surface ou en volume) ?

PHYSIQUE

CHAPITRE 10 LA MASSE – LE POIDS – LA RELATION ENTRE POIDS ET MASSE

Que lance cet athlète ?

OBJECTIFS

- Déterminer les valeurs de la masse et du volume d'une substance solide ou liquide, sa masse volumique
- Utiliser la relation entre la masse, la masse volumique et le volume.
- Déterminer la densité relative.
- Représenter vectoriellement le poids d'un corps.
- Utiliser la relation entre le poids et la masse ($P = m \times g$).

PLAN DU CHAPITRE

1. La masse
2. Masse volumique et densité d'un liquide et d'un solide
3. Poids d'un corps
4. Relation entre poids et masse

1– La masse

1.1 – Définition

La masse d'un corps est la quantité de matière qui constitue ce corps. C'est une grandeur qui reste constante quelque soit le lieu où le corps se trouve.

1.2- Mesure de masses et unités

La masse d'un corps se mesure avec une balance.

Dans le système international, l'unité de masse est le kilogramme. Son symbole est kg.

Quelques sous-multiples du kilogramme :

- le gramme (g), 1 g = 10^{-3} kg,
- le milligramme (mg), 1 mg = 10^{-6} kg,
- le microgramme (µg), 1 µg = 10^{-6} g = 10^{-9} kg.

Quelques multiples du kilogramme :

- le quintal (q), 1 q = 100 kg
- la tonne (t), 1 t = 1000 kg.

1.3 - Exemples de balances

- **La balance Roberval**

Inventée par Gilles Personne né à Roberval (Oise), cette balance possède 2 plateaux et sa manipulation nécessite l'emploi de masses marquées. Elle fut pendant longtemps la plus répandue des balances commerciales.

- **La balance électronique**

Elle affiche directement la masse du corps déposé sur le plateau.

2 - Masse volumique et densité d'un liquide ou d'un solide

2.1- Masse volumique

La masse volumique ρ d'un corps est égale au rapport de la masse m du corps par son volume V :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dans le Système International d'unités, ρ s'exprime en $kg.m^{-3}$, mais on utilise souvent le $g.cm^{-3}$, le $g.L^{-1}$ ou le $kg.L^{-1}$.

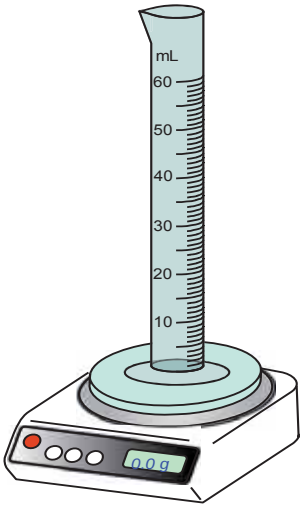
$1\ g.cm^{-3} = 1\ kg.L^{-1} = 1000\ kg.m^{-3}$, $1\ g.L^{-1} = 1\ kg.m^{-3}$, $1\ g.cm^{-3} = 1000\ g.L^{-1}$.

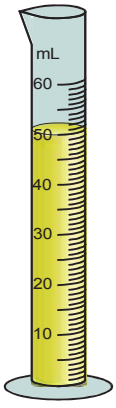
Exemples

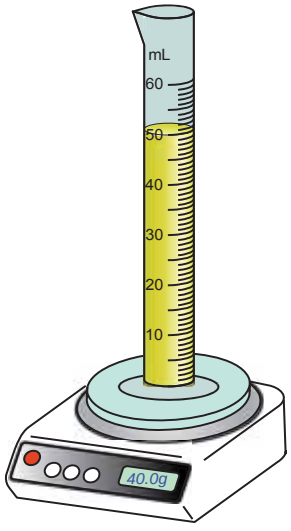
Substances liquides	Mercure	Glycérine	Eau de mer	Eau pure	Huile d'arachide	Pétrole
masse volumique en $g.cm^{-3}$	13,6	1,40	1,03	1,00	0,92	0,80

Substances solides	Platine	Or	Plomb	cuivre	Fer	Glace
masse volumique en $g.cm^{-3}$	21,45	19,30	11,4	8,9	7,86	0,90

- **Détermination pratique de la masse volumique d'une substance liquide**







- Placer l'éprouvette graduée sur la balance électronique,
- tarer la balance et retire l'éprouvette du plateau de la balance.
- Introduire avec précaution de l'eau dans l'éprouvette et relève son volume **V**.
- Placer de nouveau l'éprouvette contenant de l'eau sur la balance électronique et relève la masse **m** de l'eau.
- Calculer la masse volumique du liquide.

Réponse: La masse volumique ρ du solide s'obtient en faisant le rapport entre la masse m du solide et son volume V :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

On lit m = 40 g et V = 50 cm^{-3}, ρ = 0,8 $g.cm^{-3}$

<u>Activité 2</u>

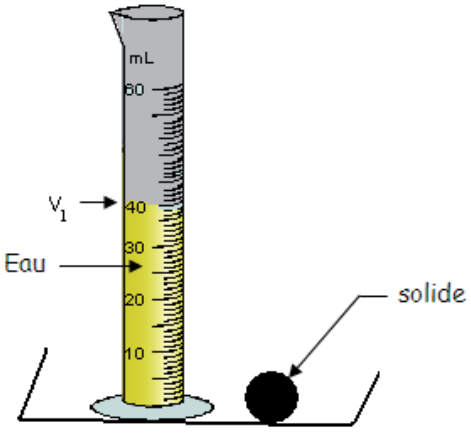
- **Détermination pratique de la masse volumique d'une substance solide**

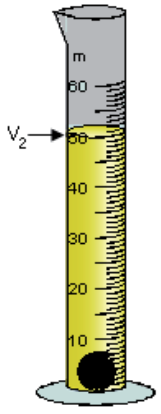
- **Détermination de la masse m du solide**

Relever la masse du solide posé sur la balance.

m = ……g

Détermination du volume V d'un solide de forme quelconque





- Relever les volumes V_1 et V_2 atteints par l'eau dans les 2 éprouvettes,
- Exprimer le volume V du solide en fonction de V_1 et V_2,
- Calculer le volume V du solide

Détermination de la masse volumique du solide

On lit : m = 20 g, V_1 = 40 mL = 40 cm^3 et V_2 = 50 mL = 40 cm^3

Le volume du solide est donné par : $V = V_2 - V_1 = 10\ cm^3$

La masse volumique est $\rho = \frac{m}{V} = 2g/\ cm^3$

Exercice d'application : Un récipient en forme cylindrique de surface base 4 cm^2 et de hauteur 7,5 cm est rempli de glycérine. Calcule la masse de la glycérine. On donne : $\rho_{gly} = 1{,}40\ g.cm^{-3}$.

On donne le volume du cylindre $V = S_b \times h$

Solution : $m_{rec} = 250\ g$, $m_{gly} = ?$

$V_{rec} = S_b x h = 60\ cm^3$, $V_{gly} = \frac{V_{rec}}{2} = 30\ cm^3$

$\rho_{gly} = \frac{m_{gly}}{V_{gly}} \Rightarrow m_{gly} = \rho_{gly} x V_{gly} = 42\ g$

2.2- Densité

La densité d d'un corps par rapport à un corps de référence est égale au rapport de la masse m d'un volume V de ce corps par la masse m_0 d'un même volume V du corps de référence considéré dans les mêmes conditions de température et de pression :

$$d = \frac{m}{m_0}$$

La densité est une grandeur sans dimension, elle s'exprime donc sans unité.

Comme $m = \rho V$ et $m_0 = \rho_0 V$, la densité est aussi égale au rapport de la masse volumique ρ du corps à celle ρ_0 du corps de référence mesurée à la même température et sous la même pression :

$$d = \frac{\rho}{\rho_0}$$

On prend généralement pour les solides et les liquides, l'eau comme corps de référence et l'air pour les gaz.

$\rho_{eau} = 1000\ g.L^{-1}$, $\rho_{air} = 1{,}29\ g.L^{-1}$ dans les CNTP (voir chapitre C4 de chimie).

Exercice d'application : Un objet solide homogène a une masse m = 210 g. Sa densité d = 3. On introduit cet objet dans un vase entièrement rempli d'eau. Une masse m' d'eau se déverse. Calcule m'.

Réponse : $d = \frac{\rho_s}{\rho_e}$ $\rho_s = \rho x d = 3\ g.cm^{-3}$, $m = \rho_s.V_s$ $V_s = \frac{m}{\rho_s} = \frac{210}{3} = 70\ cm^3$, $V_s = V_{eau} = 70\ cm^3$

Masse d'eau déversée $m' = \rho_0 x V_e = 70\ g$.

3 - Poids d'un corps

3.1- Mise en évidence du poids

Activité

Allongée non loin d'un cocotier, Fatou aperçoit une noix de coco tomber de l'arbre. Elle se pose les questions suivantes :

- Qu'est ce qui est à l'origine de cette chute ?
- Pourquoi la noix ne va pas vers le haut ?

Pour aider Fatou, Awa propose de réaliser l'expérience suivante :

Expérience : Fil à plomb

A partir de l'expérience, trouve les réponses aux questions de Fatou.

Réponse : La Terre exerce sur la noix de coco une force verticale dirigée vers le bas.

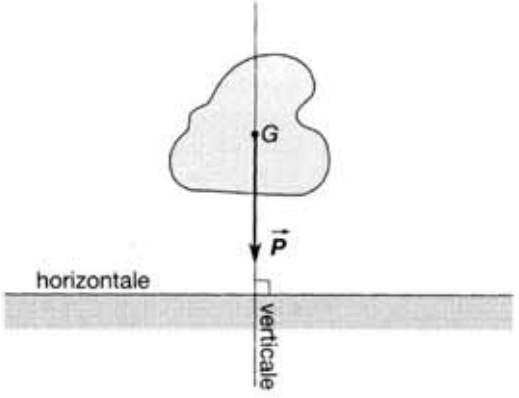
3.2- Définition, représentation et mesure du poids

Le poids d'un corps représente l'attraction que la Terre exerce sur lui.

Le poids d'un corps est une force, on le représente par un vecteur noté $\vec{P}$.

- Les caractéristiques du vecteur poids $\vec{P}$ d'un corps sont :

– **point d'application** : son centre de gravité G (ou centre d'inertie)
– **direction** : la verticale
– **sens** : vers le bas
– **intensité** : son poids P.



Le poids d'un corps se mesure avec un dynamomètre : on suspend le corps au dynamomètre (ressort) et on lit directement la valeur du poids en newtons (N).

L'unité internationale de poids est le newton (N).

4 - Relation entre poids et masse

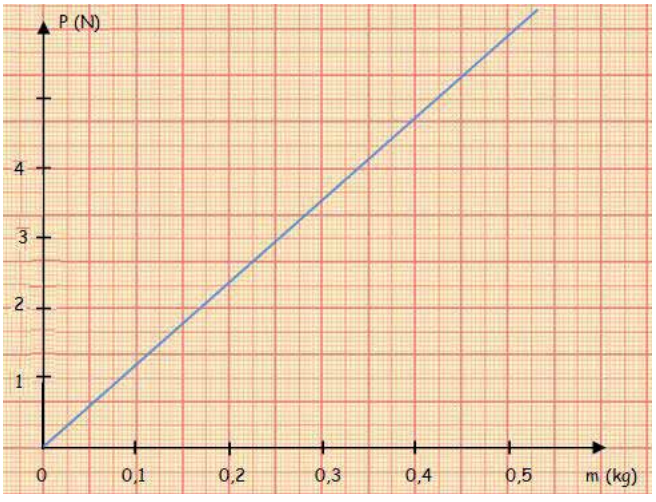
4.1- Intensité de la pesanteur

A l'aide d'une balance mesurons la masse de différents objets de nature et de forme quelconques.
Vérifions d'abord le zéro du dynamomètre (et réglons-le si nécessaire). Puis, mesurons le poids de ces mêmes objets.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

m (kg)	0,091	0,162	0,214	0,259	0,341	0,408
P (N)	0,9	1,6	2,1	2,6	3,4	4,1

La représentation graphique de la fonction P = f(m) est donnée ci-dessous.



P = f(m) est une droite linéaire de coefficient directeur proche de 10.

Poids et masse sont des grandeurs proportionnelles. P/m = constante

Cette constante de proportionnalité est appelée **intensité de la pesanteur,** on la note **g.**

Elle s'exprime en N/kg.

Sur Terre, on donne **g = 9,8 N/kg.**

4.2- Relation entre poids et masse

Le poids P et la masse m d'un corps sont liés par la formule fondamentale.

$\vec{P} = m\vec{g}$ **P = mg**	P : poids en newtons (N) m : masse en kilogrammes (kg) g : intensité de la pesanteur

4.3- variation du poids d'un corps avec le lieu

- **Variation selon la latitude :** L'intensité de la pesanteur g dépend du lieu où on se trouve. Il en résulte que, si on déplace un corps en divers lieux, son poids varie alors que sa masse reste constante. La valeur de g augmente un peu avec la latitude car la Terre est aplatie au niveau des Pôles, donc la distance au centre de la Terre diminue.

Quelques valeurs de g selon les lieux :

A l'Equateur : g = 9,78 N/kg, aux Pôles : g = 9, 83 N/kg, à Dakar g = 9, 79 N/kg.

- **Variation selon l'altitude :** L'intensité de la pesanteur g diminue quand l'altitude augmente.

Sur Terre : g = 9,8 N/kg, à une altitude de 300 km : g = 8,9 N/kg.

L'ESSENTIEL DU COURS

La masse d'un corps est la quantité de matière qui constitue ce corps. C'est une grandeur qui reste constante quelque soit le lieu où le corps se trouve.

La masse d'un corps se mesure avec une balance.

Dans le système international, l'unité de masse est le kilogramme. Son symbole est kg.

La masse volumique ρ d'un corps est égale au rapport de la masse m du corps par son volume V :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dans le Système International d'unités, ρ s'exprime en $kg.m^{-3}$, mais on utilise souvent le $g.cm^{-3}$, le $g.L^{-1}$ ou le $kg.L^{-1}$.

$1\ g.cm^{-3} = 1\ kg.L^{-1} = 1000\ kg.m^{-3}$, $1\ g.L^{-1} = 1\ kg.m^{-3}$, $1\ g.cm^{-3} = 1000\ g.L^{-1}$.

La densité d d'un corps par rapport à un corps de référence est égale au rapport de la masse m d'un volume V de ce corps par la masse m_0 d'un même volume V du corps de référence considéré dans les mêmes conditions de température et de pression :

$$d = \frac{m}{m_0} \quad \text{ou} \quad d = \frac{\rho}{\rho_0}$$

La densité est une grandeur sans dimension, elle s'exprime donc sans unité.

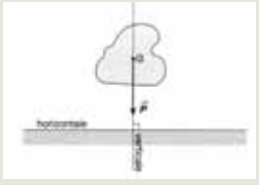
On prend généralement pour les solides et les liquides, l'eau comme corps de référence et l'air pour les gaz.

$\rho_{eau} = 1000\ g.L^{-1}$, $\rho_{air} = 1{,}29\ g.L^{-1}$ dans les CNTP.

Le poids d'un corps représente l'attraction que la Terre exerce sur lui.

Le poids d'un corps est une force, on le représente par un vecteur noté $\vec{P}$.

- Les caractéristiques du vecteur poids $\vec{P}$ d'un corps sont :



  - **point d'application** : son centre de gravité G (ou centre d'inertie)
  - **direction** : la verticale
  - **sens** : vers le bas
  - **intensité** : son poids P.

L'unité internationale de poids est le newton (N).

Le poids P et la masse m d'un corps sont liés par la formule fondamentale : $\vec{P} = m\vec{g}$

g est intensité de la pesanteur.

Le poids d'un corps dépend du lieu où il se trouve.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Compléter les phrases suivantes :

1) On appelle poids d'un corps ……. exercée par la ……. sur ce corps.
2) Le poids d'un corps peut-être représenté par un ……. de direction et orienté du ……. vers le …….
3) La relation entre le poids P d'un objet et sa masse m s'écrit …….
4) Le poids d'un objet s'exprime en …….
5) La droite d'action du poids passe toujours par le ……. du corps.
6) La direction du poids est toujours la ……. du lieu

2 Une papaye a un poids de 10 N. Représenter son vecteur -poids. Echelle : 1 cm pour 2N.

Applications directes du cours

3 Sur Terre, un homme a un poids de 784 N, sur la Lune son poids est de 128 N.
Quelle est sa masse mesurée sur Terre et sur la Lune ?

On donne : g_{Terre} = 9,8N/kg, g_{Lune}= 1,6N/kg

Utilisation des acquis

4 Voici deux tableaux :

Animaux	bœuf	chien	chat
Poids (N)	6500	220	12
Masse (kg)	650	22	1,2
P/m			

Tableau 1

lieu	**Dakar**	**Paris**	**équateur**
Poids (N)	293,4	294,3	292,9
Masse (kg)	30	30	30
P/m			

Tableau 2

1) Compléter ces tableaux en calculant les rapports P/m
2) Donner une conclusion pour chaque tableau.

5 Avant de partir pour un vol sur la Lune, un astronaute situé sur terre pose son scaphandre sur le plateau d'une balance et il lit : 120 kg
1) Quelle caractéristique du scaphandre mesure-t-il ?
2) Il suspend alors son scaphandre à l'extrémité d'un dynamomètre. Quel est le résultat de sa mesure ?
3) Arrivé sur la Lune quelle sera sa masse ?
4) Il suspend maintenant, sur la Lune, son scaphandre à l'extrémité du dynamomètre.
Quel est le résultat de sa mesure ?
g (Terre) = 9,8 N/kg, g (Lune) = 1,6 N/kg

6 En Juillet 1969 l'astronaute **Neil Armstrong** a rapporté un échantillon de roche de la Lune.

	Intensité de la pesanteur	**Masse de l'échantillon**	**Poids de l'échantillon**
Terre	9,8 N/kg	1,2 kg	
Lune			

Sachant que l'intensité de la pesanteur sur la Lune est six fois plus faible que sur la Terre, compléter ce tableau.

PHYSIQUE

CHAPITRE 11 EQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS A DES FORCES NON PARALLELES

Quelles sont les forces qui assurent l'équilibre de cette grue de chantier ?

OBJECTIFS

Exploiter la condition d'équilibre d'un solide soumis à des forces non parallèles.

Appliquer la règle de composition des forces.

Déterminer les caractéristiques de la force de tension d'un ressort ou d'un fil, la réaction d'un support,

la force de frottement.

PLAN DU CHAPITRE

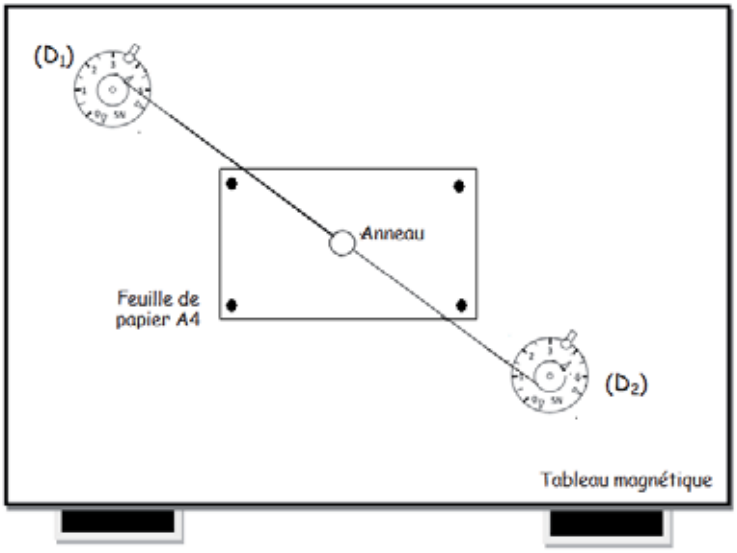
1. Equilibre d'un solide soumis à deux forces
2. Equilibre d'un solide soumis à trois forces non parallèles

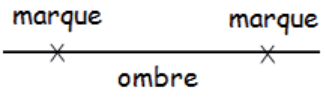
1 – Equilibre d'un solide soumis à deux forces

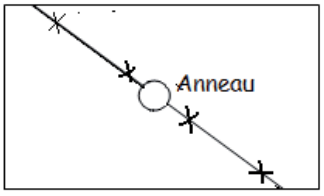
Expérience 1

1.1 -Dispositif expérimental

Réalisons à l'aide d'un tableau magnétique, de deux dynamomètres (D_1) et (D_2) circulaires et d'un anneau de masse négligeable, le dispositif ci-dessous.







Les dynamomètres indiquent les valeurs : $F_1 = 4{,}2$ N, $F_2 = 4{,}2$ N.

Fixons la feuille de papier avec des petits aimants.

Eclairons le tableau magnétique pour faire apparaitre les ombres des fils sur le papier.

Puis repérons l'ombre de chaque fil par deux points tracés au crayon.

Retirons le papier ainsi marqué puis traçons les droites d'actions.

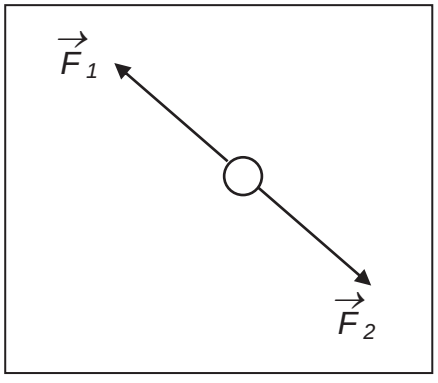
1.2- Conditions d'équilibre

Etudions maintenant l'équilibre de l'anneau

Représentons les vecteurs forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ à l'échelle :

1 cm $\leftrightarrow$ 1,0 N.

- système : anneau



- bilan des forces : $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$

- les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont de :

  - même droite d'action,
  - sens contraires,
  - même intensité : $||\vec{F}_1|| = ||\vec{F}_2||$

1.3- Généralisation

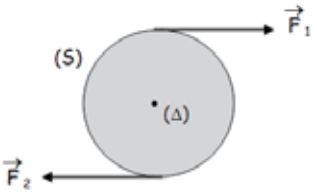
Lorsqu'un solide soumis à deux forces extérieures $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ est en équilibre :

- les deux forces ont la même droite d'action,
- la somme vectorielle de ces forces est nulle.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$$

Remarque : Cette condition d'équilibre est nécessaire mais non suffisante.

Dans l'exemple ci-contre, $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ mais le solide (S), en rotation autour de l'axe (Δ), n'est pas en équilibre.



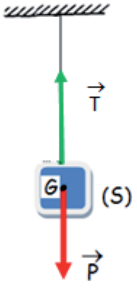
1.4 – Applications

1.4.1- Equilibre d'un solide suspendu à un fil

- système étudié : le solide (S)

- bilan des forces extérieures qui s'exercent sur (S) :

  - son poids $\vec{P} = m\vec{g}$
  - la tension $\vec{T}$ du fil



- Conditions d'équilibre : $\vec{P}$ et $\vec{T}$ ont même droite d'action (voir schéma). La tension du fil est portée par l'axe du fil.

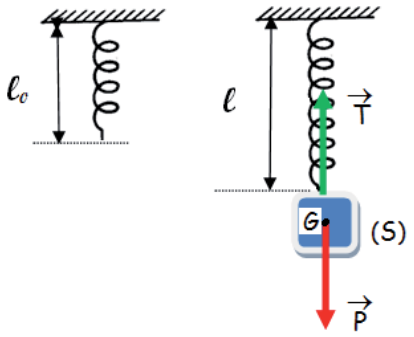
$$\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$$

Soit $\vec{P} = -\vec{T}$

$$\mathbf{T = P}$$

Soit $\mathbf{T = mg}$

1.4.2- Equilibre d'un solide suspendu à un ressort



- système étudié : le solide (S)

- bilan des forces extérieures qui s'exercent sur (S) :

- son poids $\vec{P} = m\vec{g}$
- la tension $\vec{T}$ du ressort avec $T = k.\Delta l = \mathbf{k(l - l_0)}$

l_0 est la longueur naturelle (ou à vide) du ressort, l sa longueur finale et $\Delta l = l - l_0$ son allongement.

K est appelée **constante de raideur** du ressort. (Voir étalonnage d'un ressort en annexe).

- Conditions d'équilibre : $\vec{P}$ et $\vec{T}$ ont même droite d'action (voir schéma). La tension du ressort est portée par l'axe du ressort.

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

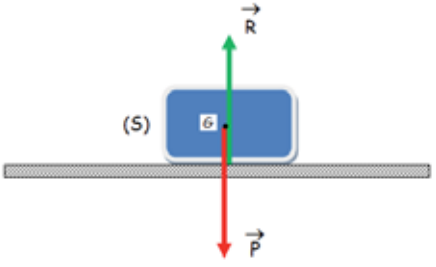
Soit $\vec{P} = -\vec{T}$

Donc dans le cas de l'allongement, La tension est dirigée du solide vers le ressort.

$$\mathbf{T = P}$$

Soit $\mathbf{k(l - l_0) = mg}$

1.4.3- Equilibre d'un solide posé sur un plan horizontal



- système étudié : le solide (S)

- bilan des forces extérieures qui s'exercent sur (S) :

- son poids $\vec{P} = m\vec{g}$
- la réaction $\vec{R}$ du plan

- Conditions d'équilibre : $\vec{P}$ et $\vec{R}$ ont même droite d'action (voir schéma).La droite d'action de la réaction $\vec{R}$ du plan passe par le centre de gravité du solide.

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

Soit $\vec{R} = -\vec{P}$

Ou encore $\mathbf{R = P}$

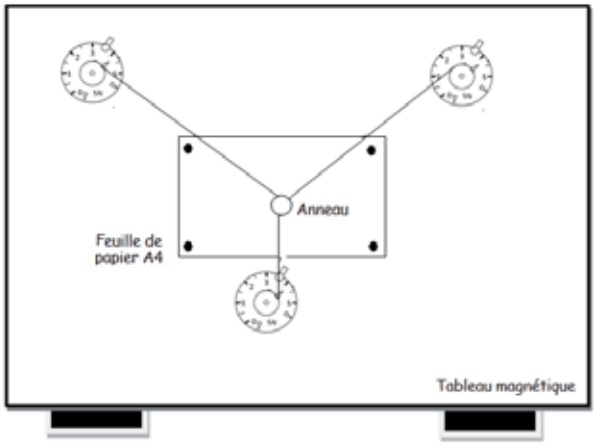
Soit $\mathbf{R = mg}$

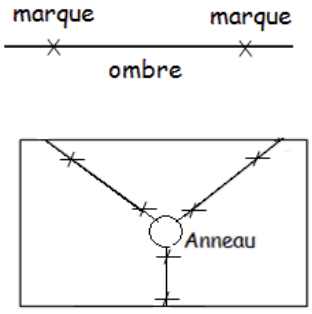
2 – Equilibre d'un solide soumis à trois forces non parallèles

Expérience 2

2.1- Dispositif expérimental

Réalisons à l'aide d'un tableau magnétique, de trois dynamomètres circulaires (D_1), (D_2) et (D_3) et d'un anneau de masse négligeable, le dispositif ci-dessous.





Les dynamomètres indiquent les valeurs : $F_1 = 4{,}5$ N, $F_2 = 5{,}5$ N, $F_3 = 4{,}6$ N.

Fixons la feuille de papier avec des petits aimants.

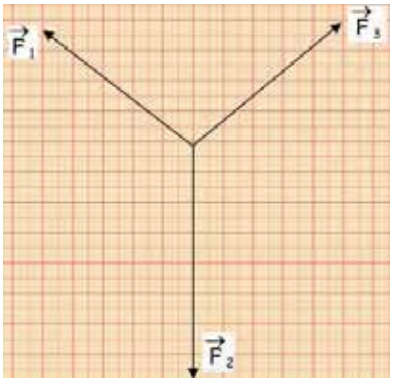
Eclairons le tableau magnétique pour faire apparaitre les ombres des fils sur le papier.

Puis repérons l'ombre de chaque fil par deux points tracés au crayon.

Retirons le papier ainsi marqué puis traçons les droites d'actions.

2.2- Condition d'équilibre

Etudions maintenant l'équilibre de l'anneau



Représentons les vecteurs forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ à l'échelle : 1 cm $\leftrightarrow$ 1,0 N.

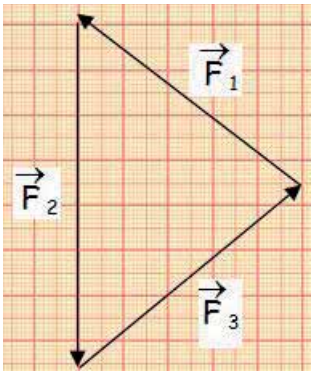
- système : anneau

- bilan des forces : $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$

- les forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ sont dans un même plan : elles sont dites coplanaires.

- les droites d'action des trois forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ se rencontrent en un même point : les trois forces sont concourantes.

- Les forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ forment un polygone de forces fermé. Donc leur somme vectorielle est nulle. Les forces se compensent à l'équilibre du système.



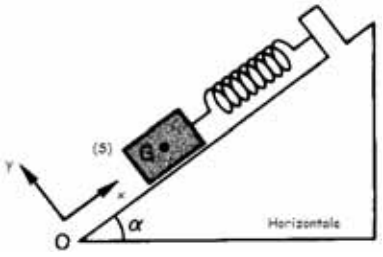
2.3- Généralisation

Lorsqu'un solide soumis à trois forces non parallèles est en équilibre :

- Les trois forces sont coplanaires et concourantes,
- La somme vectorielle de ces trois forces est nulle : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$

2.4– Application : Equilibre d'un solide suspendu à un ressort sur un plan incliné

Considérons un solide (S) de poids P = 10,0 N posé sur un plan incliné comme le montre la figure ci-contre. L'angle formé par le plan horizontal et le plan incliné est α = 30°.



Il n'y a pas de frottements entre le plan incliné et le solide (S). Celui-ci est maintenu en équilibre grâce à un ressort dont la raideur vaut k = 200 N/m.

Lorsque le solide (S) est à l'équilibre, l'allongement du ressort vaut Δl = 2,5 cm.

Déterminer l'intensité de la tension $\vec{T}$ du ressort et l'intensité de la réaction $\vec{R}$ du plan sur (S).

- **Système étudié** : le solide (S)

- **Bilan des forces appliquées au solide (S) :**

  - son poids $\vec{P} = m\vec{g}$,
  - la tension $\vec{T}$ du ressort
  - l'intensité de la réaction $\vec{R}$ du plan sur (S).

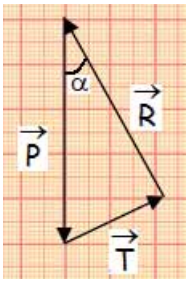
- **Condition d'équilibre :** $\vec{P} + \vec{T} + \vec{R} = \vec{0}$

P = 10,0 N, T = k.Δl = 200x2,5.10^{-2} = 5,0 N

Pour déterminer l'intensité de la réaction, on peut utiliser soit la méthode graphique, soit la méthode géométrique, soit la méthode analytique.

- **Etude graphique**

Prenons pour échelle : 1 cm ↔ 2,0 N.



Ainsi : $\vec{P}$ (10,0 N) ↔ $\frac{10.0}{2.0}$ = 5 cm

et $\vec{T}$ (5,0 N) ↔ $\frac{5.0}{2.0}$ = 2,5 cm

$\vec{R}$ correspond à 4,4 cm. Donc R = 4,4x2,0 = 8,8 N.

R ≈ 8,8 N

- **Etude géométrique**

Condition d'équilibre : $\vec{P} + \vec{T} + \vec{R} = \vec{0}$

Donc $\vec{T} = -(\vec{P} + \vec{R}) \Rightarrow R = \sqrt{T^2 + P^2 + 2\vec{P}.\vec{T}}$ avec $\vec{P}.\vec{T}$ = P.T.cos(α + 90°) = -P.T.sinα

$R = \sqrt{T^2 + P^2 - P.T.\sin\alpha}$

A.N. : R = 8,7 N

On peut aussi utiliser la relation des sinus : $\frac{T}{\sin\alpha} = \frac{P}{\sin(90°)} = \frac{R}{\sin(90° - \alpha)} \Leftrightarrow \frac{T}{\sin\alpha} = P = \frac{R}{\cos(\alpha)}$

On en tire R = P.cosα

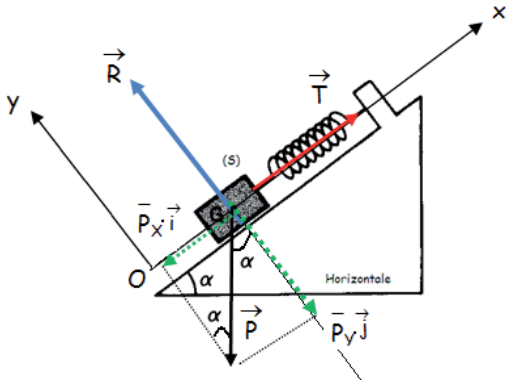
A.N. : R = 10,0xcos(30°) **R = 8,7 N**

- **Etude analytique**

Condition d'équilibre : $\vec{P} + \vec{T} + \vec{R} = \vec{0}$

Les composantes de $\vec{P}$, $\vec{T}$ et $\vec{R}$ suivant les axes Ox et Oy sont :

$$\vec{P}\begin{pmatrix} P_X = -P\sin\alpha \\ P_Y = -P\cos\alpha \end{pmatrix} \quad , \quad \vec{T}\begin{pmatrix} T_X = T \\ T_Y = 0 \end{pmatrix} \quad , \quad \vec{R}\begin{pmatrix} R_X = 0 \\ R_Y = R \end{pmatrix}$$



La condition d'équilibre s'écrit : $\begin{pmatrix} -P\sin\alpha \\ -P\cos\alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

D'où le système de deux équations à deux inconnues : $\begin{cases} -P\sin\alpha + T + 0 = 0 \\ -P\cos\alpha + 0 + R = 0 \end{cases}$

On en tire : $T = P\sin\alpha$ et $R = P\cos\alpha$

A.N . : **R = 8,7 N et T = 5,0 N**

L'ESSENTIEL DU COURS

Si un solide est en équilibre sous l'action de deux forces extérieures, alors ces deux forces sont égales et opposées. Leur direction passe par les deux points d'application des forces.

Principe des actions mutuelles : Pour deux solides (A) et (B) en contact, l'action exercée par le solide (A) sur le solide (B) est opposée à l'action exercée par le solide (A) sur le solide (B) :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

Un solide soumis à l'action de trois forces extérieures non parallèles est en équilibre, si :

- La somme des trois forces est nulle
- Les trois forces sont concourantes en un point.

EXERCICES

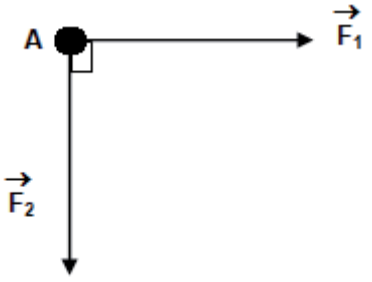
Connaissances essentielles du cours

1 a quelles conditions un solide soumis à deux forces extérieures est-il en équilibre ?

Applications directes du cours

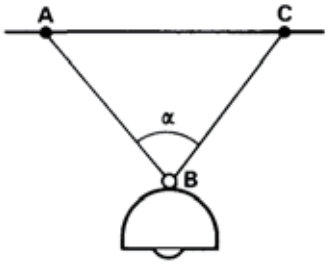
2 Un solide est en équilibre sous l'action de deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$. La force $\vec{F}_1$ d'intensité $F_1 = 3{,}0$ N est orientée horizontalement vers la droite. En déduire les caractéristiques de la force $\vec{F}_2$.

3 Un solide A est en équilibre sous l'action de trois forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$. Déterminer les caractéristiques de la force $\vec{F}_3$ sachant que $F_1 = 3{,}0$ N et $F_2 = 4{,}0$ N.



Utilisation des acquis

4 On veut suspendre au plafond d'une salle une lampe de masse m = 5 kg. On dispose d'un câble qui ne peut être soumis sans se rompre à une tension supérieure à 35 newtons.



1) Montrer qu'on ne peut pas suspendre la lampe simplement à l'extrémité du câble.

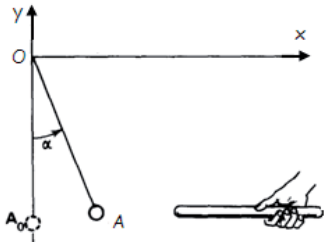
2) En réalité le câble passe dans un crochet de la lampe et ses extrémités sont fixées au plafond (croquis). Les deux moitiés du câble font entre elles un angle a = 60° et sont d'égales longueurs.

Quel est le module de la tension du câble ? Conclusion ?

3) Montrer qu'il y a rupture du câble si l'angle a dépasse une certaine valeur α, que l'on déterminera.

On donne g = 9,8 SI.

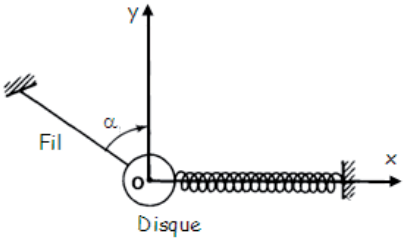
5 Une petite boule de sureau de masse m est



suspendue à l'extrémité d'un fil très fin fixé à son autre extrémité O. Elle prend une position d'équilibre AO dans le repère orthonormé (O, x, y) fixe du laboratoire. Un bâton d'ébonite frotté, approché de la boule chargée lui fait quitter sa position AO sous l'action d'une force électrostatique $\vec{F}$ et aller en A où elle reste immobile. Sachant que le fil OA, tendu a pivoté de l'angle α et que $\vec{F}$ est parallèle et de même sens que Ox, quelles relations traduisent la condition d'équilibre de la boule ?

Déterminer les caractéristiques des forces : tension $\vec{T}$ du fil et force électrostatique $\vec{F}$.
Application numérique : m = 30 grammes, g = 10 N/kg, α = 22°.

6 Un disque homogène, métallique, très mince, de masse m = 300 grammes est accroché à un dynamomètre et à un fil selon la figure ci-contre. A l'équilibre on observe que le dispositif est dans un plan vertical.



Soit dans ce plan le repère (O, x, y) orthonormé d'origine O centre du disque. Le dynamomètre, d'axe horizontal passant par O, fournit une tension d'intensité T_1 = 4 N.

1) Quelles forces exerce l'extérieur sur le disque ?

2) Ecrire la condition d'équilibre.

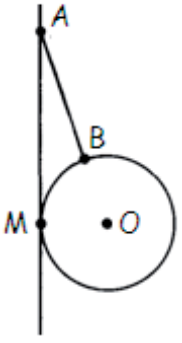
3) En déduire l'intensité de la tension $\vec{T}_2$ exercé par le fil (on déterminera l'angle α).

a) Par construction.

b) Par calcul (prendre g = 10 N/kg).

7 Un corps de masse m = 1000 kg est placé sur un plan incliné faisant un angle α = 10° avec le plan horizontal. En l'absence de frottement donner les caractéristiques des forces que l'extérieur exerce sur ce corps. Montrer qu'il ne peut pas y avoir équilibre du corps. Pour le maintenir immobile on exerce sur lui une force F de même direction que la ligne de plus grande pente du plan. Déterminer le

sens et le module de F (g = 10 N/kg).



8 Deux ressorts de même longueur, de raideurs respectives K_1 = 40 N/m et K_2 = 20 N/m, peuvent être associés soit en série fig. 1 soit en parallèle fig. 2.

1) Montrer que l'association série se comporte comme un ressort unique de raideur $K = \frac{K_1.K_2}{K_1 + K_2}$

2) Montrer que l'association parallèle se comporte comme un ressort unique de raideur $K' = K_1 + K_2$.

3) Déterminer dans chaque cas l'allongement total si on exerce sur l'association une force de 2 N.

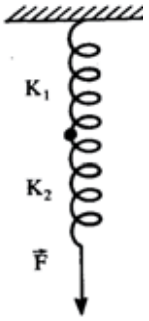


fig. 1

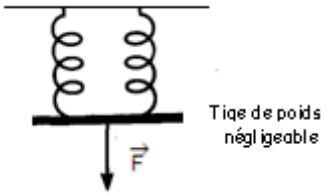
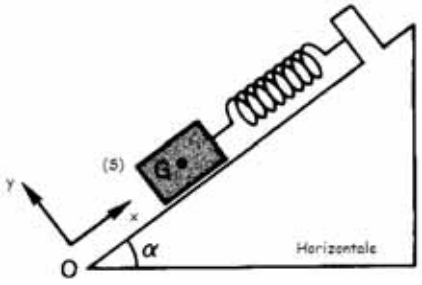


fig. 2

9 Un solide (S), de masse m = 10 kg et de centre d'inertie G est posé sur un plan incliné comme le montre la figure ci-contre. L'angle formé par le plan horizontal et le plan incliné est α = 30°. Il n'y a pas de frottements entre le plan incliné et le solide (S). Celui-ci est maintenu en équilibre grâce à un ressort dont la raideur vaut k = 500 N/m.

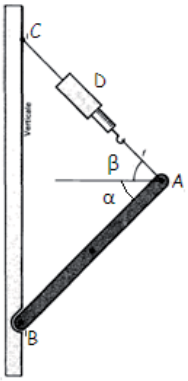


1) Représenter sur un schéma clair les forces appliquées sur le solide (S).

2) Ecrire la condition d'équilibre et projeter cette relation vectorielle sur les axes Ox et Oy.

3) Déterminer l'intensité de la réaction $\vec{R}$ du plan sur (S) et l'intensité de la tension $\vec{T}$ du ressort. En déduire l'allongement Δl du ressort. On prendra g = 10 N//kg.

10 Une poutre homogène AB de masse m = 10 kg est articulée en A dans un mur vertical. Elle est maintenue en équilibre grâce à un câble fixé en C dans le mur. Les caractéristiques géométriques du dispositif sont les angles α et β que forment la poutre et le câble avec l'horizontale (voir la figure). α = 45° et β = 60°.



Le dynamomètre D permet de mesurer la tension T de ce câble, son indication est voisine de 40 N.

1) Représenter sur un schéma clair les forces appliquées sur le solide (S).

2) Montrer que l'on peut déterminer la réaction $\vec{R}$ du mur sur la poutre au point B en effectuant une construction géométrique. Préciser son intensité et l'angle θ qu'elle forme avec l'horizontale.

3) Vérifier les résultats trouvés par le calcul (on déterminera θ puis R).

PHYSIQUE

CHAPITRE 12 EQUILIBRE D'UN SOLIDE MOBILE AUTOUR D'UN AXE FIXE

Comment expliquer que la porte ne bouge pas ?

OBJECTIFS

- Déterminer la valeur algébrique du moment d'une force, d'un couple de forces, d'un couple de torsion
- Utiliser le théorème des moments dans l'étude de l'équilibre d'un solide susceptible de tourner autour d'un axe fixe
- Comprendre l'intérêt de dispositifs tels que le treuil, la poulie, le levier...

PLAN DU CHAPITRE

1. Rotation d'un solide autour d'un axe fixe.
2. Moment d'une force par rapport à un axe fixe
3. Moment d'un couple de forces
4. Conditions d'équilibre d'un solide susceptible de tourner autour d'un axe fixe
5. Couple de torsion
6. Applications pratiques : balances, treuil, leviers, poulies...

1– Rotation autour d'un axe fixe

1.1- Axe et sens de rotation

Activité 1

Qu'est-ce que l'axe de rotation d'un solide ?

- Ouvrir ou fermer la porte de la salle de classe
- Existe-t-il des points de cette porte qui restent immobiles ? Où se trouvent-ils ?
- Que représente pour la porte la ligne qui joint ces points

Exploitation

- Les points qui se trouvent sur les gonds restent immobiles quand la porte tourne
- La ligne joignant ces points est une droite appelée **AXE DE ROTATION DE LA PORTE.**

Définitions

Un solide est mobile autour d'un axe fixe si deux au moins de ses points restent immobiles au cours de son mouvement. La droite qui joint ces deux points constitue l'axe de rotation

Exercice d'application

Dans chacun des solides en rotation suivants, identifier l'axe de rotation et préciser sa direction.

1/ roue de bicyclette en rotation (photo avec axe de rotation) Doc. 2

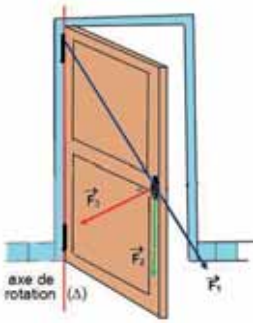
2/ balançoire (photo avec axe de rotation visible) Doc. 3

1.2- Effets d'une force sur la rotation

Activité 2

Peut-on prédire l'effet d'une force sur un solide en rotation ?

- Observer la figure du Doc. 4.
- Recenser les forces qui ont un effet de rotation et celles qui n'ont pas d'effets de rotation
- Pour chacune des forces qui n'ont pas d'effet de rotation, préciser la position de la droite d'action par rapport à l'axe de rotation.
- Faire de même pour les forces qui ont un effet sur la rotation



Doc. 4

Résultats

- La force $\vec{F}_1$ qui rencontre l'axe ne permet ni de fermer ni d'ouvrir la porte.
- La force $\vec{F}_2$ qui est parallèle à l'axe Δ n'a, comme $\vec{F}_1$, aucun effet sur la rotation de la porte (elle ne ferait que contribuer à la faire sortir de ses gonds).
- La force $\vec{F}_3$, perpendiculaire à la porte et par conséquent orthogonale à l'axe de rotation, permet d'ouvrir la porte.

N.B. : Toute force dont la droite d'action est contenue dans un plan perpendiculaire à l'axe est orthogonale à l'axe de rotation.

Généralisation

- Une force parallèle à l'axe de rotation n'a aucun effet de rotation. Il en est de même d'une force dont la droite d'action rencontre l'axe de rotation.
- Une force dont la droite d'action n'est ni parallèle ni sécante à l'axe de rotation peut provoquer une rotation.

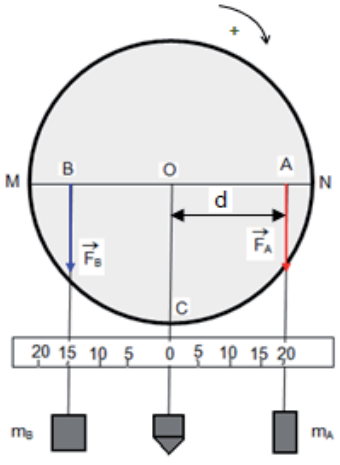
2 - Moment d'une force par rapport à un axe fixe

2.1- facteurs dont dépend l'efficacité d'une force à produire une rotation

Activité 3

Quels sont les facteurs dont dépend l'efficacité d'une force à produire une rotation ?

Soit un disque pouvant tourner avec peu de frottement autour d'un axe Δ horizontal passant par son centre de gravité (Doc.4 photo du disque des moments.)



Accrocher au point B un solide de masse m_B = 600 g et successivement en différents points A_1, A_2, A_3, les solides de masses m_1 = 450 g, m_2 = 600 g et m_3 = 900 g de façon à ce que les points de suspension des fils soient sur la même horizontale.

Vérifier que pour la position fixe de B n'importe quelle position de A_1, A_2 ou A_3 ne permet pas de rétablir l'équilibre.

Mesurer les différents bras de levier (distance d entre l'axe de rotation et la droite d'action de la force)

Tableau de mesures

F_B = 6 N et OB = 0,15 m

F (N)	F_1 = 4,5	F_2 = 6,0	F_3 = 9,0
d = OA (m)	d_1= 0,20	d_2 = 0,15	d_3 = 0,10
F. d (N.m)	0,90	0,90	0,90

Conclusion

- Lorsque **d** diminue l'intensité de la force augmente (il faut suspendre des masses marquées plus importantes) et inversement,
- Le produit F.d est constant :

$$\mathbf{F_1.d_1 = F_2.d_2 = F_3.d_3 = 0\ ,9\ N.m}$$

Généralisation

L'efficacité d'une force à produire la rotation d'un solide est proportionnelle à :

- l'intensité **F** de la force $\vec{F}$ exercée sur ce solide
- la distance d entre l'axe de rotation du solide et la droite d'action de la force $\vec{F}$ (**bras de levier)**

2.2- Définition du moment d'une force

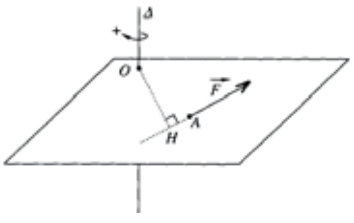
Le moment d'une force est une grandeur physique qui traduit l'efficacité de cette force à faire tourner un système autour d'un axe.

NB. Dans l'activité 3 la force $\vec{F_0}$ tend à faire tourner le disque dans un sens, tandis que la force $\vec{F_1}$ tend à le faire tourner dans l'autre sens. Pour marquer cette différence on choisit arbitrairement un sens positif de rotation.

Par convention, le moment est positif si la force à tendance à faire tourner le système dans le sens positif choisi, négatif dans le sens contraire.

La valeur du moment d'une force $\vec{F}$ par rapport à un axe Δ est le produit de l'intensité F de cette force par la longueur d de son bras de levier d = OH.

$$\mathbf{\overline{M_\Delta}(\vec{F}) = \pm F.\ d}$$

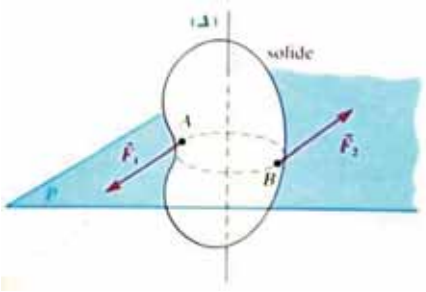


Dans le système international d'unités, F se mesure en newtons, d en mètres et **le moment en newtons-mètres (N.m)**

3- Moment d'un couple de forces

3-1-Définition d'un couple de forces

Un système de deux forces parallèles, de sens contraires, de même intensité et n'ayant pas le même support constitue un couple.

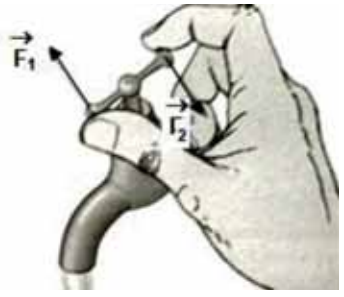


$$(\vec{F_1}, \vec{F_2}) \text{ couple} \Leftrightarrow \vec{F_1} + \vec{F_2} = \vec{0}$$

Les supports des forces définissent un plan P, appelé plan du couple (Doc.5).

Un couple produit, sur les corps, un mouvement de rotation dans un sens. Ce sens est dit **sens positif** ou **direct** si le couple tend à faire tourner le corps dans le sens positif. Dans le cas contraire, il est dit de **sens négatif** ou **rétrograde** (Doc.6).

3.2- Exemples de couples de forces



Le couple exercé par deux doigts pour fermer un robinet (Doc.8) photo

Le couple exercé par les deux mains de l'automobiliste dévissant l'écrou d'une roue (Doc.7)

3.3- Moment d'un couple de forces orthogonales à un axe Δ

On admet que le moment M d'un couple de forces F et F' est le produit de la valeur commune des deux forces par la distance d entre leurs supports.

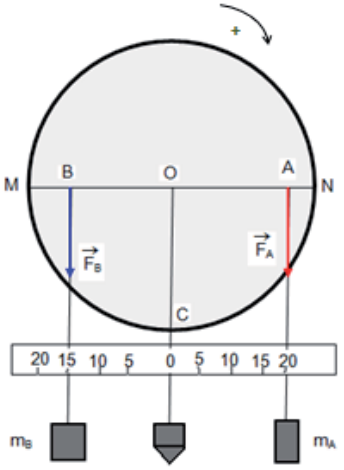
$$M_{\Delta}(\vec{F}, \vec{F'}) = \pm F.d$$

NB. Le signe est « **+** » si le couple tend à faire tourner le système dans le sens positif dans ce cas on parle de **couple moteur M_m**

Il est « **-** » dans le cas contraire, dans ce cas on parle de **couple résistant M_r**.

4 – Conditions d'équilibre d'un solide susceptible de tourner autour d'un axe fixe

Activité 4



A quelles conditions d'équilibre obéit un solide mobile autour d'un axe fixe ?

- Fixer le disque pour étude des moments sur le tableau magnétique
- Accrocher des masses marquées m_0, m_1, et m_2 respectivement aux extrémités inférieures des fils fixés aux points B, A_1 et A_2 du disque de façon à réaliser l'équilibre
- Faire le bilan des forces appliquées au disque, en supposant les frottements négligeables
- Choisir un sens positif de rotation du disque
- Calculer la valeur algébrique du moment de chacune des forces appliquées
- Evaluer la somme des moments de ces forces.
- Conclure.

Exploitation

Le centre de gravité du disque est situé en O sur l'axe (Doc.9).

Le bilan des forces appliquées au disque est le suivant :

- **Le poids P du disque, dont la droite d'action verticale passe par l'axe,**
- **Les forces $\vec{T}_0$, $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ exercées par les fils tendus,**
- **La réaction $\vec{R}$ exercée par l'axe sur le disque et dont la droite d'action verticale passe par l'axe**

Avec comme sens positif celui des aiguilles d'une montre, on a en résumé le tableau suivant :

Forces appliquées	P	R	T_0 = 6,0 N	T_1 = 1,5 N	T_2 = 4,0 N
Distance à l'axe (cm)	0	0	15	20	15
Valeur algébrique du moment (N.m)	0	0	- 0,9	+0,3	+0,6

On constate que :

La somme algébrique des moments par rapport à l'axe Δ est nulle : $\Sigma M_\Delta(\vec{F}_i) = 0$

3.2- Généralisation : théorème des moments

Lorsqu'un solide susceptible de tourner autour d'un axe fixe et soumis à plusieurs forces (forces localisées ou réparties, forces de contact ou s'exerçant à distance) est en équilibre dans le référentiel terrestre, alors :

La somme algébrique des moments par rapport à l'axe Δ est nulle : $\Sigma M_{\Delta}(\vec{F_i}) = 0$

<u>NB.</u> : La somme vectorielle des forces extérieures est également nulle : $\Sigma(\vec{F_i}) = \vec{0}$

5- Couple de torsion d'un fil

5-1- Notion de couple de torsion

Activité 5

Qu'est ce qu'un couple de torsion ?

- Suspendre un crayon à un fil de torsion. (Doc.10)
- Provoquer la torsion du fil en tournant le crayon dans le plan horizontal.
- Relâcher le crayon et noter vos observations

Exploitation

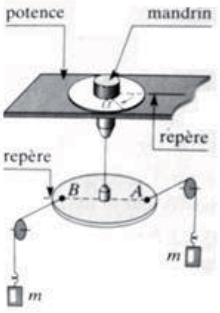
En tournant le crayon on a exercé un couple de forces. En lâchant le crayon, le fil tordu exerce sur le crayon un couple pour le ramener vers sa position initiale. Ce couple est appelé couple de torsion.

Expérience

5-2- Expression du moment d'un couple de torsion

On se propose de mesurer le moment du couple de torsion exercé par un fil en acier vertical sur le disque horizontal qu'il supporte.

On utilise le dispositif ci-contre(photo d'une balance de torsion (Doc.11) à l'aide duquel on mesure l'angle **α** dont il faut tordre le fil pour ramener le disque dans sa position d'**équilibre**, lorsqu'on suspend les deux objets de masse **m**.



Doc.11

Les brins de fils horizontaux sont perpendiculaires au segment AB , A et B étant les points d'accrochage.

Les mesures donnent les résultats suivants, avec AB = d = 0,20 m

m (kg)	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250
F (F= P = mg)					
α (degrés)	9	20	31	39	41
M (m.N)					

Questions

Déterminer la valeur des forces exercées par les fills accrochés au disque en A et B ?

Donner la relation exprimant la condition d'équilibre du disque.

Vérifier que les résultats trouvés sont conformes à ceux du tableau ci-desosus.

Construire le graphe représentant le moment du couple M en fonction de l'angle α.

Déduire de la condition d'équilibre que $|M_t| = C.\ \alpha$, où C désigne la constante de torsion (constante de proportionnalité) du fil. Calculer C en $m.N.rad^{-1}$.

Exploitation

Voici le tableau des mesures complété

m (kg)	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250
F= P= mg	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
α (degré)	9	20	31	39	41
M (m.N) = F.d	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50

En appliquant la condition d'équilibre, on a la relation :

$\mathbf{M_{\Delta}(\vec{F}, \vec{F'}) + M_t = 0,}$ $\mathbf{M_t}$ est le moment du couple de torsion du fil.

Le fil exerce sur la tige un couple de moment opposé à celui du couple (F_1, F_2) et proportionnel à l'angle **α** de torsion du fil

Voici le graphe de la courbe donnant les variations du moment du couple de torsion $\mathbf{M_t}$ en fonction de l'angle de torsion **α.**

C'est une fonction linéaire de coefficient directeur $\mathbf{C} = -\frac{\Delta M_t}{\Delta \alpha}$

On peut donc écrire :

$M_t = -M_{\Delta}(F, F') = -C\,\alpha$, en choisissant comme sens positif le sens de rotation de la tige.

$$M_t = -C.\alpha$$

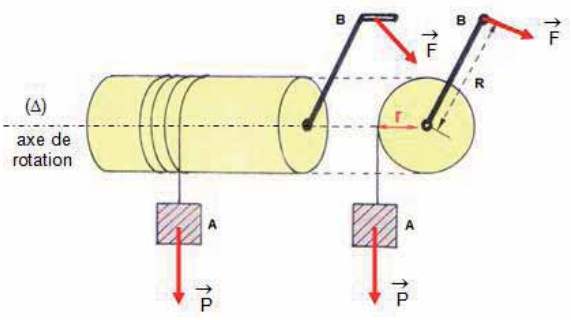
C est appelée constante de torsion du fil, son unité est le $N.m.rad^{-1}$.

Cette constante dépend de la matière qui compose le fil, de la longueur et du diamètre de celui-ci.

6- Applications pratiques du théorème des moments

6.1- Le treuil

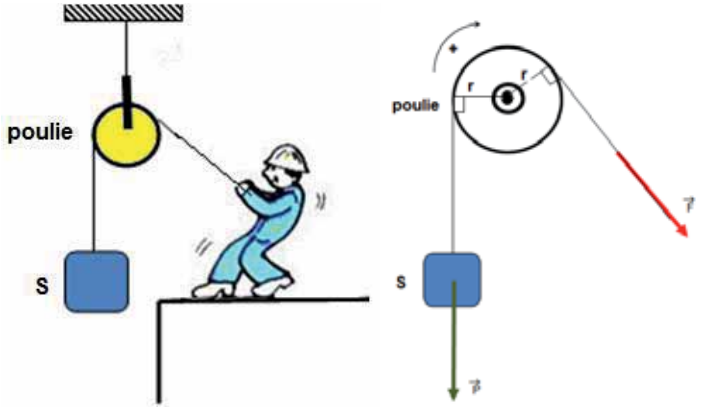
Grace au treuil (Doc. 12), on soulève une charge en développant une force inférieure au poids de cette charge.



Doc. 12

6.2- La poulie

Dans un équilibre, une poulie simple ne fait que changer la direction d'une force, elle ne modifie pas son intensité.



Doc.13

L'ESSENTIEL DU COURS

Un solide, en mouvement par rapport à un référentiel, est en rotation autour d'un axe fixe si ses points se déplacent sur des cercles centrés sur une même droite fixe. Cette droite fixe constitue l'axe de rotation du solide

La valeur absolue du moment d'une force $\vec{F}$ par rapport à un axe Δ est le produit de l'intensité F de cette force par la longueur d de son bras de levier.

$$M_{\Delta}(\vec{F}) = F.d$$

- Un système de deux forces parallèles, de sens contraires, de même intensité et n'ayant pas le même support constitue un couple.

$$(\vec{F_1}, \vec{F_2}) \text{ couple} \Leftrightarrow \vec{F_1} + \vec{F_2} = \vec{0}$$

- Le moment M d'un couple de forces F et F' est le produit de la valeur commune F des deux forces par la distance **d** entre leurs supports, ce produit étant affecté d'un signe.

$$M_{\Delta}(\vec{F}, \vec{F'}) = \pm F.d$$

Le moment du couple de torsion d'un fil est proportionnel à l'angle de torsion du fil.

$$M_t = -C\alpha$$

C est appelée constante de torsion du fil, son unité est le N.m.rad-1.

Conditions générales d'équilibre d'un solide mobile de tourner autour d'un axe fixe.

Lorsqu'un solide susceptible de tourner autour d'un axe fixe et soumis à plusieurs forces et / ou couples est en équilibre dans le référentiel terrestre, alors :

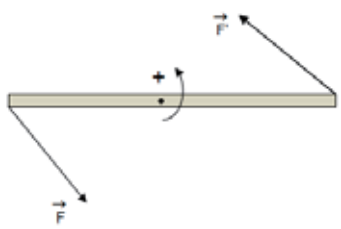
- La somme algébrique des moments par rapport à l'axe Δ est nulle : $\Sigma M_{\Delta}(\vec{F_i}) = 0$
- La somme vectorielle des forces extérieures est également nulle : $\Sigma(\vec{F_i}) = \vec{0}$

EXERCICES

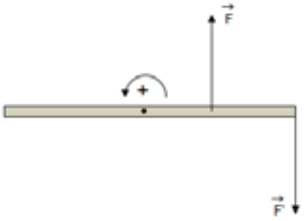
Connaissances essentielles du cours

1 Ajuster les nombres stœchiométriques des équations suivantes.

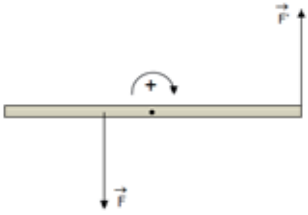
Indiquer, dans chaque cas, le sens de rotation de la tige et le signe du moment du couple de forces représentées.



Cas a



Cas b

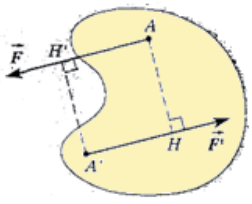


Cas c

2 Un solide est soumis à un couple de forces $(\vec{F}, \vec{F'})$. (fig)

Parmi les expressions suivantes donnant le moment de ce couple, choisir celle(s) qui est (sont) exacte(s).

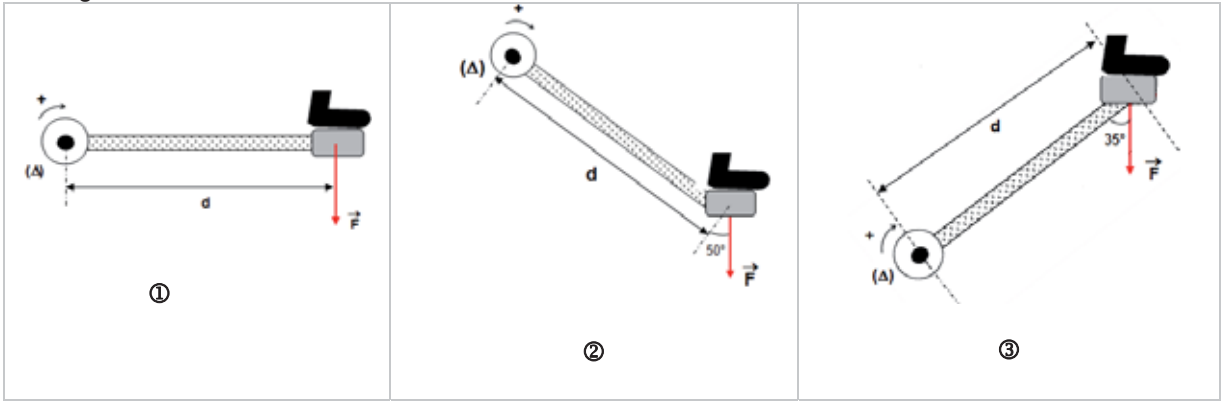
1) **M** = F . AA'
2) **M** = 2F . AA'
3) **M** = F . AH
4) **M** = 2F . AH
5) **M** = F . A'H'



Applications directes du cours

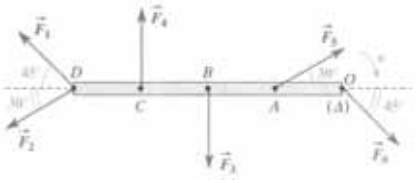
3 Le pied de Demba exerce sur la pédale de sa bicyclette(photo du pied sur la pédale) unne force $\vec{F}$ verticale vers le bas et de valeur F = 90 N , d = 10 cm.

Pour les cas 1, 2, et 3, calculer le moment $\mathbf{M}_{\Delta}(\vec{F})$, par rapport à l'axe (Δ) de rotation, de la force $\vec{F}$ orthogonale à cet axe.



① ② ③

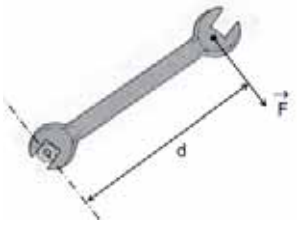
4 Une barre, de poids négligeable, peut tourner autour d'un axe (O, Δ), elle est soumise à un ensemble de couples de forces orthogonales à l'axe. (voir figure ci-contre). Ces forces ont toutes la même valeur : F = 10 N



Données : OA = AB = BC = CD = 10cm

1) Indiquer les couples de forces exercées sur la barre.
2) Calculer le moment de chacun d'eux.

5 Moussa le mécanicien, desserre un écrou en exerçant une force de 46 N à l'extrêmité d'une clé. La distance de l'axe de l'écrou au point d'application de la force est de 18cm.



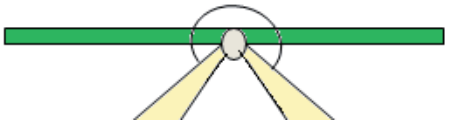
1) Préciser les deux forces du couple ainsi créé.

2) Représenter sur un schéma les vecteurs force et l'axe de rotation.

3) Exprimer et calculer le moment du couple.

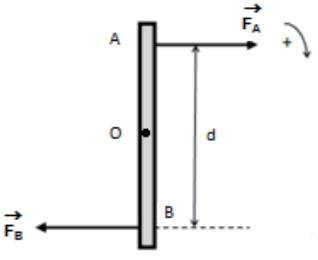
Utilisation des acquis

6 Fatou et Abdou sont assis sur la planche mobile de masse négligeable d'une balançoire(fig). Cette planche, horizontale, est mobile autour d'un axe de rotation. Fatou est assise à une distance de 2,7m de l'axe de rotation, Abdou, à 2,1 m de cet axe. Dans ces conditions la planche est en équilibre.



Calculer la masse de Abdou si celle de Fatou est 42 kg.

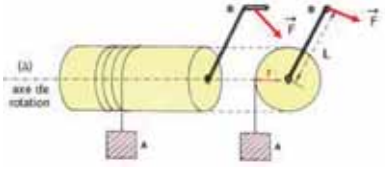
7 Pour ouvrir une boîte de conserve, Samba tourne le « papillon » de l'ouvre-boîte. Les deux forces qu'il exerce sur les « ailes » du papillon sont horizontales, de sens contraires et ont pour valeur commune 4,0 N. Le plan du « papillon » est vertical et son axe de rotation horizontal. Les deux forces sont appliquées en deux points distants de d = 4,5 cm.



1) Montrer que l'action mécanique appliquée à l'ouvre-boîte est un couple et calculer son moment.

3) Le «papillon» de l'appareil a tourné d'un angle α = 30°, Les forces exercées sont toujours horizontales et ont gardé la même valeur que celle donnée plus haut.
Représenter le couple de forces et calculer son nouveau moment.

8 Le treuil est composé d'un tambour cylindrique horizontal de rayon r qui peut être mis en rotation par une manivelle, de longueur L et de masse négligeable, placée à l'extrémité du tambour. Une corde est fixée sur le cylindre, elle supporte une charge de masse m (voir schéma).



1) Calculer le nombre de tours de manivelle qu'il faut effectuer pour soulever la charge d'une hauteur d = 2 m.

On donne r = 8 cm.
2) Représenter les couples de forces appliquées au tambour, ainsi que la réaction de l'axe sur le tambour lorsque l'ensemble est au repos (on néglige la masse du tambour).

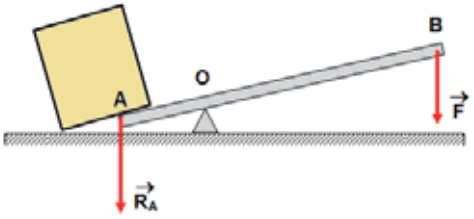
La force $\vec{F}$ est perpendiculaire à la manivelle et appliquée à son extrémité.

3) En supposant les frottements négligeables, calculer l'intensité de la force qu'il faut exercer pour maintenir en équilibre la charge.
Application numérique : M = 25 kg, l = 40cm, g = 10 $N.kg^{-1}$

9 Une poulie de rayon r et de poids P est mobile, sans frottement, autour d'un axe Δ horizontal passant par O. La réaction de l'axe est équivalente à une force $\vec{R}$ appliquée en O. Sur cette poulie passe une corde qui soutient un objet de masse m.

Montrer qu'à l'équilibre l'intensité de la force $\vec{F}$ qu'il faut exercer en A est égale au poids de la masse m. On néglige le poids de la corde.

10 Lorsqu'un carrier soulève une grosse pierre, il prend une barre de fer très rigide appelée pince de carrier, glisse la partie biseautée A sous la pierre, passe sous la barre un point d'appui très solide O et appuie sur l'extrémité B. La barre AB et le point d'appui O constituent un levier.



On néglige le poids de la barre.

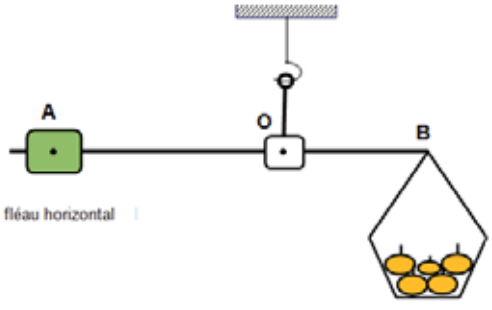
1) On se place dans le cas particulier où l'action de la pierre $\vec{R}_A$ sur la barre et celle du carrier $\vec{F}$ sont parallèles.

Montrer qu'à l'équilibre la réaction du point d'appui O sur la barre est parallèle à $\vec{R}_A$ et $\vec{F}$.

2) En appliquant le théorème des moments à la barre, trouver la relation qui existe entre R_A, F, OA et OB. Mettre en évidence l'intérêt de ce dispositif.

11 La figure représente une balance romaine. La partie du fléau située à gauche de l'axe O équilibre exactement la partie située à droite plus le plateau vide.

On place des pommes dans le plateau et pour l'équilibre, on doit donner au contrepoids A, de masse m = 1 kg, une position telle que OA = 25 cm



Quelle est la masse des pommes sachant que la distance OB est égale à 10 cm ?

12

1) On étudie d'abord l'équilibre décrit à la figure ci-contre (fig. a). On a ici une poulie à deux gorges, de rayons r_1 = 5 cm et r_2 = 10cm, mobile sans frottement autour de l'axe horizontal O. Le solide S_2 a pour poids P_2 = 10 N. Quel doit être le poids P_1 du solide S_1 pour qu'il yait équilibre ?

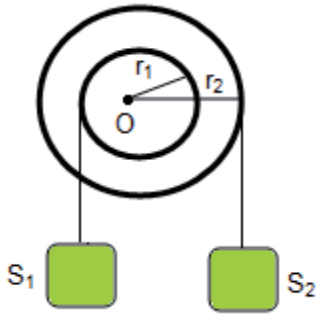


fig. a

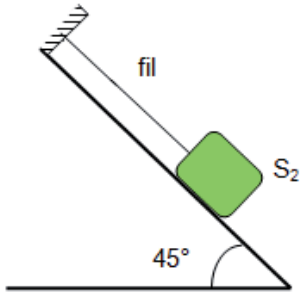


fig. b

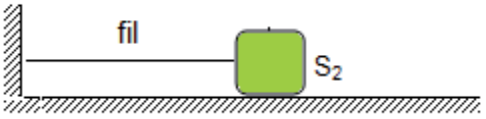


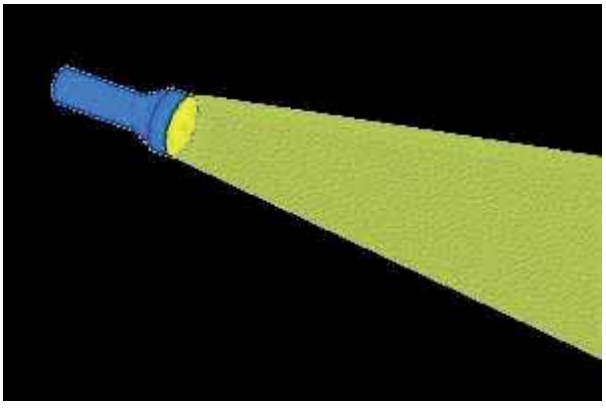
fig. c

2) Le solide S_2 repose maintenant sans frottement sur un plan incliné à 45° (fig. b). Quel doit être le nouveau poids de S_1 pour réaliser l'équilibre ?

3) Même question quand S_2 repose sur un plan horizontal (fig. c), le contact s'effectuant avec frottement de valeur f = 3 N.

PHYSIQUE

CHAPITRE 13 PROPAGATION DE LA LUMIERE



La lumière est partout présente dans notre environnement.
Où prend-elle source ? Comment se propage-t-elle ?

OBJECTIFS

- Distinguer une source primaire d'une source secondaire.
- Distinguer les sources des récepteurs de lumière.
- Identifier les milieux transparents, translucides et opaques.
- Mettre en évidence la propagation rectiligne de la lumière.
- Expliquer la formation des ombres et pénombres
- Déterminer la hauteur d'un objet par visée.

PLAN DU CHAPITRE

1. Sources et récepteurs de lumière
2. Propagation rectiligne de la lumière
3. Ombres et pénombre
4. Applications

1- Sources et récepteurs de lumière

1.1 - Types de sources

Où la lumière prend-elle source ? Les objets sont-ils toujours invisibles dans l'obscurité ? Répertorier quelques sources de lumière et les classer en deux catégories.

1.1. a - Les sources primaires de lumière

Les sources primaires de lumière produisent la lumière qu'elles émettent.

Il en existe deux catégories :

- les sources naturelles (exemples : soleil, étoiles, lucioles, éclairs,...)
- les sources artificielles (exemples : lampe, bougie, écran de télévision,...)

1.1.b- Les sources secondaires de lumière

Certains objets sont invisibles lorsque rien ne les éclaire. Lorsque ces objets sont éclairés, ils renvoient une partie de la lumière qu'ils reçoivent. Ils diffusent une partie de cette lumière. Ce sont des sources secondaires de lumière.

Exemples : table, mur, cahier, lune…

1.2- Récepteurs de lumière

Un récepteur de lumière est un corps ou un dispositif sensible à la lumière ou qui, sous l'effet de la lumière, subit une transformation.

- Récepteurs naturels : feuilles des plantes chlorophylliennes, œil, …
- Récepteurs artificiels : pellicules photographiques, lunettes photosensibles, cellules photovoltaïques, panneaux réflecteurs …

2- Propagation rectiligne de la lumière

2.1- Représentation de rayon lumineux

Activité 1

Placer les dents d'un peigne perpendiculairement à une feuille de papier et éclairer par une lampe torche dans une salle obscure. Voir photo ci-contre.

Observer le parcours de la lumière à la traversée du peigne.

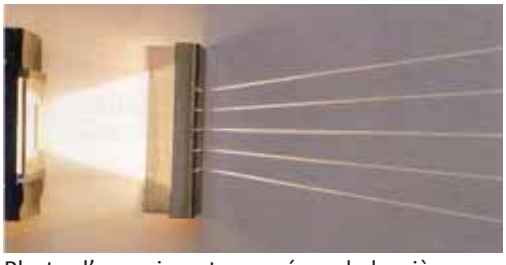


Photo d'un peigne traversé par la lumière

Observations

La lumière sort du peigne en ligne droite. Elle se propage de façon rectiligne dans un milieu homogène.

Conclusion

La lumière se propage en ligne droite dans un milieu transparent et homogène.
On représente le chemin suivi par la lumière par une droite, appelée rayon lumineux.

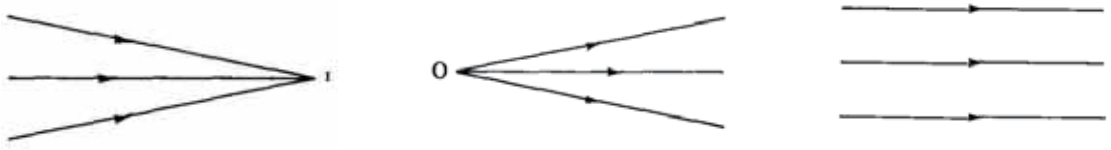
Le sens de propagation est précisé sur cette demi-droite par une flèche.

Rayon lumineux

2.2- Faisceaux lumineux (convergent, divergent, parallèle, cylindrique)

Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux. On distingue :

- des faisceaux convergents dont tous les rayons aboutissent à un même point (fig. a),
- des faisceaux divergents dont tous les rayons partent d'un même point (fig. b),
- des faisceaux cylindriques ou parallèles dont tous les rayons sont parallèles (fig. c).



(a) (b) (c)

Remarque : Une source de lumière émet un faisceau lumineux et non des rayons lumineux séparables.

2.3- Milieu transparent, translucide, opaque

Activité 2

Observer successivement une bougie allumée à travers une vitre, une feuille de papier calque et un carton.

Noter les observations.

La flamme de la bougie est visible à travers la vitre, floue (peu visible) à travers la feuille de papier calque et invisible avec le carton.
La vitre est transparente, la feuille translucide et le carton opaque.

Conclusion

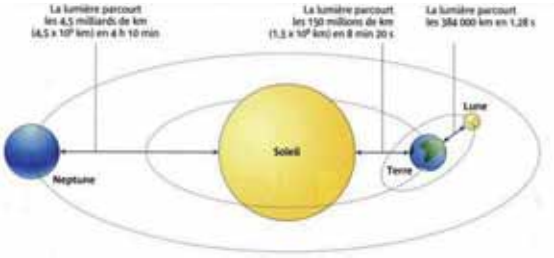
Un **corps transparent** est un corps homogène qui laisse passer la lumière.
Exemples : air, verre, eau limpide…

Un **corps translucide** est un corps qui laisse en partie passer la lumière.
Exemple : feuille de papier calque, verre dépoli…

Un **corps opaque** est un corps qui ne laisse pas traverser la lumière.
Exemples : mur, tableau noir, etc.

2.4 - Vitesse ou célérité de la lumière

La lumière met 8 min 20 s pour parcourir la distance Soleil – Terre.



L'astronome danois Römer a réalisé en 1676 une première mesure de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide.
Depuis, des mesures très précises ont confirmé que la vitesse de propagation de la lumière dans le vide et dans l'air vaut 299 792 458 $m.s^{-1}$.
Cette vitesse est une constante physique universelle dont la valeur approchée est c = 300 000 $km.s^{-1}$ ou 300 000 000 $m.s^{-1}$.

La vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air vaut c = 3.10^8 $m.s^{-1}$

2.6- Année lumière

Exercice d'application : L'étoile polaire se situe à 4 200 000 000 000 000 000 m de la Terre.
a) Ecrire ce nombre en lettre puis en notation scientifique.
b) Le mètre est-il une unité pratique pour exprimer cette distance ?
c) Sachant que l'année lumière (a.l) est la distance parcourue par la lumière dans le vide en un an, calculer cette distance.
d) Exprimer la distance étoile polaire – Terre en a.l. Commenter ce résultat.

Réponse :
a) $4,2.\ 10^{18}$ m
b) non
c) $d \approx 9,46.10^{15}$ m
d) $d = 4,42.10^2$ a.l

En astronomie, on utilise l'année lumière (symbole a.l) pour exprimer les grandes distances.

3- Ombres et pénombres

3.1- Ombre portée

Activité 3

- Dans une salle sombre, éclairer un écran avec une lampe torche.
- Interposer une figurine entre la lampe et l'écran.
- Déplacer en avant puis en arrière la figurine.
- Observer et noter.

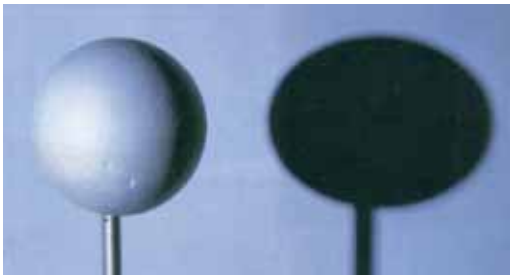
Observation

L'ombre de la figurine apparait sur l'écran, c'est son **ombre portée.** La dimension de l'ombre portée varie lorsque l'on déplace la figurine.

3.2- Ombre propre et ombre portée

Activité 4

- Eclairer un écran avec une lampe torche. Interposer un petit ballon entre la lampe et l'écran.
- Varier la distance ballon. - écran
- Noter les observations



ombre propre, ombre portée

Observations

La partie non-éclairée de la balle est son ombre propre, celle qui apparaît sur l'écran son ombre portée.

Selon que la balle se rapproche ou s'éloigne de l'écran, l'ombre portée s'agrandit ou diminue. L'ombre portée d'un objet est noire quelle que soit la couleur de la source de lumière qui l'éclaire.

Conclusion

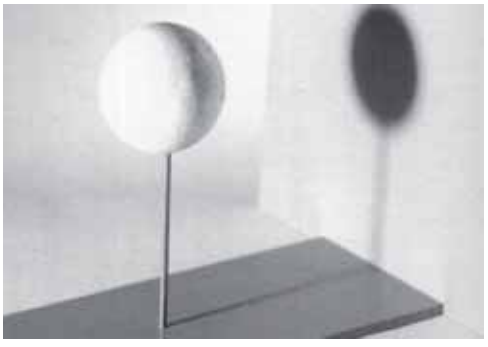
L'ombre propre d'un objet opaque placé devant une source de lumière est la partie de cet objet qui n'est pas éclairée. L'ombre portée est l'ombre d'un objet projetée sur un écran. La zone de l'espace qui n'est pas éclairée est le cône d'ombre.

La position et les dimensions de l'ombre portée dépendent de la position de la source. La forme de l'ombre portée dépend de la forme de l'objet et de la position de la source.

3.3- Pénombre

Activité 5

- Eclairer une balle avec une source étendue.
- Observer l'ombre portée et son contour sur un écran.



Observation

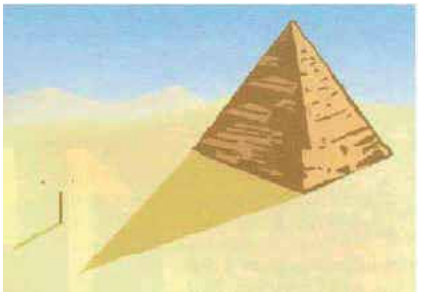
L'ombre portée est entourée d'une zone noire moins foncée. Cette zone est la pénombre.

Remarque : Une source ponctuelle est confondue à un point lumineux. Elle donne une ombre portée dépourvue de pénombre contrairement à une source étendue.

4- Applications

4.1- La visée

Quelle méthode Thalès a t-il utilisée par pour déterminer la hauteur des pyramides de Gizeh ?



Activité 6

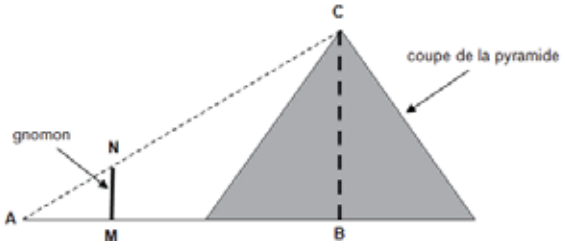
« Le mathématicien grec Thalès (625 av. J.C. – 546 av. J.C.) aurait formulé son célèbre théorème en voulant mesurer la hauteur des pyramides de Gizeh. Thalès utilisa un gnomon, c'est-à-dire un bâton droit de hauteur h, qu'il planta verticalement dans le sol. Eclairé par les rayons du soleil supposés parallèles, le gnomon projetait une ombre de longueur d.

Thalès mesura d ainsi que la longueur D de l'ombre d'une pyramide. Il en déduisit la hauteur H de cette dernière. »

- Dessiner la figure ci-contre correspondant à la situation présentée : on fera figurer les longueurs d, h, D et H du problème.
- A l'aide de son théorème, donner l'expression littérale de H en fonction de d, h et D.
- La pyramide est celle de Kheops.
  Calculer sa hauteur sachant que : d = 27 cm, h = 1,5 m et D = 25 m.

Exploitation

- **Figure correspondant à l'application du théorème de Thalès**



- **Donner l'expression littérale de H en fonction de d, h, D et $\widehat{BAC}$.**

Les rayons du soleil étant parallèles, les angles $\alpha = \widehat{MAN}$ et $\beta = \widehat{BAC}$ sont égaux

et donc : $\tan\alpha = \tan\beta$ soit $\frac{H}{D} = \frac{h}{d}$

Finalement **H = $\frac{hxD}{d}$**

- **<u>Application numérique</u> : hauteur de la pyramide de Kheops.**

d = 27 cm, h = 1,5 m et D = 25 m.

H = $\frac{1.5x25}{0.27}$ **<u>H = 139 m</u>**

- **Expression littérale de H en fonction de d, h et D.**

Les rayons du soleil étant parallèles $\alpha = \beta$ et donc : $\tan\alpha = \tan\beta$ soit $\frac{H}{D} = \frac{h}{d}$

Finalement **H = $\frac{hxD}{d}$**

- **<u>Application numérique</u> : hauteur de la pyramide de Kheops.**

d = 27 cm, h = 1,5 m et D = 25 m.

H = $\frac{1.5x25}{0.27}$ **<u>H = 139 m</u>**

La pyramide de Kheops a une hauteur de 139 m.

L'intérêt de la visée est l'alignement de plusieurs points grâce auxquels il est possible de construire une figure géométrique constituée de droites. Cette figure permet d'évaluer la taille ou la distance qui nous sépare d'objets lointains.

Exercice d'application

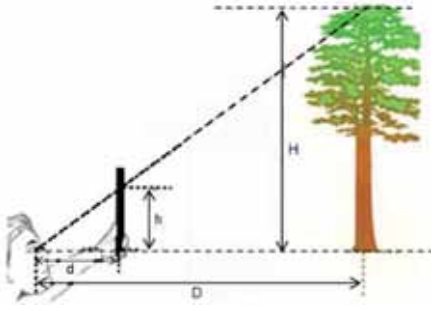
Malang veut déterminer la hauteur d'un cocotier vertical. Il est à 30 m de l'arbre et ajuste verticalement une règle de longueur 20 cm à 40 cm de ses yeux de sorte qu'il ne voit que les extrémités du cocotier.

1) Proposer un schéma qui traduit la situation.

2) Déterminer la hauteur du cocotier en appliquant le théorème de Thalès.

Solution

1) <u>Schéma qui traduit la situation</u> (voir figure)



2) <u>Hauteur du cocotier</u>

On applique le théorème de Thalès :

$\frac{H}{D} = \frac{h}{d}$

Et donc : **H = $\frac{hxD}{d}$**

<u>A.N.</u> : <u>H = 15 m</u>

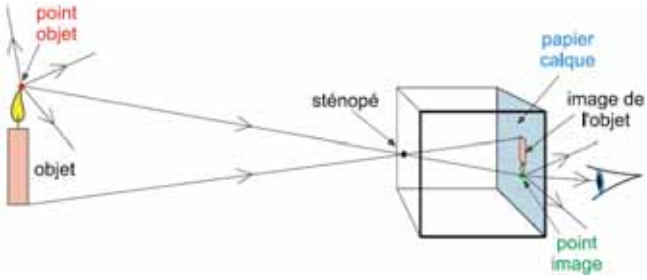
4.2- La chambre noire

Une chambre noire est une boîte fermée. D'un côté un petit trou (le sténopé) laisse entrer la lumière. Le côté opposé constitué d'une feuille de papier calque translucide sert d'écran. Afin de réaliser une relative

obscurité au voisinage de l'écran, une visière à l'aide d'un carton noir a été appliquée. La chambre noire est l'ancêtre de l'appareil photographique.

Observons le monde extérieur à travers cette chambre noire.

Observations : sur l'écran translucide nous apercevons une image colorée, peu lumineuse, renversée et assez floue.

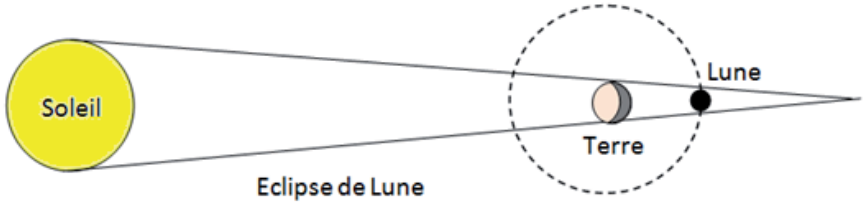


Interprétation : Tout point lumineux des objets placés devant la chambre noire émet des rayons lumineux dans toutes les directions. Parmi ces rayons, il y en a un qui traverse le trou, en ligne droite, et frappe l'écran translucide en donnant lieu à un point image. Celui diffuse partiellement la lumière reçue de sorte que finalement un rayon entre dans l'œil de l'observateur.

4.3 - Les éclipses

4.3.a - Eclipse de Lune

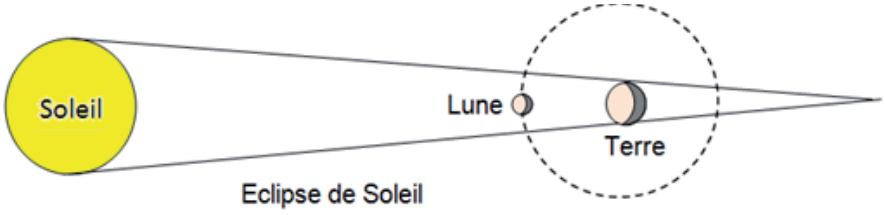
Il y a **éclipse** lorsque la Lune passe dans **le cône d'ombre** de la Terre, ce qui veut dire que le Soleil (la source lumineuse), la Terre et la Lune sont alignées lorsqu'il y a éclipse totale de Lune.



La Terre reçoit la lumière du Soleil. Elle en absorbe une partie et en renvoie dans toutes les directions. Quand la Lune passe dans le cône d'ombre de la Terre, elle ne reçoit pas de lumière du Soleil. On ne la voit pas : il y a éclipse lunaire.

4.3.b- Eclipse de Soleil

Il y a **éclipse de Soleil** lorsque cette fois c'est la Terre qui est dans le cône d'**ombre** de la Lune. La Lune est éclairée par le Soleil, ce qui crée derrière elle une zone d'ombre. Lorsque des endroits de la Terre passent totalement dans cette zone, il y a éclipse totale de Soleil.



On remarque sur le schéma qu'une éclipse totale du Soleil n'existe que sur une petite région de la Terre. Ceux qui sont dans la pénombre de la lune ne verront qu'une éclipse partielle du Soleil.

L'ESSENTIEL DU COURS

Les sources primaires de lumière produisent la lumière qu'elles émettent.

Les sources secondaires de lumière diffusent une partie de la lumière qu'elles reçoivent.

Un récepteur de lumière est un corps ou un dispositif sensible à la lumière ou qui, sous l'effet de la lumière, subit une transformation.

Un corps est :

- Transparent s'il laisse passer la lumière
- Translucide s'il laisse en partie passer la lumière

Un **corps opaque** est un corps qui ne laisse pas traverser la lumière.

L'**ombre propre** d'un objet **opaque** placé devant une source de lumière est la partie de cet objet qui n'est pas éclairée. L'**ombre portée** est l'ombre d'un objet projetée sur un écran.

La zone de l'espace qui n'est pas éclairée est le **cône d'ombre**.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1

a) Citer un phénomène montrant que la lumière se propage dans le vide.
b) Qu'est-ce qu'un corps opaque ? - un corps transparent ? - un corps translucide ?
c) Dans quels milieux la lumière se propage-t-elle en ligne droite?
d) Citer des applications pratiques utilisant la propagation rectiligne de la lumière.
e) Dans quelle condition n'observe-t-on pas la propagation rectiligne de la lumière?
e) Citer des exemples d'observations dans lesquelles la lumière ne se propage pas en ligne droite.

Applications directes du cours

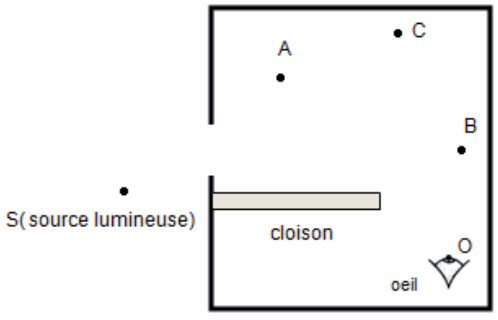
2 Relier l'objet, éclairé par une source ponctuelle, à la forme de son ombre portée sur un écran.

Sphère	•	• Rectangle
Rectangle	•	• Carré
Cylindre	•	• Disque
Carré	•	• Losange
Disque	•	• Ellipse

3 Qu'est-ce que l'année de lumière (a.l.). Faire le raisonnement permettant de trouver la valeur de l'année de lumière en km.

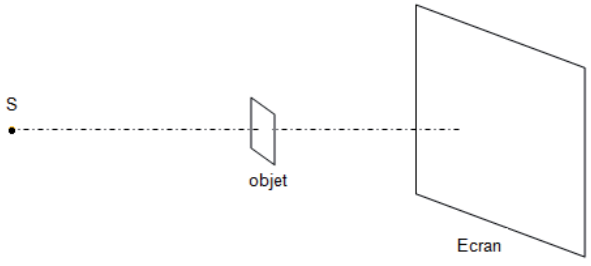
Utilisation des acquis

4 Dans une pièce sombre et tapissée de noir où il n'existe ni diffusion ni réflexion de la lumière, trois objets quasi ponctuels et non lumineux, A, B et C sont disposés comme l'indique la figure 6 ci-contre. Une source lumineuse ponctuelle S éclaire l'intérieur de la pièce à travers une ouverture.



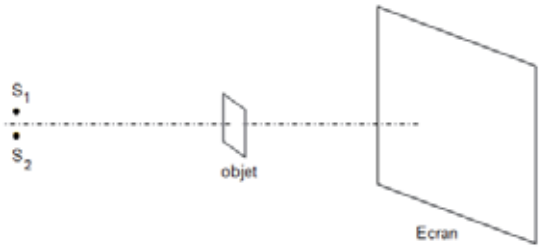
Quel est l'objet visible par l'œil dans la position indiquée ? On supposera que la pupille de l'œil est assimilable au point O.

5 S est une source ponctuelle (fig. ci-contre). Dessiner l'ombre portée de l'objet rectangulaire sur un écran parallèle à l'objet.



6 S_1 et S_2 sont deux sources ponctuelles. (fig. ci-contre).

Dessiner l'ombre portée de l'objet plan rectangulaire sur un écran parallèle à l'objet, et la (les) zone(s) de pénombre.



7 L'année de lumière

1) Calculer, en kilomètres, la valeur d'une année de lumière.
2) Leonis Regulus, dans la constellation du Lion, est une étoile blanche dont la distance à la Terre est de 68 a.l. Evaluer cette distance en kilomètres.

8 Eclipse de Soleil

1) Qu'est-ce qu'une éclipse de Soleil ?
2) Interpréter une éclipse de Soleil à l'aide d'un schéma. Quelle propriété de la propagation de la lumière utilise-t-on ?

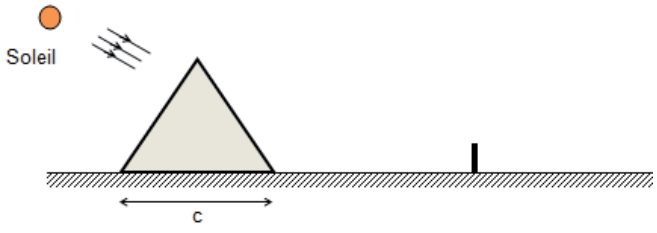
9 Grandeurs du système solaire

1) La planète Pluton se situe aux confins du système solaire, elle tourne autour du Soleil à environ 5,9 milliards de kilomètres.
2) Exprimer cette distance en secondes de lumière, minutes de lumière, heures de lumière.
3) L'étoile la plus proche du Soleil est α Proxima Centauri située à 4,2 a.l. de la Terre. Exprimer cette distance en kilomètres.
3) Que peut-on dire quant à la dimension du système solaire par rapport aux distances Terre-étoiles ?

10 Thalès a étonné le Pharaon en calculant la hauteur de la Grande Pyramide. Il avait «simplement» mesuré son ombre portée sur le sol.

Un piquet de hauteur h_1 = 1 m avait été planté dans le sol, près de la Grande Pyramide (fig. ci-contre). Son ombre portée mesurait h_2 = 1,60 m.

L'ombre portée, sur le sol, de la Grande Pyramide avait pour longueur L = 119 m. Quelle est sa hauteur H, sachant que cette pyramide a une base carrée de côté c = 229 m ?



11 Problèmes de communication

Les ondes radioélectriques se propagent dans le vide à la même vitesse que la lumière.
1) On considère une conversation entre des astronautes en mission sur la Lune et des techniciens d'un centre de contrôle situé sur la Terre.
Calculer la durée des «temps morts », dus à la propagation des ondes radioélectriques. Cette durée correspond à un aller (question) et retour (réponse) des ondes, la distance Terre-Lune est $4x10^5$ km.
2) Même question, mais les astronautes sont en mission

- sur Mars (2,3 x 108 km),
- au voisinage de l'étoile (α Proxima Centauri située à 4,2 a.l. de la Terre. Conclure.

PHYSIQUE

CHAPITRE 14 REFLEXION DE LA LUMIERE

Combien de jarre(s) observe-t-on sur cette photo ?

OBJECTIFS

- Distinguer la réflexion diffuse de la réflexion spéculaire
- Exploiter des documents illustrant la réflexion
- Enoncer les lois de Descartes pour la réflexion
- Construire l'image d'un objet par réflexion

PLAN DU CHAPITRE

1. Mise en évidence de la réflexion
2. Lois de la réflexion
3. Applications

1 - Mise en évidence de la réflexion

1. 1 - Réflexion

Activité 1

1 - Envoyer un faisceau lumineux parallèle dans une direction non perpendiculaire à la surface d'une plaque de verre.

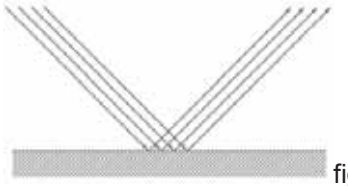


fig 1

Noter les observations

2 – Remplacer la plaque de verre par une feuille de contreplaqué.

Noter les observations

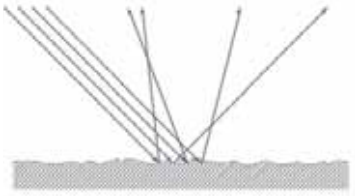


fig 2

Dans les deux cas, le faisceau est renvoyé dans le milieu d'origine (milieu air).

Dans la figure 1, le faisceau renvoyé est parallèle. La figure 2 montre que le faisceau est renvoyé dans plusieurs directions.

1. 2 - Définition

La réflexion est le changement de direction dans le même milieu d'un rayon lumineux lorsqu'il rencontre une surface plane.

Un miroir plan est, en optique, une surface plane parfaitement réfléchissante.

1. 3 - Terminologie

- Le rayon lumineux (SI) qui arrive sur la surface du miroir plan est le rayon incident.
- Le point I où le rayon incident arrive sur la surface du miroir est le point d'incidence.
- Le rayon lumineux qui se propage après réflexion sur le miroir est le rayon réfléchi (fig. x).
- La droite perpendiculaire à la surface du miroir au point I est la normale au point d'incidence.
- L'angle entre le rayon incident et la normale est l'angle d'incidence i.
- L'angle entre le rayon réfléchi (IR) et la normale est l'angle de réflexion r.
- Le plan contenant le rayon incident et la normale au point d'incidence est le plan d'incidence.

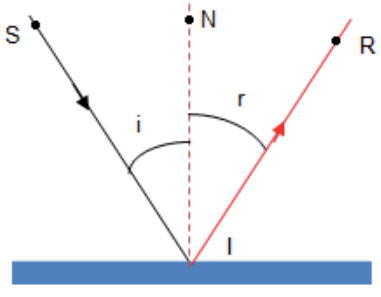
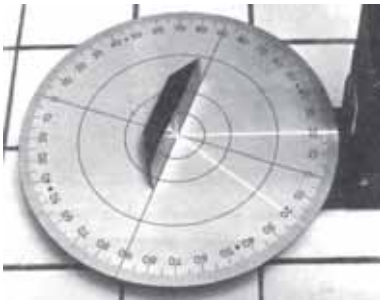


Schéma d'un rayon incident réfléchi

2 - Lois de Descartes pour la réflexion

2.1- Mise en évidence expérimentale

Activité 2



- Sur un disque vertical muni d'une graduation d'angle disposer en son centre, un petit miroir perpendiculaire au disque.
- Diriger un faisceau de lumière tangentiellement au plan du disque vers le centre du celui-ci. La graduation permet de déterminer cette direction.
- Mesurer l'angle i = SIN appelé angle d'incidence et l'angle r = NIR appelé angle de réflexion.
- Comparer i et r.

Observations

- Le faisceau est réfléchi par le miroir dans une direction bien déterminée.
- Le rayon incident (SI), le rayon réfléchi (IR) et la normale (IN) sont dans le plan d'incidence.
- L'**angle d'incidence** i et l'**angle de réflexion** r sont égaux : **i = r.**

Conclusion :

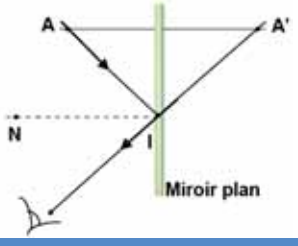
Première loi : Le rayon incident et le rayon réfléchi sont contenus dans le même plan.
Deuxième loi : L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence : i = r

2.2 - Construction de l'image d'un point par un miroir plan

Le point A' est l'image donnée par le miroir plan du point A.

A et A' sont symétriques par rapport au miroir.

Pour l'œil, le rayon réfléchi semble provenir du point A'.



3 – Application : Expérience des "deux bougies"

Activité 3

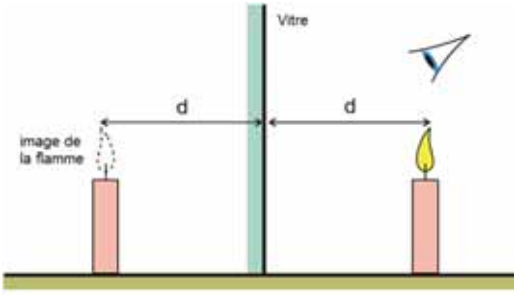
Placer deux bougies identiques **symétriquement** par rapport à une vitre transparente et verticale. Allumer celle qui se trouve en face de soi et observer l'autre bougie à travers la vitre.
Observer et noter.

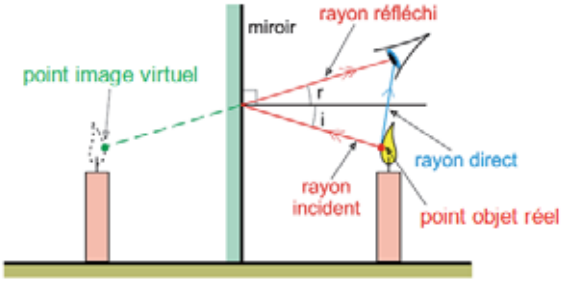
Observation

Il semble apparaitre une flamme au-dessus de la bougie non allumée.

Interprétation

La vitre réfléchit la lumière émise par la flamme. On voit l'image de la flamme dans la vitre. Pour tout observateur situé du côté de l'objet, cette image se trouve juste au-dessus de la bougie non allumée.





Conclusions

- L'image d'un objet fournie par un miroir est unique. Elle est indépendante de la position de l'observateur situé du côté de l'objet.
- L'image se trouve en une position symétrique de celle de l'objet par rapport au miroir.
- La taille de l'image est identique à celle de l'objet.

N.B :

Image virtuelle : image formée par un faisceau divergent et d'où semblent partir les rayons lumineux.

Image réelle : image formée par un faisceau convergent et qu'on peut recueillir sur un écran.

Une image virtuelle est représentée en pointillé et un objet en trait plein.

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ La réflexion est le changement de direction dans le même milieu d'un rayon lumineux lorsqu'il rencontre une surface plane.
- ✓ Lois de Descartes :
  - Première loi : Le rayon incident et le rayon réfléchi sont contenus dans le même plan.
  - Deuxième loi : L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence : i = r
- ✓ L'image d'un objet fournie par un miroir est unique. L'image se trouve en une position symétrique de celle de l'objet par rapport au miroir. La taille de l'image est identique à celle de l'objet.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Qu'est-ce qu'un miroir plan ?

2 Enoncer les lois de Descartes pour la réflexion.

Applications directes du cours

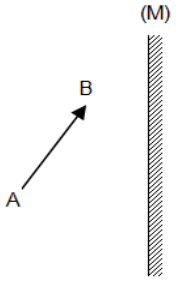
3 La lumière arrive normalement à la surface de séparation de deux milieux transparents. Quel est le nom donné à cette surface ?

- L'incidence est nulle : qu'est-ce que cela signifie ? Qu'observe-t-on alors ?

- L'angle d'incidence est très petit. Qu'observe-t-on ?

4 Un rayon lumineux arrive sur un miroir avec une incidence de 70°. Que devient le rayon lumineux ? Faire un schéma.

5 On considère un miroir plan (M) (voir fig. ci-contre).



1) Déterminer la position de l'image (A'B') de l'objet (AB) à travers le miroir plan (M).

2) Tracer la marche d'un faisceau de lumière issu du point B et se réfléchissant sur (M).

3) Quelle est la qualité remarquable que présente le miroir plan ?

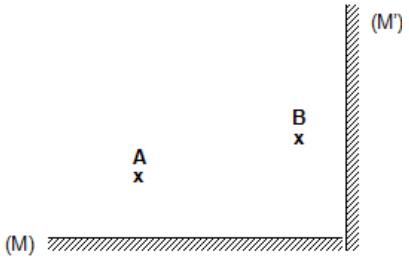
Utilisation des acquis

6 Un miroir est disposé perpendiculairement à une feuille de papier sur laquelle sont tracés deux points A et B.

Déterminer le point I du miroir qu'il faut viser avec un Laser pour que le rayon passe par A et, après réflexion, par B.

Un deuxième miroir est placé perpendiculairement au miroir de l'exercice précédent.

Quel point I du premier miroir faut-il viser pour que le rayon passe par A et après réflexion sur chaque miroir par B ?



7 Un miroir M est mobile autour d'un axe O. Une source lumineuse quasi ponctuelle est placée en A et envoie un rayon AO sur le miroir. On tourne le miroir d'un angle α.

1) De quel angle a tourné le rayon réfléchi ?

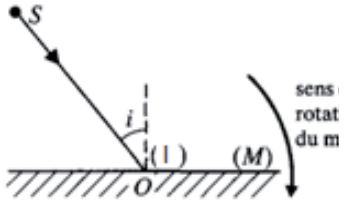
2) Montrer que l'image A' de A se déplace sur un cercle de centre O et de rayon OA.

3) Après la rotation d'un angle a du miroir (M), l'image de A vient en A". Quelle est la valeur de l'angle A"?

8 Construction d'un rayon réfléchi

1) Tracer à partir d'une source lumineuse matérialisée par le point S, deux rayons lumineux SI_1 et SI_2 arrivant sur la surface d'un miroir.
L'incidence du rayon SI_1 est de 30° et celle du rayon SI_2 est de 45°.
2) A l'aide d'un rapporteur, construire les rayons réfléchis.
3) Les rayons SI_1 et SI_2 délimitent un faisceau de lumière. Sur le schéma, hachurer le faisceau incident et le faisceau réfléchi.

9 Un miroir plan (M) peut tourner autour d'un axe (I) normal au plan de la figure ci-contre. Un rayon lumineux SI arrive sur ce miroir en I sous une incidence i = 30°.



1) Tracer le rayon réfléchi IR.

2) On tourne le miroir d'un angle de mesure α = 20°. Tracer le nouveau rayon réfléchi IR'. De quel angle le rayon réfléchi a-t-il tourné lors de la rotation du miroir ?

3) Retrouver le résultat par une méthode mathématique en utilisant la loi des angles de la réflexion.

PHYSIQUE

CHAPITRE 15 REFRACTION ET DISPERSION DE LA LUMIERE

Le crayon semble brisé, fracturé au niveau de la surface de l'eau. Comment pouvez-vous expliquer ce phénomène ?

OBJECTIFS

- Connaître et appliquer les lois de Descartes sur la réfraction
- Utiliser un prisme pour décomposer la lumière blanche
- Distinguer lumière polychromatique et lumière monochromatique

PLAN DU CHAPITRE

1. Mise en évidence du phénomène de réfraction
2. Lois de Descartes pour la réfraction
3. Angle limite de réfraction et réflexion totale
4. Applications
5. Dispersion de la lumière blanche par un prisme

1- Le phénomène de réfraction

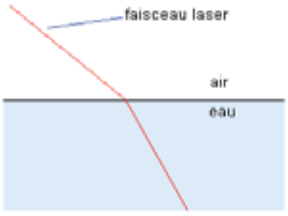
1.1- Mise en évidence du phénomène de réfraction de la lumière

Expérience 1

Eclairons par un laser la surface d'une cuve à eau et noter vos observations.

Observation

La lumière change de direction lorsqu'elle passe de l'air à l'eau.



Doc 1

Expérience 2

Introduisons un crayon dans un verre rempli d'eau au plus des deux tiers et noter vos observations.

Observation

Le crayon nous paraît brisé à la surface de séparation entre l'air et l'eau.

Doc 2

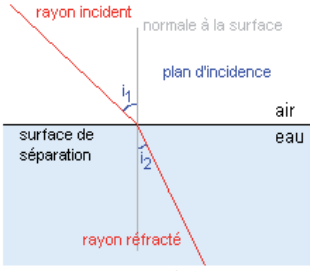
1.2 - Définition

La réfraction de la lumière est le changement de direction que subit la lumière, en général, à la traversée de la surface de séparation entre deux milieux transparents.

2- Loi de Descartes pour la réfraction

2.1 Quelques définitions

- Le **rayon incident** est le rayon lumineux qui arrive sur la surface de séparation (doc.).
- Le **point d'incidence** est le point où le rayon incident arrive sur la surface.
- **La normale (N) au point d'incidence** est la perpendiculaire en I à la surface de séparation.
- **L'angle d'incidence i_1** est l'angle entre la normale (N) et le rayon incident.
- **L'angle de réfraction i_2** est l'angle entre la normale (N) et le rayon réfracté.
- **Le plan d'incidence** est le plan contenant la normale (N) et le rayon incident.



Doc 3

2.2 – Enoncé des lois de Descartes pour la réfraction

On se propose d'énoncer les lois et de les vérifier par une activité expérimentale.

1ère loi : Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.

2ème loi : Lors d'une réfraction, le sinus de l'angle d'incidence i_1 et le sinus de l'angle de réfraction i_2 sont proportionnels.

2.3 - Vérification expérimentale

Activité 1

Doc 4

Quelle relation y-a-t-il entre l'angle d'incidence i_1 et l'angle de réflexion i_2 ?

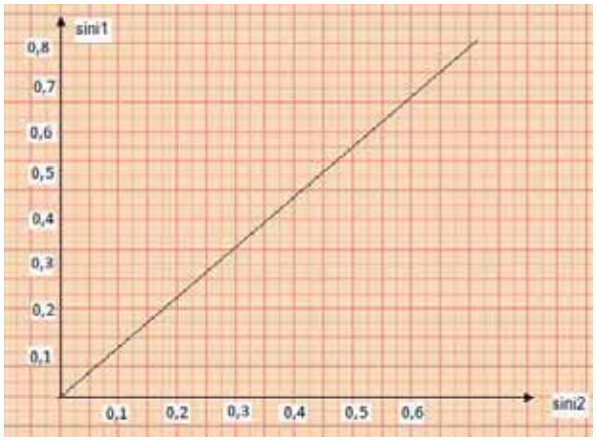
- Placer le demi- cylindre de Plexiglas sur le disque gradué.
- Envoyer un faisceau de lumière sur la face plane du demi-cylindre en son centre suivant la normale. (Doc.2). Noter vos observations.
- Faire tourner le demi-cylindre et mesurer pour différentes valeurs de i_1 les valeurs prises par i_2.
- Tracer la courbe sin i_1 = f (sin i2)
- Conclure

Conclusion

- le rayon lumineux passant par la normale n'est pas dévié.
- Lorsqu'un rayon lumineux arrive à la surface de séparation de deux milieux transparents 1 et 2 il donne lieu en un rayon réfléchi et à un rayon réfracté.

Résultats obtenus dans le cas d'une lumière rouge

i_1	0	10	20	30	40	50
i_2	0	6	13	20	25	30
sin i_1	0	0,17	0,34	0,50	0,64	0,77
sin i_2	0	0,10	0,22	0,34	0,42	0,52
$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$		1,70	1,55	1,47	1,52	1,48



Doc 5 : Tracé de la courbe sin i_1 = f (sin i_2)

Interprétation

La courbe est une droite passant par l'origine.

sin i_1 est proportionnel à sin i_2.

On vérifie ainsi la deuxième loi de Descartes sur la réfraction.

Conclusion

- Le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont dans le plan d'incidence.
- L'angle de réflexion i_2 est égal à l'angle d'incidence i_1.
- Le rapport du sinus de l'angle d'incidence i_1 au sinus de l'angle de réfraction i_2 est constant :

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \text{Cte}$$

2.4- Indice de réfraction d'un milieu transparent

2.4.1 – Définition

Le rapport $\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$ est appelé indice relatif de réfraction du milieu transparent 2 par rapport au milieu transparent 1, il est noté $n_{2/1}$ et est défini par la relation : $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$ où $n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$

La relation : $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$

donne la formule de Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

Remarque : Tout milieu transparent et homogène est caractérisé par un indice de réfraction noté n (indice absolu) et défini par $n = \frac{c}{v}$ où c est la célérité de la lumière dans le vide et v la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu considéré. L'indice de réfraction est une grandeur sans unité.

Quelques valeurs d'indice de milieu transparent pour la lumière rouge.

milieu	air	eau	alcool	quartz	cristal	diamant
Indice	1,00	1,33	1,36	1,46	1,60	2,42

Remarque : De deux milieux transparents, le plus réfringent est celui dont l'indice est le plus grand , par exemple, le verre est plus réfringent que l'eau, qui est elle-même plus réfringente que l'air.

Exercice d'application : Calculer la vitesse de propagation v_{eau} de la lumière dans l'eau. On donne n_{eau} =1,33.

Solution

$n_{eau} = \frac{c}{v_{eau}} \Rightarrow v_{eau} = \frac{c}{n_{eau}}$

A.N : $v_{eau} = 2{,}25 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

2.4.2 – Expression des lois de Descartes pour la réfraction

- **Première loi de Descartes**

Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence

- **Première loi de Descartes**

L'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont reliés par la relation : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$, ou n_1 et n_2 appelés indices de réfraction caractérisent les milieux transparent 1 et 2.

Ainsi le rapport $\sin i_1 / \sin i_2 = n_2 / n_1$ est une constante pour une lumière donnée.

Application : Détermination de l'indice du plexiglas pour la lumière rouge utilisée.
D'après la courbe (doc 3), **sin i_1 / sin i_2 = n_2/ n_1 = 1,5.** n_1 et n_2 étant respectivement les indices de réfraction de l'air et du plexiglas, $n_2 = 1{,}5n_1$, $n_2 = 1{,}5$.

3 – Angle limite de réfraction et réflexion totale

3.1- Angle limite de réfraction

Activité 2

Quelle valeur prend l'angle de réfraction quand l'angle d'incidence varie de 0° à 90° dans le cas où la lumière passe d'un milieu transparent à un autre plus réfringent ?

- Placer le demi- cylindre de Plexiglas sur le disque gradué.
- Envoyer un faisceau de lumière sur la face plane du demi-cylindre en son centre. (Doc.2)
- Faire varier l'angle d'incidence i_1 de 0° à 90°.
- Comparer l'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2.
- Quelle valeur i_L prend de réfraction l'angle lorsque d'incidence i_1 prend la valeur 90° ? (i_L est appelé angle de réfraction limite).

Doc 6

Observation

Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent à un autre plus réfringent, l'angle de réfraction i_2 est inférieur à l'angle d'incidence i_1.

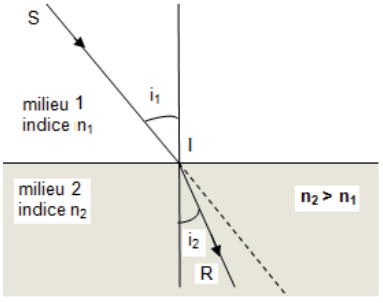
Lorsque l'angle d'incidence i_1 passe progressivement de 0 à 90° (c'est alors le cas de l'incidence rasante), l'angle de réfraction i_2 passe de 0° à une valeur limite i_L (angle de réfraction limite du milieu 2 par rapport au milieu 1).

Justification théorique

D'après la deuxième loi de Descartes : **$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$**

D'où : $\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \times \sin i_2$

Par hypothèse : $n_2 > n_1$ (le plexiglas sets plus réfringent que l'air)



Doc 7

Donc : $\frac{n_1}{n_2} < 1$

Par suite : $\frac{\sin i_2}{\sin i_1} < 1 \Rightarrow \sin i_2 < \sin i_1$ soit **$i_2 < i_1$**

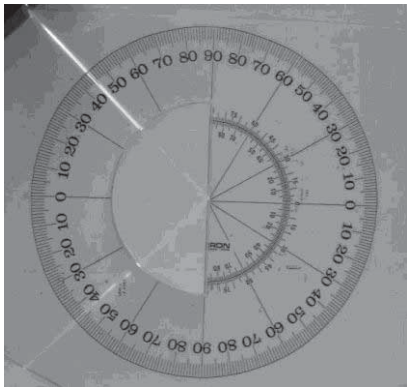
L'angle de réfraction i_2 est inférieur à l'angle d'incidence i_1 : le rayon réfracté se rapproche de la normale.

3.2- Réflexion totale

Activité 3

Existe-t-il toujours un rayon réfracté dans le cas où la lumière passe d'un milieu transparent à un autre moins réfringent ?

- Placer le demi- cylindre de Plexiglas sur le disque gradué.
- Envoyer un faisceau de lumière sur la face plane du demi-cylindre en son centre. (Doc.8)
- Faire varier l'angle d'incidence i_1 de 0° à 90°.
- Comparer l'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2.
- Pour quelle valeur i_L de l'angle d'incidence i_1 l'angle de réfraction atteint sa valeur maximale ?
- Que devient un rayon lumineux d'incidence supérieure à i_L ?



Doc 8

Observation

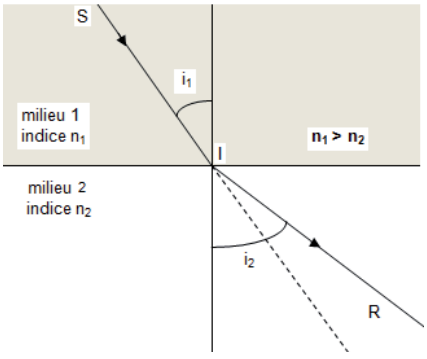
- Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent à un autre moins réfringent, l'angle de réfraction i_2 est supérieur à l'angle d'incidence i_1.
- L'angle limite d'incidence est l'angle pour lequel l'émergence est rasante c'est-à-dire $i_2 = 90°$. Pour $i_2 = 90°$, on a : $i_L \approx 42°$.
- Lorsque $i_1 > i_L \approx 42°$, la lumière se réfléchit totalement sur la surface de séparation plexiglass-air : on dit qu'il y a réflexion totale.

Justification théorique

D'après la deuxième loi de Descartes : $\mathbf{n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2}$

D'où : $\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} x \sin i_2$

Par hypothèse : $n_2 < n_1$ (le plexiglas est plus réfringent que l'air)



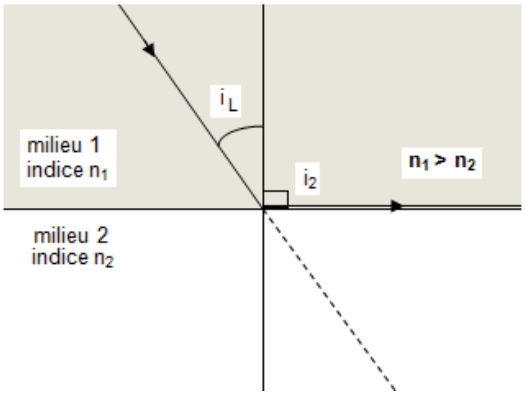
Doc 9

Donc : $\frac{n_1}{n_2} > 1$

Par suite : $\frac{\sin i_2}{\sin i_1} > 1 \Rightarrow \sin i_2 > \sin i_1$ soit $\mathbf{i_2 > i_1}$

L'angle de réfraction i_2 est supérieur à l'angle d'incidence i_1 : Le rayon réfracté s'écarte de la normale.

Angle limite d'incidence i_L



Doc 10

$\sin i_1 = \frac{n_2}{n_1} \times \sin i_2$

L'angle limite d'incidence $i_1 = i_L$ est l'angle pour lequel l'émergence est rasante c'est-à-dire $i_2 = 90°$.

Donc : $\sin i_L = \frac{n_2}{n_1} \times \sin 90°$

$\sin i_L = \frac{n_2}{n_1}$

Le milieu 2 étant de l'air, on a $n_2 = 1$

D'où $\sin i_L = \frac{1}{n_1}$

Soit $i_L = \text{Arcsin}(\frac{1}{n_1})$ On trouve $\mathbf{i_L \approx 42\ °}$

L'angle limite d'incidence est l'angle pour lequel l'émergence est rasante c'est-à-dire $i_2 = 90°$. Pour $i_2 = 90°$, on a : $i_L = \text{Arcsin}(\frac{n_2}{n_1})$.

Il y a réflexion totale si l'angle incident i_1 est supérieur à l'angle limite i_L et si l'indice de réfraction du milieu réfracté est inférieur à celui du milieu incident.

4- Applications de la réflexion totale

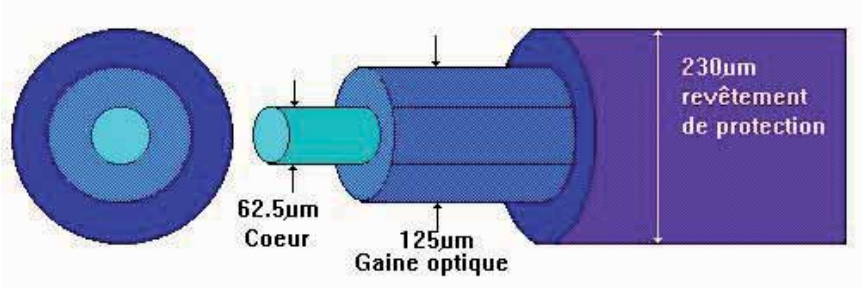
4.1 – la fontaine lumineuse

Les fontaines lumineuses sont des éléments décoratifs basés sur le phénomène de réflexion totale. En réalisant un jet d'eau courbé et en injectant un faisceau de lumière à l'intérieur, on observe que la lumière suit le jet d'eau sur toute sa longueur : elle est piégée par réflexion totale par les parois du jet en raison de l'écart d'indice à l'interface eau/air et de l'incidence rasante (Doc 11).

Doc 11 : Fontaines lumineuses à Barcelone

4.2- la fibre optique et la fibroscopie

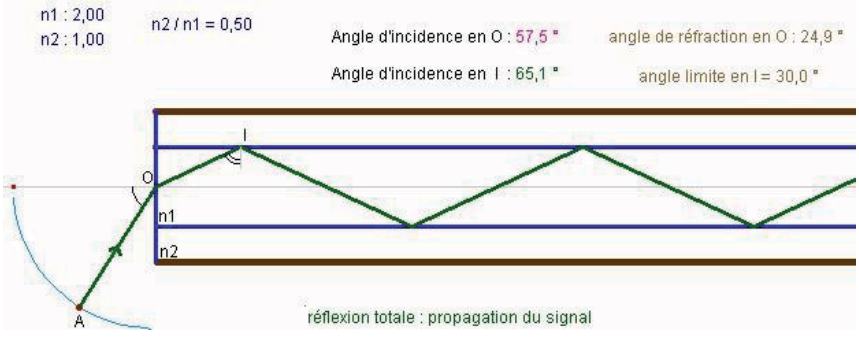
Une fibre optique est composée d'un cœur cylindrique et d'une gaine.



Doc 11 - schéma d'une fibre optique

L'intérêt de la fibre optique est de transmettre un rayon lumineux à l'intérieur du cœur sans que celui-ci puisse sortir de la gaine.

Pour cela, la fibre optique utilise la réflexion totale entre les deux milieux : le cœur d'indice de réfraction n_1 et la gaine d'indice $n_2 < n_1$. Le rayon lumineux, après avoir pénétré dans le cœur, subit une succession de réflexions totales, il est « piégé » à l'intérieur. La lumière est ainsi canalisée et peut être transportée sur de très longues distances dans un conduit extrêmement fin et souple.



Doc 12 - propagation lumineuse dans une fibre optique

<u>Conclusion</u> : Une fibre optique est un "tuyau" dans lequel on peut faire circuler de la lumière.

Les deux grands domaines d'utilisations des fibres optiques sont :

- les télécommunications
- La fibroscopie

La fibroscopie

L'endoscopie consiste à introduire une caméra (ou " endoscope") dans un conduit ou une cavité de l'organisme. Cette technique est le plus souvent utilisée pour rechercher visuellement la cause d'un trouble.
Si l'endoscope est souple on parle de fibroscope et donc de fibroscopie. La fibroscopie permet notamment d'examiner l'estomac, le côlon, l'intestin grêle, les bronches, la vessie, l'oropharynx, les voies biliaires et les vaisseaux.

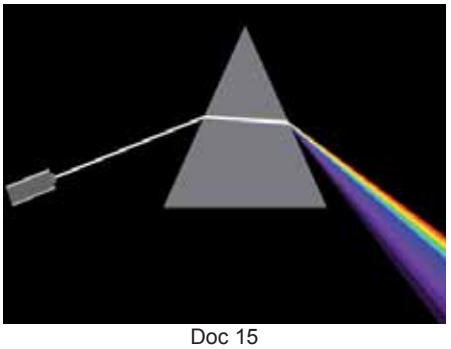
Doc 13 - fibroscope

Doc 14 - opération sous fibroscopie

5 - Dispersion de la lumière blanche

Activité 4

- Eclairer une fente par un faisceau de lumière blanche.
- Envoyer le faisceau sortant de la fente sur un prisme
- Placer un écran devant le faisceau émergent du prisme
- Observer et conclure



Doc 15

Observation

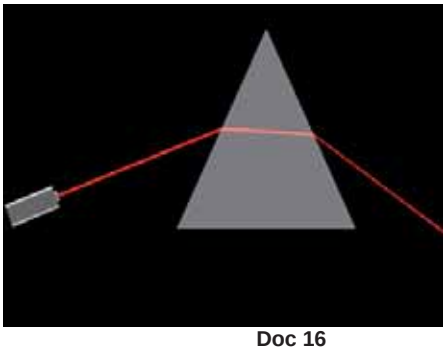
La lumière est déviée par le prisme, le faisceau émergent est étalé et présente les différentes couleurs de l'arc-en-ciel (rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo, violet).

Conclusion

- La lumière blanche est constituée de plusieurs couleurs, on dit qu'elle est polychromatique. Chaque couleur correspond à une radiation de longueur d'onde déterminée.
- Le prisme permet de séparer les différentes couleurs : C'est le phénomène de **dispersion.**
- La figure lumineuse obtenue porte le nom de **spectre de la lumière blanche.**

Activité 5

- Eclairer une fente par un faisceau de lumière laser.
- Envoyer le faisceau sortant de la fente sur un prisme
- Placer un écran devant le faisceau émergent du prisme
- Observer et conclure



Doc 16

Observation

La lumière est déviée par le prisme, mais n'est pas décomposée.

Conclusion

Le faisceau laser est constitué d'une seule couleur, on dit qu'elle est **monochromatique.**

L'ESSENTIEL DU COURS

- La **réfraction** de la lumière est le changement de direction que subit la lumière, en général, à la traversée de la surface de séparation entre deux milieux transparents.

- Première loi de Descartes sur la réfraction : **Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence**.
- Deuxième loi de Descartes sur la réfraction :
  Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent d'indice n_1 à un milieu transparent d'indice n_2, l'angle d'incidence $i_1$et l'angle de réfraction i_2, sont reliés par la relation :

$$\mathbf{n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2}$$

- Si la lumière passe d'un milieu dans un autre plus réfringent, à tout rayon incident correspond un rayon réfracté, plus rapproché de la normale.

- Dans le cas inverse le rayon réfracté s'écarte de la normale, il n'existe que si l'angle d'incidence est inférieur à l'angle limite i_L défini par : $\mathbf{\sin i_L = \frac{n_1}{n_2}}$

- Tout rayon incident tombant sur la surface d'un milieu moins réfringent suivant un angle d'incidence supérieur à l'angle de réfraction limite subit une réflexion totale et reste dans le milieu le plus réfringent.

- La lumière blanche est **polychromatique.**
- Une radiation **monochromatique** est constituée d'une seule couleur.

Dossier documentaire : l’arc en ciel

Arc-en-ciel intérieur. Les couleurs sont, de haut en bas : rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo, violet.
arc-en ciel extérieur. L'ordre des couleurs est inversé.

Un arc-en-ciel est un arc de lumière qui se forme lorsque des gouttes d'eau en suspension dans l'air sont éclairées par les rayons du Soleil. La lumière du Soleil est blanche, c'est-à-dire qu'elle contient toutes les couleurs visibles par l'œil humain. Lorsque les rayons du Soleil traversent les fines gouttes d'eau de l'atmosphère, ils sont déviés dans différentes directions selon leur couleur. Il se forme alors un arc de couleurs, autrement dit un arc-en-ciel. De l'intérieur de l'arc vers l'extérieur, on distingue nettement 7 couleurs principales : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge.

Toutefois, un arc-en-ciel n'est visible que dans des conditions particulières : le Soleil doit être suffisamment bas dans le ciel et l'observateur doit avoir le Soleil dans le dos.

Comment la lumière blanche est-elle décomposée ?

Quand la lumière pénètre dans une goutte d'eau, elle est déviée. Parmi les chemins que peut suivre la lumière, il en est un qui est à l'origine de l'arc-en-ciel intérieur : la lumière est réfractée (c'est-à-dire traverse l'interface air/eau en étant légèrement déviée), puis réfléchie, puis à nouveau réfractée pour ressortir de la goutte. Elle est ainsi déviée par rapport à la lumière incidente d'un angle d'environ 42°.

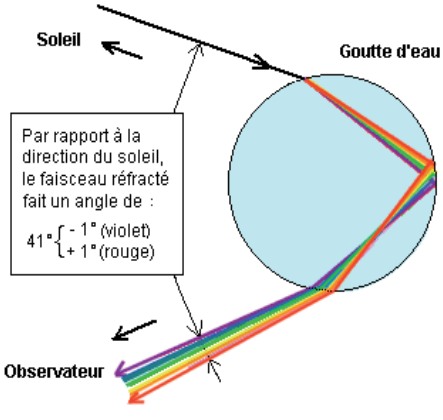


Fig. 1 - Réflexion et réfraction par une goutte d'eau

Mais alors pourquoi la lumière blanche est-elle décomposée ?

En fait, l'angle de déviation dépend de la longueur d'onde. Par exemple, l'angle de déviation de la longueur d'onde caractérisant le bleu est de 40,6°, il est de 42° pour le rouge. Ainsi, à la sortie de la goutte, les différentes couleurs composant la lumière blanche sont dispersées et forment l'arc-en-ciel primaire. Avec une réflexion de plus dans la goutte, nous obtenons l'arc secondaire, pour lequel l'angle de déviation est d'environ 51°.

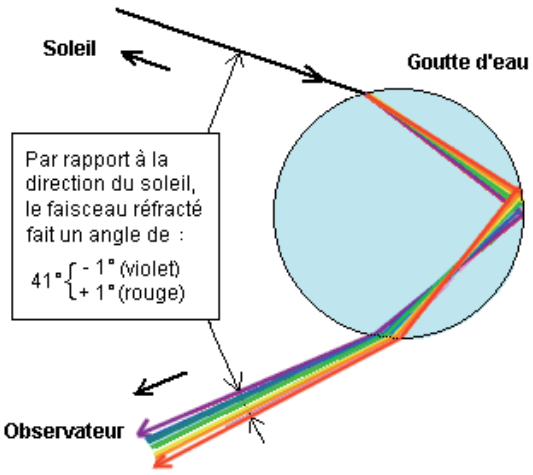


Fig. 1 - Réflexion et réfraction par une goutte d'eau

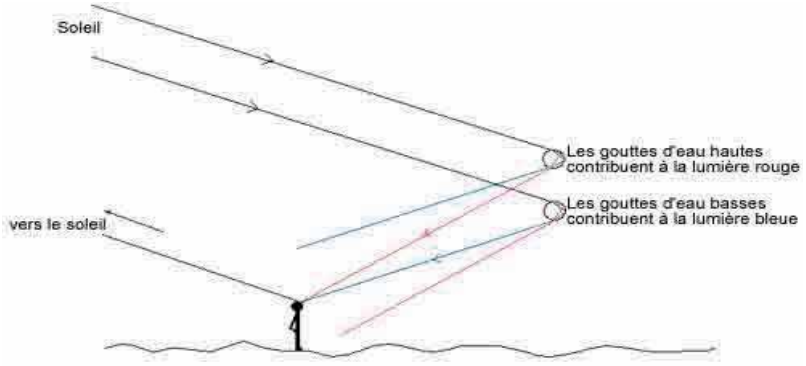


Fig. 3

Quand voit-on un arc-en-ciel ?

Les arcs-en-ciel ne sont visibles que le matin et le soir.

La bande sombre d'Alexandre ...

Entre l'arc-en-ciel intérieur et l'arc-en-ciel extérieur, le ciel paraît plus sombre ... En effet, aucun rayon lumineux n'émerge de la goutte entre l'angle de 41° caractérisant l'arc primaire et l'angle de 51°caractérisant l'arc secondaire, il y a donc dans cette zone un déficit de lumière. On appelle cette bande la "bande sombre d'Alexandre", en l'honneur d'Alexandre d'Aphrodisias qui le premier en a donné une description.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 **Qu'appelle-t-on indice absolu de réfraction d'un milieu transparent ?**

2 Si i_2 désigne l'angle de réfraction, quelle est la valeur maximale de son sinus ?

3 Quel phénomène désigne-t-on par réflexion totale ?

Applications directes du cours

4 Ecrire la deuxième loi de Descartes pour la réfraction et montrer que si $n_2 > n_1$, il y a toujours un rayon réfracté lors du passage de la lumière du milieu d'indice n_2 au milieu d'indice n_1.

Quelle est l'expression de l'angle limite λ de réflexion, en fonction des indices de réfraction des milieux concernés ?

5 **Pourquoi n'y a-t-il jamais réflexion totale lorsque la lumière passe de l'air dans le verre ?**

6 **Pourquoi la lumière change-t-elle de direction en passant d'une couche d'air chaud dans une couche d'air froid ?**

7 Un rayon lumineux arrive sur un miroir avec une incidence de 70°. Que devient le rayon lumineux ? Faire un schéma.

8 Deux miroirs font entre eux un angle de 90°. On considère un rayon incident SI_1 situé dans un plan perpendiculaire à l'intersection des deux miroirs. Ce rayon arrive sur le premier miroir avec une incidence de 30°. Quelle est la direction prise par le rayon lumineux après réflexion sur les deux miroirs?

9 Un rayon lumineux arrive dans l'air sur la surface de l'eau, avec une incidence de 40°. La valeur de l'angle de réflexion est

a) supérieure à 40°,

b) égale à 40°, c) inférieure à 40°.

La valeur de l'angle de réfraction est

a) supérieure à 40°, b) égale à 40°, c) inférieure à 40°.

10 Un rayon lumineux se propage dans du verre et arrive sur le dioptre «verre-air» sous l'incidence de 40°. La valeur de l'angle de réflexion est

a) supérieure à 40°, b) égale à 40°, c) inférieure à 40°.

La valeur de l'angle de réfraction est

a) supérieure à 40°, b) égale à 40°, c) inférieure à 40°.

11

a) Définir l'angle critique d'un dioptre.

b) Calculer l'angle critique du dioptre «eau-air». On donne l'indice de réfraction de l'air (1,00) et de l'eau (1,33).

Utilisation des acquis

12 Un rayon lumineux arrive dans l'air sur la surface plane du dioptre «air-cristal de plomb» avec une incidence $i_1 = 40°$. L'indice de réfraction de ce cristal de plomb est 1,80. Calculer les valeurs des angles de réflexion et de réfraction des rayons issus de ce rayon incident.

Sur un schéma, tracer la marche des rayons lumineux.

13 Un rayon lumineux se propage dans le cristal de plomb et arrive sur la surface plane d'un dioptre «cristal de plomb-air» avec une incidence $i_1 = 40°$. Que devient le rayon lumineux ?

Sur un schéma, tracer la marche des rayons lumineux.

On donne les indices de réfraction des matériaux suivants octane (1,40), eau (1,33), verre en flint lourd (1,65). Calculer l'angle critique des dioptres suivants «octane-air», «verre en flint lourd-air», «octane-eau», «verre en flint lourd-octane».

14 On considère le dioptre « eau-verre», l'indice de réfraction de l'eau est $n_1 = 1,33$ et celui du verre considéré est $n_2 = 1,53$.

1) Un rayon lumineux, se propageant de l'eau vers le verre, arrive à la surface du dioptre sous une incidence de 60°. Décrire la marche du rayon lumineux après son arrivée sur la surface de séparation du dioptre.

2) Sur un schéma, tracer avec précision les rayons lumineux obtenus.

3) Mêmes questions que précédemment, mais maintenant, le rayon lumineux se propage du verre vers l'eau. On a toujours une incidence de 60°.

15

1) Un rayon lumineux arrive sur différents dioptres sous une incidence $i_1 = 45°$
a) Calculer l'angle de réfraction lorsque l'on considère les dioptres suivants
— passage de l'air dans l'eau,
— passage de l'air dans le verre,
— passage de l'eau dans le verre.
b) Tracer sur un schéma la marche du rayon lumineux pour les trois cas considérés.
2) Toujours avec le même angle d'incidence i = 45°, répondre aux mêmes questions que précédemment, mais en considérant les dioptres suivants
- passage de l'eau dans l'air,
- passage du verre dans l'air,
- passage du verre dans l'eau.

On donne les indices de réfraction de l'air : 1,00, de l'eau : 1,33, du verre 1,50.

16 Ptolémée (? 90-168), savant grec de l'école d'Alexandrie, donne les huit valeurs suivantes pour les angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2 d'un faisceau de lumière passant de l'air dans l'eau.

i_1	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
I_2	7°45’	15°30’	22°30’	29°0’	35°0’	40°30’	45°30’	50°0’

Ces mesures sont considérées comme étant les plus anciennes mesures d’expérience de physique, actuellement connues.

1) Pour chaque mesure donnée dans le tableau, rechercher avec une calculatrice les valeurs de sin i_1 et sin i_2.

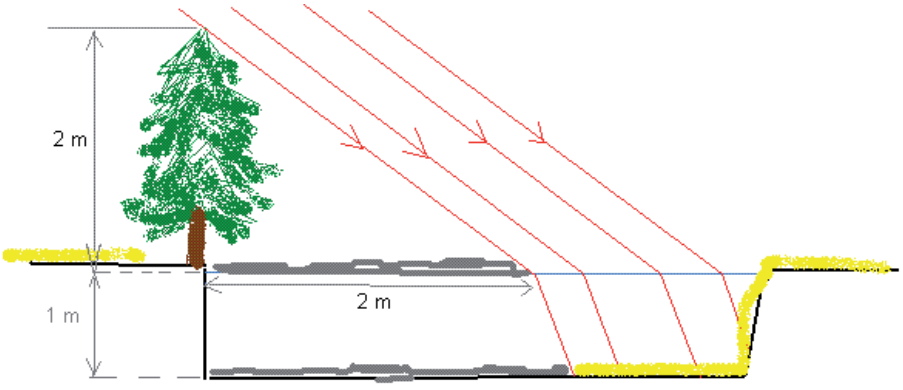
2) Tracer la représentation graphique de la fonction sin i_1 =f(sin i_2).

Aux incertitudes de mesure près, que peut-on dire de la fonction ?

3) Calculer le rapport $\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$ Est-ce que les mesures de Ptolémée sont en accord avec la loi de la réfraction ?

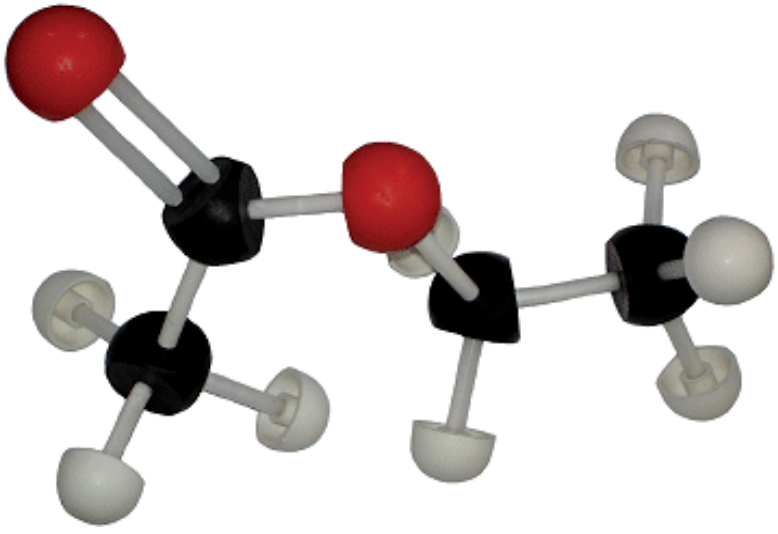
4) Calculer l’indice de réfraction de l’eau qui résulte de ces mesures.

17 Un arbuste est planté au bord d'une rivière. Sa cime est à une hauteur de 2.0 m au-dessus de la surface de l'eau. La profondeur de la rivière est de 1.0 m. Les rayons du soleil, pratiquement parallèles entre eux, font un angle de 45 degrés avec la verticale. On ne tient pas compte de la dispersion.



1) Calculer l'angle de réfraction des rayons du soleil dans l'eau (indice de l'eau n = 1,33)
2) Sur une figure à échelle 1/20, représenter l'arbuste et son ombre à la surface de l'eau et au fond de la rivière.
3) Un petit poisson doit rester dans l'ombre pour ne pas se faire dévorer par une carpe.
En réalisant des mesures sur la figure précédente, dire jusqu'à quelle distance de l'arbuste il peut s'aventurer s'il nage prés de la surface.
4) Même question s'il nage au fond de l'eau.

CHIMIE



CHIMIE

CHAPITRE 1 : MELANGES ET CORPS PURS

Station d'épuration de Cambérène

Cette station permet d'obtenir, à partir des eaux usées, de l'eau épurée et de la boue contenant des éléments fertiles.

Comment les eaux usées sont-elles traitées au niveau de la station de Cambérène ?

OBJECTIFS

- Distinguer mélange homogène et mélange hétérogène.
- Distinguer mélange et corps pur.
- Réaliser la séparation des constituants d'un mélange

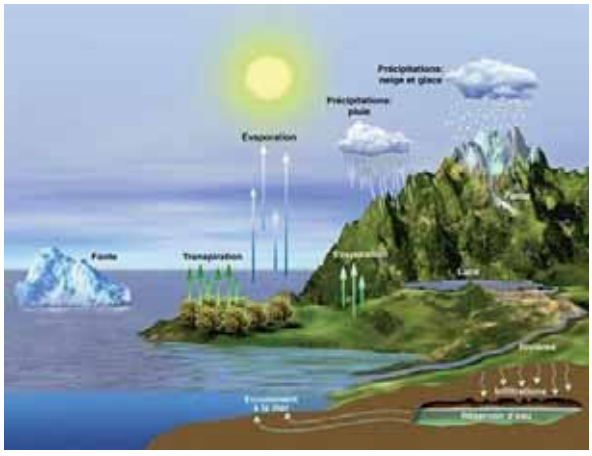
PLAN DU CHAPITRE

4. Mélange
5. corps pur
6. Etude d'un mélange : l'air

1- Mélanges

1.1- Etats physiques

Observer la photo ci-contre et identifier les différents états physiques de l'eau.



Doc.1

L'eau se présente sous trois états :

- Etat liquide : C'est l'état des eaux des mers, des océans, des rivières, des lacs, des nappes d'eau souterraines…

  L'eau du robinet est dans cet état.

- Etat solide : C'est l'état de la neige et de la glace.

- Etat gazeux : C'est l'état de la vapeur d'eau et des nuages.

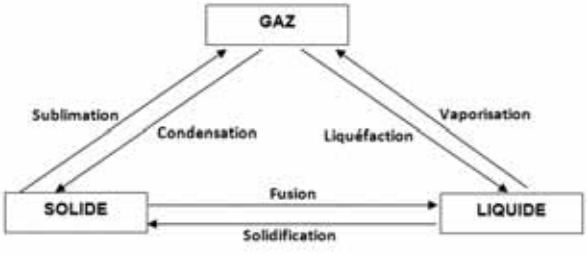
La matière se présente sous l'un des trois états physiques suivants : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux.

1.2 - Changements d'état

Un morceau de glace exposé à l'air libre fond progressivement. Cette transformation physique qui permet de passer de l'état solide à l'état liquide est appelé **fusion**.

De l'eau placée dans un congélateur se transforme progressivement en glace. Cette transformation physique est appelée **solidification.**

Il existe d'autres transformations physiques schématisées ci-dessous :



Doc.2

1.3 - Etude des mélanges

1.3.1 - Mélange hétérogène

L'observation des eaux usées de la station d'épuration de Cambérène montre qu'elles contiennent des particules solides (sable, déchets, débris végétaux, etc.).

Elles constituent un **mélange hétérogène.**

Définition

Un mélange est hétérogène si on peut observer à l'œil nu au moins deux de ses constituants.

Exemples : eau boueuse, mélange riz et débris, mélange eau – huile.

1.3.2- Séparation des constituants d'un mélange hétérogène

Pour rendre limpides les eaux usées, celles des marigots, des puits, etc. on peut utiliser différents procédés :

1.3.2. a- La décantation

ACTIVITE 1

Comment isoler les particules solides d'une eau boueuse trouble ?

Introduire de l'eau boueuse dans un bécher et laisser reposer (Doc.3a). Observer et noter.

Doc.3a - Eau boueuse

Transvaser lentement le liquide dans un autre bécher. (doc. b)

L'eau obtenue après la décantation contient-elle toujours des particules en supsension ?

Observations

Les particules lourdes se déposent au fond. (Doc.3b)

Doc.3b- Eau décantée

Après la décantation, il reste encore des particules solides en suspension.

Conclusion

La décantation consiste à laisser reposer un mélange hétérogène afin que les particules solides se déposent au fond du récipient.

1.3.2. b- La filtration

ACTIVITE 2

Doc.4

Comment éliminer les particules solides en suspension dans le décantat ?

Réaliser la filtration comme le montre la photo ci-contre.

L'eau obtenue après la filtration contient-elle toujours des particules en suspension ?

Observations

L'eau obtenue après la filtration ne contient pas de particules solides en suspension visibles à l'œil nu. Les particules sont retenues par le papier-filtre. Le liquide obtenu est limpide.

Conclusion

La filtration consiste à faire passer un liquide à travers un filtre afin de retenir les particules solides qu'il contient. L'eau obtenue est appelée le filtrat.

Remarque : Il existe d'autres procédés de séparation :

- Triage manuel (séparation des impuretés du riz)
- Triage magnétique (séparation du fer en poudre du sable)
- Vannage (séparation de la farine des grains grâce au van)
- Tamisage (utilisation du tamis)

1.4 - Etude d'un mélange homogène

ACTIVITE 3

Doc.5

Le filtrat contient-il d'autres particules ?

Prelever une petite quantité du filtrat dans un bécher et chauffer pour faire évaporer le liquide.

Observer et noter.

Observation

Après chauffage et évaporation on observe un dépôt solide dans le bécher.

Doc.6

Interprétation

Le filtrat obtenu contenait au moins une substance solide dissoute et de l'eau.

Le filtrat est donc un **mélange homogène**.

Définition

Un mélange est homogène si on ne distingue pas à l'œil nu ses différents constituants.

Exemples : eau salée, eau du robinet, air, mélange eau – alcool, jus de bissap filtré.

1.5 - La distillation

Pour séparer les constituants d'un mélange homogène on procède par distillation.

EXPERIENCE 1

Comment éliminer les particules dissoutes dans le filtrat ?

Réalisons le montage ci-contre.

Portons à l'ébulluton le mélange homogène (filtrat) placé dans le ballon à fond rond **en verre réfractaire (qui résiste à de haute température).**

Lorsque le thermomètre indique 100°C, le filtrat bout , les vapeurs formées passent dans le réfrigérant où elles se condensent. Le liquide obtenu, appelé **distillat**, tombe goutte à goutte dans l'erlenmeyer.

Doc. 7

Matériel de substitution

- on peut utiliser un tube coudé en verre dont l'extrémité plonge dans un erlenmeyer placé dans un cristallisoir contenant de l'eau froide.
- A l'aide d'un couvercle, il est possible recueillir par condensation la vapeur d'eau provenant d'une casserole (théire, marmite…) contenant de l'eau en ébullition.

Versons une petite quantité du distillat dans un bécher et chauffons.

Doc.8

Observons le bécher après la vaporisation complète du liquide. Apparait-il un résidu sur le verre de montre ?

Conclusion

Le distillat n'est pas un mélange. L'eau ainsi obtenue (eau distillée) ne renferme aucune substance dissoute.

La distillation est une méthode de séparation des constituants d'un mélange liquide homogène.

La distillation est une vaporisation suivie d'une condensation.

2- Corps pur

Un corps pur résiste à tous les procédés de fractionnement physique (distillation, congélation, …).

2.1 - Constantes physiques - Critères de pureté

- ✓ **Température d'ébullition**

Durant la distillation précédente, le thermomètre indique constamment 100°C pendant la vaporisation.

L'expérience confirme que sous la pression atmosphèrique l'eau bout à 100° C. Cette valeur est une caractéristique de l'eau pure , c'est sa **température d'ébullition**.

- ✓ **Température de fusion**

La température de fusion comme celle de solidification de l'eau pure est égale à 0°C , cette température reste constante durant toute la durée de la solidification de l'eau liquide (ou de la fusion de la glace).

- ✓ **Masse volumique**

La masse d'un décimètre cube (un litre) d'eau pure est un kilogramme , la masse volumique de l'eau est de 1 $kg.dm^{-3}$.

Un corps pur est caractérisé par des constantes physiques que sont : la masse volumique, la température de fusion, la température d'ébullition, etc. Ces constantes physiques définissent les critères de pureté du corps.

2.2- Distinction entre mélange et corps pur

Pour un corps pur, les grandeurs physiques (masse volumique, températures de changement d'état, etc.) sont fixes, alors que pour un mélange elles dépendent des proportions de ses différents constituants.

Constantes physiques de quelques corps purs

Les grandeurs physiques d'un corps pur sont des constantes.

Corps purs	Température de fusion (en °C)	Température d'ébullition (en °C)	Masse volumique (en kg.m $^{-3}$)
Eau	0	100	1000
Ethanol	-117	78	789
dihydrogène	-259	-253	0,089
dioxygène	-218	-183	1,43
diazote	-210	-196	1,25
Fer	1535	2750	7860

Remarque

Pour séparer les constituants d'un mélange gazeux, on peut utiliser la congélation fractionnée. Le corps ayant la température de liquéfaction la plus élevée se condense en premier.
La distillation est basée sur la différence de températures d'ébulition. Le corps ayant la température d'ébullition la plus faible se vaporise en premier.

2.3 - Corps pur composé - corps pur simple

2.3.1. Analyse de l'eau

Est-il possible de décomposer l'eau pure par d'autres procédés de fractionnement ?

EXPERIENCE 2

Réalisons le montage ci-contre :

Doc.9 - Electrolyse de l'eau pure

Observations :

L'eau pure additionnée de quelques gouttes de soude est traversée par le courant électrique débité par la pile.

- Des bulles de gaz se dégagent au niveau des électrodes.

- le volume de gaz qui apparaît au niveau du tube à essai qui coiffe l'électrode liée à la borne négative de la pile (la cathode) est le double du volume de gaz qui apparaît dans le tube qui coiffe l'électrode liée à la borne positive de la pile (anode).

on admettra que la quantité de soude n'a pas varié au cours de l'électrolyse. La soude ne permet que le passage du courant électrique.

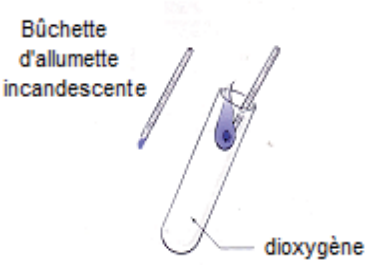
Comment identifier les gaz qui se dégagent ?

- **Identification des gaz**

  Approchons un brin d'allumette enflammée à l'extrémité du tube de gaz recueilli à la cathode et écoutons. Doc.10a.

- Introduisons une bûchette en ignition (presque éteinte) dans le tube de gaz recueilli à l'anode Doc.10b et observons.

Doc.10a



Doc.10b

Dans le tube de la Doc.10a, il se produit une légère détonation caractéristique du dihydrogène.

Dans le tube de la Doc.10b, la bûchette se rallume : le gaz caractérisé est le dioxygène.

Conclusion : L'électrolyse de l'eau (décomposition par le courant électrique) fournit deux gaz : le dioxygène qui entretient la combustion et le dihydrogène qui, en présence d'une flamme, produit une légère détonation. Le volume de dihydrogène obtenu est le double de celui du dioxygène. L'électrolyse de l'eau est une transformation chimique.

Exemples de corps purs composés : gaz carbonique, butane (gaz domestique), glucose, éthanol, chlorure de sodium, hydroxyde de sodium.

2.3.2. Synthèse de l'eau

Est-il possible de reconstituer l'eau pure à partir du dihydrogène et du dioxygène ?

Description de l'expérience de Cavendish

Un volume de dioxygène et deux volumes de dihydrogène sont introduits dans un eudiomètre. Après jaillissement d'une étincelle électrique et retour aux conditions initiales de température et de pression, des gouttelettes d'eau se forment sur la paroi du tube.

Interprétation : En présence d'une étincelle, le dihydrogène et le dioxygène se combinent pour donner de l'eau.

Expérience de Cavendish

Conclusion : La synthèse de l'eau, à partir du dihydrogène et du dioxygène, confirme que l'eau est un corps pur composé.

2.3.3- Corps pur simple

Aucune expérience n'a permis de décomposer le dihydrogène et le dioxygène en d'autres corps : le dihydrogène et le dioxygène sont des **corps purs simples.**

3. Etude d'un mélange : l'air

3.1- Etude qualitative de l'air

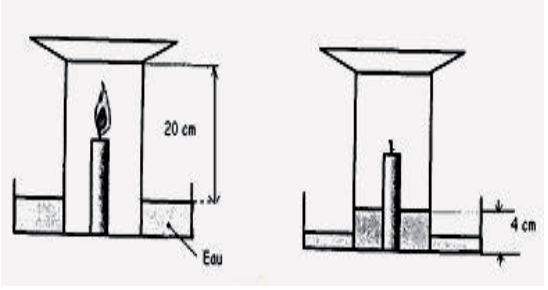
L'air liquide est constitué essentiellement de deux gaz :

- l'un bout à -183 °C et entretient la combustion, c'est le dioxygène.
- L'autre bout à -196 °C et n'entretient pas la combustion, c'est le diazote.

Une usine d'air liquide à Dakar

3.2- Etude quantitative de l'air

Retourner une éprouvette graduée sur une bougie allumée placée dans un cristallisoir contenant de l'eau comme indiqué ci-contre.



Observations

- La bougie s'éteint et l'eau monte dans l'éprouvette.
- Dans l'éprouvette le niveau de l'eau est monté d'une longueur égale au cinquième de la hauteur initiale de la colonne d'air.

Interprétation : La bougie s'éteint par manque de dioxygène. Le dioxygène a disparu, l'eau a pris sa place et occupe le 1/5 du volume de l'air. Il reste dans l'éprouvette un gaz qui empêche l'eau de monter complètement dans l'éprouvette. Ce gaz est le diazote. Il occupe les 4/5 du volume d'air.

Conclusion : L'air est un mélange gazeux ayant deux constituants majoritaires : le dioxygène et le diazote.
Dans un volume d'air il y a 1/5 de volume de dioxygène et 4/5 de volume de diazote.

Remarque : l'air renferme d'autres constituants minoritaires à l'état de trace donc de quantités négligeables qui sont : l'argon, le krypton, le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau, l'ozone, …

Composition de l'air

Dans 100 litres d'air, il y a environ :

- 78 litres de diazote soit 78 %.
- 21 litres de dioxygène soit 21%.
- 1 litre d'autres constituants soit 1% (0,03 % de dioxyde de carbone, 0,28% de vapeur d'eau , 0,7% de gaz rares etc.).

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ Un mélange est héterogene si on distingue à l'œil nu au moins deux de ses constituants.
- ✓ Un mélange est homogène si on ne distingue pas à l'œil nu ses constituants.
- ✓ La décantation et la filtration sont deux méthodes de séparation des constituants d'un mélange hétérogène.
- ✓ La distillation est une méthode de séparation des constituants d'un mélange homogène.
- ✓ Un corps pur composé peut se décomposer en donnant deux ou plusieurs autres corps purs.
- ✓ Aucune expérience n'a permis de décomposer un corps pur simple.
- ✓ L'air est un mélange gazeux formé principalement de dioxygène et de diazote.

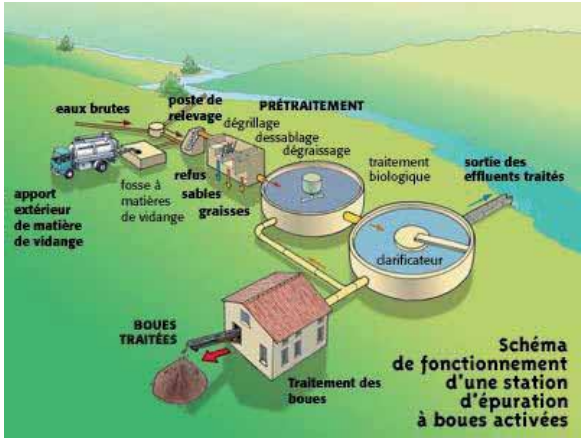
Dossier documentaire : Traitement des eaux usées

A l'échelle mondiale, le **traitement des eaux usées** constitue le premier enjeu de santé publique : plus de 4 000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour de diarrhées liées à l'absence de traitement des eaux et au manque d'hygiène induit[1].

Le rôle d'une station d'épuration est de nettoyer les eaux usées (eaux usées ménagères, industrielles et parfois pluviales) afin de rendre cette eau propre au milieu naturel.

L'**épuration des eaux** est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable.

Une station d'épuration est installée généralement à l'extrémité d'un réseau de collecte, sur l'émissaire principal, juste en amont de la sortie des eaux vers le milieu naturel.



Une station d'épuration classique telle que celle de Cambérène est composée d'un **prétraitement**, d'un **traitement primaire**, d'un **traitement secondaire**, d'un **traitement tertiaire** ainsi qu'une chaîne de **traitement des boues**.

Différentes étapes du traitement

LE RELEVAGE

Il consiste à récupérer les eaux usées par pompage et à les drainer jusqu'au niveau de la station d'épuration.

LE PRETRAITEMENT

Le prétraitement consiste en trois étapes principales qui permettent de supprimer de l'eau les éléments qui gêneraient les phases suivantes de traitement. Toutes les stations d'épuration ne sont pas forcément

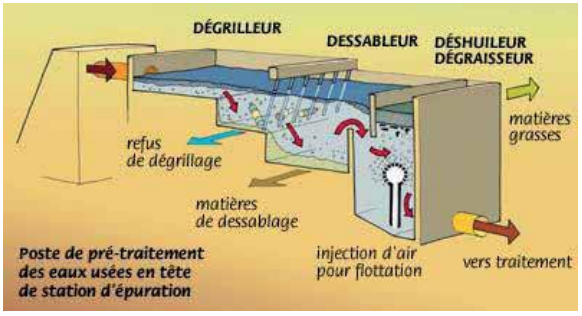
[1] *Appel de l'OCDE à investir dans le traitement des eaux usées.*

équipées de ces trois parties, seul le dégrillage est généralisé, les autres sont le dessablage et le dégraissage. Les sables (de densité élevée) se déposent au fond d'un bassin et les huiles (de faible densité) remontent à la surface de l'eau. On effectue une décantation de ces due éléments.

Le dégrillage

L'eau passe au travers de grilles qui retiennent les déchets. Ces déchets sont ensuite envoyés en décharge.

Le dégrillage retient, par des grilles, les gros déchets (papiers, bois, plastiques, chiffons...).



Le dessablage-dégraissage

Les sables se déposent doucement au fond des bassins pendant que les graisses remontent à la surface grâce à des bulles d'air utilisées comme des bouées.

Le dessablage retient la terre et le sable susceptibles d'endommager les pompes ou de créer des dépôts dans les bassins.

Le dégraissage favorise, par injection de bulles d'air, la flottation des huiles et graisses, qui sont séparées par raclage en surface.

Poste de prétraitement des eaux usées de la station de Cambérène

TRAITEMENT PRIMAIRE

Après les prétraitements, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Le traitement primaire est une simple décantation qui permet de supprimer la majeure partie des matières en suspension (déchets, sables, les graisses etc.). Ce sont ces matières qui sont à l'origine du trouble des eaux usées.

Les lits de séchage des boues de la station de Cambérène

TRAITEMENT SECONDAIRE

Le traitement secondaire permet d'éliminer les pollutions organiques par des procédés physico-chimiques ou biologiques. Le traitement secondaire se fait le plus couramment par voie biologique. Une voie physico-chimique peut la remplacer ou plus souvent s'y ajouter pour favoriser la floculation et coagulation des boues ou permettre, par exemple, la fixation des phosphates apportés, entre autres, par l'utilisation d'engrais pour les activités agricoles.

La phase anaérobie du traitement biologique ainsi que les premières phases du traitement : le dégrillage, le dessablage-dégraissage sont généralement confinées dans des bâtiments plus ou moins étanches afin que les mauvaises odeurs ne se répandent pas dans l'environnement de la station. Ce qui provoquerait des nuisances olfactives inacceptables par les riverains. Cet air nauséabond est collecté et traité. Il passe par trois tours de lavage : une d'acide sulfurique (H_2SO_4), une de Javel et une de soude.

- **Le traitement biologique**

De l'air est envoyé dans les bassins biologiques : en présence de dioxygène, les bactéries naturellement présentes dans l'eau se développent en consommant la pollution dissoute. Toutes ces bactéries forment les « boues activées ».

bassin d'aération de la station de Cambérène

- **Des traitements physico-chimiques**

Les matières dispersées dans les eaux usées se déposent au fond d'un bassin. Des produits chimiques ajoutés à l'eau permettent de les transformer en "boues" et de recueillir les "matières en suspension" après décantation.

- **La clarification**

Cette étape du traitement est destinée à séparer les boues activées (bactéries) de l'eau épurée qui sera rejetée dans le milieu naturel (canal, rivière, mer).

- **La désinfection**

L'eau épurée est rejetée dans le canal ou la rivière qui se jette dans la mer. Afin de préserver la qualité des eaux de baignade, il est indispensable de désinfecter l'eau. Cette dernière étape du traitement de l'eau se fait soit par chloration (ajout d'eau de javel), soit par ultra-violet.

- **La désodorisation**

Les gaz malodorants dégagés par les stations d'épuration sont captés puis envoyés dans des "tours de lavage" où ils sont éliminés.

TRAITEMENT TERTIAIRE

Le traitement tertiaire n'est pas toujours réalisé. Cette étape permet de réduire le nombre de bactéries, donc de germes pathogènes présents dans l'eau traitée. Elle peut être demandée pour protéger une zone de baignade, un captage d'eau potable ou une zone conchylicole. Ce traitement peut être réalisé par ozonation, par un traitement aux UV ou pour des petites capacités de station d'épuration par une filtration sur sable (sable siliceux et de granulométrie spécifique).

Références :

http://www.agglocalaisis.fr/fr/les_competences/la_protection_de_l_environnement/assainissement/fonctionnement_d_une_station_d_epuration

http://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement_des_eaux_us%C3%A9es

http://www.ksb.com/ksb/web/FR/fr/company/products/1__eaux__usees/5__klaeranlagen/5d__schlammbehandlung/schlamm__index.html

http://www.onas.sn/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=87

http://infos-eau.blogspot.com/2009/01/locde-appelle-investir-dans.html

http://www.eaudela.org/pages/print-menu-Eau-s_menu--test-1-lien-etudedakasscamb.html

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 **Indiquer les changements d'état associés aux phénomènes suivants :**

a) la rosée apparaît sur l'herbe.
b) l'eau bout.
c) le désodorisant solide utilisé comme parfum d'intérieur (produit cancérigène) se volatilise.
d) la glace est exposée à l'air.
e) dans un congélateur la température de l'eau descend en dessous de 0°C.

2 Dans trois béchers, on dispose des mélanges suivants :

- Eau + pincée de sable
- Eau + pincée de sel
- Eau + huile

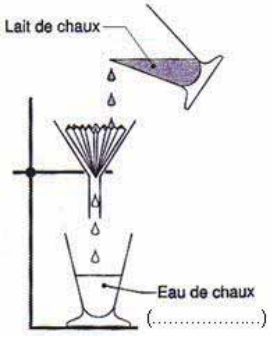
NB : On agite fortement les mélanges.
Classer ces mélanges en mélanges hétérogènes et en mélanges homogènes.

3

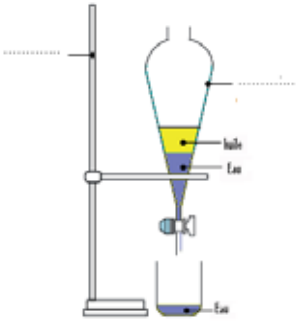
a) Rappeler les définitions de mélanges hétérogène et homogène puis donner des exemples de chaque type.
b) Citer trois techniques de séparation des constituants d'un mélange.
c) Quelles sont les différentes phases de changement d'état physique subies par l'eau pendant la distillation ?
d) Comment peut-on passer d'une eau boueuse salée à :
   - Une eau limpide salée ?
   - Une eau limpide non salée ?

Applications directes du cours

4 Annoter les schémas représentés ci-dessous et donner le nom de chaque technique.



.....



.....

5 On considère l'appareil schématisé ci-dessous. Le ballon contient du jus d'orange.

1) Reproduire le schéma ci-dessous d'un appareil à distiller, en ajoutant les légendes suivantes

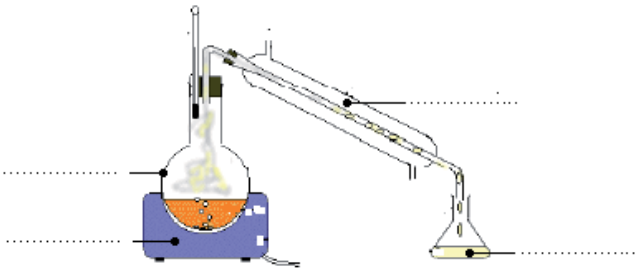
chauffe-ballon, réfrigérant, ballon, distillat.

2) Comment s'appelle la technique qui utilise ce dispositif ?

3) Quel est le rôle du réfrigérant ?

4) L'eau de réfrigération entre-t-elle par le haut ou par le bas du réfrigérant ? Justifier.

5) Comment peut-on savoir que le distillat ne contient que de l'eau ?



6 Tout corps pur est caractérisé par des critères de pureté.

1) Donner deux exemples de corps purs. Citer deux critères de pureté.
2) Citer trois constantes physiques pour l'eau pure et donner leur valeur.

7 **Compléter les phrases suivantes.**

- La boue se dépose au fond d'un lac par …….. .
- L'eau qui pénètre dans le sol et traverse des couches de sable devient limpide par …… .
- On sépare l'eau du jus de bissap par …… .
- L'eau pure se décompose en ……..et en ……
- Lors de l'électrolyse de l'eau, le volume de ……. formé est toujours double de celui du ……
- L'eau pure est un corps pur……..
- Le dihydrogène et le dioxygène sont des corps purs …….

Utilisation des acquis

8 **Electrolyse de l'eau**

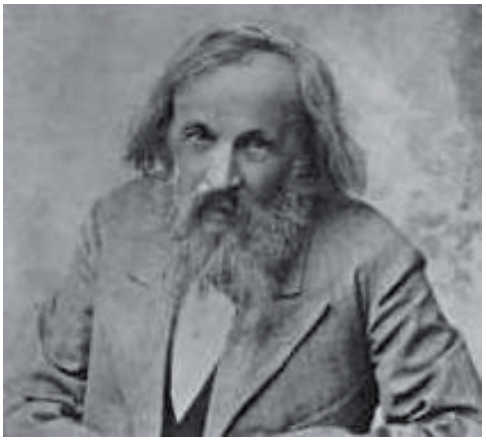
L'électrolyse d'un volume d'eau a donné un dégagement de 20 cm^3 de gaz à la cathode de l'électrolyseur.
1) Quel est ce gaz ?
2) Comment l'identifie-t- on ?
3) Quel est le volume de gaz recueilli à l'anode pendant le même temps ?

9 **Synthèse de l'eau**

On se propose de réaliser une synthèse eudiométrique de l'eau. Pour cela, on introduit d'abord dans un eudiomètre 12 cm^3 de dihydrogène et 24 cm^3 de dioxygène.
1) Dispose-t-on ainsi d'un mélange hétérogène, d'un mélange homogène, d'une combinaison chimique ou d'un corps pur ?
2) On fait jaillir une étincelle électrique, que se passe till ?
3) Quelle est la nature et le volume du gaz restant ?

CHIMIE

CHAPITRE 2 : ELEMENTS, ATOMES, CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS



Mendeleïev, Dmitri Ivanovitch (1834-1907), chimiste russe surtout connu pour sa classification périodique des éléments. Il montra en effet que les propriétés chimiques des éléments dépendaient directement de leur poids atomique et qu'elles étaient des fonctions périodiques de ce poids.

Il rédigea ses Principes de la chimie en deux volumes (1868-1870). Cet ouvrage est devenu un classique.

En écrivant ce livre, Mendeleïev essaya de classer les éléments selon leurs propriétés chimiques. En 1869, il publia sa première version de ce qui deviendra le tableau périodique. En 1871, il en publia une version améliorée, laissant des cases vides pour des éléments encore inconnus. Son tableau et ses théories furent d'autant mieux accueillis que l'on découvrit successivement trois éléments dont il avait envisagé l'existence : gallium, germanium et scandium.

Quel est l'intérêt de la classification des éléments chimiques ?

OBJECTIFS

- **Connaître la structure de l'atome**
- **Mettre en évidence quelques éléments chimiques**
- **Utiliser la classification périodique des éléments.**

PLAN DU CHAPITRE

1. **L'élément chimique**
2. **Les atomes**
3. **Le cortège électronique**
4. **Classification périodique des éléments**

1- Elément chimique

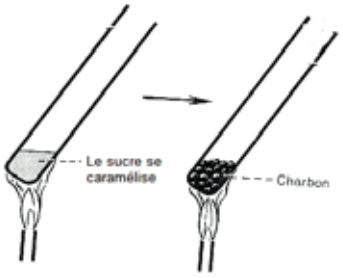
1.1 - Mise en évidence d'un élément chimique

ACTIVITE 1

Mise en évidence du carbone

- **Pyrolyse du sucre**

- Chauffer un morceau de sucre contenu dans un tube à essai.
- Observer le fond et les parois du tube à essai et conclure.



Doc 1

- **Pyrolyse du bois**

- Chauffer un marceau de bois dans un tube à essai.

Observer le fond et les parois du tube à essai et conclure.

- **Combustion du carton**

- Enflammer un petit morceau de carton.
- Placer un couvercle au dessus de la flamme.

Observer l'intérieur du couvercle et conclure.

Conclusion : Le chauffage du sucre et du bois ainsi que la combustion du morceau de carton conduit à un dépôt noir constitué de carbone.

Le carbone est un constituant que l'on retrouve à la fois dans le sucre, le bois et le morceau de carton. On dit que le carbone est un **élément chimique**.

1.2- Les éléments chimiques connus

Il existe, en mars 2010, 116 éléments connus dont 109 ont reçu un nom officiel. Sur la Terre, il existe au moins 89 éléments chimiques dont les plus connus sont : l'hydrogène, le carbone, l'azote, l'oxygène, le fluor, le sodium, l'aluminium, le soufre, le chlore, le fer, le cuivre, le zinc, le brome, l'argent.

1.3- Symbole d'un élément chimique

On convient de représenter un élément chimique par un symbole. Ce symbole est le plus souvent constitué par la première lettre du nom en français, latin, etc écrite en majuscule, parfois suivie d'une lettre en minuscule (doc.3).

Elément chimique	Hydrogène	Carbone	Chlore	Azote	Sodium	Aluminium	Fer	Oxygène
Symbole	H	C	Cl	N	Na	Al	Fe	O

Doc.3 Représentation symbolique d'éléments chimiques

2- Les atomes

2.1- Notion de modèle

Un modèle est une représentation de la réalité. Cette représentation est élaborée progressivement à partir d'observations. Un modèle doit posséder deux vertus :

- Permettre d'expliquer les propriétés observées,
- Permettre de prévoir d'autres propriétés non encore observées.

Un modèle est en permanente évolution puisque de nouvelles découvertes sont susceptibles de le mettre en défaut. C'est souvent l'étude des défauts d'un modèle qui permet d'approfondir nos connaissances.

2.2- Modèle de l'atome

ACTIVITE 2

Etude d'un atome : Evolution de la pensée atomique

Dès 420 avant JC, Démocrite (philosophe grec) a l'intuition de l'existence des atomes et invente leur nom (« atomos » en grec qui signifie insécable).

Aristote (philosophe grec) conteste cette existence. il a fallu attendre le début du XIXème siècle pour que cette idée reprenne vie.

- En 1805, John Dalton annonce au monde l'existence des atomes.

- En 1881, J. J.Thomson découvre l'un des composants de l'atome. Il s'agit de particules élémentaires négatives appelées en 1891 électrons.

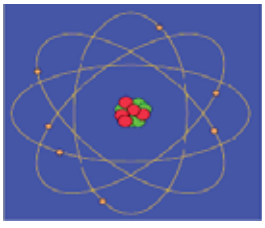
- Au début du XXème siècle, l'ambition des physiciens est de proposer un modèle de l'atome en précisant la répartition de la charge électrique à l'intérieur de celui-ci.

- En 1904, Thomson partant de l'idée que l'atome est électriquement neutre, pense qu'il doit contenir des charges positives qui doivent compenser les charges négatives des électrons. Il suppose que la charge positive est répartie dans un petit volume (qui peut avoir la forme d'une sphère) et que les électrons sont parsemés dans cette sphère.

- En 1910 Rutherford bombarde différents échantillons de matière (cuivre, or, argent) avec des particules et il déduit de son expérience que la charge positive doit occuper un tout petit volume qu'il appelle « noyau ». Après « un petit calcul » il trouve que la majorité de la masse de l'atome est concentrée dans un noyau minuscule par rapport au reste de l'atome. Les dimensions du noyau sont de l'ordre de 10^{-15} m (100 000 fois moins que les dimensions de l'atome) et sa charge totale compense celle des électrons.

  - En 1919, Rutherford a donné le nom de proton au noyau de l'atome d'hydrogène
  - En 1932, Chadwick a découvert le neutron
  - En 1932, Heisenberg a fait l'hypothèse que les noyaux atomiques sont formés de protons et de neutrons

- Au début du XXe siècle Niels Bohr propose un modèle qui ressemble au système solaire. En effet la masse du système solaire est essentiellement concentrée dans le Soleil tout comme celle de l'atome est concentrée dans le noyau. Il propose donc comme modèle un tout petit noyau chargé positivement et comportant l'essentiel de la masse de l'atome, autour duquel les électrons décrivent des orbites (doc.1)



doc.1

Le modèle actuel de l'atome, proposé par Schrödinger montre que les électrons n'ont pas de trajectoires bien définies, mais constituent un nuage sphérique entourant le noyau (photo)

- Quels sont les constituants d'un atome ?

- Quelles sont les conclusions de l'expérience de Rutherford ?

- Qu'en déduit-il ?

  Sur la masse de l'atome comparée à celle du noyau ?

  Sur les dimensions de l'atome comparées à celle du noyau ?

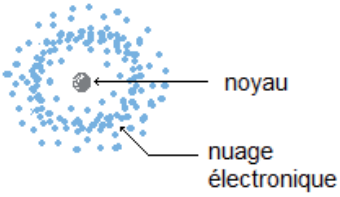
- Quelle est la différence entre le modèle de Bohr et le modèle actuel ?

Conclusion

Toute la matière de l'Univers est constituée à partir d'atomes.

L'atome est formé d'un noyau et d'**électrons** en mouvement autour de ce noyau. Cette partie de l'atome est appelée **nuage électronique.**

On donne ci-contre un dessin de modèle d'un atome.



Représentation d'un atome

L'électron est une particule chargée d'électricité négative. Sa charge est l'opposée de la charge élémentaire notée **e.** C'est la plus petite charge électrique stable que l'on puisse isoler.

$$\mathbf{e = 1{,}60.10^{-19}\ C} \qquad \text{(C : coulomb)}$$

Nom	Charge	Masse
électron	-e	$m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg

2.3- Le noyau atomique

2.3.1- Les nucléons

Le noyau de l'atome est constitué de deux types de particules : les protons et les neutrons dont l'ensemble est appelé nucléons.

- Le neutron est une particule électriquement neutre.
- Le proton est une particule chargée positivement.

Nom	Charge	Masse
Proton	$e \approx 1{,}6.10^{-19}C$	$m_p \approx 1{,}67.10^{-27}kg$
Neutron	0	$m_n \approx 1{,}67.10^{-27}kg$

- Le proton et le neutron ont sensiblement la même masse, environ 2 000 fois plus grande que celle d'un électron.

2.3.2- Nombre de charge Z et nombre de masse A

- **Le nombre de charge ou numéro atomique Z d'un noyau est le nombre de protons qu'il contient.**
- **A représente le nombre de nucléons ou le nombre de masse du noyau.**
- **Si l'on note N le nombre de neutrons du noyau on a : N = A - Z.**

On convient de représenter le noyau d'un atome par le symbole :

$${}^{A}_{Z}\mathbf{X} \text{ avec } \begin{cases} \mathbf{A : Nombre\ de\ nucléons} \\ \mathbf{Z : Nombre\ de\ charges\ ou\ numéro\ atomique} \end{cases}$$

Dans ce symbole, X représente un élément chimique.

2.3.3- Propriétés de l'atome

2.3.3.a- Electroneutralité de l'atome

L'atome est un édifice électriquement neutre. Il contient autant de charges positives (portées par les protons du noyau) que de charges négatives (portées par les électrons qui se déplacent autour du noyau).

La charge **+Ze** du noyau (Z protons de charge + e) est compensée par la charge **-Ze** des électrons, l'atome contient donc Z électrons dans son cortège électronique.

Le nombre de charge ou numéro atomique Z est aussi le nombre d'électrons de l'atome.

a. Les ions monoatomiques

Les atomes peuvent gagner ou perdre un ou plusieurs électrons.

Les ions monoatomiques s'obtiennent à partir des atomes par perte ou gain d'un ou de plusieurs électrons.

- Un atome qui perd des électrons acquiert une charge positive, il se forme un ion positif ou cation. Par exemple Na^+, Mg^{2+}, Al^{3+}
- Un atome qui gagne des électrons acquiert une charge négative, on obtient un ion négatif ou anion. Par exemple : Cl^-, O^{2-}.
- La perte ou le gain d'électrons ne concernent pas le noyau qui reste inchangé, en conséquence, un atome et l'ion monoatomique correspondant ont le même nombre de protons (Z) dans leur noyau. Par exemple le Cl et le Cl^- ont chacun 17 protons dans leur noyau.

2.3.3.b- Masse d'un atome

L'atome contient autant d'électrons que de protons et la masse d'un électron est environ 2000 fois plus petite que celle d'un proton. Il en résulte que la masse des électrons est négligeable par rapport à celle du noyau.

La masse d'un atome est pratiquement égale à celle de son noyau.

La masse de l'atome dont le noyau est symbolise par ${}^{A}_{Z}\mathbf{X}$ vaut pratiquement : $\mathbf{m \approx Z.m_p + (A - Z).m_n}$

ou, en prenant pour le proton et le neutron la même masse m_p : $\mathbf{m \approx A.m_p}$.

2.3.4 - Les isotopes

Des atomes sont dits isotopes si leurs noyaux comportent le même nombre de protons et des nombres de neutrons différents.

Deux atomes isotopes sont donc caractérisés par le même nombre de charge Z et des nombres de masse A différents.

Exemples :

- **Isotopes du carbone** :

On distingue plusieurs isotopes du carbone :

${}^{12}_{6}\mathbf{C}$	${}^{13}_{6}\mathbf{C}$	${}^{14}_{6}\mathbf{C}$
(6 protons + 6 neutrons)	(6 protons + 7 neutrons)	(6 protons + 8 neutrons)

Dans le carbone naturel on trouve 98,9% de ${}^{12}_{6}\mathbf{C}$ contre 1,1% de ${}^{13}_{6}\mathbf{C}$.

Le $^{14}_{6}C$ n'existe qu'à l'état de traces, il est radioactif et on l'utilise pour dater les objets d'âge préhistorique.

- **Isotopes de l'uranium** :

Les deux principaux sont :

$^{235}_{92}U$	$^{238}_{92}U$
(92 protons + 143 neutrons)	(92 protons + 146 neutrons)

L'uranium naturel contient peu d'uranium 235 (0,7%) et beaucoup d'uranium 238 (99,3%). Avant d'être utilisé dans les réacteurs des centrales nucléaires, il doit être au préalable enrichi en uranium 235 (jusqu'à 2 à 3%).

3- Le cortège électronique

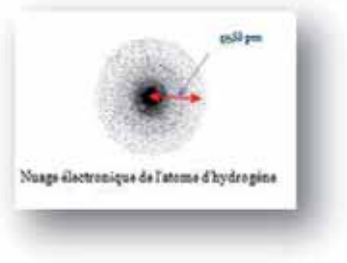
3.1- Notion de couches électroniques

3.1.1- Cas de l'atome d'hydrogène

Les points présents sur le schéma représentent la probabilité de trouver l'unique électron de cet atome à un instant donné.

L'électron a d'autant plus de chance de se trouver dans une région de l'espace autour du noyau qu'il y a de points dans cette zone.

Il apparaît sur le schéma ci-contre une zone sphérique, centrée sur le noyau, d'épaisseur faible et de rayon moyen r = 53 pm, dans laquelle l'électron a de grandes chances de se trouver.



On dit que l'électron appartient à une couche dont le rayon moyen est 53 pm.

3.1.2- Cas des autres atomes

Un atome de l'élément de numéro atomique Z comporte Z électrons constituant son cortège électronique.

- ✓ Les électrons d'un atome se répartissent dans des couches électroniques.
- Deux électrons d'un atome appartiennent à une même couche électronique s'ils se situent, en moyenne, à une même distance du noyau.
- ✓ Chaque couche électronique est représentée par une lettre. Les trois premières couches sont représentées successivement par les lettres K, L et M.

  Les électrons de la première couche (K) sont les plus proches du noyau et les plus liés à lui. La dernière couche qui contient des électrons porte le nom de couche externe, elle contient les électrons les moins liés au noyau, appelés électrons périphériques.

3.2- Répartition des électrons d'un atome (ou d'un ion monoatomique).

Les électrons peuvent être répartis de différentes façons dans les différentes couches. Les règles de répartitions données ci-dessous concernent ce que nous appellerons **l'atome dans son état fondamental.**

La couche la plus éloignée du noyau qui contient des électrons est appelée **couche externe.**

Les électrons de cette couche externe sont appelés **électrons périphériques.**

3.2.1- Règles de remplissage des couches électroniques

- **Première règle**

Une couche électronique ne peut contenir qu'un nombre limité d'électrons.

- La **couche K** (première couche) peut contenir un maximum de **2 électrons** (c'est-à-dire qu'elle peut contenir 0, 1 ou 2 électrons).
- La **couche L** (deuxième couche) peut contenir un maximum de **8 électrons** (c'est-à-dire qu'elle peut contenir 0, 1, ..., 7 ou 8 électrons).
- La **couche M** (troisième couche) peut contenir un maximum de **8 électrons** (On se limitera seulement aux éléments pour lesquels $Z \leq 18$).

Lorsqu'une couche est pleine on dit qu'elle est saturée.

- **Deuxième règle**

Le remplissage des couches électroniques s'effectue en commençant par la couche K. Lorsqu'elle est saturée on remplit la couche L et ainsi de suite.

3.2.2 - Formule électronique d'un atome ou d'un ion monoatomique.

Les règles de remplissage précédentes permettent d'établir la formule électronique (ou la répartition électronique) d'un atome ou d'un ion atomique de la façon suivante :

- On détermine le nombre d'électrons à repartir (Z électrons pour un atome).
- On écrit, côte à côte et entre parenthèses, les lettres de chaque couche contenant des électrons.
- On indique, en haut et à droite de chaque parenthèse, le nombre d'électrons présents dans la couche considérée.

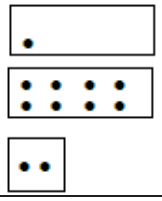
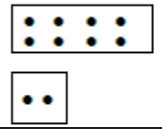
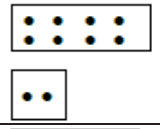
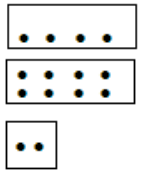
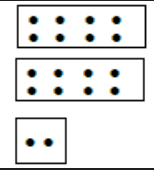
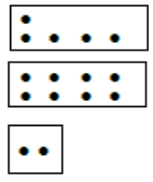
Exemple :

Elément	Lithium Li (Z = 3)	Carbone C (Z = 6)	Chlore Cl (Z = 17)
Formule électronique	$(K)^2(L)^1$	$(K)^2(L)^4$	$(K)^2(L)^8(M)^7$

3.3- Schéma ou structure de Lewis d'un atome

- Dans le schéma ou la structure de Lewis, seuls sont représentés les électrons de la couche électronique externe appelés aussi électrons de valence.
- Les électrons célibataires sont représentés par des points (•) ,
- Les doublets d'électrons sont représentés par des tirets (—).

Exemples : Le tableau suivant donne la structure électronique et le schéma de Lewis de quelques atomes et ions : He (Z = 2), Si (Z = 14), Na (Z = 11), Na^+ (Z = 11), Ne (Z = 10) et P (Z = 15).

Atome ou ion	Nombre de protons	Nombre d'électrons	Formule électronique	Remplissage des couches électroniques	Schéma de Lewis
He	Z = 2	2	$(K)^2$		**He**
Na	Z = 11	11	$(K)^2(L)^8(M)^1$		**Na**
Na^+	Z = 11	10	$(K)^2(L)^8$		**$\|Na^+\|$**
Ne	Z = 10	10	$(K)^2(L)^8$		**|Ne|**
Si	Z = 14	14	$(K)^2(L)^8(M)^4$		**Si**
Cl^-	Z = 17	18	$(K)^2(L)^8(M)^8$		**$\|Cl^-\|$**
P	Z = 15	15	$(K)^2(L)^8(M)^5$		**P**

4 - Classification périodique des éléments

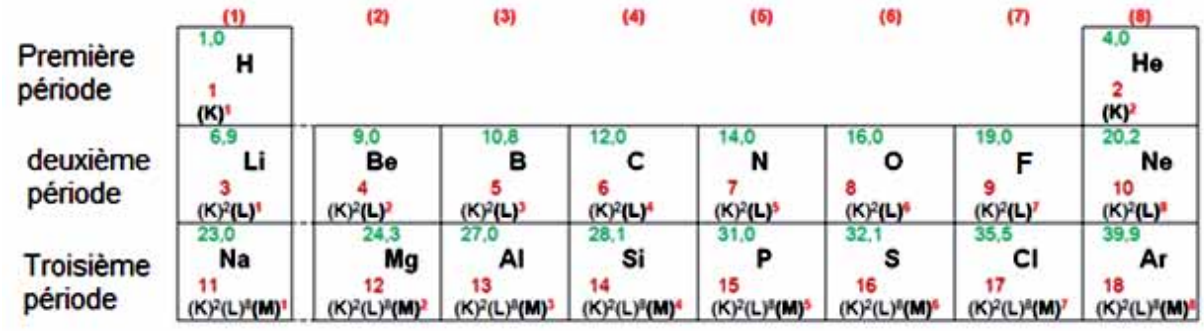
4.1 - Classification périodique

4.1.1- Classification restreinte

a) règles de classification

- Les éléments sont rangés dans chaque ligne par ordre croissant du numéro atomique Z.
- Les éléments dont les atomes ont le même nombre d'électrons sur leur couche externe sont regroupés dans une même colonne
- Une nouvelle ligne est commencée chaque fois qu'intervient une nouvelle couche électronique.

b) Classification périodique restreinte aux 18 premiers éléments chimiques



	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Première période	1,0 **H** 1 $(K)^1$							4,0 **He** 2 $(K)^2$
deuxième période	6,9 **Li** 3 $(K)^2(L)^1$	9,0 **Be** 4 $(K)^2(L)^2$	10,8 **B** 5 $(K)^2(L)^3$	12,0 **C** 6 $(K)^2(L)^4$	14,0 **N** 7 $(K)^2(L)^5$	16,0 **O** 8 $(K)^2(L)^6$	19,0 **F** 9 $(K)^2(L)^7$	20,2 **Ne** 10 $(K)^2(L)^8$
Troisième période	23,0 **Na** 11 $(K)^2(L)^8(M)^1$	24,3 **Mg** 12 $(K)^2(L)^8(M)^2$	27,0 **Al** 13 $(K)^2(L)^8(M)^3$	28,1 **Si** 14 $(K)^2(L)^8(M)^4$	31,0 **P** 15 $(K)^2(L)^8(M)^5$	32,1 **S** 16 $(K)^2(L)^8(M)^6$	35,5 **Cl** 17 $(K)^2(L)^8(M)^7$	39,9 **Ar** 18 $(K)^2(L)^8(M)^8$

Caractéristiques de cette présentation

- Cette classification comporte **3 lignes** (ou périodes) et **8 colonnes**
- Dans une même ligne (ou période), les atomes des éléments ont le même nombre de couches électroniques occupées. Première ligne : couche K, deuxième ligne : couche L, troisième ligne : couche M.
- Dans une même colonne, les atomes des éléments ont le même nombre d'électrons dans la couche externe. Les atomes des éléments de la colonne (1) ont 1 électron sur la couche externe, ceux de la colonne (2) en ont 2 sur la couche externe etc.

Remarque : La classification complète des éléments chimiques (voir dossier documentaire 2) se construit selon un principe analogue à celui de la classification restreinte précédente.

4.2- Intérêt de la classification périodique

4.2.1- Familles chimiques

Les éléments d'une même colonne **de la classification périodique** ont des propriétés chimiques très semblables. Ils constituent une famille chimique.

Les éléments de la première colonne, notée (1), (à l'exception de l'hydrogène) constituent la famille des **métaux alcalins.**
Les éléments de la deuxième colonne, notée (2), constituent la famille des **métaux alcalino-terreux.**
Les éléments de la dix septième colonne, notée (7) dans la présentation réduite, constitue la famille des **halogènes.**
Les éléments de la dix huitième colonne, notée (8) dans la présentation réduite, constitue la famille des **gaz rares (ou gaz inertes).**

4.2.2- Règle du "duet" et de l'octet et prévision de la charge d'un ion monoatomique

- ✓ Les atomes des gaz rares, également appelés gaz inertes ou gaz nobles, sont chimiquement stables : ils présentent une grande inertie chimique.

La stabilité chimique d'un atome est directement liée au nombre d'électrons de sa couche externe. Celle-ci compte 2 électrons (un « duet ») pour l'hélium et 8 électrons (un octet) pour les autres gaz rares.

- ✓ Les ions monoatomiques stables existant dans la nature vérifient les règles du « duet » ou de l'octet énoncés ci-après.

a) **Règle du « duet »**

Au cours de leurs transformations chimiques, les atomes de numéro atomique inférieur ou égal à 4 (Z ≤ 4) évoluent de manière à acquérir un « duet » d'électrons. Ils acquièrent ainsi la structure de l'hélium.

b) Règle de l'octet

Au cours de leurs transformations chimiques, les atomes de numéro atomique supérieur à 4 (Z > 4) évoluent de manière à acquérir un octet d'électrons sur leur couche externe. Ils acquièrent ainsi la structure du gaz rare le plus proche.

c) Prévision de la charge d'un ion monoatomique

La règle de l'octet permet de prévoir la charge d'un ion monoatomique.

Dans le tableau restreint :

- les atomes des éléments de la colonne (1) possédant un électron sur leur couche externe ont tendance à le perdre pour donner **un ion portant une charge positive** (cation). Exemples : H^+, Li^+, Na^+ etc.
- les atomes des éléments de la colonne (2) possédant deux électrons sur leur couche externe ont tendance à les perdre pour donner **un ion portant deux charges positives.** Exemples : Be^{2+}, Mg^{2+} etc.
- les atomes des éléments de la colonne (3), possédant trois électrons sur leur couche externe ont tendance à les perdre pour donner **un ion portant trois charges positives**. Exemples : B^{3+}, Al^{3+} etc.
- les atomes des éléments de La colonne (7), possédant sept électrons sur leur couche externe ont tendance à gagner un électron pour donner **un ion portant une charge négative** (anion). Exemples : F^-, Cl^- etc.

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ Le carbone est un constituant que l'on retrouve à la fois dans le sucre, le bois et le morceau de carton. On dit que le carbone est un **élément chimique**.
- ✓ On convient de représenter un élément chimique par un symbole le plus souvent constitué par la première lettre du nom en français, latin, etc écrite en majuscule, parfois suivie d'une lettre en minuscule.
- ✓ L'atome est formé d'un noyau et d'**électrons** en mouvement autour de ce noyau. Cette partie de l'atome est appelée nuage électronique.
- ✓ Le noyau de l'atome est constitué de deux types de particules : les protons et les neutrons dont l'ensemble est appelé nucléons.

On convient de représenter le noyau d'un atome par le symbole :

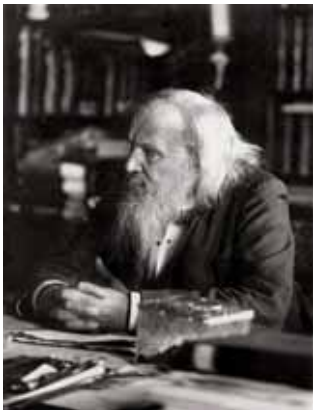
$${}^{A}_{Z}\mathbf{X} \text{ avec } \begin{cases} \mathbf{A : Nombre\ de\ nucléons} \\ \mathbf{Z : Nombre\ de\ charges\ ou\ numéro\ atomique} \end{cases}$$

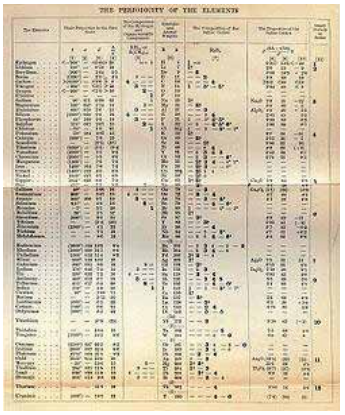
- ✓ Les atomes peuvent gagner ou perdre un ou plusieurs électrons. La perte ou le gain d'électrons ne concernent pas le noyau qui reste inchangé
- ✓ Un atome qui perd des électrons acquiert une charge positive
- ✓ Un atome qui gagne des électrons acquiert une charge négative
- ✓ **La masse d'un atome est pratiquement égale à celle de son noyau.**
- ✓ La masse de l'atome dont le noyau est symbolise par ${}^{A}_{Z}\mathbf{X}$ vaut pratiquement :

$$\mathbf{m \approx Z.m_p + (A - Z).m_n}$$

- ✓ Des atomes sont dits isotopes si leurs noyaux comportent le même nombre de protons et des nombres de neutrons différents.
- ✓ **l'électron de l'atome d'hydrogène appartient à une couche dont le rayon moyen est 53 pm.**
- ✓ Un atome de l'élément de numéro atomique Z comporte Z électrons constituant son cortège électronique.
- ✓ Les électrons d'un atome se répartissent dans des couches électroniques K, L,M qui ne peuvent contenir qu'un nombre limité d'électrons.
- ✓ Le remplissage des couches électroniques s'effectue en commençant par la couche K. Lorsqu'elle est saturée on remplit la couche L et ainsi de suite.
- ✓ Dans le schéma ou la structure de Lewis, seuls sont représentés les électrons de la couche électronique externe appelés aussi électrons de valence.
- ✓ Dans le tableau de classification périodique, les éléments sont rangés dans chaque ligne par ordre croissant du numéro atomique Z.
- ✓ Les éléments dont les atomes ont le même nombre d'électrons sur leur couche externe sont regroupés dans une même colonne
- ✓ Les éléments d'une même colonne **de la classification périodique** ont des propriétés chimiques très semblables. Ils constituent une famille chimique.

Dossier documentaire : Classification historique de Mendeleïev





Mendeleïev est né à Tobolsk, en Sibérie. Il était le cadet des nombreux enfants de Maria Dmitrievna Korniliev et Ivan Pavlovitch Mendeleïev (le treizième selon Michael Gordin[1], un historien des sciences). À l'âge de quatorze ans, après la mort de son père, Mendeleïev entre au lycée de Tobolsk. En 1849, la famille devenue pauvre s'installe à Saint-Pétersbourg, Dmitri entre à l'université en 1850. Après avoir reçu son diplôme, il contracta la tuberculose ce qui l'obligea à se déplacer dans la péninsule criméenne près de la Mer Noire en 1855, où il devint responsable des sciences du lycée local. Il revint complètement guéri à Saint-Pétersbourg en 1856. Il étudia la chimie à Saint-Pétersbourg où il fut diplômé en 1856. À 25 ans, il vint travailler à Heidelberg avec des savants comme Robert Bunsen et Gustav Kirchhoff. En 1867, il fut nommé professeur de chimie minérale à l'Université de Saint-Pétersbourg.

Entre 1859 et 1861, il travailla sur la densité des gaz à Paris, et au fonctionnement du spectroscope avec Gustav Kirchhoff à Heidelberg. En 1863, après son retour en Russie, il devint professeur de chimie à l'institut technologique et à l'université de Saint-Pétersbourg. La même année, il épousa Feozva Nikitichna Lechtcheva (Феозва Никитична Лещева) , ce mariage se solda par un divorce. Il épousa ensuite Anna Ivanovna Popova (Анна Ивановна Попова).

L'une des formes du tableau périodique de Mendeleïev, de la première version anglaise de son ouvrage de référence (1891, basé sur la 5^{e} édition russe)

En 1866, Newlands édicta sa loi des octets. Mendeleïev avait travaillé sur une idée semblable et, le 6 mars 1869, une présentation formelle fut faite à la société russe de chimie, intitulée **La dépendance entre les propriétés des masses atomiques des éléments**, énonçant :

1. Les éléments, lorsqu'ils sont disposés selon leur masse atomique, montrent une périodicité apparente de leurs propriétés.
2. Les éléments qui sont semblables en ce qui concerne leurs propriétés chimiques ont des masses atomiques qui sont peu éloignés ou proches de la même valeur (par exemple Pt, Ir, Os) ou qui augmentent régulièrement (par exemple K, Rb, Cs).
3. L'arrangement des éléments, ou des groupes d'éléments dans l'ordre de leurs masses atomiques, correspond à leurs prétendues valences, aussi bien que, dans une certaine mesure, à leurs propriétés chimiques distinctives.
4. Les éléments qui sont le plus largement représentés ont de petites masses atomiques.
5. L'importance du poids atomique détermine le caractère de l'élément, de même que l'importance de la molécule détermine le caractère d'un corps composé.
6. Nous devons nous attendre à la découverte de nombreux éléments jusqu'ici inconnus. Par exemple des éléments analogues à l'aluminium et au silicium dont la masse atomique serait comprise entre 65 et 75.
7. La masse atomique d'un élément peut parfois être modifiée par une connaissance de la masse de ses éléments contigus. Ainsi, le poids atomique du tellure doit se trouver entre 123 et 126, et ne peut pas être 128.
8. Certaines propriétés caractéristiques des éléments peuvent être prévues à partir de leur masse atomique.

Inconnu de Mendeleïev, Lothar Meyer travaillait à une classification périodique pratiquement identique bien qu'il ne soit jamais venu à l'idée de Meyer la possibilité de prévoir l'existence de nouveaux éléments et de corriger les masses atomiques. Meyer et Mendeleïev peuvent être considérés comme les créateurs de cette classification.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Compléter le tableau suivant

Symbole de l'élément	C		Na	H			Cl		Mg		B	Ar	
Nom de l'élément chimique		azote			fluor	lithium		néon		oxygène			soufre

2 Recopier le texte en le complétant :

« Le modèle actuel de l'atome est une ……. constituée d'un petit …… autour duquel tournent des …… L'ordre de grandeur des dimensions de l'atome est de ……., alors que celui du noyau est de 10^{-15} m, c'est-à-dire que le noyau est …… fois plus petit que l'atome. Un atome peut gagner ou perdre un ou plusieurs électrons et se transformer ainsi en …… . Le nombre de …… situées dans le noyau ne change jamais.

Applications directes du cours

3 Un atome est caractérisé par son numéro atomique Z et son nombre de masse A, nous le notons (Z, A).

Considérons les atomes : (1, 1), (2, 3), (2, 4), (3, 7), (4, 9), (6, 12), (6, 13), (6, 14), (7, 14) et (8, 16).

1. Indiquer les atomes isotopes du même élément. En quoi diffèrent-ils ?

2. Donner la structure électronique de chacun des atomes ci-dessus. A quelles période et colonne du tableau de la classification périodique appartient chacun de ces atomes ?

3. Donner pour chacun le nom et le symbole de l'élément correspondant.

4. Indiquer les atomes qui peuvent gagner ou perdre des électrons pour avoir la structure du gaz rare le plus proche.

Donner alors pour chacun la formule électronique et la formule de l'ion correspondant.

4 En vous référant au tableau de classification restreint, écrire les formules de Lewis des atomes suivants : hydrogène, oxygène, carbone, azote, soufre, fluor.

5 On considère un atome dont le noyau contient 6 neutrons. Son noyau a une charge égale à : $9.6\ 10^{-19}$ C. La charge élémentaire e = $1,6\ 10^{-19}$ C.

1. Quel est le numéro atomique de l'atome ?
2. Quel est son nombre de masse A ?
3. Combien d'électrons comporte cet atome ?

Utilisation des acquis

6 L'atome de sodium a pour numéro atomique 11. Son nombre de masse est 23.

1. Quelle est la constitution de l'atome de sodium ? Quelle est celle de son noyau ?

3. Calculer la masse m de l'atome de sodium et la masse m' de son noyau. Conclure.

On donne : $m_p = m_n = 1{,}67.\ 10^{-27}$ kg. $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg.

7

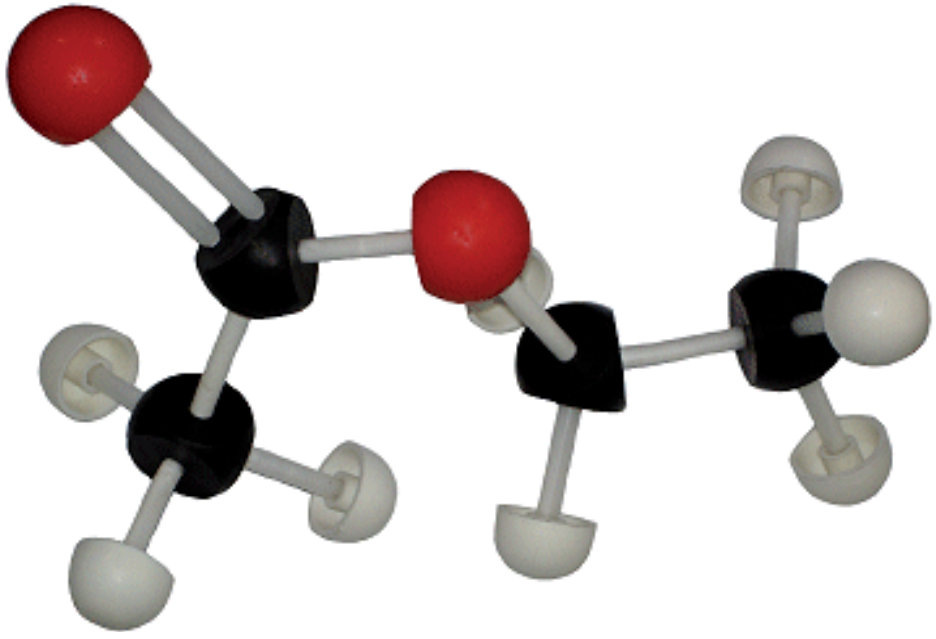
1- L'aluminium est un élément dont le numéro atomique est égal à 13.

1.1- Ecrire la formule électronique de l'atome d'aluminium.
1.2- Quelle est sa couche électronique externe ?
1.3- Sur quelle ligne du tableau de la classification périodique se trouve-t-il ?
1.4- A quelle colonne du tableau de la classification périodique appartient-il ?

2. Le bore B est un élément chimique placé juste en dessus de l'aluminium dans le tableau de la classification périodique. En déduire la formule électronique de l'atome de bore et le numéro atomique de l'élément bore.
3. Un atome de bore a un nombre de masse : A = 11. Combien comporte-t-il de protons, de neutrons et d'électrons

CHIMIE

CHAPITRE 3 : LIAISONS CHIMIQUES



Représentation spatiale d'une molécule d'ester : Comment sont liés les atomes ?

OBJECTIFS

- Connaitre les liaisons covalentes
- Représenter le schéma de Lewis de quelques molécules
- Donner le nom et la formule statistique de quelques composés ioniques.
- Construire et utiliser des modèles moléculaires.

PLAN DU CHAPITRE

1. Liaisons covalentes
2. Les molécules
3. La liaison ionique

1 - Liaisons covalentes

1.1- Définition

Une liaison covalente entre deux atomes résulte de la mise en commun de deux électrons célibataires pour former un doublet d'électrons appelé doublet liant.

Le doublet liant, mis en commun entre les deux atomes, est considéré comme appartient à chacun des atomes liés.

En formant des liaisons covalentes, chaque atome acquiert une structure en duet ou en octet.

1.2- La valence

La valence d'un atome est le nombre de liaisons covalentes qu'il peut former.

Le nombre de liaisons covalentes que peut former un atome est égal au nombre d'électrons qu'il doit acquérir pour saturer sa couche externe à un octet d'électrons (ou un duet pour l'atome d'hydrogène).

Remarques

Pour déterminer le nombre de liaisons covalentes qu'un atome peut habituellement former, on cherche le nombre p d'électrons présents dans sa couche externe. Pour saturer cette couche, l'atome acquiert **(8 — p)** électrons en formant (8 — p) liaisons covalentes.

- Il existe des exceptions à cette règle non traitées ici.
- L'atome d'hydrogène acquiert un « duet » d'électrons en formant une liaison covalente. **(n_L = 2-p)**

Le tableau suivant donne, pour les principaux atomes, le nombre d'électrons dans la couche externe et le nombre de liaisons qu'ils peuvent habituellement former.

Atome	Formule électronique	Nombre d'électrons de la couche externe (p)	Représentation de Lewis	Nombre de liaisons covalentes n_L n_L = 8-p (ou n_L = 2-p)
Hydrogène H (Z = 1)	$(K)^1$	1	H•	1
Chlore Cl (Z = 17)	$(K)^2(L)^8(M)^7$	7	|Cl|	1
Oxygène O (Z = 16)	$(K)^2(L)^8(M)^6$	6	| O •	2
Azote N (Z = 7)	$(K)^2(L)^5$	5	• N •	3
Carbone C (Z = 6)	$(K)^2(L)^4$	4	• C •	4

2- Les molécules

2.1- Définition

On appelle molécule tout édifice chimique, électriquement neutre, formé d'atomes liés entre eux par des liaisons de covalence.

2.2- Formule brute et atomicité d'une molécule

2.2.1- Formule brute

Pour écrire la formule brute d'une molécule, on écrit côte à côte les symboles des atomes qui la constituent. Si un atome est présent plusieurs fois on le précise en indice à droite du symbole correspondant.
Exemples : eau : H_2O, méthane : CH_4, dioxyde de carbone : CO_2, butane C_4H_{10}

La formule brute d'un composé moléculaire indique la nature et le nombre d'atomes présents dans cette molécule. Elle n'indique pas la position des atomes dans la molécule.

2.2.2- Atomicité d'une molécule

L'atomicité d'une molécule représente le nombre d'atomes qu'elle comporte.

- Une molécule constituée de deux atomes ou d'atomicité 2 est dite diatomique. Exemples : H_2, O_2, HCl.
- Une molécule constituée de trois atomes ou d'atomicité 3 est dite triatomique. Exemples : H_2O.
- Une molécule constituée de quatre atomes ou d'atomicité 4 est dite tétratomique. Exemples : NH_3.

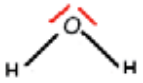
Plus généralement, une molécule à plusieurs atomes est dite polyatomique.

2.3- Représentation de Lewis d'une molécule

2.3.1- Doublets liants et doublets non liants

Dans une molécule, tous les électrons périphériques sont groupés par paires et constituent des doublets d'électrons qui peuvent être des doublets liants ou non liants.

2.3.2- Exemple : la molécule d'eau



- doublet liant
- doublet non liant

2.4- Formules développées et semi-développées d'une molécule

- **La formule développée** ou **formule développée plane** indique, dans un plan, les atomes présents dans la molécule et l'ordre dans lequel ils sont liés entre eux.
- **La formule semi-développée** est une écriture simplifiée de la formule développée. On regroupe certains atomes, notamment les atomes d'hydrogène.

Exemples

Nom	Formule brute	Formule **développée**	**Formule semi-développée**	**Modèle moléculaire**
Ethane	C_2H_6		$CH_3 - CH_3$	
Méthanol	CH_4O		$CH_3 - OH$	
Propène	C_3H_6		$CH_3 - CH_2 - CH_3$	

2.5- Electronégativité

2.5.1 Notion d'électronégativité

Certains éléments ont tendance à former des ions en captant facilement des électrons : F^-, O^{2-} Cl^-, S^{2-}, etc. De tous les éléments c'est le fluor qui capte le plus facilement des électrons. Ces anions ont 8 électrons sur leur couche électronique externe : **ces éléments sont dits électronégatifs.**

Remarque : D'autres éléments ont tendance à former des ions en perdant facilement des électrons pour donner des cations : Li^+, Na^+, Fe^{2+}, Fe^{3+} Al^{3+}, etc. Le lithium perd très facilement l'électron de sa couche électronique externe : **ces éléments sont dits électropositifs.**

2.5.2- Définition

L'électronégativité est la tendance d'un élément chimique à capter un ou plusieurs électrons.

Elle traduit également l'aptitude d'un atome, ou d'un groupe d'atomes, d'une entité moléculaire à attirer des électrons de liaison.

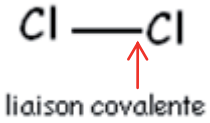
Remarque : L'électronégativité augmente de la gauche vers la droite d'une période donnée, et du bas vers le haut d'une colonne de la classification périodique des éléments.

2.6- La liaison covalente polarisée

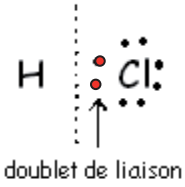
2.6.1- Exemples

La tendance qu'ont certains éléments à attirer ou à perdre des électrons se retrouve dans les molécules.

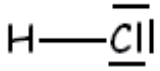
Dans une molécule de dichlore, le doublet de liaison est également partagé entre deux atomes identiques, la liaison covalente n'est pas polarisée



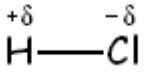
Dans une molécule de chlorure d'hydrogène, les électrons de la liaison de covalence sont plus attirés par l'atome de chlore que par l'atome d'hydrogène. Ceci se traduit par un excès de charge négative (–δ) sur



doublet de liaison



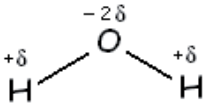
Formule de Lewis



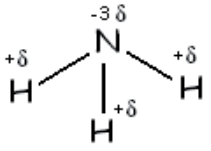
liaison covalente polarisée

l'atome de chlore et un déficit (+δ) sur l'atome d'hydrogène.

La liaison covalente est polarisée. Le doublet de liaison est déplacé vers le chlore.



Molécule d'eau



Molécule d'ammoniac

2.6.2- Définition

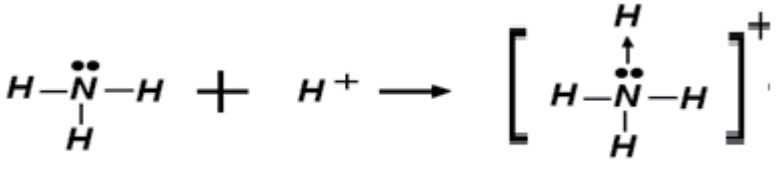
Une liaison covalente est dite polarisée lorsque le (ou les) doublet(s) ne sont pas répartis équitablement entre ces atomes. Il apparait des charges partielles positives et négatives sur les atomes liés.

2.7- La liaison dative

2.7.1- Définition

Une liaison dative maintenant connue sous le nom de liaison covalente de coordination, est une description de liaison covalente entre deux atomes pour lesquels les deux électrons partagés dans la liaison proviennent du même atome.

2.7.2- Exemple



ammoniac ion hydronium **ion ammonium**

3- La liaison ionique

3.1- Définition

La liaison ionique est une liaison établie par attraction électrostatique entre deux ions de signes opposés.

La liaison ionique est donc la limite d'une liaison covalente fortement polaire (très forte différence d'électronégativité). Ainsi les halogènes donnent des composés ioniques avec certains métaux.

Exemples :

- Les ions sodium Na^+ et chlorure Cl^- donnent le chlorure de sodium qui est un composé ionique
- Les ions calcium Ca^{2+} et fluorure F^- donnent le fluorure de calcium qui est un composé ionique

3.2- Le cristal ionique

3.2.1- Définition

Un solide est dit ionique s'il est formé d'un assemblage d'anions et de cations.

3.2.2- Formule ionique et formule statistique d'un solide ionique

3.2.2.a- - Formule ionique d'un solide ionique

La formule ionique d'un composé ionique représente un ensemble électriquement neutre écrit avec les ions constitutifs du composé.

Exemples : Chlorure de sodium : $(Na^+ + Cl^-)$

Fluorure de calcium : $(Ca^{2+} + 2F^-)$

3.2.2.b- - Formule statistique d'un solide ionique

La formule statistique d'un composé ionique représente un ensemble électriquement neutre et indique la proportion de chacun des ions (cations et anions) qui le composent.

Exemples : chlorure de sodium : NaCl.

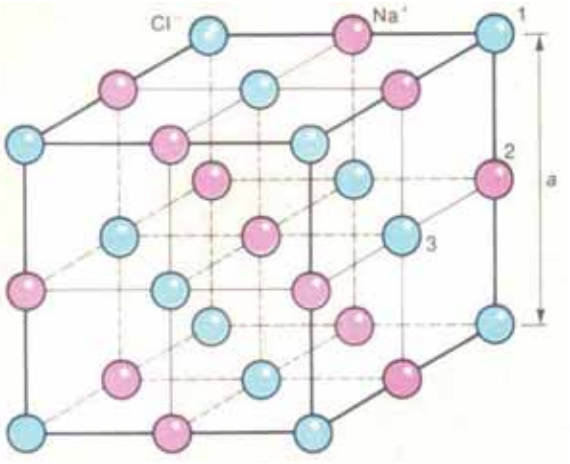
fluorure de calcium : CaF_2.

3.2.3- Un exemple de cristal ionique : le chlorure de sodium

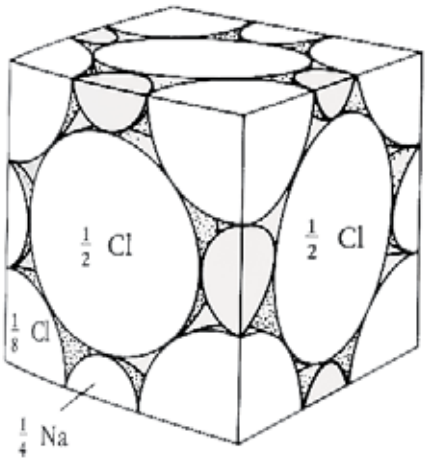
- Le chlorure de sodium se présente sous forme de réseau constitué de mailles élémentaires.
  Ce réseau résulte de l'imbrication de deux réseaux cubiques à faces centrées, de même arête a, l'un d'ions chlorure Cl^- et l'autre d'ions sodium Na^+, décalés de $\frac{a}{2}$. (voir documents 1 et 2)

Ce réseau porte le nom de **réseau type NaCl**.

De nombreux autres solides cristallisent dans un réseau semblable.



Document 1 : La maille du chlorure de sodium



Document 2

Remarque : Il existe de nombreux solides qui, comme le chlorure de sodium, sont constitués d'un empilement réguliers d'ions. On leur donne le nom de solides ou cristaux ioniques.

Exemples de cristaux ioniques :

- des chlorures : chlorure de potassium (KCl), chlorure de magnésium ($MgCl_2$), chlorure d'aluminium $AlCl_3$,... ,
- des sulfates : sulfate de sodium (Na_2SO_4), sulfate de calcium ($CaSO_4$)... ,
- des nitrates : nitrate de sodium ($NaNO_3$), nitrate d'argent ($AgNO_3$)... ,
- des oxydes : oxyde de sodium (Na_2O), oxyde de magnésium (MgO)...

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ Une liaison covalente entre deux atomes résulte de la mise en commun de deux électrons célibataires pour former un doublet d'électrons appelé doublet liant.
- ✓ La valence d'un atome est le nombre de liaisons covalentes qu'il peut former.
- ✓ On appelle molécule tout édifice chimique, électriquement neutre, formé d'atomes liés entre eux par des liaisons de covalence.
- ✓ L'atomicité d'une molécule représente le nombre d'atomes qu'elle comporte.
- ✓ La formule développée ou formule développée plane indique, dans un plan, les atomes présents dans la molécule et l'ordre dans lequel ils sont liés entre eux.
- ✓ La formule semi-développée est une écriture simplifiée de la formule développée. On regroupe certains atomes, notamment les atomes d'hydrogène.
- ✓ L'électronégativité est la tendance d'un élément chimique à capter un ou plusieurs électrons.
- ✓ Une liaison covalente est dite polarisée lorsque le (ou les) doublet(s) ne sont pas répartis équitablement entre ces atomes.
- ✓ La liaison ionique est une liaison établie par attraction électrostatique entre deux ions de signes opposés.
- ✓ Un solide est dit ionique s'il est formé d'un assemblage d'anions et de cations.
- ✓ Le chlorure de sodium se présente sous forme de réseau constitué de mailles élémentaires.

Fiche méthode 1 : Schéma de Lewis de quelques molécules

a- Pour déterminer le **nombre n_d de doublets** à répartir dans la molécule (doublets liants et doublets non liants), on dénombre les p électrons de la couche externe de chacun des atomes, puis on fait la somme de ces nombres et on divise le total obtenu par 2.

Exemple : Soit la molécule de formule brute C_2H_6O.

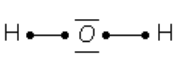
Atomes	C	H	O
Structure électronique	$(K)^2(L)^4$	$(K)^1$	$(K)^2(L)^6$
Nombre d'électrons externes p	4	1	6
Nombre d'atomes par élément	**2**	**6**	**1**

$n_d = \frac{2x4 + 6x1 + 1x6}{2}$ = 10 doublets **(liants et non liants)**

b- Méthode de détermination de la représentation de Lewis d'une molécule

① Ecrire le nom et la formule brute de la molécule.
② Ecrire la structure électronique de chaque atome.
③ Trouver le nombre **p** d'électrons externes de chaque atome.
④ Calculer le nombre $\mathbf{n_d}$ de doublets (liants et non liants) de la molécule.
⑤Trouver le nombre $\mathbf{n_L}$ de liaisons covalentes que doit établir l'atome pour acquérir une structure en octet **(8 – p)** ou en duet **(2 – p)** suivant la règle à laquelle il est soumis.
⑥ En déduire le nombre $\mathbf{n_{nL}}$ de doublets non liants de chaque atome ($\mathbf{n_{nL} = (p - n_L)/2}$).
On peut alors dessiner la représentation de Lewis :
⑦ Placer le(s) doublet(s) liant(s) entre les atomes de la molécule (liaisons covalentes).
⑧ Placer le(s) doublet(s) non liant(s) autour des atomes qui en possèdent.
⑨ Vérifier que chacun des atomes de la molécule satisfait à la règle de l'octet en étant entouré de 4 doublets (ou d'un seul doublet pour la règle du duet).
Exemple : Représentation de Lewis de la molécule d'eau H_2O.

(H : Z = 1, O : Z = 8)

Molécule	Nom : Eau	Formule : H_2O
Atomes	H	O
Structure électronique	$(K)^1$	$(K)^2(L)^6$
Nombre d'électrons externes p	1	6
Nombre de liaisons covalentes n_L (8 – p) ou (2 – p)	2 – 1 = 1	8 – 6 = 2
Nombre de doublets non liants n_{nL} $n_{nL} = (p - n_L)/2$	(1 – 1)/2 = 0	(6 - 2)/2 = 2
Nombre d'atomes par élément	2	1
Nombre de doublets (liants et non liants) de la molécule	$n_d = \frac{2x1 + 1x6}{2} = 4$	
Représentation de Lewis	 ou	
L'atome vérifie-t-il la règle de l'octet (ou du duet) ?	Oui : 1 doublet = 2 électrons	Oui : 4 doublets = 8 électrons

A l'aide des modèles moléculaires, on constate que la représentation de Lewis qui donne le plus de renseignements sur la forme de la molécule d'eau est :

Fiche méthode 2 : Détermination de la formule statistique d'un solide ionique

La formule statistique d'un composé ionique représente un ensemble électriquement neutre et indique la proportion de chacun des ions (cations et anions) qui le composent.

Les solides ioniques sont formés d'ions positifs et d'ions négatifs, mais, pour x cations par exemple, il existe toujours un nombre déterminé y d'anions.

Dans le cas du chlorure de sodium, il y a un cation Na^+ pour un anion Cl^- et nous écrivons la formule du chlorure de sodium NaCl.

Donnons deux autres exemples :

- Le nitrate de magnésium est formé d'ions magnésium Mg^{2+} et d'ions nitrate NO_3^-.
- La neutralité électrique impose d'associer x ions Mg^{2+} et y ions nitrate NO_3^- tels que le composé $Mg_x(NO_3)_y$ soit électriquement neutre.

Cela est possible si $(+2)x + (-1)y = 0$ Soit $\frac{y}{x} = \frac{2}{1}$

x et y sont des entiers naturels les plus petits possibles. Donc x = 1 et y = 2.

La formule statistique du nitrate de magnésium s'écrit donc : $Mg(NO_3)_2$

- Le sulfate d'aluminium est constitué d'ions Al^{3+} et sulfate SO_4^{2-}. Sa formule statistique s'écrit : $Al_x(SO_4)_y$.

L'électroneutralité du composé ionique impose : $(+3)x + (-2)y = 0$ Soit $\frac{y}{x} = \frac{3}{2}$

x et y étant des entiers naturels les plus petits possibles, on a : x = 2 et y = 3.

La formule statistique du nitrate de magnésium est donc : $Al_2(SO_4)_3$

Remarque : Dans une formule statistique le cation doit s'écrire avant l'anion.

On écrit NaCl et non ClNa.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Répondre aux questions suivantes

a) Comment appelle-t-on les atomes dont la couche externe comporte un duet ou un octet d'électrons ?

b) Enoncer les règles du « duet » et de l'octet.

c) Qu'est-ce qu'un doublet liant ?

d) Qu'est-ce qu'un doublet non liant ?

e) Qu'est-ce qu'une liaison covalente ?

f) Quand dit-on qu'une liaison covalente est polarisée ?

g) Qu'est-ce qu'une liaison ionique ? Qu'est-ce qu'un cristal ionique ?

Applications directes du cours

2

1. Définir la liaison covalente puis la valence d'un élément
2. Compléter le tableau suivant

Nom de l'élément	oxygène	soufre	fluor	Carbone	Soufre	bore
Formule de Lewis						
Valence						

3. Ecrire les formules de Lewis des composés suivants : HF : fluorure d'hydrogène, H_2S : sulfure d'hydrogène, CO_2 : dioxyde de carbone, CH_4 : méthane, N_2 diazote, C_2H_4O : éthanal.
4. La formule brute C_2H_6O correspond à deux corps différents. les propriétés différentes résultent d'une organisation différente des atomes dans les deux molécules. Ecrire les formules de Lewis correspondant à ces deux corps.

Utilisation des acquis

3 Le trichlorométhane aussi appelé chloroforme, de formule brute $CHCl_3$, était autrefois utilisé comme anesthésiant. C'est une molécule pour laquelle l'atome de carbone est un atome central.

1) Quelle est l'atomicité de la molécule de chloroforme ?

2) Déterminer le nombre d'électrons de la couche externe des atomes d'hydrogène, de carbone et de chlore.

3) Calculer le nombre d'électrons apportés par l'ensemble des couches externes des atomes de la molécule de chloroforme. En déduire le nombre de doublets de la molécule. Combien de doublets liants et de doublets non liants comporte la molécule ?

4) Etablir la représentation de Lewis de la molécule de chloroforme.

4 Déterminer les formules statistiques des composés ioniques suivants : chlorure d'argent, phosphate de calcium, sulfate de baryum, oxyde d'aluminium.

Les ions utilisés sont : Ag^+, Cl^-, PO_4^{3-}, Ca^{2+}, SO_4^{2-}, Ba^{2+}, Al^{3+}, O^{2-}.

5 Le numéro atomique de l'hydrogène est Z = 1, celui du carbone Z = 6 et celui de l'azote Z = 7.

1) Ecrire la formule électronique des atomes d'hydrogène H, de carbone C et d'azote N.

2) Etablir la représentation de Lewis de la molécule d'ammoniac NH_3. Préciser, dans cette représentation, quels sont les doublets liants et les doublets non liants.

3) Etablir la représentation de Lewis de la molécule de cyanure d'hydrogène, de formule brute HCN.

4) Etablir la représentation de Lewis de la molécule d'hydrazine, de formule N_2H_4.

6 On donne les numéros atomiques des éléments : Aluminium Al (Z = 13), Ne (Z = 10), carbone C (Z = 6), chlore Cl (Z = 17).

1) Ecrire la formule électronique de l'atome de chacun de ces éléments.

2) Parmi ces atomes, quels sont ceux qui peuvent former des ions stables ? Justifier la réponse.

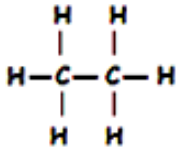
3) Ecrire la formule de chacun de ces ions et sa répartition électronique.

4) Quel type de composé (moléculaire ou ionique) les atomes d'aluminium et de chlore peuvent-ils former ? Donner la formule de ce composé.

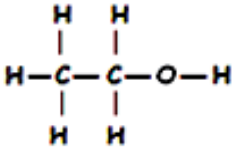
4) Quel type de composé (moléculaire ou ionique) un atome de carbone et des atomes de chlore peuvent-ils former ? Donner la formule de ce composé.

7 On considère les molécules d'éthane et d'éthanol.

1) Quelle est l'atomicité de chacune de ces molécules ?



Ethane



Ethanol

2) Donner leurs formules semi-développées et leurs formules brutes.

8 **Données** : numéros atomiques : H : Z = 1, C : Z = 6, N : Z = 7, O : Z = 8, S : Z = 16, Cl : Z = 17.

On considère les molécules suivantes : dihydrogène H_2, diazote : N_2, phosphure d'hydrogène : PH_3, dioxyde de carbone : CO_2, monochlorométhane : CH_3Cl.

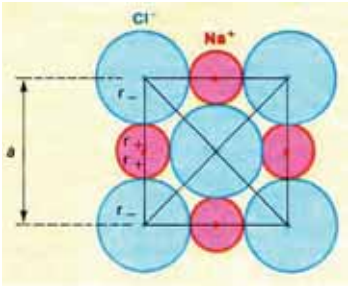
1) Quelle est l'atomicité de chacune de ces molécules ?

2) Pour chacune des molécules :

- calculer le nombre de doublets à répartir dans leur représentation de Lewis,

- établir la représentation de Lewis.

9 : **Données** : numéros atomiques : Na : (Z = 11) Cl : (Z = 17)



4) Les ions chlorure qui sont centrés sur la diagonale du cube sont en contact.
En déduire la longueur D de cette diagonale.

5) Déterminer la masse m de matière présente dans chaque maille, ainsi que la masse volumique ρ du chlorure de sodium définie par $\rho = \frac{m}{V}$ où V est le volume de la maille.

CHIMIE

CHAPITRE 4 MOLE ET GRANDEURS MOLAIRES

Est-il judicieux de compter graine par graine sa récolte d'arachide ?

OBJECTIFS

Connaitre les concepts de mole, masse molaire, volume molaire, densité d'un gaz

Donner la double signification du symbole des éléments et des formules des corps purs simples et/ou composés

Utiliser la relation entre nombre de moles, masse et masse molaire (ou nombre de moles, volume et volume molaire)

PLAN DU CHAPITRE

1. La mole
2. Masse molaire
3. Volume molaire
4. Masse volumique et densité d'un gaz (supposé parfait)

1- La mole

1.1- Notion de mole

ACTIVITE 1

Combien y a-t-il d'atomes de fer dans un clou ?

Pour déterminer le nombre d'atomes de fer contenus dans un clou en fer, on commence par peser sa masse (voir document ci-contre). On trouve m = 3, 48 g.

Sachant que la masse de l'atome de fer est sensiblement égale

à 9, 35. 10^{-26} kg

Calculer le nombre d'atomes de fer contenus dans le clou.

Réponse

Le nombre d'atomes de fer contenu dans le clou est :

$$n_{atomes} = \frac{m}{m_{Fe}} \quad \Leftrightarrow \quad m_{atomes} = \frac{3.48x10^{-3}}{9.35x10^{-26}}$$

$$\Leftrightarrow \quad m_{atomes} = 3,72.10^{22} \text{ atomes}$$

Soit environ trente sept mille deux cent milliards de milliards d'atomes !

Les échantillons de matière habituellement manipulés contiennent d'énormes quantités d'atomes, de molécules ou d'ions.

Le calcul précédent met en évidence la nécessité d'introduire une nouvelle échelle, plus commode, pour manipuler des quantités de matière en chimie.

Pour passer de l'échelle atomique à l'échelle macroscopique et comparer leurs échantillons de matière, les chimistes sont convenus de les compter par « **paquets** » contenant chacun le même nombre $\mathbf{N_A}$ **d'entités chimiques élémentaires identiques** (atomes, molécules, ions, électrons…), un tel « paquet » s'appelle une **mole (symbole : mol).**

1.3- Définition de la mole

La mole, unité de quantité de matière, est la quantité de matière contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone $^{12}_{6}C$.

1.3- La constante d'Avogadro.

ACTIVITE 2

Quelle est la valeur du nombre d'Avogadro N_A ?

Détermine le nombre d'atomes contenus dans une masse de 12 g de carbone $^{12}_{6}C$.

Réponse

La masse d'un atome de carbone est :

$$m_C = A.m_p \quad \Leftrightarrow \quad m_C = 12x1{,}67.10^{-27}$$

$$\Leftrightarrow \quad m_C = 2{,}00.10^{-26} \text{ kg}$$

Le nombre d'atomes contenus dans une masse de 12 g de carbone $^{12}_{6}C$ est :

$$n_{atomes} = \frac{m}{m_C} \quad \Leftrightarrow \quad n_{atomes} = \frac{12x10^{-3}}{2.00x10^{-26}}$$

$$\Leftrightarrow \quad n_{atomes} = 6{,}00.10^{23} \text{ atomes}$$

Remarque : Un calcul plus précis tenant compte des masses réelles des noyaux donnerait

$n_{atomes} = 6{,}02.10^{23}$ atomes. Ce nombre est appelé **constante d'Avogadro** et est noté N_A.

$$\boxed{N_A = 6{,}02.10^{23} \text{ mol}^{-1}}$$

Une mole représente une quantité de matière contenant $N_A = 6{,}02.10^{23}$ entités chimiques élémentaires (atomes, molécules, ions, électrons …)

Une mole d'entités chimiques contient donc $6{,}02.10^{23}$ entités chimiques.

Exemples :

Une mole d'atomes de fer correspond à $6{,}02.10^{23}$ atomes de fer,

Une mole de molécules d'eau correspond à $6{,}02.10^{23}$ molécules d'eau,

Une mole d'ions Na^+ correspond à $6{,}02.10^{23}$ ions Na^+.

Exercice d'application 1

Détermine la quantité de matière de fer, exprimée en moles, contenue dans un clou de masse m = 3,48 g.

Solution

On a déjà calculé le nombre d'atomes de fer contenus dans une masse de 3,48 g de fer. (Voir activité 1)
Soit n_{Fe} la quantité de matière (nombre de moles) de fer contenue dans le clou.

$$\text{On a : } n_{Fe} = \frac{n_{atomes}}{N_A} \quad \Leftrightarrow \quad n_{Fe} = \frac{3.72.10^{22}}{6.02.10^{23}}$$

$$\Leftrightarrow \quad \underline{n_{Fe} = 0{,}062 \text{ mol}}$$

2- Masse molaire

2.1- Définition

La masse molaire d'un composé est la masse d'une mole de ce composé.

Elle s'exprime en **$g.mol^{-1}$**.

2.2- Masse molaire atomique

La masse molaire atomique d'un élément est la masse d'une mole d'atomes de cet élément.

Exemple : M(C) = 12 $g.mol^{-1}$, M (H) = 1 $g.mol^{-1}$, M (O) = 32 $g.mol^{-1}$, M (Cl) = 35,5 $g.mol^{-1}$

M (N) = 14 $g.mol^{-1}$

2.3- La masse molaire moléculaire

La masse molaire moléculaire d'un composé est la masse d'une mole de molécules de ce composé.

La masse molaire moléculaire s'obtient en additionnant les masses molaires des atomes composant la molécule.

Exercice d'application 2

Calcule les masses molaires moléculaires des corps purs suivants :

eau (H_2O), chlorure d'hydrogène (HCl), butane (C_4H_{10}), éthanol (C_2H_6O)

On donne : M (H) = 1 $g.mol^{-1}$, M (O) = 32 $g.mol^{-1}$, M (Cl) = 35,5 $g.mol^{-1}$

Réponses :

La molécule d'eau comporte deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène :

$M(H_2O) = 2M(H) + M(O)$ avec M(H) = 1 $g.mol^{-1}$ et M(O) = 16$g.mol^{-1}$.

Donc $M(H_2O) = 2x1 + 16 = 18$ $g.mol^{-1}$.

De la même manière, on obtient : M (HCl) = 36,5 $g.mol^{-1}$, M (C_4H_{10}) = 58 $g.mol^{-1}$, M (C_2H_6O) = 46 $g.mol^{-1}$

NB : On parle de masse molaire moléculaire ou de masse molaire tout court. L'usage consiste à simplifier le langage et à utiliser cette dernière expression.

2.4- La masse molaire d'un composé ionique

La masse molaire d'un composé ionique est la masse d'une mole de ce composé.

La masse molaire s'obtient en additionnant les masses molaires des atomes du composé ionique car la masse molaire d'un ion est pratiquement égale à la masse molaire de l'atome correspondant.

Exercice d'application 3

Les formules statistiques du chlorure de sodium et du sulfate d'aluminium sont respectivement : NaCl et $Al_2(SO_4)_3$. Calcule leurs masses molaires.

On donne : M(Na) = 23 $g.mol^{-1}$, M(Cl) = 35,5 $g.mol^{-1}$, M (O) = 16 $g.mol^{-1}$, M (S) =32 $g.mol^{-1}$ M(Al) = 27 $g.mol^{-1}$

Réponses

- Le motif du chlorure de sodium est constitué d'un ion Na^+ et d'un ion Cl^-. Sa masse molaire est :

$M(NaCl) = M(Na^+) + M(Cl^-)$ avec $M(Na^+) = 23\ g.mol^{-1}$ et $M(Cl^-) = 35,5\ g.mol^{-1}$.

Donc $M(NaCl) = 23 + 35,5 = 58,5\ g.mol^{-1}$.

- Le sulfate d'aluminium est constitué de deux ions Al^{3+} et de trois ions SO_4^{2-}. Sa masse molaire est :

$M(Al_2(SO_4)_3) = 2M(Al^{3+}) + 3M(SO_4^{2-})$ avec $M(Al^{3+}) = 27\ g.mol^{-1}$ et

$M(SO_4^{2-}) = M(S) + 4M(O) = 32 + 4x16 = 96\ g.mol^{-1}$.

Donc $M(Al_2(SO_4)_3) = 2x27 + 3x96 = 342\ g.mol^{-1}$.

2.5- Relation entre masse et quantité de matière

ACTIVITE 3

Quelle est la quantité de matière dans 36 g d'eau ?

Sachant qu'une mole d'eau a une masse de 18 g, calcule le nombre de moles de molécules d'eau contenues dans une masse de 36 g d'eau.

Réponse

Soit n le nombre de moles dans 36 g d'eau.

On a : { 1 mol correspond à 18 g d'eau
n mol correspond à 36 g d'eau

On tire n/1 = 36/18 = 2, n = 2 mol

Remarque : Dans le calcul précédent 18 g est la masse d'une mole ou masse molaire M

Si on note m = 36 g la masse d'eau, le calcul effectué est alors $\mathbf{n = \frac{m}{M}}$.

De façon générale d'après la définition de la masse molaire d'un corps pur, on a :

$\mathbf{n = \frac{m}{M}}$	• **n : quantité de matière (mol)** • **m : masse de l'échantillon (g)** • **M : masse molaire ($g.mol^{-1}$)**

3- Volume molaire

3.1- Equation d'état des gaz parfaits

Dans un gaz à basse pression, les molécules sont très éloignées les unes des autres et leurs interactions sont négligeables. Tous les gaz ont alors même comportement. Ce comportement-limite est celui d'un gaz modèle appelé «gaz parfait».

Le volume V occupé par un gaz à la température T (en K) et sous la pression P (en Pa) sont liées à la quantité de matière n de ce gaz par la relation suivante appelée **équation d'état des gaz parfaits** :

PV = nRT	• **P : pression en pascals (Pa)** • **V : volume du gaz (m^3)** • **T : température en kelvin (K)** • **n : quantité de matière (mol)** • **R : 8,32 u S.I.**

T(K) = t(°C) + 273

1 atm = 1,013 10^5 Pa = 1,013 bar = 760 mm Hg

3-2 Loi d'AVOGADRO-AMPÈRE

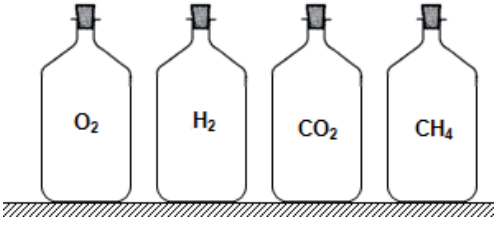
3-2-1 Définition du volume molaire

Le volume molaire V_m est le volume occupé par 1 mol d'un gaz dans les conditions quelconques de température et de pression.

L'unité de volume du chimiste étant le litre (L), le volume molaire V_m s'exprime en litres par mole ou **$L.mol^{-1}$**.

3-2-2 Enoncé de la loi

Hypothèse : Des volumes égaux de différents gaz (volumes mesurés dans les mêmes conditions) renferment le même nombre de molécules ou la même quantité de matière (en mol).



Les quatre flacons, de même volume, contiennent le même nombre de molécules ou la même quantité de matière de chaque gaz.

Enoncé :

Des volumes égaux de gaz différents, aux mêmes conditions de température et de pression, contiennent

le même nombre de molécules.

Autrement dit, des gaz différents, contenant le même nombre de moles, pris dans les mêmes conditions de température et de pression, occupent le même volume. Donc tous les gaz ont le même volume molaire.

3-2-3 Le volume molaire normal

ACTIVITE 4

Quel est le volume occupé par une mole de gaz pris dans les CNTP ?

Les Conditions Normales de Température et de Pression (C.N.T.P) sont définies par :

- Température t(°C) : 0°C
- Pression (P_0) : 1, 013.10^5 Pa,

Utilise la loi des gaz parfaits pour calculer le volume molaire (V_0) d'un gaz parfait.

Réponse :

D' après la loi des gaz parfaits : $P_0V_0 = nRT_0$

Soit $V_0 = nRT_0/P_0$

A.N. : P_0 = 1, 013.10^5, T_0 (K) = t(°C) + 273 =0 + 273 = 273 K

Dans ces conditions (CNTP), le volume molaire d'un gaz vaut $V_0 = 22,4$ L.mol^{-1}

On l'appelle volume molaire normal.

3-2-4 Volume et quantité de matière

D'après la définition du volume molaire, on a :

$n = \frac{V}{V_m}$	• **V : volume du gaz (L)** • **n : quantité de matière (mol)** • **V_m : volume molaire (L.mol^{-1})**

Exemple : La quantité de matière n contenue dans un volume V = 1,0 L de dihydrogène, dans les conditions normales de température et de pression (CNTP), est :

$n(H_2) = \frac{V}{V(H_2)}$

Donc $n(H_2) = \frac{1.0}{22.4} = 4,5.10^{-2}$ mol.

4- Masse volumique et densité d'un gaz (supposé parfait)

4.1- Masse volumique d'un gaz

- Si une masse m d'un gaz parfait occupe à la température T et à la pression P un volume V, sa masse volumique est, par définition :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

- Si cette même masse occupe à la température T_0 = 273 K et à la pression P_0 = 1 atm = 10^5 Pa un volume V_0 = 22,4 L = 22,4.10^{-3} m^3 (soit 1 mol), sa masse volumique est, dans ces conditions :

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (2) \quad \text{où m = M (masse molaire)}$$

En divisant (1) par (2), il vient :

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{V_0}{V}$$

Or $PV = nRT$ (3) et $P_0V_0 = nRT_0$ (4)

En divisant (3) par (4), il vient :

$$\frac{PV}{P_0V_0} = \frac{T}{T_0} \quad \text{soit} \quad \frac{V}{V_0} = \frac{P}{P_0}\frac{T_0}{T}$$

et $$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{P}{P_0}\frac{T_0}{T}$$

on obtient : $$\rho = \rho_0 \frac{P}{P_0}\frac{T_0}{T}$$

Exercice d'application 4

Quelle est la masse volumique, exprimée en kg.m^{-3}, du dioxyde d'azote NO_2 ?

a) dans les conditions normales de température et de pression (CNTP) ?

b) à la température t = 127°C et sous la pression de P = 57 cm de mercure ?

(1 atm = 76 cm de mercure =1,013.10^5 Pa = 1,013 bar)

Solution

a) $\rho_0 = \frac{M}{V_0}$ $\rho_0 = \frac{46}{22.4} = 2{,}05\ g.L^{-1} = 2{,}05\ kg.m^{-3}$

b) $\rho = \rho_0 \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T}$ $\rho = \rho_0 \frac{57}{76} \frac{273}{400} = 1{,}05\ kg.m^{-3}$

4.2- Densité d'un gaz par rapport à un gaz quelconque

La **densité** ou densité relative **d'un gaz** est le rapport de sa masse volumique ρ_G à la masse volumique ρ_{ref} d'un autre gaz pris comme référence, ces masses étant mesurées dans les conditions normales de température et de pression :

$$\mathbf{d_G = \frac{\rho_G}{\rho_{ref}}}$$

Dans les mêmes conditions de température et de pression deux volumes égaux V de gaz différents contiennent le même nombre de moles n.

Or, $\rho_G = \frac{m}{V}$ soit $\rho_G = \frac{nM_G}{V}$

et $\rho_{ref} = \frac{nM_{ref}}{V}$

Donc $\mathbf{d = \frac{\rho_G}{\rho_{ref}} = \frac{M_G}{M_{ref}}}$

Conséquence : Densité d'un gaz par rapport à l'air

$$\mathbf{d_G = \frac{\rho_G}{a_0} = \frac{M_G}{M_{air}}} \text{ avec } \mathbf{a_0 = 1{,}293\ kg.m^{-3}}$$

Ici le gaz de référence est l'air : $M_{ref} = M_{air} = 29\ g.mol^{-1}$

$$\text{Donc } \mathbf{d_G = \frac{M_G}{29}}$$

Exercice d'application 5

La formule générale d'un composé gazeux est C_nH_{2n+2} où n est un entier naturel non nul.

La masse volumique du composé est $\rho = 1{,}98\ g.L^{-1}$. Celle de l'air est $\rho_{air} = 1{,}3\ g.L^{-1}$.

1) Calculer sa densité d.

2) Déterminer sa masse molaire. En déduire sa formule brute.

3) Déterminer la composition centésimale massique de ce composé.

Solution

1) d = d = 1,52

2) $d = \frac{M}{29}$ avec M = 14n + 2 $\Rightarrow$ n = 3 d'où la formule brute C_3H_8 (propane)

3) $m_C = 3x12 = 36$ g, $m_H = 8x1 = 8$ g, M = 44g

C : $\frac{36}{44}$ x100 = 81,8% et H : $\frac{8}{44}$ x100 = 18,2%

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ La mole est la quantité de matière contenant N_A entités élémentaires.
- ✓ $N_A = 6,02.10^{23}$ mol^{-1} est appelé constante ou nombre d'Avogadro.
- ✓ La masse molaire d'un composé est la masse d'une mole de ce composé.
- ✓ Le nombre de moles est lié à la masse m d'un composé de masse molaire M par: $n = \frac{m}{M}$
- ✓ Le nombre de moles est lié au volume V d'un gaz et au volume molaire V_m par : $n = \frac{V}{V_m}$
- ✓ L'équation d'état des gaz parfaits s'écrit: PV = nRT avec T(K) = t(°C) + 273
- ✓ La loi d'Avogadro stipule que les mêmes conditions de température et de pression, tous les gaz ont le même volume molaire.
- ✓ Dans les C.N.T.P (t = 0°C , P_0 : 1, 013.10^5 Pa) le volume molaire est : $V_0 = 22,4$ $L.mol^{-1}$.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Questions de cours

a) Enoncer l'hypothèse d'Avogadro-Ampère.

b) Définir la mole, donner la masse molaire d'un corps simple et d'un corps composé de votre choix.

c) Qu'appelle-t-on conditions « normales » de température et de pression (C.N.T.P.) ?

d) Définir le volume molaire normal d'un gaz. Quelle est sa valeur ?

e) Le volume molaire normal du dihydrogène (H_2) est-il le même que celui du diazote (N_2) et celui du néon (Ne) ?

f) Qu'est-ce qu'un gaz parfait ?

Applications directes du cours

2 a) Calculer les quantités de matière contenues : dans 36 g fer, dans 36 g de carbone, dans 36 g d'eau.

b) Quelle est la masse moyenne d'un atome de plomb ? Quelle est la masse moyenne d'une molécule d'eau?

c) Calculer la masse d'un milliard de milliards d'atomes de fer. Quelle est la masse d'une quantité égale d'atomes d'aluminium ?

d) Quelles sont les masses molaires : du mercure, de l'or, de l'uranium, de l'ammoniac(NH_3), du méthane (CH_4), de l'éthylène (C_2H_4).

e) L'aspirine (ou acide acétylsalicylique) a pour formule $C_9H_8O_4$. Calculer la quantité d'aspirine (en mol) contenue dans un comprimé d'aspirine simple de masse 500 mg.

f) Calculer la quantité de matière n d'un gaz supposé parfait contenu dans un récipient indilatable de volume V = 3 L à la température de 67°C sous la pression de 2 atm. On donne R = 8,31 $m^3.Pa.K^{-1}.mol^{-1}$.

g) Calculer la masse volumique ρ de l'éthylène C_2H_4 à la température t = 17°C et sous la pression P = 3,0 bar.

h) Quelle est la densité d d'un gaz de masse volumique ρ = 2,5 $kg.m^{-3}$ (dans les CNTP) ?

3 Calculer les quantités de matière contenues dans les échantillons suivants :

5,0 g de dioxyde de carbone, 500 g d'acide ascorbique (vitamine C) $C_6H_8O_6$, $5{,}0.10^3$ kg d'acide nitrique HNO_3, 10 g de la caféine $C_4H_{10}O_2N_4$.

4 Le sucre est constitué de saccharose, de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$. On propose, pour le même prix, un sac de 60 kg de sucre ou 200 moles de saccharose. Quelle est le meilleur choix économique ?

5 La formule du cholestérol est $C_{27}H_{46}O$. Le résultat d'une analyse sanguine est :

cholestérol : 6,50 mmol dans un litre de sang. Exprimer ce résultat d'analyse en $g.L^{-1}$. Le taux normal de cholestérol sanguin est compris entre 1,40 et 2,20 $g.L^{-1}$. L'analyse révèle-t-elle un excès ?

6 On donne les masses volumiques :

- de l'acide sulfurique (H_2SO_4) : 1,8 $g.mL^{-1}$
- de l'acide nitrique (HNO_3) : 1,5 $g.mL^{-1}$
- du benzène (C_6H_6) : 0,88 $g.mL^{-1}$

1) Quelle quantité de matière y a-t-il dans 5,0 cm^3 de chacun de ces trois liquides ?

2) Quel est le volume occupé par 1,0 mol de benzène par 0,8 mol d'acide sulfurique ?

7 La formule générale des alcanes est C_nH_{2n+2} où n est un entier naturel non nul.

La masse volumique d'un alcane gazeux est ρ = 0,71 $kg.m^{-3}$.

1) Calculer sa densité d.

2) Déterminer sa masse molaire. En déduire sa formule brute.

Utilisation des acquis

8 Une bouteille métallique de volume V = 5,0 L contient un gaz à la température t = 25°C et sous la pression P = 102,3 kPa.

1) Calculer la quantité de matière n de gaz contenu dans la bouteille.

2) La masse du gaz vaut m = 12 g. Calculer sa masse molaire moléculaire M et sa densité d.

3) Le gaz en question est un hydrocarbure de formule générale C_nH_{2n+2}. Quelle est sa formule brute ?

9 **Données** : masses molaires atomiques en $g.mol^{-1}$: Ca : 40, Al : 27 , Si : 28, O : 16

Les feldspaths sont des constituants du granite. Un feldspath calcique a pour formule $CaAl_2Si_2O_8$.

1) Nommer les éléments entrant dans la composition de ce feldspath.

2) Calculer les pourcentages massiques des différents éléments dans la formule donnée.

3) Représenter la composition de ce feldspath par un diagramme circulaire (« camembert »).

10 Le propane C_3H_8 est commercialisé sous forme liquide. La bouteille contient 7 kg de propane et a un volume de 10 L.

1) Quelle est la masse volumique ρ_L du propane liquide ?

2) Quelle est la masse volumique ρ_g du propane gazeux ? Ce gaz est-il plus dense que l'air ?

3) Quel volume de gaz peut libérer cette bouteille dans les conditions où le volume molaire $V_m = 25\ L.mol^{-1}$?

11 L'hydroquinone, de formule brute $C_6H_4(OH)_2$ est un dérivé du glucide qui freine la synthèse de la mélanine dont le rôle principal est la protection pigmentaire contre les radiations UV. L'utilisation de produits cosmétiques à base d'hydroquinone pour la dépigmentation ou "xessal" favorise le vieillissement précoce de la peau et peut provoquer un cancer…

1) Nommer les éléments entrant dans la composition de la molécule d'hydroquinone.

2) Calculer les pourcentages massiques des différents éléments dans la formule donnée.

3) Représenter ces pourcentages sous forme d'histogramme.

12 Le « super » ordinaire contient $0,5\ g.L^{-1}$ d'un antidétonant de formule PbC_4H_{12}.

Le plomb rejeté dans l'atmosphère est un polluant (d'où l'intérêt de l'essence sans plomb).

1) Calculer le pourcentage massique en plomb dans cet antidétonant.

Données : Pb : $207\ g.mol^{-1}$, C : $12\ g.mol^{-1}$, H : $1\ g.mol^{-1}$

2) Quelle est la masse de plomb rejetée dans l'atmosphère par un véhicule ayant consommé 9 L de « super » après un parcours de 100 km ?

13 Un corps pur gazeux a une masse volumique $\rho = 0,62\ kg.m^{-3}$ à la température t = 127°C et sous la pression P = 91,2 cm de mercure.

Quelle est sa masse volumique ρ_0 dans les conditions normales (CNTP) ?

Que vaut sa densité d ? en déduire sa masse molaire moléculaire M.

On donne : 1 atm = 76cm de mercure.

14 L'acidité des boissons au coca est due en partie à l'acide phosphorique H_3PO_4 dont le code alimentaire européen est E338. On a mesuré qu'un litre d'une de ces boissons contient 5,0 mmol d'acide phosphorique. (1 mmol = 1 millimole = 10^{-3} mol). De plus, la législation limite à $0,60\ g.L^{-1}$ la teneur maximale de ces boissons en acide phosphorique.

Cette boisson est-elle conforme à la législation ?

15 L'acide éthanoïque est un composé organique oxygéné de formule brute $C_xH_yO_z$ où x, y et z sont des entiers naturels non nuls. La masse molaire de l'acide éthanoïque vaut $M = 60\ g.mol^{-1}$.

La composition centésimale massique de l'acide éthanoïque est :

C : 40,0 %, H : 6,7%, O : 53,3%

Déterminer les valeurs de x, y et z et en déduire la formule brute de l'acide éthanoïque.

16 Un bijou constitué d'un alliage d'or et d'argent a une masse m = 127,9 g. Le volume de bijou est V = 8,0 cm^3.

On donne les masses volumiques de l'or ρ_1 = 19,3 $g.cm^{-3}$ et de l'argent ρ_2 = 10,5 $g.cm^{-3}$.

1) Déterminer les masses m_1 d'or et m_2 d'argent fondues pour fabriquer ce bijou.

2) Le carat est une unité de masse utilisée en joaillerie. C'est le pourcentage en or pur contenu dans un alliage ; il est égal à un vingt-quatrième de la masse totale de l'alliage. (un bijou en or pur est dit « 24 carats »). Quelle est la valeur en carats de ce bijou ?

17 La vitamine A ou rétinol, molécule de formule brute $C_{20}H_{30}O$, est un dérivé du carotène qui intervient dans la synthèse et le métabolisme de la peau, des muqueuses, dans la vision,… La carotte en contient.

1) Nommer les éléments entrant dans la composition de la molécule de vitamine A.

2) Calculer les pourcentages en nombre d'atomes de ces éléments dans la formule donnée.

3) Représenter ces pourcentages sous forme d'histogramme.

18 Un enfant tourne le bouton d'un brûleur rapide d'une cuisinière à butane. Le débit horaire pour ce gaz est de 168 g/h. Les dimensions de la cuisine sont les suivantes 4x2,5x2,5 (mètres).

1) Déterminer le volume de la cuisine.

2) Le mélange air-butane devient explosif pour une concentration en butane de 1,8%, en déduire le volume de butane présent dans l'air

3) sachant qu'un litre de butane pèse dans les conditions normales de pression et de température 2,4 g, en déduire la masse de butane en kilogramme contenu dans l'air

4) Déterminer au bout de combien de temps, l'air de la cuisine devient explosif.

CHIMIE

CHAPITRE 5 : REACTION CHIMIQUE

A quelle transformation chimique correspond ce superbe flash ?

OBJECTIFS

- Donner des exemples de réactions chimiques
- Représenter une réaction chimique par une équation
- Utiliser les relations de proportionnalité
- Utiliser rationnellement les produits chimiques
- Respecter les mesures de sécurité

PLAN DU CHAPITRE

1. Les transformations chimiques
2. Réaction chimique et son équation
3. Etude quantitative d'une réaction chimique

1 – Transformations chimiques

1.1 Activités

Activité 1

Combustion du carbone dans le dioxygène

Que produit la combustion du carbone dans le dioxygène ?

- Porter un morceau de charbon de bois à incandescence.

- Introduire le charbon de bois dans un flacon contenant du dioxygène.

Noter les observations dans le flacon.

- Verser de l'eau de chaux dans le flacon puis observer.

Observations :

- La combustion du charbon de bois devient plus vive dans le dioxygène.
- Le gaz formé au cours de la combustion trouble l'eau de chaux.

Activité 2

Action de l'acide chlorhydrique sur le zinc

Que produit l'action de l'acide chlorhydrique sur le zinc ?

- Verser quelques gouttes d'l'acide chlorhydrique sur le zinc ,

- Boucher l'ouverture du tube avec le pouce.

Noter les observations.

- Approcher un brin d'allumette allumée à l'ouverture du tube et écouter.

Observations :

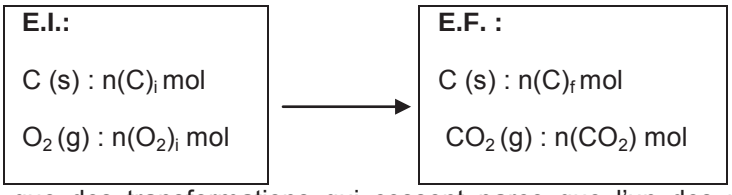
- **Il s'exerce une légère poussée sur le pouce,**

- **Une petite détonation se produit.**

Conclusion : Ces transformations représentent l'évolution du système chimique sur le plan macroscopique.

1.2 - La transformation chimique

Le passage du système de son état initial à son état final est la transformation chimique. On la symbolise par une flèche allant de l'état initial à l'état final.



Nous n'étudions cette année que des transformations qui cessent parce que l'un des réactifs a été entièrement consommé. Il n'en reste plus à la fin de la réaction. Ce réactif porte le nom de **réactif limitant**, dans l'exemple ci-dessus, le dioxygène est le réactif limitant.

1.3 Caractéristiques d'une transformation chimique

1.3.1- Aspect énergétique

Certaines transformations chimiques peuvent être :

- exothermiques : elles s'accompagnent de dégagement de chaleur,

- endothermiques : elles absorbent de la chaleur.

- athermiques : elles n'absorbent ni ne dégagent de chaleur.

1.3.2 - Aspect cinétique

Transformations rapides : combustion du carbone, action de l'acide nitrique sur le cuivre,

Transformations lentes : formation de la rouille, saponification (fabrication du savon), …

2 – La réaction chimique et son équation

2.1- Réaction chimique

La réaction chimique modélise, au niveau microscopique, la transformation chimique subie par un système.

Elle rend compte des interactions entre les entités chimiques au niveau microscopique.

Exemples :

- Combustion du carbone dans le dioxygène
- Action de l'acide chlorhydrique sur le zinc
- Synthèse de l'eau

2.2 - Equation d'une réaction chimique

Une réaction chimique est représentée simplement par une équation chimique ou équation de la réaction.

Les espèces chimiques y sont représentées par leurs formules (en précisant, en outre, leur état).

- Les espèces chimiques qui entrent en réaction sont les **réactifs**. Ils sont écrits dans le membre de gauche de l'équation.
- Les espèces chimiques qui sont formées par la réaction portent le nom de **produits**, on les écrit dans le membre de droite.

- Entre les réactifs et les produits, on place une flèche qui indique dans quel sens le système chimique évolue.

L'équation est l'écriture symbolique d'une réaction chimique.

REMARQUE :

Il peut exister dans le système des espèces chimiques présentes sans réagir. Elles n'interviennent pas dans l'écriture de l'équation.

2.3- Ajustement des nombres stœchiométriques

Au cours des transformations chimiques, les éléments se conservent. Cette loi doit être vérifiée dans les équations. Cela nécessite d'affecter des nombres à chaque terme de l'équation, appelés **nombres stœchiométriques**, dont les valeurs doivent être cohérentes. On dit qu'on effectue alors l'ajustement des nombres stœchiométriques.

Ajuster les nombres stœchiométriques d'une équation, c'est choisir ces nombres de manière à traduire la conservation de tous les éléments mis en œuvre.

REMARQUES :

- Si l'équation met en jeu des ions, l'ajustement des nombres stœchiométriques nécessite aussi de réaliser la conservation de la charge électrique.
- Par convention, on n'écrit pas le nombre stœchiométrique 1.

Exemples :

- $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
- $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$
- $2\,Al(s) + 3\,S(s) \rightarrow Al_2S_3(s)$
- $2(H^+ + Cl^-) + Zn \rightarrow (Zn^{2+} + 2Cl^-) + H_2$

Exercice d'application : On fait brûler de l'aluminium en poudre dans le dioxygène, on obtient de l'oxyde d'aluminium (alumine) Al_2O_3 à l'état solide. Ecrire l'équation de cette réaction chimique.

Solution :

- Les réactifs sont l'aluminium Al à l'état solide et le dioxygène à l'état gazeux.
- D'après l'énoncé, le seul produit est l'oxyde d'aluminium Al_2O_3 à l'état solide.
- La conservation de l'élément oxygène conduit au nombre stœchiométrique 3 pour le réactif O_2 ($3O_2 \rightarrow 2\,Al_2O_3$) et celle de l'élément aluminium au nombre stœchiométrique 4 pour le réactif Al ($4\,Al \rightarrow 2\,Al_2O_3$)
- L'équation de la réaction s'écrit donc : $4\,Al(s) + 3\,O_2(g) \rightarrow 2\,Al_2O_3(s)$

3 – Etude quantitative d'une réaction chimique

3.1- Double signification de l'équation d'une réaction chimique

Grâce à l'équation d'une réaction avec ses nombres stœchiométriques correctement ajustés, on peut faire des correspondances soit au **niveau macroscopique** (en moles) soit au **niveau microscopique** (en molécules, ions, atomes...)

Considérons par exemple l'équation de la combustion du méthane dans le dioxygène :

$$\mathbf{CH_4 + 2\,O_2 \rightarrow CO_2 + 2\,H_2O}$$

1ère signification

1 molécule de méthane (CH_4) réagit avec deux molécules de dioxygène pour former une molécule de dioxyde de carbone et deux molécules d'eau.

2ème signification

1 mole de méthane (CH_4) réagit avec deux moles de dioxygène pour former une mole de dioxyde de carbone et deux moles d'eau.

3.2 - Notion d'avancement et bilan de matière

Pour déterminer l'état final d'une transformation, on utilise un nouvel outil : l'avancement x au cours de la transformation.

Pour caractériser l'état d'un système chimique au cours d'une transformation, on utilise une grandeur x, exprimée en moles, appelée avancement.

A l'aide de cette grandeur et des nombres stœchiométriques de la réaction, on exprime, comme dans l'expérience précédente, les quantités de matière des produits formés et des réactifs consommés, on en déduit les quantités de matière des réactifs encore présents dans le milieu réactionnel.

On établit alors un tableau indiquant les quantités des réactifs et produits dans l'état initial et au cours de la transformation. Cela conduit à **l'avancement maximal x_{max}**, et à l'état final.

- **Avancement maximal et état final**

L'avancement maximal x_{max} s'obtient en écrivant que les quantités des réactifs restent positives ou nulles, il permet de déterminer l'état final de la transformation.

- En général, la réaction s'arrête quand l'un des réactifs a été entièrement consommé. Le réactif limitant est alors celui dont la quantité s'annule quand l'avancement est maximal.
- Dans quelques cas particuliers, tous les réactifs sont entièrement consommés à la fin de la transformation. On dit qu'initialement, ils étaient mis en œuvre dans **les proportions stœchiométriques.**

- **Bilan de matière**

Il correspond aux quantités des réactifs et produits de la réaction à l'état final. On peut le représenter par un tableau.

Exercice d'application : On introduit un fil de fer de masse 16,8 g porté au rouge dans un flacon de dioxygène de volume V = 1440 mL. Il se forme de l'oxyde magnétique Fe_3O_4 (composé solide).

1) Le système étant l'ensemble constitué par le fer et le dioxygène, déterminer son état initial.

2) Ecrire l'équation de la réaction.

3) Soit x la grandeur avancement permettant de déterminer l'état du système au cours de la transformation. Déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{max}. Quel est le réactif limitant ?
4) Faire le bilan des matières : Calculer la quantité du réactif restant et celle du produit formé. En déduire la masse de l'oxyde magnétique formé.

Données : masses molaires atomiques en $g.mol^{-1}$: O : 16 , Fe : 56
volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_m = 24,0\ L.mol^{-1}$.

Solution :

1) Etat initial du système

Les réactifs sont le fer Fe à l'état solide et le dioxygène O_2 à l'état gazeux.

- $n(Fe)_i = \frac{m(Fe)}{M(Fe)} = \frac{16.8}{56} = 0{,}30$ mol
- $n(O_2) = \frac{V(O_2)}{V_m} = \frac{1.44}{24} = 0{,}06$ mol

2) Equation de la réaction

$$3\ Fe\ (s) + 2\ O_2\ (g) \rightarrow Fe_3O_4\ (s)$$

3) Valeur de l'avancement maximal x_{max}

Equation	3 Fe (s) + 2 O_2 (g) → Fe_3O_4 (s)		
Etat initial (mol)	0,30	0,06	0
Au cours de la transformation (mol)	0,30 – 3x	0,06 – 2x	x
Etat final (mol)	**0,21**	**0**	**0,03**

$$\begin{cases} n(Fe) = 0 \\ 30 - 3x \geq 0 \\ n(O_2) = 0 \\ 06 - 2x \geq 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x \leq 0 \\ 10\ mol \\ x \leq 0 \\ 03\ mol \end{cases}$$

Ces deux inéquations sont satisfaites pour $x \leq 0{,}03$ mol, donc : $x_{max} = 0{,}03$ mol.

Le dioxygène est le réactif limitant.

4) Bilan des matières : Quantité de réactif restant et celle du produit formé

Le produit formé est l'oxyde magnétique Fe_3O_4 (s).

La valeur de l'avancement maximal étant $x_{max} = 0{,}03$ mol, on a, à l'état final :

$n(Fe) = 0{,}30 - 3x_{max} = 0{,}21$ mol

$n(O_2) = 0{,}06 - 2x_{max} = 0$ mol

et $n(Fe_3O_4) = x_{max} = 0{,}03$ mol

Remarque : Les données ci-dessus se trouvent dans la dernière ligne du tableau d'avancement à la question 3.

- **masse de l'oxyde magnétique formé**

$m(Fe_3O_4) = n(Fe_3O_4) \times M(Fe_3O_4)$

$m(Fe_3O_4) = 0{,}03 \times (3 \times 56 + 4 \times 16)$ $\qquad$ $m(Fe_3O_4) = 6{,}96$ g

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Ecrire, pour chaque réaction, l'équation avec des nombres stœchiométriques correctement ajustés.

1) L'électrolyse produit deux gaz dont l'un gaz qui entretient les combustions et l'autre gaz qui produit une détonation en présence d'une allumette enflammée.

2) La formation d'eau provient de la réaction du dihydrogène avec le dioxygène.

3) La combustion incomplète de l'éthane C_2H_6 gazeux dans le dioxygène produit du carbone et de l'eau.

4) L'eau oxygénée H_2O_2, en solution aqueuse, se décompose en eau et dioxygène.

5) Le chauffage du carbonate de calcium $CaCO_3$ solide forme de l'oxyde de calcium CaO solide et du dioxyde de carbone.

6) Le dihydrogène brûle dans le dichlore en formant du chlorure d'hydrogène (composé gazeux).

7) On place un clou en fer dans une solution contenant des ions cuivre (II) Cu^{2+}. On observe un dépôt de cuivre métal Cu et la formation d'ions fer (II) Fe^{2+}.

Applications directes du cours

2 Ajuster les nombres stœchiométriques des équations suivantes.

1) $NH_3\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow NO\,(g) + H_2O\,(l)$

2) $CO\,(g) + Fe_3O_4\,(s) \rightarrow CO_2\,(g) + Fe\,(s)$

3) $H_2S\,(g) + SO_2\,(g) \rightarrow H_2O\,(l) + S\,(s)$

4) $KClO_3\,(s) \rightarrow KCl\,(s) + O_2\,(g)$

5) $CH_4\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + H_2O\,(l)$

3 Le sodium réagit avec le dichlore, on obtient du chlorure de sodium NaCl (composé solide).

1) Ecrire l'équation de la réaction avec les nombres stœchiométriques correctement ajustés.

2) On fait réagir 0,50 mol de dichlore et 0,10 mol de sodium. On note 2x la quantité de chlorure de sodium formé (x étant l'avancement).

Déterminer, en fonction de x :

- la quantité n(Na) de sodium présent,
- la quantité $n(Cl_2)$ de dichlore présent.

3) Déterminer l'avancement maximal x_{max} et donner l'état final du système.

4 0,50 mole de carbone C enflammé brûle vivement dans 2,0 moles de dioxygène. La combustion engendre un gaz qui trouble l'eau de chaux.

1) Ecrire l'équation de la réaction avec les nombres stœchiométriques correctement ajustés.

2) L'avancement x au cours de la transformation étant égal à la quantité du gaz formé (en mol), déterminer dans ces conditions, en fonction de x :

- la quantité n(C) de carbone présent,

- la quantité $n(O_2)$ de dioxygène présent.

3) Déterminer l'avancement maximal x_{max}. Quel est le réactif limitant ? Donner l'état final du système.

Utilisation des acquis

5 Dans un ballon de baudruche, on a introduit 1,0 L de propane C_3H_8 et 10 L de dioxygène, ces volumes étant mesurés dans les conditions où le volume molaire est égal à 25 $L.mol^{-1}$.

On approche la flamme d'un briquet du ballon de baudruche, il se produit une explosion résultant de la combustion du propane et qui donne naissance à du dioxyde de carbone et à de l'eau liquide.

1) Ecrire l'équation de la réaction avec des nombres stœchiométriques correctement ajustés.

2) Quelle grandeur x peut-on choisir pour exprimer simplement les quantités de matière des produits et réactifs au cours de la transformation ?

3) Dresser le tableau permettant d'étudier la transformation et déterminer l'état final du système.

6 Un ruban de magnésium de masse m = 6,075 g est enflammé et porté immédiatement dans un flacon de dioxygène de volume V = 1,20 L. Il brûle très rapidement et très vivement et il se forme une poudre blanche constituée d'oxyde de magnésium (magnésie) de formule MgO.

1) Ecrire l'équation de la réaction avec des nombres stœchiométriques correctement ajustés.

2) Quel système chimique faut-il considérer pour étudier la combustion du magnésium ? Déterminer son état initial.

3) Choisir la grandeur avancement x qui permet de déterminer simplement l'état du système au cours de la transformation.

4) Déterminer l'avancement maximal x_{max} et donner l'état final du système.

Donnée : volume molaire : V_m =24 $L.mol^{-1}$

7 Sur une brique, on place un mélange de poudre de fer de masse m(Fe) = 2,79 g et de fleur de soufre de masse m(S) = 1,61 g.

On chauffe vivement le mélange à l'une de ses extrémités, une vive incandescence se propage le long du mélange et, après refroidissement, on constate qu'il s'est formé du sulfure de fer FeS (composé solide).

1) Ecrire l'équation de la réaction.

2) L'avancement x étant égal à la quantité de sulfure de fer formé, dresser le tableau décrivant l'état initial et l'état du système au cours de la transformation.

3) Déterminer l'avancement maximal x_{max} et compléter le tableau en y faisant figurer l'état final.

4) Le mélange initial était-il particulier ?

8 On introduit un fil de fer de masse 11,2 g porté au rouge dans un flacon de dichlore de volume V = 1,20 L.

Le flacon s'emplit de fumées rousses de chlorure de fer (III) $FeCl_3$ (composé solide).

1) Ecrire l'équation de la réaction avec des nombres stœchiométriques correctement ajustés.

2) Le système étant l'ensemble constitué par le fer et le dichlore, déterminer son état initial.

3) Choisir la grandeur avancement x permettant de déterminer l'état du système au cours de la transformation.

4) Déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{max}. Quel est le réactif limitant ?

5) Calculer la quantité du réactif restant et celle du produit formé.

Donnée : Volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_m = 24\ L.mol^{-1}$.

9 Dans un réacteur industriel, on introduit 20 moles de dihydrogène et 20 moles du mélange constituant l'air (l'air est composé de dioxygène et de diazote dont les proportions, en moles, sont 20 % de dioxygène et 80 % de diazote). Avec une étincelle, on déclenche la réaction qui engendre de l'eau, puis on ouvre le réacteur et on attend que la température revienne à sa valeur initiale. Le diazote est chimiquement inerte dans les conditions considérées.

1) Quel est le volume du réacteur si le volume molaire $V_m = 25\ L.mol^{-1}$?

2) Ecrire l'équation de la réaction.

3) En posant la quantité d'eau formée au cours de la transformation égale à 2x mol, dresser le tableau permettant d'étudier la transformation (prévoir une colonne pour inscrire la quantité de matière de l'espèce chimiquement inerte).

4) Déterminer l'avancement maximal x_{max} et donner l'état final du système.

10 L'odeur de l'ail est due à une molécule ne contenant que les éléments carbone, hydrogène et soufre. La combustion d'une masse m = 3,65 g de ce composé dans un excès de dioxygène a produit 6,6 g de dioxyde de carbone, 2,25 g d'eau et 3,2 g de dioxyde de soufre.

1) Ecrire l'équation-bilan de la combustion de ce composé $C_xH_YS_z$

2) Déterminer les quantités de matière de CO_2, H_2O et SO_2 formées.

3) En déduire les valeurs des rapports $\frac{x}{z}$ et $\frac{y}{z}$.

4) Sachant que la masse molaire du composé étudié est de 146 g .mol^{-1} en déduire les valeurs de x, y et z et la formule du composé.

11 **Les cimenteries sources de dioxyde de carbone**

Le principal constituant du ciment est le silicate tricalcique de formule brute Ca_3SiO_5 qui se forme lors du chauffage à 1450° C d'un mélange M de calcaire (essentiellement $CaCO_3$) et d'argile (mélange de silice SiO_2, d'alumine Al_2O_3 et d'oxyde de fer Fe_2O_3).

La réaction qui se produit a pour équation-bilan $3CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow Ca_3SiO_5 + 3CO_2$

On chauffe une tonne de mélange M contenant en masse 77 % de carbonate de calcium et 13 % de silice.

1) Quelles quantités de silice et de carbonate de calcium a-t-on ainsi traitées ?

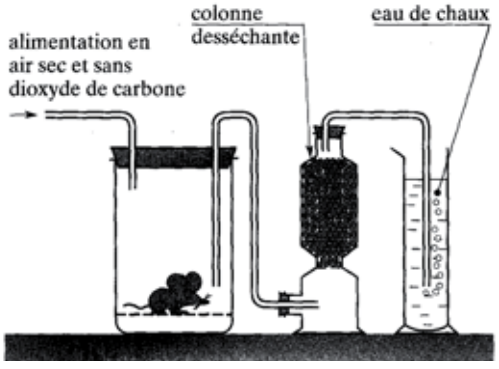
2) 60 % de la silice traitée est transformé en silicate tricalcique. Déterminer la quantité et la masse de silicate tricalcique, effectivement obtenu.

3) Quelle quantité et quelle masse de dioxyde de carbone obtient-on simultanément ?

4) En 1989, la production de ciment a été de 26 millions de tonnes. Sachant que le ciment contient, en masse, 40 % de silicate tricalcique, déterminer la masse de mélange M que consomme annuellement cette industrie.

12 Afin d'étudier la respiration d'une souris, on utilise le dispositif représenté ci-dessous.

L'enceinte où est placée la souris est alimentée en air sec et dépourvu de dioxyde de carbone. L'air extrait de l'enceinte traverse une colonne desséchante qui retient l'eau, puis barbote dans l'eau de chaux.



Avant l'expérience, on a déterminé avec précision les masses de la souris (m_1 = 18,40 g), du desséchant (m_2) et de l'eau de chaux (m_3).

Au bout de 2 heures, on détermine à nouveau ces masses.

1) Qu'observe-t-on dans le flacon contenant l'eau de chaux ? Écrire l'équation-bilan correspondante.

2) D'où provient l'espèce ainsi mise en évidence ? Ecrire l'équation-bilan de la réaction effectuée par la souris sachant qu'elle n'a brûlé que du glucose $C_6H_{12}O_6$.

3) Dans quel sens ont évolué les masses m_1, m_2 et m_3 ?

4) L'augmentation de masse du flacon contenant l'eau de chaux est $m\Delta_3$ = 0,30 g. En déduire la variation Δn_3 de la quantité de dioxyde de carbone.

5) Déterminer alors la variation Δn_1 de la quantité de glucose, puis la variation de masse Δm_1 de la souris.

CHIMIE

CHAPITRE 6 GENERALITES SUR LES SOLUTIONS AQUEUSES

Verrerie et matériel pour la préparation de solutions

OBJECTIFS

- Distinguer solvant, soluté et solution et en donner des exemples
- Expliquer le caractère conducteur d'une solution aqueuse
- Expliquer les phénomènes physico-chimiques accompagnant une dissolution
- Calculer la concentration d'une solution ou d'une espèce en solution
- Préparer une solution aqueuse de concentration donnée.

PLAN DU CHAPITRE

1. Dissolution
2. Rôle du solvant et effets thermiques
3. Grandeurs caractéristiques d'une solution aqueuse
4. Préparation de solutions

1– Dissolution

1.1- Phénomènes physico-chimiques de la dissolution

ACTIVITE 1

La température varie-t-elle lors d'une dissolution ?

- Verser de l'eau dans trois béchers numérotés 1, 2 et 3. Introduire dans chaque bécher un thermomètre, relever la température puis retirer les thermomètres.

- Verser modérément du sel de cuisine, des pastilles d'hydroxyde de sodium et des cristaux de nitrate de potassium respectivement dans les béchers 1, 2 et 3. Agiter avec un bâton de verre. (Doc. 1)

Becher 1 : Eau + sel

Becher 2 : Eau + soude

Becher 3 : Eau + nitrate de potassium

- Introduire à nouveau les thermomètres et noter la température. Comment varie la température dans chaque bécher ?

- Les mélanges obtenus sont-ils homogènes ?

Observations

- Pour le bécher 1 la température ne varie pas, par contre pour le bécher 2 elle augmente et pour le bécher 3 elle diminue.

- Les mélanges obtenus sont homogènes.

Interprétation

- La dissolution du sel de cuisine dans l'eau (bêcher 1) n'absorbe ni ne dégage de chaleur : elle est dite **athermique**.

- La dissolution de l'hydroxyde de sodium dans l'eau (bécher 2) dégage de la chaleur : elle est **exothermique.**

- La dissolution du nitrate de potassium dans l'eau (bécher 3) absorbe de la chaleur : elle est dite **endothermique.**

1.2 – Définitions de solution, solvant et soluté

Lors de la dissolution du chlorure de sodium dans l'eau, on obtient une **solution** aqueuse de chlorure de sodium où l'eau est le **solvant** et le chlorure de sodium le **soluté**.

On appelle **solvant** le liquide qui dissout les corps. Le **soluté** est le corps qui est dissous, il peut être solide, liquide ou gazeux.

On appelle **solution** le mélange homogène formé du solvant et du (des) soluté (s)

Remarque : L'eau est un solvant pour les substances minérales tandis que l'alcool, le benzène, le tétrachlorure de carbone sont des solvants pour les substances organiques.

2- Rôle du solvant

Un solvant tel que l'eau dissocie les substances cristallines en libérant des ions qui se dispersent dans le solvant. Dans ce cas, on dit que l'eau est un solvant **dissociant** et **dispersant.** L'eau peut aussi ioniser des substances moléculaires**,** il est dit **ionisant**. Les ions libérés peuvent s'associer à des molécules d'eau pour former des complexes ioniques : on dit que ces ions sont **hydratés**. Dans la plupart des cas les ions anhydres et les ions hydratés n'ont pas la même couleur.

L'électrolyse du sel de cuisine et de l'hydroxyde de sodium montre que ces substances sont conductrices : ce sont des **électrolytes**.

Exemples :

Les ions cuivre (II) Cu^{2+} anhydres sont blancs tandis que les ions Cu^{2+} hydratés de formule $[Cu(H_2O)_5]^{2+}$ sont bleus.

Photo Cu^{2+} anhydre et Cu^{2+} hydratés

Les ions nickel Ni^{2+} anhydres sont jaunes tandis que les ions nickel hydratés sont verts.

Les ions cobalt Co^{2+} anhydres sont bleus tandis que les ions cobalt hydratés sont roses.

3 - Grandeurs caractéristiques d'une solution aqueuse

3.1- Solubilité et saturation

ACTIVITE 2

- Introduire dans un bécher 50 mL d'eau mesuré avec l'éprouvette graduée.
- Peser 20 g de chlorure de sodium que l'on introduit dans le bécher contenant l'eau.
- Agiter longuement et noter les observations.
- Laisser décanter le contenu du bécher.
- Prélever une petite quantité du liquide dans un tube à essais et y ajouter une pincée de sel. Agiter et noter les observations.

Observations

- Tout le sel introduit dans le bécher n'est pas dissous.
- Le sel ajouté dans le tube à essais n'est pas dissous

Interprétation

- L'eau salée contenue dans le tube à essais ne peut plus dissoudre du sel à cette température : c'est une solution **saturée.**
- La quantité maximale de sel qu'un volume d'eau peut dissoudre augmente avec la température.

3.2- Définition Solubilité d'une solution

La solubilité est la quantité maximale de soluté qu'un litre de solvant peut dissoudre à une température donnée.

Remarque : La solubilité d'un soluté dans un solvant dépend de la température du solvant.

Exemples : La solubilité du chlorure de sodium dans l'eau est égale à 360 $g.L^{-1}$ à 20°C et de 390 $g.L^{-1}$ à 60°C.

Nom	Formule	Solubilité en $g.L^{-1}$ à 20°C et à la pression normale
Nitrate d'argent (solide)	$AgNO_3$	2278
Hydroxyde de sodium (solide)	NaOH	920
Dibrome (liquide)	Br_2	32
Ether (liquide)	$(C_2H_5)_2O$	55,7
Chlorure d'hydrogène (gaz)	HCl	445
Dioxygène	O_2	$1,9.10^{-2}$

3.3 - Concentration d'une solution

3.3.1- Concentration molaire volumique C

La concentration molaire volumique d'une espèce chimique A dans une solution, notée [A] ou C, est le nombre de mole(s) du soluté A dissous par litre de cette solution.

$$[A] = \frac{n(A)}{V} \quad \text{ou} \quad C = \frac{n(A)}{V} \quad (\text{en } mol.L^{-1})$$

- n(A) : nombre de mole(s) de soluté en mol
- V : volume de la solution en litre(s) (L)

3.3.2- Concentration massique C_m

La concentration massique d'une espèce chimique A dans une solution donnée, notée C_m, est la masse m(A) du soluté A dissous par litre de solution.

$$C_m = \frac{m(A)}{V} \quad \text{en g.L}^{-1}$$

- **m(A) : masse du soluté A en grammes (g)**
- **V : volume de la solution en litre(s) (L)**

4.3- Relation entre la concentration molaire volumique C et la concentration massique C_m

Considérons les relations suivantes : $\begin{cases} C = \frac{n(A)}{V} & (1) \\ C_m = \frac{m(A)}{V} & (2) \end{cases}$

De (1), on tire : n(A) = C.V avec n(A) = $\frac{m(A)}{M}$ où M est la masse molaire de l'espèce chimique A.

On obtient donc : $\frac{m(A)}{M}$ = C.V soit m(A) = M.C.V (3)

(3) dans (2) donne : **C_m = M.C**

La concentration molaire volumique C et la concentration massique C_m sont liées par la relation :

$$C_m = M.C$$

Exercice d'application

Une solution de volume V = 200 mL est obtenue en dissolvant 17,1 g de saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$ dans de l'eau.

1) Calculer la concentration massique **C_m** du saccharose en g/mL puis en g/L

2) Calculer la concentration molaire **C** du saccharose en mol.L^{-1}

Solution

1) <u>Calcul de la concentration massique C_m du saccharose</u>

Symbolisons le saccharose par S

Par définition $C_m = \frac{m(S)}{V}$

<u>A.N.</u> : m(S) = 17,1 g , V = 200 mL = 0,200 L

$C_m = \frac{17.1}{0.200}$ **C_m = 85,5 g/L** ou encore **$C_m = 8{,}55.10^{-2}$ g/mL**

2) Calcul de la concentration molaire C du saccharose

Par définition $\mathbf{C_m = M.C}$

D'où : $C = \frac{C_m}{M}$

A.N. : $C_m = 85,5$ g/L $M = 342$ g.mol^{-1}

$C = \frac{85.5}{0.200}$ **C = 0,25 mol.L^{-1}**

4- Préparation de solutions

4.1- Préparation d'une solution par dilution

4.1.1- Définition

La dilution est l'opération qui consiste à diminuer la concentration d'une solution par ajout de solvant.

4.1.2-Principe de la dilution

Un flacon contient un volume V_i d'une solution aqueuse de concentration C_i. Pour diluer la solution, il suffit d'ajouter progressivement de l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un volume final V_f.

Dans la solution initiale, le nombre de mole(s) de soluté est $n_i = C_iV_i$. Lors de l'addition d'eau, on ne modifie pas cette quantité de matière, on peut donc écrire : $n_i = n_f$ où n_f est le nombre de mole(s) de soluté dans la solution diluée.

Comme $n_f = C_fV_f$, il vient : **$C_iV_i = C_fV_f$ (Equation de la dilution)**

On en déduit la valeur de C_f : **$C_f = C_i\frac{V_i}{V_f}$**

4.1.3 – Application de la préparation d'une solution par dilution

On veut préparer 50 mL de solution de permanganate de potassium de concentration $C_f = 0,020$ mol.L^{-1} à partir d'une solution de concentration $C_i = 0,10$ mol.L^{-1}.

- ✓ **Calcul du volume V_i de permanganate de potassium à $C_i = 0,10$ mol.L^{-1} à prélever.**

Equation de la dilution : $C_iV_i = C_fV_f \Rightarrow V_i = V_f\frac{C_i}{C_f}$ = 10 mL.

Il faut diluer un volume $V_i = 10$ mL de permanganate de potassium à 0,10 mol.L^{-1}.

4.2 - Préparation d'une solution par dissolution d'un composé solide.

On désire préparer 100 mL de solution de chlorure de sodium de concentration C = 0,5 $mol.L^{-1}$ à partir de chlorure de sodium solide.

- ✓ **Calcul de la masse m de chlorure de sodium à C_i = 0,10 $mol.L^{-1}$ à prélever.**

Sachant que $C = \frac{n}{V}$ et $n = \frac{m}{M}$ alors

m = C.V.M où V = 100 mL et M = 58,5 $g.mol^{-1}$ (masse molaire du chlorure de sodium).

La masse de chlorure de sodium à prélever est donc : m = $0,5x100.10^{-3}x58,5$ soit m = 2,93 g.

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ Une **solution** est un mélange homogène formé d'un solvant et de soluté (s)
- ✓ Le **solvant** est le liquide qui dissout les corps.
- ✓ Le **soluté** est le corps qui est dissous, il peut être solide, liquide ou gazeux.
- ✓ Une dissolution peut être **endothermique**, **exothermique** ou **athermique**
- ✓ L'eau est un solvant **dissociant**, **ionisant** et **dispersant.** C'est aussi un solvant **hydratant**
- ✓ Une solution est dite **saturée** lorsqu'elle ne plus dissoudre de soluté.

La concentration massique d'une espèce chimique A dans une solution donnée, notée C_m, est la masse m(A) du soluté A dissous par litre de solution.

$$C_m = \frac{m(A)}{V} \quad \text{en } g.L^{-1}$$

- m(A) : masse du soluté A en grammes (g)
- V : volume de la solution en litre(s) (L)

- ✓ La **solubilité** est la concentration massique maximale d'une solution
- ✓ La concentration molaire volumique d'une espèce chimique A dans une solution, notée [A] ou C, est le nombre de mole(s) du soluté A dissous par litre de cette solution.

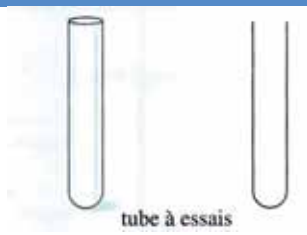
$$[A] = \frac{n(A)}{V} \quad \text{ou} \quad C = \frac{n(A)}{V} \quad (\text{en } mol.L^{-1})$$

- n(A) : nombre de mole(s) de soluté en mol
- V : volume de la solution en litre(s) (L)

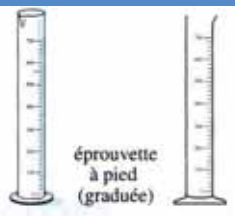
Une solution de concentration donnée peut se préparer par :

- **dissolution** d'un soluté
- **dilution** d'une solution

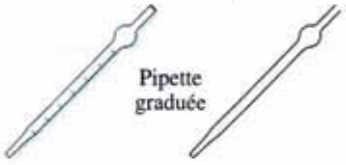
Document annexe : La verrerie courante de laboratoire



Instrument Symbole



Instrument Symbole

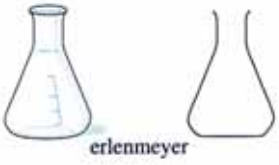


Instrument Symbole

Instrument Symbole

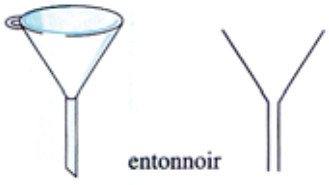
Instrument Symbole

Instrument Symbole

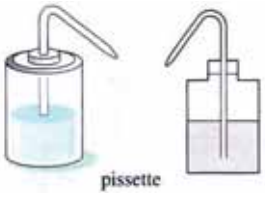


Instrument Symbole

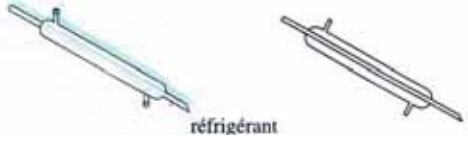
Instrument Symbole



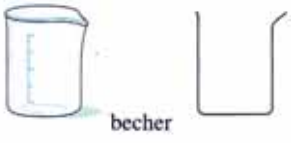
Instrument Symbole



Instrument Symbole



Instrument Symbole



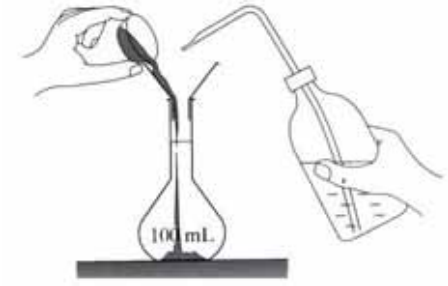
Instrument Symbo

Instrument Symbole

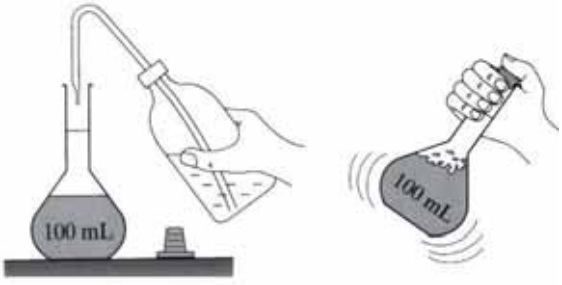
Instrument Symbole

Fiche technique : Préparation de solutions par dissolution

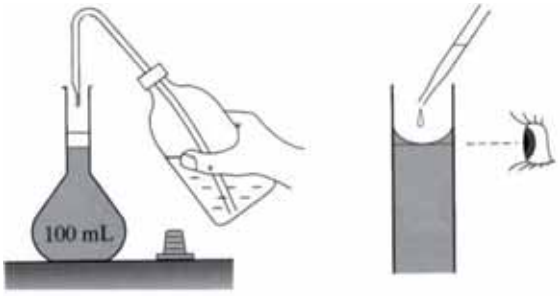
1. Pesons précisément m = 2,93 g en prélevant le solide avec une spatule propre et sèche (b), et en le plaçant dans une capsule ou un verre de montre préalablement pesé (a).



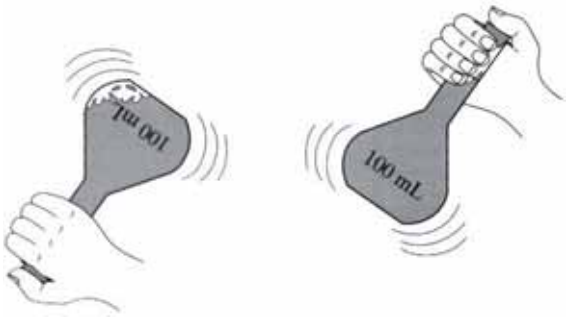
2. Introduisons le solide dans une fiole jaugée de 100 mL avec un entonnoir. Rinçons la capsule ou le verre de montre avec de l'eau distillée.



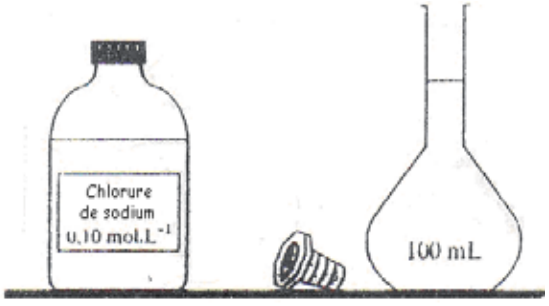
3. Remplissons la fiole jaugée aux trois quarts avec de l'eau distillée, et, après l'avoir bouchée, agitons-la pour dissoudre le solide.



4. Une fois la dissolution terminée, ajoutons de l'eau distillée, à la pissette au début, puis à la pipette simple jusqu'au trait de jauge.

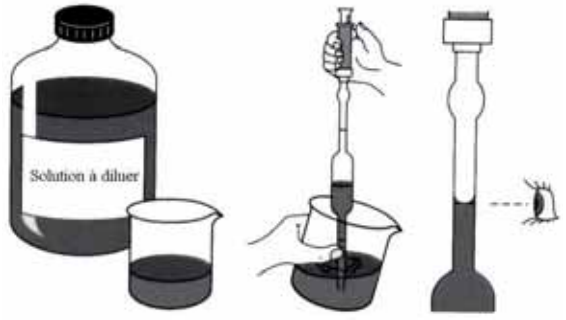


5. Rebouchons la fiole jaugée e retournons-la plusieurs fois en homogénéiser la solution.

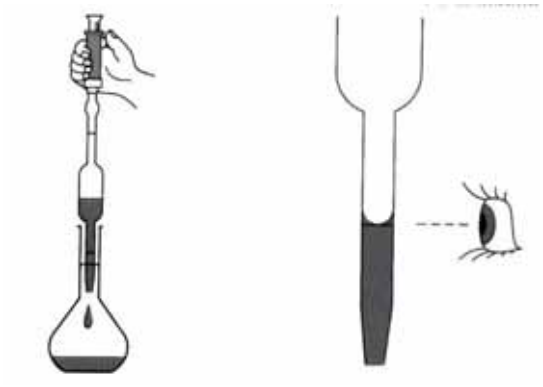


6. La solution est prête et peut être immédiatement utilisée ou être alors stockée dans un flacon.

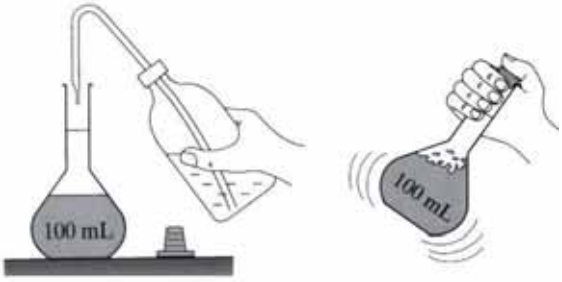
Fiche technique : Préparation de solutions par dilution



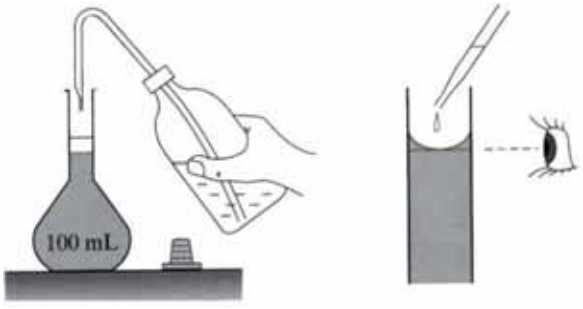
1. Versons la solution à diluer dans un bécher. Prélevons 10 mL de solution à l'aide d'une pipette jaugée à un trait ou à deux traits munie d'une Propipette ou d'un pipeteur.



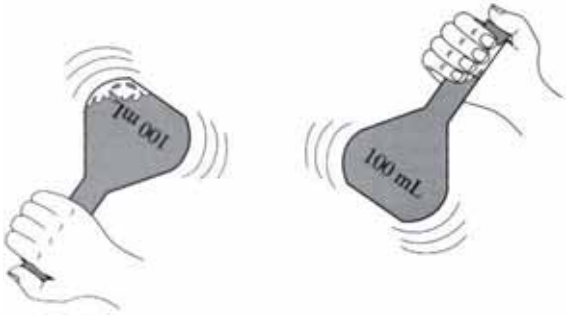
2. La solution prélevée est introduite dans une fiole jaugée de 50 mL.



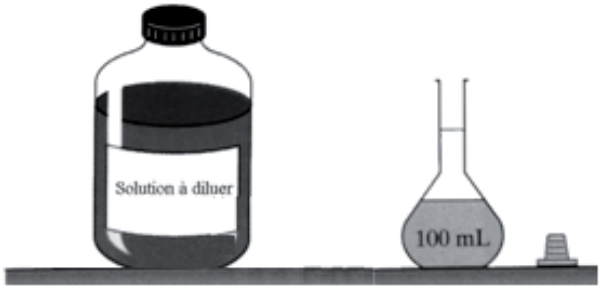
3. Remplissons la fiole jaugée aux trois quarts avec de l'eau distillée, et, après avoir bouché, agitons-la pour favoriser la dilution.



4. Une fois la dilution terminée, ajoutons de l'eau distillée à la pissette, puis à la pipette simple jusqu'au trait de jauge.



5. Rebouchons la fiole jaugée et retournons-la plusieurs fois pour bien homogénéiser la solution.



6. La solution est prête et peut être immédiatement utilisée ou être alors stockée dans un flacon opaque pour la protéger de la lumière.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Compléter les phrases suivantes par les mots ou expressions en italique qui conviennent : **solution, dilution, dissolution, concentration molaire, soluté, solution aqueuse, solvatation, diminue, augmente, volume, homogène, solvant.**

- Une……est un mélange…….. Le corps qui dissout porte le nom de…… , le corps qui est dissous est appelé……..
- La concentration d'une solution……avec la quantité de soluté et diminue avec le……..de la solution.
- Quand on dilue une solution, on……..la concentration de la solution mère par ajout de……..
- On peut préparer une solution par……d'un soluté dans un solvant
- La…….. …….. volumique est la quantité de matière de soluté dissous par litre de solution

2- Choisir la (ou) les bonne(s) réponse(s)

2

2.1- La concentration molaire volumique d'un soluté dans une solution est :

- Le quotient de la masse de soluté par le volume de la solution
- Le quotient de la masse de soluté par la masse de la solution
- Le quotient de la quantité de matière de soluté par la masse de la solution
- Le quotient de la quantité de matière de soluté par le volume de la solution

2.2- La concentration molaire volumique d'un soluté dans une solution peut s'exprimer en :

a- mol.L, **b-** $mol.L^{-1}$, **c-** $mmol.L^{-1}$, **d-** $mol.m^{-3}$, **e-** $g.L^{-1}$

2.3 - La relation entre la concentration molaire C, la concentration massique Cm et la masse molaire M d'un soluté dissous dans une solution est :

a- $C_m = M.C$ **b-** $C = C_m.M$ **c-** $C = C_m/M$

Applications directes du cours

3 Préparer 100 mL de solution de sulfate de cuivre (II) de concentration 0,10 $mol.L^{-1}$ à partir de sulfate de cuivre solide. L'étude théorique montre qu'il faut dissoudre une masse m = 2,50 g de sulfate de cuivre pentahydraté $CuSO_4$,$5H_2O$.

4 Une solution de volume V = 200mL est obtenue en dissolvant 6g de saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$ dans de l'eau.

3-1- Calculer la concentration massique du saccharose en g/mL puis en g/L
3-2- Calculer la concentration molaire du saccharose en $mol.L^{-1}$

Réponses : 3-1/ 0.03g/mL / 3g/L 3-2/ 0.01mol/L

5 On prélève un volume V_1=10,0mL d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre de concentration C_1 = 4,0 10^{-2} mol/L. On verse ce volume dans une fiole jaugée de 100mL et on complète avec de l'eau distillée, puis on homogénéise.

4-1- Avec quel instrument est-il préférable de prélever le volume de la solution à diluer ?
4-2- Déterminer la concentration molaire de la solution obtenue.

Utilisation des acquis

6 Les résultats des analyses biochimiques et leurs valeurs limites sont souvent donnés en concentration massique. En voici un exemple, dit ionogramme plastique :

	Mesures	Valeurs limites
Ions sodium Na^+	$3,24g.L^{-1}$	(3,10 , 3,24)
Ions potassium K^+	$0,10g.L^{-1}$	(0,14 , 0,22)

5-1- La teneur en ions potassium de ce patient est-elle suffisante ? Justifier.

5-2- Pour compenser le déficit observé, le médecin prescrit un médicament dont la notice renferme l'indication suivante : chlorure de potassium 600mg par comprimé.

Par ailleurs, des fruits comme la banane, sont riches en potassium. 100g de banane contiennent environ 360mg de potassium

Quelle masse de banane devrait consommer le patient pour compenser l'équivalent en potassium d'un comprimé en supposant que 90% du potassium présent dans la banane est assimilé par l'organisme ?

Réponse partielle : 5-2 : 185g de banane

7 L'étiquette d'un flacon contenant de la poudre de bleu de bromothymol (B.B.T.) porte les indications suivantes :

- Formule chimique du BBT: $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$
- Masse molaire du B.B.T : M = 624,39g/mol
- Solubilité dans l'eau : s = 10 $g.L^{-1}$.

Un aide chimiste désire préparer un volume V = 100 mL d'une solution aqueuse de B.B.T. de concentration molaire C = 0,13 mol.L^{-1}.

6 1- Quelle masse de poudre doit-il peser ?

6-2- Donner le protocole expérimental de la préparation.

6-3- Est-il possible de préparer une solution de B.B.T par dissolution de 0,8 g de bleu de bromothymol dans 50 mL d'eau ? Justifier.

8 Le vinaigre est une solution aqueuse d'acide éthanoïque de formule brute $C_2H_4O_2$. Le degré d'acidité d'un vinaigre exprime la masse, en grammes, d'acide éthanoïque pur contenu dans 100 g de vinaigre. L'étiquette du flacon d'un vinaigre du commerce indique 6°. La contenance d'un flacon de ce vinaigre est 0,5 L.

Calculer la concentration molaire de l'acide éthanoïque dans ce vinaigre sachant que sa masse volumique est égale à 1,0 g/L

9 Pour lutter contre les tensions oculaires on prescrit au patient un médicament appelé glycérotone, solution aqueuse contenant du glycérol $C_3H_8O_3$ à la concentration C = 6,89 mol/L.

Le glycérol est un liquide de masse volumique 1,26 g.mL^{-1}

8-1- Déterminer le volume de glycérol nécessaire à la préparation de 100mL de glycérotone.
8-2- Décrire le mode opératoire de la préparation.

Réponse partielle : 8-2 , 50, 3 mL

10 La solubilité du chlorure de calcium $CaCl_2$ est de 7,5 mol/L, à 25°C.

1) Quelle masse de $CaCl_2$ doit-on dissoudre dans 200mL d'eau distillée pour obtenir 200mL de solution saturée ? (Cette solution sera notée S_0)
2) A partir de S_0, on désire préparer 500mL d'une solution S de concentration $C=3.10^{-1}$ mol/L.
Quel volume de S_0doit-on prélever pour préparer la solution S ?

3) On mélange la solution S préparée avec 100 mL d'une solution S' de nitrate d'argent ($Ag^+ + NO_3^-$) de concentration $C'=10^{-2}$ mol/L.
Les ions Ag^+ réagissent les ions Cl^-pour donner un précipité de chlorure d'argent AgCl.
3.a- Quelle masse de chlorure d'argent obtient-on ?
3.b- Déterminer la concentration de tous les ions présents dans le mélange final.

CHIMIE

CHAPITRE 7 : SOLUTIONS AQUEUSES ACIDES

Pourquoi tous ces produits prennent-ils la changent-elles de coloration en présence du bleu de bromothymol ?

OBJECTIFS

- Identifier le caractère acide d'une solution
- Connaître et utiliser les propriétés du gaz chlorhydrique
- Connaître et utiliser les propriétés chimiques de l'acide chlorhydrique
- Connaître d'autres acides et extraits naturels acides
- Prendre des mesures de sécurité liées à la consommation et à l'utilisation des produits acides

PLAN DU CHAPITRE

- Catégorisations de solutions avec le bleu de bromothymol
- Le chlorure d'hydrogène
- Propriétés de l'acide chlorhydrique
- Autres solutions acides

1- Catégorisation de solutions aqueuses

ACTIVITE 1

Comment classer des solutions aqueuses ?

- Introduire environ 2mL d'eau de vinaigre blanc dans un tube à essai
- Ajouter 2 gouttes de Bleu de Bromothymol (BBT) dans le tube si possible à l'aide d'un compte-gouttes
- Noter votre observation dans le tableau ci-dessous en cochant la case qui convient (Doc.1)
- Recommencer l'expérience en remplaçant successivement le vinaigre par les solutions notées dans le tableau.

NB. Pour l'acide chlorhydrique, la soude et la solution de khémé, faites appel à votre professeur

On obtient les résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

	Couleur des solutions		
	jaune	vert	bleue
vinaigre	✓		
Acide chlorhydrique	✓		
Jus d'oseille	✓		
Eau savonneuse			✓
Eau distillée		✓	
Jus de tamarin	✓		
Jus de citron	✓		
soude			✓
Eau salée		✓	
solution de « khémé »			✓

Doc.1 Catégorisations de solutions aqueuses à l'aide du bleu de bromothymol

Observation

On constate que :

- Le BBT donne une coloration jaune avec le vinaigre, l'acide chlorhydrique, le jus d'oseille, le jus de tamarin et le jus de citron.
- Le BBT donne une coloration bleue avec l'eau savonneuse, la soude et la solution de « khémé. »

Exploitation

La couleur du BBT indique la nature de la solution dans laquelle il est introduit. On l'appelle **indicateur coloré.**

Définitions

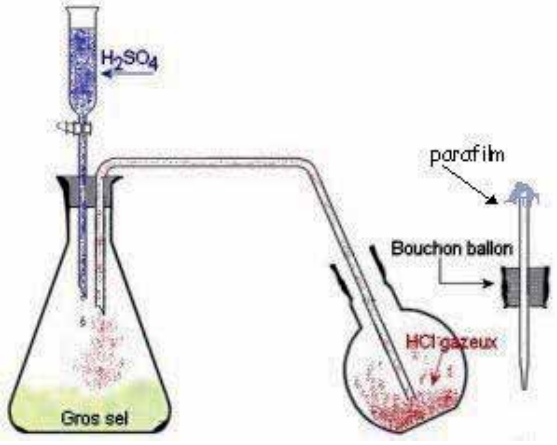
- ✓ **Une solution est dite acide si en présence de BBT elle prend la couleur jaune**
- ✓ **Une solution est dite basique si en présence de BBT elle prend la couleur bleue**
- ✓ **Une solution est dite neutre si en présence de BBT elle prend la couleur verte**

2- Le chlorure d'hydrogène

2-1- Préparation du chlorure d'hydrogène

Expérience 1

Comment préparer le chlorure d'hydrogène ?



- Introduire environ 5 g de cristaux de chlorure de sodium (sel de cuisine) dans un ballon sec (environ 2L)
- Fermer le ballon à l'aide d'un bouchon muni de deux trous à travers lesquels on place respectivement une ampoule à brome et un tube à dégagement (voir Doc.2)
- Introduire environ 5 mL d'acide sulfurique concentré dans l'ampoule.
- Faire couler doucement l'acide sur le chlorure de sodium et faire observer la formation de mousse (dégagement de chlorure d'hydrogène).
- Fermer le robinet dès que avec un bout de papier pH humidifié on noté une coloration rougeâtre à l'ouverture du ballon de recueillement de gaz (ballon 1)
- Fermer le ballon n°1 rempli de chlorure d'hydrogène avec un bouchon en caoutchouc sans trou.
- Remplir un autre ballon (ballon n°2) qui servira à la préparation de l'acide chlorhydrique pour l'étude de ses propriétés.

Exploitation

L'acide sulfurique concentré réagit avec le chlorure de sodium pour donner du chlorure d'hydrogène et du sulfate de sodium selon l'équation chimique suivante :

$$2NaCl + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + HCl \qquad (1)$$

Le gaz chlorhydrique est mis en évidence par la coloration rouge prise par le papier indicateur

2-2- Propriétés physiques du chlorure d'hydrogène

Le chlorure d'hydrogène est, dans les conditions ordinaires de température et de pression, un gaz incolore, d'odeur piquante, très irritant pour les voies respiratoires. **C'est la raison pour laquelle il faut opérer sous hotte et porter des lunettes de protection lors de sa préparation.** C'est un composé moléculaire de formule HCl. Sa molécule est polaire.

Le chlorure d'hydrogène est plus dense que l'air, c'est ce qui explique qu'on le recueille par simple déplacement d'air (Doc.2)

2-2- Préparation de l'acide chlorhydrique par dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau

Expérience 2

Expérience du jet d'eau

Le chlorure d'hydrogène est-il soluble dans l'eau ?

- Mettons de l'eau distillée dans un cristallisoir puis y ajouter du BBT (eau légèrement bleue)
- Prenons un tube en verre effilé à une extrémité et l'introduire par cette extrémité dans le trou unique d'un bouchon en caoutchouc
- Prenons le ballon n°1 et le fermer à l'aide du bouchon précédent le doigt bouchant l'extrémité non effilé du tube
- Plaçons le ballon dans le cristallisoir puis retirer le doigt
- Sortons le ballon de l'eau puis le retourner de façon à faire entrer une goutte dans celui-ci
- Refermons rapidement le tube avec le doigt et retourner le ballon en maintenant le tube hermétiquement fermé.
- Replongeons le ballon dans l'eau du cristallisoir puis enlever le doigt
- Observons le jet d'eau qui se produit (Doc.3)

Interprétation

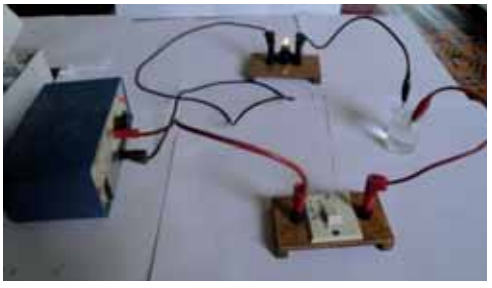
L'expérience du jet d'eau montre que **le chlorure d'hydrogène est très soluble dans l'eau** (450L/Litre d'eau à la température ambiante, sous la pression atmosphérique) et que sa dissolution est très rapide.

La couleur jaune prise par le BBT montre que **la solution de chlorure d'hydrogène est acide. On l'appelle acide chlorhydrique.**

3- Propriétés de l'acide chlorhydrique

3-1- Conductibilité électrique de l'acide chlorhydrique

ACTIVITE 2



L'acide chlorhydrique conduit-elle le courant électrique ?

- Réaliser le montage électrique.
- Introduire environ 50 mL d'acide chlorhydrique (provenant du ballon 2) dans le bécher.
- Fermer l'interrupteur et observer la lampe.

Observation et interprétation

- La lampe s'allume quand on ferme l'interrupteur

✓ L'acide chlorhydrique conduit alors le courant électrique. Il contient donc des ions. Lors de la dissolution, l'eau (ici solvant ionisant) a totalement ionisé les molécules de chlorure d'hydrogène selon l'équation suivante :

$$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^- \quad (2)$$

Conclusion

Une solution d'acide chlorhydrique contient les ions H_3O^+ et les ions Cl^-

D'après l'équation-bilan (2) $\mathbf{n(H_3O^+) = n(OH^-)}$

$$[H_3O^+] = [Cl^-]$$

Une solution d'acide chlorhydrique sera alors notée : $(H_3O^+ + Cl^-)$

3-2- Electrolyse de l'acide chlorhydrique

Expérience 3

Que produit l'électrolyse de l'acide chlorhydrique ?

- Verser de l'acide chlorhydrique dans un électrolyseur.
- Fermons l'interrupteur et augmenter la tension de manière à obtenir un dégagement important de gaz dans les tubes à essai. Notons les observations
- Approchons une allumette enflammée à l'ouverture du tube coiffant la cathode. Notons les observations.
- Versons quelques gouttes d'indigo dans le tube qui coiffait l'anode puis agitons. Notons les observations.
- Versons quelques gouttes d'indigo dans le tube qui coiffait l'anode puis agitons. Notons les observations.

Observation et interprétation

Lorsqu'on augmente la tension on observe des bulles de gaz à la cathode et à l'anode ainsi que l'apparition d'une coloration jaune-vert à l'anode.

A l'approche du brin d'allumette enflammé du tube qui coiffait la cathode, il se produit une détonation caractéristique de la présence de dihydrogène.

Lorsqu'on verse l'indigo dans le tube qui coiffait l'anode, une décoloration s'y produit.

L'électrolyse de l'acide chlorhydrique conduit à la formation de dihydrogène et de dichlore selon l'équation chimique suivante :

$$2H_3O^+ + 2\,Cl^- \rightarrow 2H_2O + Cl_2 + H_2$$

Attention !!!

- **Eviter de respirer le dichlore formé car il est toxique !**
- **Eviter de mélanger de l'acide chlorhydrique et de l'eau de javel car il se produit du dichlore !**

3.3- Propriétés chimiques de l'acide chlorhydrique

3.3.1- Ions responsables du caractère acide

ACTIVITE 3

Quels sont les ions responsables l'acidité de la solution de chlorure d'hydrogène ?

- Prendre 3 tubes à essai numérotés 1, 2 et 3.
- Introduire environ 2 mL d'eau distillée dans le tube 1, 2 mL d'eau salée dans le tube 2 et 2 mL d'acide chlorhydrique diluée dans le tube 3.
- Ajouter 2 gouttes de BBT dans chaque tube à l'aide d'un compte-gouttes (Doc.4)
- Noter vos observations et vérifier qu'elles sont identiques à celles inscrites dans le tableau ci- dessous

Observation et interprétation

Couleur		
vert	Vert	jaune
Espèces majoritaires présentes avant l'introduction du BBT		
H_2O	H_2O, Na^+, Cl^-	H_2O, H_3O^+, Cl^-

La couleur jaune du BBT est due à la présence des ions H_3O^+. Les ions H_3O^+ sont les ions responsables de l'acidité de l'acide chlorhydrique

3.3.2- Action des ions H_3O^+ sur les métaux (zinc, fer, aluminium)

3.3.2.a- Action des ions H_3O^+ sur le zinc

ACTIVITE 4

Quels sont les réactifs et les produits de la réaction entre l'acide chlorhydrique et le métal zinc ?

- Prendre 3 tubes à essai numérotés (1), (2) et (3)
- Introduire quelques morceaux de grenaille de zinc dans le tube (1), (2) et (3)
- Introduire respectivement, environ 2 mL d'acide chlorhydrique dilué dans le tube (1), de l'eau salée dans le tube (2) et de l'eau pure dans le tube (3).
- Noter les observations.
- Observer le dégagement de gaz s'il se produit et boucher hermétiquement le tube avec le doigt
- Quand la pression devient forte sur le doigt, l'enlever et approcher immédiatement un brin d'allumette enflammé à l'ouverture du tube.
- Vérifier que vos observations sont conformes à celles inscrites dans le tableau ci-dessous.

Observation et interprétation

Tube 1 : acide chlorhydrique	Tube 2 : eau salée	Tube 3 : eau
Il se forme un gaz qui détonne au contact d'une flamme	**Rien**	**Rien**
Espèces en solution avant l'introduction du zinc		
H_2O, H_3O^+, Cl^-	H_2O, Na^+, Cl^-	H_2O

L'action de l'acide chlorhydrique sur le zinc se traduit par la réaction entre les ions H_3O^+ et le métal, il se produit un dégagement gazeux de dihydrogène. On admet qu'il se forme aussi l'ion métallique Zn^{2+} (il sera mis en évidence bientôt)

3.3.2.b- Généralisation : action des ions H_3O^+ sur les autres métaux (fer, aluminium, plomb)

De façon générale, les ions H_3O^+ attaquent les métaux comme le zinc, l'aluminium, le fer, le plomb, le nickel. Ils sont sans action sur le cuivre, l'argent, l'or….

Les équations-bilans des réactions sont les suivantes :

$$2\,H_3O^+ + Zn \rightarrow H_2 + Zn^{2+} + 2\,H_2O$$

$$2\,H_3O^+ + Fe \rightarrow H_2 + Fe^{2+} + 2\,H_2O$$

$$6H_3O^+ + 2Al \rightarrow 3H_2 + 2Al^{3+} + 6\,H_2O$$

3.3.3- Caractérisation des ions Cl^-

Activité 5

Comment mettre expérimentalement en évidence les ions Cl^- ?

- Prendre 3 tubes à essai numérotés 1, 2 et 3
- Introduire environ 2 mL respectivement d'acide chlorhydrique diluée dans le tube 1, d'eau salée dans le tube 2 et d'eau distillée dans le tube 3.
- Ajouter 2 gouttes de solution aqueuse de nitrate d'argent dans chaque tube à l'aide d'un compte-gouttes.
- Soumettre les tubes à la lumière vive.
- Vérifier que vos observations sont conformes à celles inscrites dans le tableau ci-dessous

Observation et interprétation

Tube 1 : acide chlorhydrique	**Tube 2 : eau salée**	**Tube 3 : eau**
Précipité blanc qui noircit à la lumière	Précipité blanc qui noircit à la lumière	**Rien**
Espèces en solution avant l'introduction des ions Ag^+ et NO_3^-		
H_2O, H_3O^+, Cl^-	H_2O, Na^+, Cl^-	H_2O

La présence d'un précipité montre que deux des ions présents ne peuvent coexister en solution aqueuse. Ils forment donc un composé insoluble qui précipite. Ce couple d'ions peut être :

$\underline{Ag^+ \text{ et } Cl^-}$ ou $\underline{Na^+ \text{ et } NO_3^-}$ ou encore, $\underline{H_3O^+ \text{ et } NO_3^-}$

Mais la solution aqueuse de nitrate de sodium ($Na^+ + NO_3^-$) d'une part et la solution aqueuse d'acide nitrique ($H_3O^+ + NO_3^-$) d'autre part, montrent que les ions nitrate NO_3^- sont compatibles avec les ions sodium Na^+ et avec les ions hydronium H_3O^+

Ce sont donc les ions Ag^+ et Cl^- qui réagissent en donnant le chlorure d'argent, précipité blanc qui noircit à la lumière.

L'équation-bilan de la réaction de précipitation est la suivante :

$$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl\downarrow$$

L'acide chlorhydrique contient donc des ions Cl^-

4- Autres solutions acides

4.1- Les extraits naturels

Activité 6

Quelle est la nature acido-basique de nos extraits naturels ?

- Introduire environ 2 mL de jus de "madd" dilué (pour atténuer sa couleur) dans un tube à essai
- Ajouter 2 gouttes de BBT dans le tube à l'aide d'un compte-gouttes
- Noter la couleur prise par le BBT
- Recommencer l'expérience en remplaçant successivement le jus de "madd" par le jus d'orange, le jus de pomme d'acajou et une solution aqueuse de pain de singe.
- Vérifier que vos observations sont conformes aux résultats consignés dans le tableau ci-dessous

.Extraits naturels	Couleur prise par le BBT	
	Jaune	Bleue
Jus de madd dilué	✓	
Jus d'orange dilué	✓	
Jus de pomme d'acajou	✓	
Solution de pain de singe	✓	

Observation et interprétation

On constate que tous ces extraits naturels donnent avec le BBT une coloration jaune. Ces extraits naturels sont donc acides. Leurs solutions contiennent des ions H_3O^+.

4.2- Les acides courants

Activité 7

Quelle couleur donne le bleu de bromothymol avec les acides de laboratoire ?

- Introduire environ 2 mL de solution très diluée d'acide nitrique dans un tube à essai.
- Ajouter 2 gouttes de BBT dans le tube à l'aide d'un compte-gouttes.
- Noter la couleur prise par le BBT.
- Recommencer l'expérience en remplaçant successivement la solution d'acide nitrique par une solution très diluée d'acide sulfurique puis par une solution très diluée d'acide éthanoïque.
- Vérifier que la couleur prise par le BBT est encore le jaune.

Interprétation

Les solutions d'acide nitrique, d'acide sulfurique et d'acide éthanoïque contiennent toutes les ions hydronium H_3O^+. Leurs équations chimiques de mise en solution sont respectivement les suivantes :

$$HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^- \text{ (ion nitrate)}$$

$$H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2H_3O^+ + SO_4^{2-} \text{ (ion sulfate)}$$

$$CH_3COOH + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CH_3COO^- \text{ (ion acétate)}$$

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ Lorsque le BBT prend la couleur jaune, la solution est dite acide
- ✓ Lorsque le BBT prend la couleur bleue, la solution est dite basique.
- ✓ Le chlorure d'hydrogène est, dans les conditions ordinaires de température et de pression, un gaz incolore, d'odeur piquante, très irritant. C'est un composé moléculaire de formule HCl.
- ✓ On peut préparer le chlorure d'hydrogène en faisant réagir l'acide sulfurique concentré avec le chlorure de sodium selon l'équation chimique suivante :

$$2NaCl + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + HCl$$

- ✓ Lors de la dissolution dans l'eau les molécules de chlorure d'hydrogène sont totalement ionisées selon l'équation suivante :

$$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$$

- ✓ Une solution d'acide chlorhydrique contient les ions H_3O^+ et les ions Cl^- en quantités égales donc en concentrations molaires volumiques égales.

$$[H_3O^+] = [Cl^-]$$

- ✓ **L'acide chlorhydrique est noté : $H_3O^+ + Cl^-$**
- ✓ Les équations des réactions entre les ions H_3O^+ et les métaux Zn, Fe et Al sont respectivement les suivantes :

$$2\,H_3O^+ + Zn \rightarrow H_2 + Zn^{2+} + 2\,H_2O$$

$$2\,H_3O^+ + Fe \rightarrow H_2 + Fe^{2+} + 2\,H_2O$$

$$6H_3O^+ + 2Al \rightarrow 6\,H_2O + 3\,H_2 + 2Al^{3+}$$

- ✓ Les extraits naturels sont acides. Leurs solutions contiennent des ions H_3O^+.
- ✓ Les solutions d'acide nitrique (HNO_3), d'acide sulfurique (H_2SO_4) et d'acide éthanoïque (CH_3COOH) contiennent toutes les ions hydroniums H_3O^+. Leurs équations chimiques de mise en solution sont les suivantes :

$$HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^- \text{ (ion nitrate)}$$

$$H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2H_3O^+ + SO_4^{2-} \text{ (ion sulfate)}$$

$$CH_3COOH + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CH_3COO^- \text{ (ion acétate)}$$

Dossier documentaire : Les pluies acides

L'expression « **pluie acide** » a été pour la première fois utilisée par Robert Angus Smith en 1870[1]. Elle décrit depuis toutes les formes de précipitations (pluies, smogs, aérosols, etc.) qui dégradent voire détruisent des écosystèmes et/ou corrodent ou dissolvent certains bâtiments anciens et fragiles.

L'acidité de ces retombées a deux origines principales :

- des sources naturelles ou semi-naturelles , proximité d'émissions volcaniques soufrées, NO_x produits par la foudre, gaz issus de certaines formes de décomposition biologique terrestres, ou émis par les océans, feux de forêts…
- des sources anthropiques, dont l'industrie, les centrales thermiques, le chauffage et les transports… Les pluies acides résultent essentiellement de la pollution de l'air par les oxydes de soufre (SO_2) produits par l'usage de combustibles fossiles riches en soufre, ainsi que des oxydes d'azote (NO_x) qui se forment lors de toute combustion de l'atmosphère, produisant de l'acide nitrique.

En ce qui concerne l'action humaine sur l'environnement, les usines, le chauffage et la circulation automobile sont les principales sources. L'acide chlorhydrique issu de l'incinération de certains déchets plastiques, et l'ammoniac généré par les activités agricoles contribuent également aux pluies acides.[2]

D'autres produits, tels que par exemple le dioxyde de carbone (CO_2) qui produit de l'acide carbonique lorsqu'il se dissout dans l'eau, et les acides fluorhydriques sont en cause, mais moindrement.

L'acidification de l'air a des conséquences désormais médiatisées sur la forêt, mais elle affecte aussi la santé humaine, les bâtiments et peut-être de nombreuses espèces animales, fongiques, lichéniques et végétales. Des conséquences secondaires à l'acidification des pluies, sont l'acidification de certaines eaux de surface (lacs d'Europe du Nord par exemple) et l'acidification des océans.

Mécanismes de formation

Les pluies acides se forment par la combustion de non-métaux dans l'air. Lorsque les non-métaux brûlent, des gaz se dégagent. Ces gaz (principalement du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote) réagissent ensuite avec les gouttelettes d'eau qui constituent les nuages pour former les pluies acides.

Une petite partie de ces gaz sont libérés depuis toujours dans l'atmosphère par les volcans et l'activité des bactéries du sol. Cependant, l'utilisation massive des combustibles fossiles par l'homme a considérablement amplifié le phénomène. Les pluies acides sont donc liées à la pollution atmosphérique.

Pluies basiques

Il ne peut pas y avoir de pluies basiques. En effet, quand les métaux brûlent dans l'atmosphère, le produit de cette combustion est solide et retombe plus rapidement au sol. Il est alors impossible que ce produit réagisse avec l'eau contenue dans les nuages étant donné que ce dernier reste au sol.

Répartition géographique

Les pays industriels ont été les premiers touchés , les principales zones de production de polluants ont d'abord été les bassins miniers et industriels de l'hémisphère nord, dont la Ruhr, la Lombardie, les anciens pays miniers français et anglais et ceux de Chine et des États-Unis.

Portés par les vents dominants, les acides circulent dans l'atmosphère avec les masses d'air. Ainsi une bonne partie des pluies acides de Scandinavie résultent des polluants accumulés par les masses d'air venant de la mer et ayant survolé l'Angleterre, la France et l'Allemagne. En Europe, en 1995, les charges critiques pour l'acidification étaient dépassées sur 75 millions d'hectares de sols forestiers d'Europe, et l'acidification des sols a localement contribué à exacerber l'érosion des sols touchant à cette époque environ 115 millions d'hectares, et entraînant une chute de la fertilité agricole et naturelle.[3]

Avec les délocalisations industrielles et l'accroissement de l'utilisation de pétrole et charbon en Asie, les pics sont apparus en Asie du Sud-Est et surtout en Chine où les régions du sud-est sont très touchées par les pluies acides , les émissions d'oxydes d'azote et de dioxyde de soufre étaient vers 2005/2007 devenues 8 à 9 fois plus élevées en Chine que dans les pays développés[4]. Les pluies acides touchent également le Japon[5]. La Chine est devenue le premier émetteur d'oxyde d'azote et de dioxyde de soufre du monde, ainsi que de CO2, mais en grande partie pour produire des biens consommés dans d'autres pays.

Conséquences des pluies acides

L'acidité des lacs empêche le développement normal des espèces et des végétaux qu'ils abritent. La flore est affaiblie, résiste moins bien aux maladies et aux hivers rigoureux. Les sols acidifiés empoisonnent les arbres, les affaiblissent et peuvent les tuer dans les cas graves. La base de la chaîne alimentaire est également touchée, ainsi que tous les animaux qui en dépendent. Les oiseaux et mammifères aquatiques sont en particulier touchés. Des traitements par épandage de produits calcaires sont faits pour éviter la stérilisation de grands lacs d'Europe du Nord.

Conséquences sur la flore

Les arbres ne sont pas directement détruits, mais les éléments nutritifs contenus dans le sol sont dissouts et emportés par les pluies. Les pluies acides tuent aussi les micro-organismes, ce qui laisse un sol sale, sans nouveaux éléments nutritifs produits. Les feuilles sont endommagées (tache noire ou marron), et ne peuvent plus pratiquer la photosynthèse. La défoliation prive l'arbre de sucre. Certaines substances chimiques peuvent aussi être lentement libérées dans le sol et empoisonner les arbres. Leurs racines, essayant de survivre dans un sol rongé, peuvent aussi être directement attaquées par l'acide. Tout cela conduit à une diminution de la résistance de la flore, et donc à une augmentation de la mortalité lors d'épidémie, de conditions climatiques difficiles, etc.

Les feuilles résistantes des résineux sont brûlées dans les zones les plus polluées. Les forêts montagneuses, baignant dans le brouillard et les nuages, reçoivent encore plus d'acide que les forêts de plaine, ces formes de pollutions étant d'ailleurs assez souvent plus acides que les dépôts secs.

Impacts sur les bâtiments

L'acidité des pluies peut accélérer l'érosion naturelle de nombreux matériaux, notamment calcaires, ainsi que la corrosion de certains métaux (le plomb qui tient les vitraux). Les pierres calcaires tendres, certains marbres et tuffeaux y sont les plus sensibles. Cela a d'abord été remarqué en Europe sur de nombreuses cathédrales dont la pierre s'est rapidement dégradée de la fin du XIXe siècle aux années 1990, par exemple en Angleterre pour les cathédrales telles que York Minster et l'Abbaye de Westminster. De nombreux autres bâtiments et éléments construits du patrimoine mondial ont été attaqués ces dernières

années par l'acidité de l'air, dont par exemple le Taj Mahal en Inde et le Colisée à Rome, surtout dans les régions industrielles.

Effets sur la faune

Les effets sur la faune sont plausibles et probables, mais mal cernés faute d'études. Certains lacs scandinaves étaient dans les années 1980-1990 devenus si acides que les poissons et crustacés y disparaissaient. Certains ont fait l'objet de déversement de chaux pour tamponner leur pH. Les effets peuvent être directs par attaque de la peau, des cuticules, muqueuses et organes respiratoires par les polluants acides de l'air, ou par contact externe ou interne avec l'eau polluée. (Comme on le voit dans le film microcosmos, de nombreux insectes boivent les gouttes de rosées). Des effets indirects, différés et en cascade sur les écosystèmes et le réseau trophique existent, évidents par exemple quand des populations entières d'arbres meurent.

Les chlorures, fluorures et métaux lourds peuvent mieux circuler et s'accumuler dans le sol acidifié à des niveaux qui sont toxiques pour les invertébrés qui vivent dans la terre. Les espèces sensibles aux métaux sont substituées par ceux qui sont plus tolérants. Ainsi, les espèces aux corps mous tels que les vers de terre et les nématodes semblent être affectés plus facilement par les concentrations élevées en métaux (sauf les enchytraéidés qui y résistent mieux).

Par ailleurs, les invertébrés jouent un rôle important dans la décomposition des détritus sur le sol des forêts. Or, pendant que les détritus s'y accumulent, la libération des éléments minéraux est retardée et la biodisponibilité des éléments nutritifs aux plantes est réduite. Les herbivores sont finalement affectés quand la quantité ou la qualité de leur approvisionnement alimentaire diminue.

En outre, bien que les oiseaux et les mammifères ne soient pas directement affectés par l'acidification de l'eau, ils y sont indirectement par des changements dans la qualité et la quantité de leurs ressources en nourriture. En Écosse, par exemple, les loutres sont plutôt rares autour des ruisseaux et des rivières acides parce que leurs approvisionnements principaux, les poissons, sont réduits.

De plus, le calcium est un élément essentiel pour les mammifères et les oiseaux et un approvisionnement diététique adéquat leur est crucial pendant la reproduction (les oiseaux ont besoin de calcium pour la bonne formation des coquilles d'œufs et pour la croissance squelettique de leurs progénitures. Les mammifères femelles en ont besoin pour le développement squelettique de leurs fœtus. Enfin, beaucoup d'espèces invertébrées, dont par exemple mollusques et les crustacés ont des besoins en calcium qui ne peuvent plus être satisfaits au delà d'un certain seuil de pH. Elles sont parmi les premières à disparaître en cas d'acidification des terres marécageuses ou d'eaux douces ou marines.

Réactions, évolutions législatives

Les pluies acides sont une « pollution interglobale » et constituent pour cette raison un problème international.
En 1988, un traité (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue portée, Convention on Long-Range Transboundary Pollution) a engagé les signataires à limiter les émissions d'oxydes d'azote à leur niveau de 1987.

En Europe, la Commission économique se préoccupe de la question, avec des normes européennes et nationales qui ont permis une forte diminution de la pollution acide de l'air des années 1980 aux années 2000. Mais alors que les émissions terrestres diminuaient fortement, les émissions du transport maritime augmentaient tant, qu'à ce rythme en 2015, les seules émissions des navires croisant au large de l'UE 25 émettront plus de SO_2 que toutes les sources terrestres de l'UE-25[6].

Diverses législations cherchent à limiter le niveau de polluants libérés pour l'adapter à la charge critique (niveau maximal de polluants pouvant être tolérés) du milieu, voire moins. Pour cela, la composition de

certains carburants a été modifiée, et certains moteurs ont été adaptés. Des filtres ou des purificateurs d'air sont installés sur les cheminées d'usines polluantes. Le pot catalytique est obligatoire dans un nombre croissant de pays, avec des résultats encore discutés pour certains paramètres.

1. Air et pluies : les débuts de la climatologie chimique, R. A. Smith, employée à propos de ses impacts sur la ville industrielle de Manchester et alentours.
2. Source : Ademe : pluies acides et acidification [archive]
3. évaluation DOBRIS Agence européenne pour l'environnement 1994
4. Liaowang Xinwen Zhoukan, « Ces milliards perdus à cause de la pollution », dans Courrier international n°853, du 8 au 14 mars 2007, p.36 : extrait du « Rapport 2004 sur l'évaluation de l'économie nationale verte en Chine » écrit par l'Administration nationale pour la protection de l'environnement (SEPA)
5. Michel Temman, « Victime de ses rejets, Tokyo aide Pékin à se mettre au vert », dans Libération du 16/04/2007, Source I: ONG AcidRain, 2005

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Recopier et complèter les phrases suivantes par les mots ou expressions en italique : solubilité/chlorured'hydrogène/lunettes/spectateur/jaune/incompatiles/hotte/chlorure/précipité blanc/hydronium/soluble/irritant/ion hydronium/l'ion ferII/dihydrogène.

1) L'ion responsable de l'acidité d'une solution aqueuse est l'ion…… Dans une solution acide, le bleu de bromothymol colore en …….. ce milieu.

2) L'expérience du jet d'eau montre que le …….. est très …….. dans l'eau et que sa …….. est très rapide.

3) Le chlorure d'hydrogène est un gaz très …….. Pour le manipuler on doit opèrer sous une …….. et porter des …….. de protection.

4) Le test au nitrate d'argent montre que l'acide chlorhydrique contient des ions …….. Avec ces ions, les ions Ag+ donnent un …….. qui noircit à la lumière. On dit que ces deux ions sont ……..

5) Lors de la réaction entre l'acide chlorhydrique et le fer, les réactifs sont …….. et le métal fer, tandis que les produits sont l'eau, …….. et le …….. L'ion …….. , présent avant et après la réaction, n'a pas réagi : il est dit ion ……..

2 Répondre par vrai ou faux en cochant la case correspondante

Affirmations	Vrai	Faux
Le jus de citron est acide		
L'acide chlorhydrique attaque le métal argent		
Le chlorure d'hydrogène est très soluble dans l'eau		
Il est possible de garder de l'acide chlorhydrique dans un flacon en aluminium		

Applications directes du cours

3

1) Ecrire et équilibrer l'équation de la réaction de préparation du chlorure d'hydrogène à partir d'acide sulfurique et de chlorure de sodium. Nommer les produits formés.

2) Ecrire et équilibrer les équations des réactions entre l'acide chlorhydrique et les métaux suivants (fer, zinc, aluminim). Nommer les produits qui se forment**.**

4 On fait agir 50mL d'une solution d'acide chlorhydrique, de concentration molaire 0,5 $mol.l^{-1}$, sur de la grenaille de zinc en excès.

1) Quel volume de gaz peut-on espèrer recueillir ?

2) Quelle masse maximale de solide devrait-on récueillir, après filtration et évaporation de la solution obtenue.

Données : V_m = 24 L.mol.l^{-1}

Utilisation des acquis

5 Beaucoup de bijoux bon marché sont en laiton, alliage de cuivre et de zinc métalliques. Nogaye a une boucle d'oreille de masse 1,50 g. Elle se propose de déterminer la compositon centésimale massique de son bijou. Forte de son cours de chimie, elle plonge ce dernier dans un bécher contenant de l'acide chlorhydrique. Elle observe un dégagement de gaz et un résidu solide dont la pesée donne 1,05 g.

1) Quel est le gaz qui s'est dégagé ? Quelle est la nature du résidu solide ?

2) Quelle est la réaction chimique produisant ce gaz ? Ecrire et équilibrer son équation chimique.

3) Quel volume de gaz s'est théoriquement dégagé ? V_m = 25 L.mol^{-1}

6 L'étiquette d'un flacon se trouvant dans l'armoire du laboratoire d'un lycée porte les indications suivantes :

- **Densité d = 1,37**
- **Pourcentage en masse : 33%**
- **Volume solution : 1L**

On veut identifier la nature du produit contenu dans le flacon.

Des tests réalisés avec des prélèvements de cette solution donnent :

- une coloration jaune avec le bleu de bromothymol
- un précipité blanc qui noircit à la lumière avec le nitrate d'argent

En déduire le nom de l'acide se trouvant dans le flacon . Justifier.

1) Utiliser les indications de l'étiquette pour calculer la concentration molaire C_0 de la solution.

3) On se propose de préparer 100mL de solution acide de concentration C_1= 0,62 mol.L^{-1} à partir de la solution précédente, indiquer comment procèder. (protocole expérimental).

CHIMIE

CHAPITRE 8 SOLUTIONS AQUEUSES BASIQUES

Pourquoi tous ces produits prennent-ils la coloration bleue en présence du bleu de bromothymol ?

OBJECTIFS

- Identifier le caractère basique d'une solution.
- Connaître et utiliser les propriétés chimiques de l'hydroxyde de sodium.
- Connaître d'autres bases et extraits naturels basiques
- Prendre des mesures de sécurité liées à la consommation et à l'utilisation des produits basiques.

PLAN DU CHAPITRE

1. Solutions basiques
2. Structure du cristal d'hydroxyde de sodium
3. Solution d'hydroxyde de sodium
4. Propriétés de l'ion hydroxyde OH^-
5. Bases courantes et bases tirées des produits locaux

1- Solutions basiques

Activité 1

Mettre plusieurs solutions dans des tubes à essai.

Verser quelques gouttes de bleu de bromothymol (BBT).

Observer et noter.

(cendre, lessive, eau de javel, NaOH…)

Observations et interprétation

Toutes les solutions virent au bleu avec le BBT : ces solutions sont dites basiques.

Définition

Une solution est dite basique si elle vire en bleu avec le bromothymol (BBT).

2- Structure du cristal d'hydroxyde de sodium

L'hydroxyde de sodium est un cristal ionique formé d'un empilement ordonné d'ions sodium Na^+ et d'ions hydroxyde HO^-. La formule du cristal est NaOH.

soude en pastilles et soude en paillettes

3- Solution d'hydroxyde de sodium

3.1- Réaction avec l'eau

Les cristaux d'hydroxyde de sodium abandonnés à l'air libre absorbent l'humidité et se dissolvent.
L'hydroxyde de sodium est très avide d'eau : on dit qu'elle est **hygroscopique**.

$$NaOH_s \rightarrow Na^+_{aq} + HO^-_{aq}$$

La soude est **déliquescente**. Cela signifie que, laissée au contact de l'air humide, elle fixe la vapeur d'eau. Les pastilles de soude deviennent rapidement humides puis se dissolvent dans l'eau fixée. Cette propriété est utilisée pour dessécher les gaz à condition bien entendu qu'ils ne réagissent pas avec la soude.

En raison de ses propriétés déshydratantes, la soude est **caustique**. Si nous versons une goutte de solution pas très concentrée sur nos doigts, ou si nous touchons simplement une pastille de soude, nous avons l'impression de toucher un objet visqueux, cette sensation persiste même après lavage des mains à l'eau. En déshydratant la peau, la soude en fait disparaître les aspérités.

Conséquences :

- L'hydroxyde de sodium doit être conservé dans des flacons bien fermés (d'autant qu'il réagit avec le dioxyde de carbone atmosphérique).

- Il faut éviter le contact de la soude (solide ou en solution) avec la peau, car il peut être dangereux s'il dure un certain temps ou si la solution est concentrée, il est particulièrement dangereux pour les yeux. La solution de soude est d'autant plus corrosive pour la peau qu'elle est plus concentrée.

4.1- Dissolution de l'hydroxyde de sodium dans l'eau

Activité 2

- Introduisons un thermomètre dans un bécher contenant de l'eau et notons la température.

- Ajoutons quelques cristaux d'hydroxyde de sodium dans le bécher et agitons pour homogénéiser. Introduisons le thermomètre et notons la température.

Observations

La température augmente lorsqu'on ajoute les cristaux d'hydroxyde de sodium dans le bécher.

Interprétation

La dissolution des cristaux d'hydroxyde de sodium dans l'eau s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur : la réaction est très **exothermique**.

L'importance de ce dégagement de chaleur incite à penser que ce dernier accompagne un véritable bouleversement de la structure du composé lors de sa dissolution.

Cette transformation est la destruction du cristal d'hydroxyde de sodium suivie de la solvatation des ions Na^+ et OH^- libérés (c'est cette solvatation, phénomène très exothermique, qui produit le dégagement de chaleur observé).

Remarque : La soude est très soluble dans l'eau : plus de 1 kg par litre d'eau à 20°C.

3.3- Electrolyse de la solution d'hydroxyde de sodium

Expérience 1

- Versons d'abord de l'eau distillée dans la cuve de l'électrolyseur et fermons l'interrupteur. Qu'observe-t-on ?
- Ajoute quelques pastilles d'hydroxyde de sodium dans l'eau de la cuve de l'électrolyseur et agitons. Qu'observe-t-on ?

Observations

Lorsque l'on de l'eau distillée dans la cuve de l'électrolyseur, la lampe ne s'allume pas : aucun courant ne circule.

Lorsque l'on ajoute quelques pastilles d'hydroxyde de sodium, la lampe s'allume et des bulles de gaz apparaissent sur les électrodes : un courant circule.

Interprétation

La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium conduit le courant électrique, elle contient donc des porteurs de charge : les ions sodium Na^+ et les ions hydroxyde OH^-.

La dissolution de l'hydroxyde de sodium dans l'eau donne naissance à une solution aqueuse ionique.

La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium contient des ions Na^+ et des ions OH^- dispersés.

La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium se représente par ($Na^+ + OH^-$).

4- Propriétés liées à l'ion hydroxyde OH^-

4.1- Action sur les indicateurs colorés

4.1.1- Action sur le bleu de bromothymol

Activité 3

Quelle est la couleur du bleu de bromothymol en présence d'hydroxyde de sodium ?

Verser de l'eau distillée dans deux béchers numérotés respectivement N°1 et N°2.
Ajouter quelques gouttes d'une solution d'hydroxyde de sodium dans le béchers N°2.
Ajouter quelques gouttes de bleu de bromothymol dans les deux béchers et homogénéiser.
Quelle couleur prend le BBT dans chacun des béchers ?

- **Le bleu de bromothymol est vert en milieu neutre (bécher N°1)**
- **Le bleu de bromothymol est bleu en présence d'hydroxyde de sodium (bécher N°2).**

4.1.2- Action sur la phénolphtaléine

Activité 4

Quelle est la couleur de la phénolphtaléine en présence d'hydroxyde de sodium ?

Verser de l'eau distillée dans deux béchers numérotés respectivement N°1 et N°2.
Ajouter quelques gouttes d'une solution d'hydroxyde de sodium dans le béchers N°2.
Ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine dans les deux béchers et homogénéiser.

Quelle couleur prend la phénolphtaléine dans chacun des béchers ?

- La phénolphtaléine est incolore en milieu neutre (bécher N°1)
- La phénolphtaléine est rouge violacé en présence d'hydroxyde de sodium (bécher N°2).

4.2- Réaction avec les solutions d'acide chlorhydrique

Activité 5

Dans un bécher contenant une solution d'acide chlorhydrique plonger un thermomètre et noter la température indiquée.

Ajouter doucement une solution de soude dans la solution d'acide chlorhydrique. Noter la température repérée par le thermomètre.

Observation

On constate que la température s'élève quand on verse la solution de soude dans la solution d'acide chlorhydrique.

Interprétation

L'action des ions hydroxyde OH^- sur les ions hydronium H_3O^+ est une réaction chimique qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur. C'est une réaction exothermique. Les ions H_3O^+ de la solution chlorhydrique réagissent avec les ions OH^- apportés par la solution d'hydroxyde de sodium pour former de l'eau.

L'équation de la réaction s'écrit :

$$(H_3O^+ + Cl^-) + (Na^+ + OH^-) \rightarrow (Na^+ + Cl^-) + 2\ H_2O$$

Les ions chlorure Cl^- et les ions sodium Na^+ ne participent pas à la réaction chimique. Ce sont des ions spectateurs. On peut donc les faire disparaître de l'équation de la réaction qui s'écrit finalement :

$$H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2\ H_2O$$

4.3- Action sur certains ions métalliques

Activité 6

Introduire dans des tubes à essai des solutions contenant les ions métalliques tels que Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cu^{2+}, Al^{3+} et Zn^{2+}. Ces solutions contiennent également des anions (ions chargés négativement) puisqu'elles sont électriquement neutres.

Verser dans chacun des tubes à essai quelques gouttes d'une solution de soude.
Qu'observe-t-on dans chacun des cinq tubes à essai ?

Ajouter ensuite de la soude concentrée dans chacun des tubes à essais, en prenant soin d'agiter la solution.
Qu'observe-t-on dans chacun des cinq tubes à essai ?

L'hydroxyde de fer II est vert

L'hydroxyde de fer III est rouille

L'hydroxyde de cuivre II est bleu

L'hydroxyde d'aluminium est blanc

L'hydroxyde de zinc est blanc

Doc.1

Observation

Dans chacun des tubes à essai on observe l'apparition d'un précipité. Doc.1

Lorsqu'on ajoute de la soude concentrée dans chacun des tubes à essais on observe que les précipités blancs formés dans les tubes à essai contenant initialement des ions aluminium Al^{3+} et zinc Zn^{2+} se sont dissous alors que les autres précipités se sont épaissis. Doc. 2

Doc.2

Interprétation

Les ions métalliques utilisés que sont Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cu^{2+}, Al^{3+} et Zn^{2+} donnent, en présence d'ions OH^-, des composés très peu solubles (**précipités**) dans l'eau appelés **hydroxydes**. Les équations de ces réactions de précipitation (Doc.1) sont données ci-dessous :

Action des ions hydroxyde sur les ions cuivre II (Cu^{2+})

- Les solutions d'ions cuivre Cu^{2+} sont, en général, de couleur bleue.

- Si l'on ajoute une solution de soude dans une solution d'ions Cu^{2+}, on obtient un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre, $Cu(OH)_2$, selon l'équation :

$$Cu^{2+} + 2\ OH^- \rightarrow Cu(OH)_2$$

Action des ions hydroxyde sur les ions fer II (Fe^{2+})

- Les solutions d'ions fer II sont verdâtres voire incolores

- Si l'on ajoute une solution de soude dans une solution d'ions Fe^{2+}, on obtient un précipité vert d'hydroxyde de fer II, $Fe(OH)_2$, selon l'équation :

$$Fe^{2+} + 2\ OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$$

Action des ions hydroxyde sur les ions fer III (Fe^{3+})

- Les solutions d ions fer III sont de couleur rouille.

- Si l'on ajoute une solution de soude dans une solution d'ions Fe^{3+}, on obtient un précipité rouille d'hydroxyde de fer III, $Fe(OH)_3$, selon l'équation :

$$Fe^{3+} + 3\ OH^- \rightarrow Fe(OH)_3$$

Action des ions hydroxyde sur les ions aluminium (Al^{3+})

- Les solutions d'ions aluminium Al^{3+} sont incolores.

- Si l'on ajoute une solution de soude dans une solution d'ions Al^{3+}, on obtient un précipité blanc d'hydroxyde d' aluminium $Al(OH)_3$ selon l'équation :

$$Al^{3+} + 3\ OH^- \rightarrow Al(OH)_3$$

Et ce précipité se redissout si on continue d'ajouter la solution de soude , il reste une solution limpide et incolore.

Action des ions hydroxyde sur les ions zinc (Zn^{2+})

- Les solutions d'ions zinc Zn^{2+} sont incolores.

- Si l'on ajoute une solution de soude dans une solution d'ions Zn^{2+}, on obtient un précipité blanc d'hydroxyde de zinc $Zn(OH)_2$ selon l'équation :

$$Zn^{2+} + 2\ OH^- \rightarrow Zn(OH)_2$$

Et ce précipité se redissout si on continue d'ajouter la solution de soude , il reste une solution limpide et incolore.

5- Bases courantes et bases tirées des produits locaux

4.1- Bases courantes

- Hydroxyde de potassium.
- Hydroxyde de calcium.
- Ammoniaque

4.2- Bases tirées des produits locaux

(Solutions de lessive, eau de javel, bicarbonate de sodium, cendre, craie…)

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ La soude ou hydroxyde de sodium est un solide blanc de formule NaOH.
- ✓ Les solutions aqueuses de soude portent le nom de solutions de soude.
- ✓ Les solutions de soude conduisent le courant : ce sont des solutions ioniques
- ✓ La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium contient des ions Na^+ et des ions OH^- dispersés.
- ✓ La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium se représente par ($Na^+ + OH^-$).
- ✓ Les solutions de soude font virer le bleu de bromothymol du vert (milieu neutre) au bleu (milieu basique). C'est une propriété des ions **hydroxyde OH^-** de la solution.
- ✓ Une solution de soude est une solution basique, elle contient beaucoup d'ions OH^- (davantage d'ions OH^- que d' ions hydronium H_3O^+).

EXERCICES

Données : masses atomiques en $gmol^{-1}$: H : 1 , Ca : 40 , O : 16 , K : 39 , Ag : 108 , N : 14 , Cl : 35,5

Connaissances essentielles du cours

1 Questions de cours

a) Quelles sont les espèces chimiques présentes dans une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium?

b) Interpréter le fait que les solutions d'hydroxyde de sodium conduisent le courant électrique.

c) On dissout 0,1 mol d'hydroxyde de sodium dans 0,2 d'eau. Quelle est la concentration des ions hydroxyde OH^- dans cette solution?

d) Préciser les couleurs du bleu de bromothymol et de la phénolphtaléine dans une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.

e) Ecrire les équations des réactions de précipitation mettant en jeu les ions OH^-, d'une part, et d'autre part : - les ions Fe^{3+} , - les ions Cu^{2+}.

2 On obtient 1 litre de solution en dissolvant dans de l'eau une masse m = 2 g d'hydroxyde de sodium solide. Calculer la concentration des ions hydroxyde OH^- présents dans cette solution.

3 Quelle masse d'hydroxyde de sodium recueillerait-on en évaporant une solution d'hydroxyde de sodium de concentration c = 0,2 mol et de volume V = 100 cm^3.

Applications directes du cours

4

a) Quelle masse m d'hydroxyde de sodium solide faut-il dissoudre dans de l'eau pour obtenir un volume V = 50 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration c = 2 $mol.L^{-1}$?

b) Calculer le nombre de moles de chacun des ions présents dans 20 mL de la solution ainsi obtenue.

5 On dissout 0,2 mole d'hydroxyde de sodium dans de l'eau pour obtenir 500 cm^3 de solution.

1) Quelle est la concentration de cette solution d'hydroxyde de sodium?

2) Combien renferme-t-elle d'ions Na^+ et OH^- ?

3) Quelle est, dans cette solution, la concentration des ions Na^+, celle des ions OH^- ?

4) Quelle est le nombre de moles d'ions 0H dans un prélèvement de 10 cm^3 de cette solution ?

5 L'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$ ainsi que l'hydroxyde de potassium KOH, sont deux solides ioniques.

1. Ecrire l'équation des réactions de dissolution de ces deux solides ioniques

2. On prépare une solution S_1 d'hydroxyde de calcium en dissolvant 50 mg de ce composé solide dans un volume de 100 mL d'eau.
Quels sont les concentrations molaires des ions présents en solution ?
3. On verse alors dans la solution S_1, 50 mL d'une solution S_2 d'hydroxyde de potassium de concentration 0,3 $mol.L^{-1}$.
Déterminer la concentration de tous les ions présents dans le mélange.

Utilisation des acquis

6 On mélange deux solutions aqueuses A et B d'hydroxyde de sodium :

- solution A : volume $V_A = 40\ cm^3$, concentration $c_A = 2\ mol.L^{-1}$
- solution B : volume $V_B = 160\ cm^3$, concentration $c_B = 0,4\ mol.L^{-1}$

a) Calculer les nombres de moles d'ions Na^- et OH^- présents dans chaque solution.

b) En déduire la concentration de ces ions dans le mélange.

7

a) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de précipitation des ions Fe^{2+} par les ions hydroxyde.

Quelle est la couleur du précipité formé ?

b) On verse une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $c_1 = 0,1\ mol.L^{-1}$ dans un volume $V_2 = 0,5\ cm^3$ d'une solution d'ions Fe^{2+} de concentration $c_2 = 0,2\ mol.L^{-1}$. Quel volume minimal V_1 de solution de soude faut-il vers pour observer la précipitation de tous les ions Fe^{2+} ?

8 L'étiquette d'une solution commerciale d'hydroxyde de sodium (NaOH) porte les indications suivantes :

- Densité : d = 0,95
- Pourcentage massique en hydroxyde de sodium : 29%

1) Déterminer la concentration molaire de cette solution en d'hydroxyde de sodium.
2) En déduire le volume de cette solution qu'il faut utiliser pour préparer 500 ml de solution d'hydroxyde de sodium à 0,5 mol $l^{-1.}$
3) Décrire soigneusement cette préparation (On précisera le matériel en verre utilisé)

CHIMIE

CHAPITRE 9 NOTION DE pH INDICATEURS COLORES

Champ d'arachide

Savez-vous que le développement de ces végétaux n'a pu s'effectuer que dans un domaine de pH déterminé du sol ?

Objectifs

- Mesurer un pH
- Caractériser une solution à partir de son pH
- Utiliser un indicateur coloré
- Calculer la concentration d'une entité à partir d'un dosage

Plan du cours

1. Notion de pH
2. Indicateurs colorés : zone de virage
3. Dosage d'une solution d'acide chlorhydrique par la soude

1- Notion de pH

1.1- Acidité - Concentration en ion H_3O^+

Activité 1

- Préparer deux tubes à essai (a) et (b).
- Introduire dans chaque tube à essai la même quantité de poudre de Zinc (1 g).
- Ajouter dans le tube (a) un volume v d'une solution d'acide chlorhydrique 10^{-1} mol.L^{-1}
- Ajouter dans le tube (b) un même volume v d'une solution d'acide chlorhydrique 10^{-3} mol.L^{-1}
- Observer et conclure

Doc 1

Observation

La réaction chimique est plus vive dans le tube (a) que dans le tube (b)

Conclusion

Les propriétés acides sont d'autant plus marquées pour une solution donnée que sa concentration en ions oxonium (ou hydronium) H_3O^+ est élevée.

La concentration des ions oxonium permet de caractériser l'acidité d'une solution.

1.2- Notion de pH

1.2.1- Définition

Dans le commerce, on trouve des solutions acides dont la concentration en ions oxonium H_3O^+ est d'environ 10 mol.L^{-1}. Les solutions usuelles du laboratoire sont beaucoup plus diluées, elles ont des concentrations en ions oxonium comprises entre 10^{-14} et 1 mol.L^{-1}. L'utilisation des valeurs très petites pour estimer l'acidité d'une solution diluée parut alors peu commode aux chimistes. C'est pour cette raison qu'au début du 20ème siècle, le chimiste danois Soeren SOERENSEN a introduit une nouvelle grandeur plus pratique appelée pH

Le pH d'une solution aqueuse est défini à partir de la concentration des ions oxonium.

Le pH d'une solution aqueuse une grandeur sans unité donnée par la relation :

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} \quad \text{(en mol.L}^{-1}\text{)}$$

concentration en ion oxonium $[H_3O^+]$ (mol.L^{-1})	10^{-2}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-12}
pH	2	5	7	12

Une solution est d'autant plus acide que sa concentration en ion oxonium $[H_3O^+]$ est grande donc son pH plus faible et inversement.

Remarque :

La relation $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ mol $.L^{-1}$ est valable lorsque 10^{-6} mol.L^{-1} < $[H_3O^+]$ < 10^{-1} mol.L^{-1}. Elle n'est pas applicable dans le cas des solutions concentrées ni dans les solutions trop diluées.

1.2.2- Mesure de pH

1.2.2.a- Le papier indicateur de pH

Définition

Le papier indicateur de pH est un papier imprégné d'une solution contenant un mélange d'indicateurs colorés, puis séchés. (Doc 2 .)

Doc 2

Activité 2

A l'aide d'un agitateur en verre, déposer une goutte de solution sur un petit morceau de papier pH (environ 1 cm) (Doc 3).

Comparer la teinte prise par l'indicateur à la gamme de couleurs qui accompagnent le rouleau

Déterminer le pH de la solution.

Doc 3

Interprétation

L'observation de la gamme de couleurs du rouleau et les pH correspondants, montre que le pH ne peut être déterminé qu'à une unité prés.

Le papier pH ne permet d'obtenir que l'ordre de grandeur du pH d'une solution. Par exemple, avec le papier pH habituel, la teinte rouge caractérise le pH= 1, la teinte orange le pH= 3, etc. (Doc 4)

Doc 4

1.2.2.b- Le pH-mètre

Le pH-mètre (Doc.5) est un appareil qui permet de déterminer le pH d'une solution avec plus de précision que le papier pH. Il est constitué d'une sonde que l'on plonge dans la solution et d'un dispositif électronique. La lecture se fait sur un voltmètre dont le cadran est directement gradué en unités de pH.

Doc 5

1.3 - pH de l'eau pure

A 25°C, la mesure du pH de l'eau pure donne pH = 7,0
L'eau pure contient des ions H_30^+, de concentration $[H_30^+]= 10^{-7}mol.L^{-1}$
La présence des ions H_30^+ résulte de la réaction entre les molécules d'eau selon l'équation

$$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

Une molécule d'eau perd un proton H^+ pour donner un ion hydroxyde OH^-. Une autre molécule d'eau capte le proton H^+ pour donner un ion oxonium H_3O^+. Cet échange de proton entre deux molécules d'eau est appelé **autoprotolyse de l'eau.** Cette réaction montre que dans l'eau pure il y a autant d'ions oxonium H_3O^+ que d'ions hydroxyde OH^- :

$$[H_3O^+] = [OH^-] = 10^{-7}mol.L^{-1} \text{ à } 25°C$$

Remarque : La réaction d'autoprotolyse ne concerne qu'une infime minorité des molécules d'eau. Si pendant un certain temps quelques molécules H_2O se dissocient, les ions oxonium H_3o^+ et hydroxyde OH^- obtenus se recombinent pour reformer des molécules d'eau : on dit qu'il y a un **équilibre chimique.**

1.4- Le produit ionique de l'eau

Le produit des concentrations des ions oxonium et hydroxyde garde une valeur constante appelée produit ionique de l'eau, quelque soit la substance dissoute. Cette valeur notée K_e dépend de la température.

$$\text{A } 25°C \quad K_e = [H_3O^+][OH^-]= 10^{-14}$$

Remarque : A 25°C, le pH d'une solution aqueuse varie de 0 à 14

1.5- Domaine de pH de solutions acide, basique.

1.5.1- Domaine de pH d'une solution acide

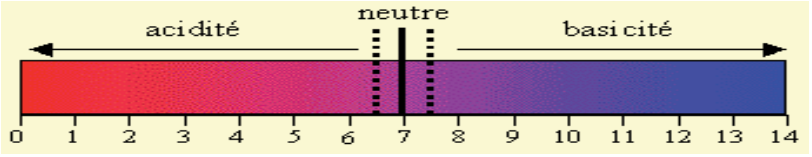
Une solution acide renferme plus d'ions oxonium que l'eau pure. Sa concentration en ions oxonium est supérieure à celle de l'eau donc son pH est inferieur à 7

1.5.2- Domaine de pH d'une solution basique

Une solution basique renferme moins d'ions oxonium que l'eau pure. Sa concentration en ions oxonium est inferieure à celle de l'eau donc son pH est supérieur à 7

1.5.3- Solution neutre

Une solution neutre contient autant d'ions oxonium que d'ion hydroxyde : son pH est égal à 7



(Doc 6) : Echelle de pH

2- Indicateurs colorés : zone de virage

2.1- Teintes prises par un indicateur coloré

Activité 3

- Prendre trois tubes à essai (a), (b) et (c). (Doc 7)
- Verser dans le tube (a) un volume v d'une solution de pH voisin de 2, dans le tube (b) un volume v d'une solution de pH voisin de 4, et dans le tube (c) le même volume d'une solution de pH voisin de 7.
- Ajouter dans chaque tube deux à trois gouttes d'hélianthine.

(a), (b), (c)

Doc 7

- Prendre trois tubes à essai (d), (e) et (f). (Doc 8)
- Verser dans le tube (d) un volume v d'une solution de pH voisin de 5, dans le tube (e) un volume v d'une solution de pH voisin de 7, et dans le tube (f) le même volume d'une solution de pH voisin de 9.
- Ajouter dans chaque tube deux à trois gouttes de bleu de bromothymol.

(d), (e), (f)

Doc 8

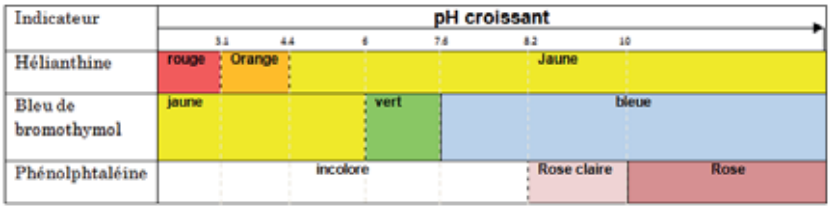
- Prendre trois tubes à essai (g), (h) et (i). (Doc 9)
- Verser dans le tube (g) un volume v d'une solution de pH voisin de 5, dans le tube (e) un volume v d'une solution de pH voisin de 7, et dans le tube (f) le même volume d'une solution de pH voisin de 9.
- Ajouter dans chaque tube deux à trois gouttes de phénolphtaléine.
- Noter les couleurs obtenues et conclure dans chacun des cas.

(g), (h) , (i)

Doc 9

Un indicateur coloré est une substance dont la teinte varie selon le pH de la solution dans laquelle il est introduit. A chacun des indicateurs colorés il correspond trois teintes, une teinte acide, une teinte basique et une teinte neutre.

2.2- Echelle des pH d'un indicateur coloré



Sur un certain intervalle de pH, les couleurs dues aux deux formes acide et basique se superposent et l'indicateur coloré prend une couleur appelée "teinte sensible".

L'intervalle de pH correspondant est appelé "zone de virage de l'indicateur coloré".

Exercice d'application

Un élève dispose de trois flacons : l'un contenant du chlorure de sodium, un autre de l'acide citrique et le troisième de l'hydroxyde de sodium (soude).

Il mesure le pH et trouve 2, 7 et 12

1. Affecter le bon pH à chaque solution en expliquant la réponse.

2. Comment varie le pH si on ajoute de l'eau dans chacun des flacons ?

Correction

1. Le pH du chlorure de sodium est 7 (car c'est de l'eau de sel), celui de l'acide citrique est 2 (car c'est un acide) et celui de la soude est 12 (car c'est une solution basique).

2. Pour le chlorure de sodium son pH reste 7. Pour l'acide citrique son pH augmente. Pour la soude son pH diminue.

3- Dosage d'une solution d'acide chlorhydrique par la soude

Activité 4

- Prélever à l'aide d'une pipette jaugée un volume v_A = 10 cm^3 d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration C_A inconnue.
- Verser le volume prélevé dans un bécher puis y ajouter deux à trois gouttes de bleu de bromothymol. Noter la couleur obtenue
- Remplir une burette d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 10^{-1}$ $molL^{-1}$.
- Agiter tout en versant progressivement à l'aide de la burette la solution d'hydroxyde de sodium dans le bécher jusqu'au virage de l'indicateur coloré. Noter ce volume V_B et la couleur obtenue.
- Déterminer la concentration de l'acide chlorhydrique.

Observation

La solution contenue dans le bécher vire du jaune au vert.

Interprétation

Le virage de l'indicateur coloré correspond à l'équivalence acido-basique. L'acide chlorhydrique est neutralisé par l'hydroxyde de sodium. La solution obtenue est neutre. Son pH vaut 7.

Equation de la réaction

Equation globale : $(H_3O^+ + Cl^-) + (Na^+ + OH^-) \longrightarrow (Na^+ + Cl^-) + 2\,H_2O$

Equation simplifiée : $H_3O^+ + OH^- \longrightarrow 2\,H_2O$

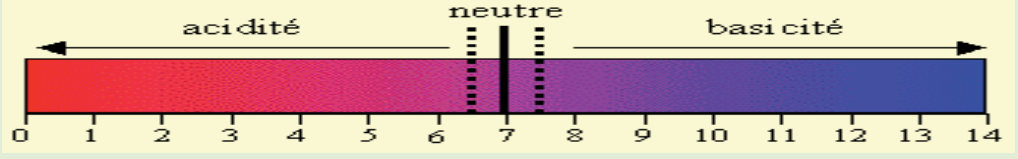
Détermination de la concentration de la solution d'acide chlorhydrique

A l'équivalence, le nombre de mole de base versé est égal au nombre de mole d'acide prélevé.

$n_A = n_B$ soit $C_AV_A = C_BV_B$ d'où $C_A = C_BV_B/V_A$.

L'ESSENTIEL DU COURS

- ✓ Les propriétés acides sont d'autant plus marquées pour une solution donnée que sa concentration en ions oxonium H_3O^+ est élevée. La concentration des ions oxonium permet de caractériser l'acidité d'une solution.
- ✓ Le pH d'une solution aqueuse est défini à partir de la concentration des ions oxonium. C'est une grandeur sans unité donnée par la relation : $[H_3O^+] = 10^{-pH}$.
- ✓ Le papier indicateur de pH est un papier imprégné d'une solution contenant un mélange d'indicateurs colorés, puis séchés.
- ✓ Le pH-mètre est un appareil qui permet de déterminer le pH d'une solution avec plus de précision que le papier pH.
- ✓ L'équation d'autoprotolyse de l'eau s'écrit : $H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$
- ✓ A 25°C le produit ionique de l'eau vaut: $K_e = [H_3O^+][OH^-] = 10^{-14}$
- ✓ Echelle de pH



- ✓ Un indicateur coloré est une substance dont la teinte varie selon le pH de la solution dans laquelle il est introduit. A chacun des indicateurs colorés il correspond trois teintes, une teinte acide, une teinte basique et une teinte neutre.
- ✓ Lors d'un du dosage de l'acide chlorhydrique par l'hydroxyde de sodium à l'équivalence, le nombre de mole de base versé est égal au nombre de mole d'acide prélevé.
- ✓ $C_AV_A = C_BV_B$

Dossier documentaire : Indicateurs naturels

Contrairement aux indicateurs chimiques purs, les indicateurs naturels contiennent plusieurs composés chimiques qui influent sur la couleur. Les zones de virage diffèrent donc selon la nature du composé utilisé. Par exemple, le jus de chou rouge peut ne pas virer au jaune avant un pH < 14 s'il date de plusieurs jours. De même, la transition du jus de carotte, par exemple, est difficilement observable. L'avantage majeur des indicateurs naturels sur leurs équivalents de synthèse est leur très faible coût. On les trouve souvent directement dans la nature.

forme acide du thym

forme basique du thym

Un indicateur coloré naturel : le curcuma
tube 1 : pH 13, tube 2 : pH 11, tube 3 : pH 10, tube 4 : pH 6 : tube 5 : pH 2

Liste non exhaustive d'indicateurs colorés naturels

Indicateur	Couleur (acide)	Transition (approximativement)	Couleur (base)
Chou rouge (acide - 1re transition)	rouge	environ 2,0-3,0	rose
Chou rouge (acide - 2e transition)	rose	environ 3,0-4,0	violet
Thé	jaune	environ 6,0-7,0	brun
Chou rouge (base - 3e transition)	violet	environ 6,0-7,0	bleu
Artichaut	incolore	environ 7,0-8,0	jaune
Curry	jaune	7,4-8,6	brun-orangé
Curcuma	jaune	7,4-8,6	brun-orangé
Chou rouge (base - 4e transition)	bleu	environ 8,0-9,0	vert
Betterave	rouge	environ 11,0-12,0	jaune
Chou rouge (base - 5e transition)	vert	environ 12,0-13,0	jaune
Thym	jaune	environ 12,0-13,0	brun

D'autres indicateurs de pH naturels :

- Certains pétales de fleurs (rose, pétunia, volubilis, hortensia, lilas, géranium, delphinium, pavot, etc.)
- Quelques fruits ou légumes (rhubarbe, radis, cerise, carotte, fraise, cassis, airelle, de manière générale la plupart des fruits rouges…).

Plusieurs composés chimiques peuvent être à l'origine des propriétés halochromiques de ces indicateurs naturels. En voici quelques-uns :

- Les anthocyanes sont des composés naturels que l'on retrouve chez plusieurs plantes. Ces composés sont rouges dans une solution acide et bleu dans une solution basique. Le chou rouge, qui en contient, est l'un des indicateurs les plus populaires et les plus spectaculaires.
- La curcumine est présente dans le curcuma (et donc dans le curry qui contient du curcuma). Elle est brune en milieu basique et jaune en milieu acide.
- Les caroténoïdes contenus, par exemple, dans les carottes peuvent posséder des propriétés acido-basiques.

EXERCICES

Masses atomiques molaires en $g.moL^{-1}$: H : 1, O : 16, Na : 23.

Connaissances essentielles du cours

1 Définir le pH d'une solution. De quel facteur le pH de l'eau pure dépend-il ?

2 Comment détermine-t-on le pH d'une solution aqueuse de façon approchée ? de façon précise ?

3 Donner la formule et le nom des ions présents dans l'eau pure.

4 Ecrire l'équation d'autoprotolyse de l'eau. Interpréter celle-ci à partir de la structure électronique de l'eau.

5 Définir le produit ionique de l'eau. Quelle est sa valeur à 25°C ? Comment varie-t-il avec la température ?

6 Une solution aqueuse est telle que l'on a, $[H_3O^+] < [OH^-]$: Est-elle acide ou basique ?

7 Définir une solution neutre, une solution acide, une solution basique, situer ces trois solutions sur un axe gradué en pH.

8 Qu'est-ce qu'un indicateur coloré ?

9 Donner la définition de l'équivalence acido-basique pour le dosage d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium.

Quels indicateurs colorés peut-on utiliser pour apprécier l'équivalence lors du dosage précédent ?

Applications directes du cours

10 La mesure du pH d'une solution donne pH = 2,3. Calculer la concentration en ions H_3O^+ de la solution.

11 Quel est le pH d'une solution aqueuse dans laquelle la concentration des ions H_3O^+ est égale à 10^{-3} $mol.L^{-1}$?

12 Une solution de soude a une concentration $C = 10^{-2}$ $mol.L^{-1}$. Calculer la concentration en ions hydroxyde OH^- de la solution. En déduire sa concentration en ions hydronium H_3O^+. Quel est son pH ?

13 A 25°C, on mesure le pH de trois solutions aqueuses A, B et C, on trouve $pH_A = 3,8$, $pH_B = 4,7$ et $pH_C = 11,2$.

Déterminer les concentrations en ions hydronium et hydroxyde de chacune de ces solutions.

14 Ecrire l'équation-bilan de la réaction entre une solution d'acide chlorhydrique et une solution d'hydroxyde de sodium (ne faire figurer dans cette équation que les espèces chimiques qui participent effectivement à la réaction).

Utilisation des acquis

15 On dispose d'une solution A d'acide chlorhydrique de concentration C_A inconnue et d'une solution B de soude de concentration C_B = 0,02 mol.L^{-1}.

On prélève un volume V_A = 20 cm^3 de la solution A et on y ajoute quelques gouttes de BBT. On verse lentement la solution B de soude dans la solution A. Le BBT vire au vert lorsqu'un volume V_B = 10 cm^3 de solution B a été versé.

Calculer la concentration de la solution A.

16 Quelle masse d'hydroxyde de sodium solide faut-il dissoudre dans un volume V_A = 500 cm^3 d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration V_A = 0,25 mol.L^{-1} pour réaliser exactement l'équivalence acido-basique ?

17 On place, dans un bécher, 20 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration inconnue et 2 gouttes de bleu de bromothymol. On y ajoute une solution titrée d'acide chlorhydrique, de concentration Ca = 1 mol.L^{-1}, jusqu'au virage de l'indicateur. On note le volume correspondant : V_A = 16 mL.

1) Quelle est la concentration de la solution d'hydroxyde de sodium ?

2) Quel volume de cette solution d'hydroxyde de sodium faut-il introduire, dans une fiole jaugée, pour obtenir, après addition d'eau distillée, 1 L de solution de concentration 0,5 mol.L^{-1} ?

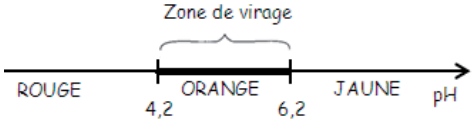
18 Dans un volume V = 500 mL d'eau distillée, on dissout un volume V = 0,12 L de chlorure d'hydrogène, ce volume V étant mesuré dans les conditions où le volume molaire est égal à 24 L. mol^{-1}.

1) Quelle est la formule du chlorure d'hydrogène ? Quel est le nom de la solution obtenue ?

2) Calculer la concentration C_a de cette solution. Calculer son pH.

3) Calculer la quantité d'ions hydronium H_3O^+ (en mol) dans un prélèvement de volume V_a = 20 cm^3 de cette solution.

19 On dispose d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C_a = 10^{-1}$ mol.L^{-1} et de rouge de méthyle, indicateur coloré dont le domaine de virage est [4,2, 6,2], ses couleurs étant indiquées dans le schéma ci-dessous.



1) On ajoute quelques gouttes de rouge de méthyle dans un prélèvement de volume V_1 = 100 mL de la solution d'acide chlorhydrique. Quelle couleur observe-t-on ?

2) Le prélèvement précédent est placé dans une fiole jaugée de 1 L et on complète, avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. L'indicateur change-t-il de couleur ?

3) On prélève, avec une pipette, un volume V_2 = 10 mL de la solution précédente que l'on introduit dans une fiole jaugée de 100 mL. On complète, jusqu'au trait de jauge, avec de l'eau distillée. L'indicateur change-t-il de couleur ?

CHIMIE

CHAPITRE 10 CARACTERISATION DE QUELQUES IONS

	Teneur en mg/L		
Ions minéraux	**KIRENE®**	**Cristaline®**	**Evian®**
Calcium Ca^{2+}	44,80	67	78
Magnésium Mg^{2+}	6,10	26	24
Sodium Na^{+}	8,90	84	5
Potassium K^{+}	1,90	20	1
Chlorure Cl^{-}	17,00	32	4,5
Nitrate NO_3^{-}	3,40	<2	
Sulfate SO_4^{2-}	3,80	61	10
Bicarbonate CO_3^{2-}	156,2	476	387

Comment peux-tu détecter les ions présents dans les eaux minérales et à quoi servent-ils ?

OBJECTIFS

- Identifier des ions
- Utiliser un protocole de recherche des ions dans une solution
- Connaître le rôle des ions dans la vie courante

PLAN DU CHAPITRE

1. Tests d'identification des anions et des cations
2. Tableaux récapitulatifs et organigrammes de recherche de quelques ions
3. Rôles de quelques ions

1- Tests d'identification des cations et des anions

1.1- Couleurs des cations en solution aqueuse

ACTIVITE 1

Mettre dans 3 tubes à essais respectivement des cristaux de sulfate de fer III, de sulfate de cuivre II et de sulfate de fer II.

Ajouter un peu d'eau distillée et agiter. Noter les couleurs obtenues.

Comparer les couleurs obtenues avec celles des tubes à essai 1, 2 et 3.

Conclusion

Ions	N° tube	couleur
Fer III	3	rouille
Cuivre II	1	Bleu
Fer II	2	Vert

1.2- Couleurs des anions en solution aqueuse

Les anions Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^- sont incolores. Pour les identifier il faut des tests complémentaires.

a) Pour identifier les ions chlorure Cl^- on utilise le nitrate d'argent qui donne un précipité de chlorure d'argent qui noircit à la lumière.

$$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$$

b) Pour identifier les ions sulfates SO_4^{2-}, on utilise le chlorure de baryum qui donne un précipité blanc de sulfate de baryum.

$$Ba^{2+} + 2\ SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4$$

c) Pour identifier les ions nitrates NO_3^- on ajoute des copeaux de cuivre dans la solution les contenant puis on fait réagir cette solution avec de l'acide nitrique concentré. Il se dégage des vapeurs rousses de dioxyde d'azote.

$$3Cu + 2NO_3^- + 8H^+_{aq} \rightarrow 3Cu^{2+} + 2NO + 4H_2O$$

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

Remarque : cette expérience est à faire sous la hotte car les vapeurs de dioxyde d'azote son toxiques.

1.3- Couleur des cations au test à la flamme

ACTIVITE 2

- Préparer dans un tube à essai une solution aqueuse de chlorure de sodium. Tremper une baquette de verre dans la solution. Présenter le bout trempé à la flamme bleue d'un brûleur. Noter la couleur de l'extrémité de la baguette
- Mettre des cristaux de sulfate de cuivre sur une brique réfractaire et approcher la flamme d'un brûleur, observer et noter.

Test à la flamme

de l'ion sodium

Test à la flamme de l'ion cuivre II

Conclusion

En présence de flamme l'ion sodium donne une couleur jaune.

En présence de flamme l'ion cuivre II donne une couleur verte.

1.4- Test d'apparition de précipités

ACTIVITE 3

Ajouter aux solutions préparées dans l'activité 1 une solution d'hydroxyde de sodium.

Observer et noter.

Dans le tube 1 il y a un précipité bleu

Dans le tube 2 un précipité vert

Dans le tube 3 un précipité rouille.

Conclusion

Le précipité bleu est de l'hydroxyde de cuivre II

Le précipité vert est de l'hydroxyde de fer II

Le précipité rouille est de l'hydroxyde de fer III

Equations des réactions de précipitation

Tube 1 : $Cu^{2+} + 2\ HO^- \rightarrow Cu(OH)_2$

Tube 2 : $Fe^{2+} + 2\ HO^- \rightarrow Fe(OH)_2$

Tube 3 : $Fe^{3+} + 3\ HO^- \rightarrow Fe(OH)_3$

Identification des ions aluminium Al^{3+} et des ions zinc Zn^{2+}

En présence de soude les ions **Al^{3+}** donnent un précipité blanc d'hydroxyde d'aluminium soluble dans un excès de soude mais insoluble dans un excès d'ammoniaque

$$Al^{3+} + 3\ HO^- \rightarrow Al(OH)_3$$

En présence de soude les ions Zn^{2+} donnent un précipité blanc d'hydroxyde de zinc soluble à la fois dans un excès de soude et d'ammoniaque.

$Zn^{2+} + 2\ HO^- \rightarrow Zn(OH)_2$

1.5- Incompatibilité de certains ions

Certains ions mis en présence donnent des précipités. On dit qu'ils sont incompatibles.

Exemples : Les ions argent Ag^+ donnent un précipité blanc en présence des ions chlorure Cl^-. Les ions baryum Ba^{2+} donnent également en présence des ions sulfates SO_4^{2-} un précipité blanc de sulfate de baryum.

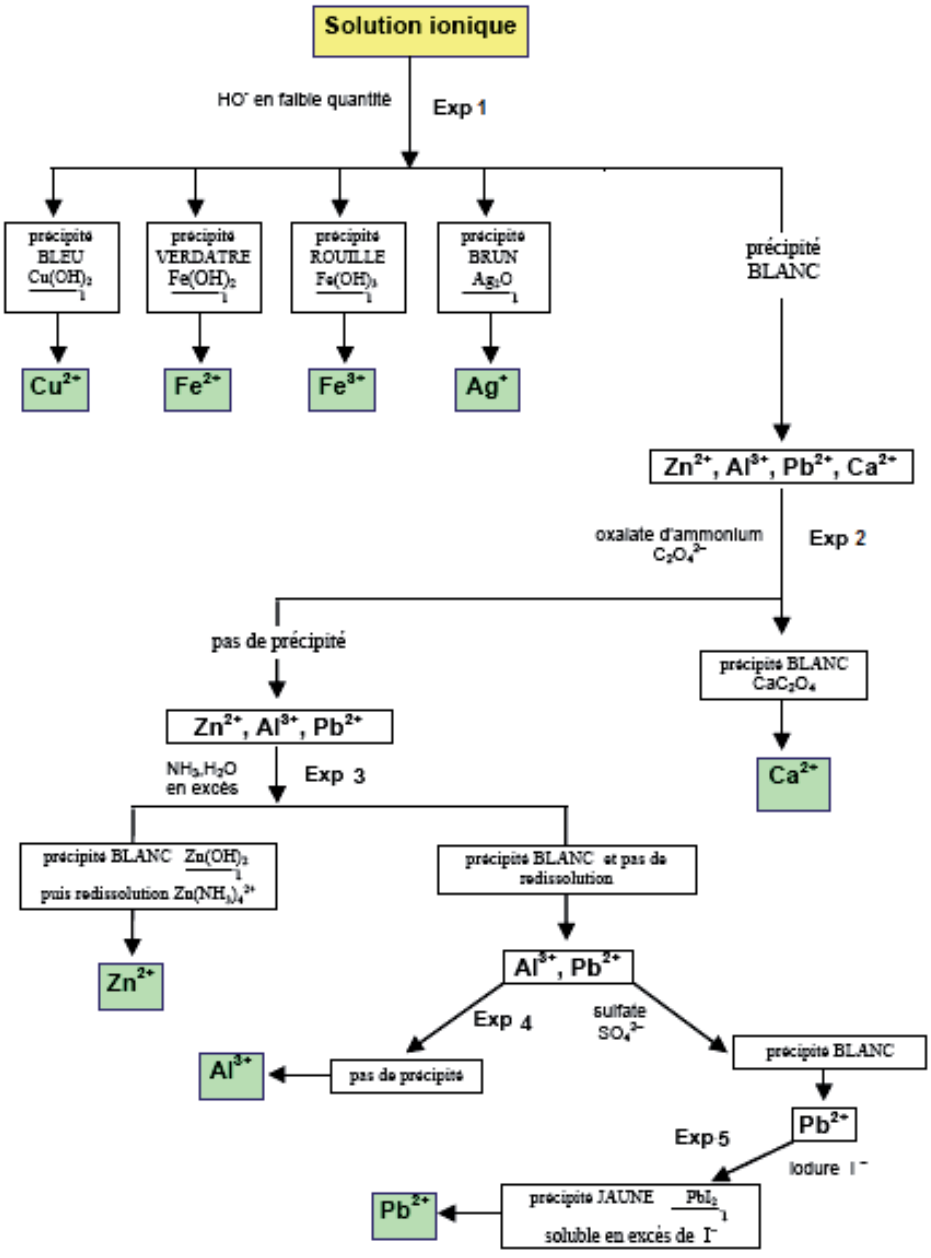
2- Tableaux récapitulatifs et organigrammes de recherche de quelques ions

2.1-Tableau récapitulatif et organigramme de recherche de quelques cations

2.1.1- Tableau récapitulatif de recherche de quelques cations

TESTS D'IDENTIFICATION DES CATIONS				
CATION	**COULEUR**	**REACTIF**	**OBSERVATION**	**EQUATION DE LA REACTION**
Fe^{2+} (Fer II)	vert	OH^-	Précipité vert de dihydroxyde de fer : **$Fe(OH)_2$**	$Fe^{2+} + 2\,HO^- \rightarrow Fe(OH)_2$
Fe^{3+} (Fer III)	rouille	OH^-	Précipité rouille de trihydroxyde de fer : **$Fe(OH)_3$**	$Fe^{3+} + 3\,HO^- \rightarrow Fe(OH)_3$
Cu^{2+} (Cuivre II)	bleu	OH^-	Précipité bleu d'hydroxyde de cuivre (soluble dans une solution d'ammoniac) : **$Cu(OH)_2$**	$Cu^{2+} + 2\,HO^- \rightarrow Cu(OH)_2$
Ag^+ (Argent)	incolore	Cl^-	Précipité blanc de chlorure d'argent : **AgCl**	$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$
Ba^{2+} (Baryum)	incolore	SO_4^{2-}	Précipité blanc de sulfate de baryum : **$BaSO_4$**	$Ba^{2+} + 2\,SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4$
Pb^{2+} (Plomb)	incolore	S^{2-}	Précipité noir de sulfure de plomb : **PbS**	$Pb^{2+} + S^{2-} \rightarrow PbS$
		I^-	Précipité jaune d'iodure de plomb (soluble dans un excès de I^-) : **PbI_2**	$Pb^{2+} + 2I^- \rightarrow PbI_2$
Al^{3+} (Aluminium)	incolore	OH^-	Précipité blanc (insoluble dans une solution d'ammoniac) : **$Al(OH)_3$**	$Al^{3+} + 3\,HO^- \rightarrow Al(OH)_3$
Zn^{2+} (zinc)	incolore	OH^-	Précipité blanc (soluble dans une solution d'ammoniac) : **$Zn(OH)_2$**	$Zn^{2+} + 2\,HO^- \rightarrow Zn(OH)_2$

2.1.2- Organigramme de recherche de quelques cations

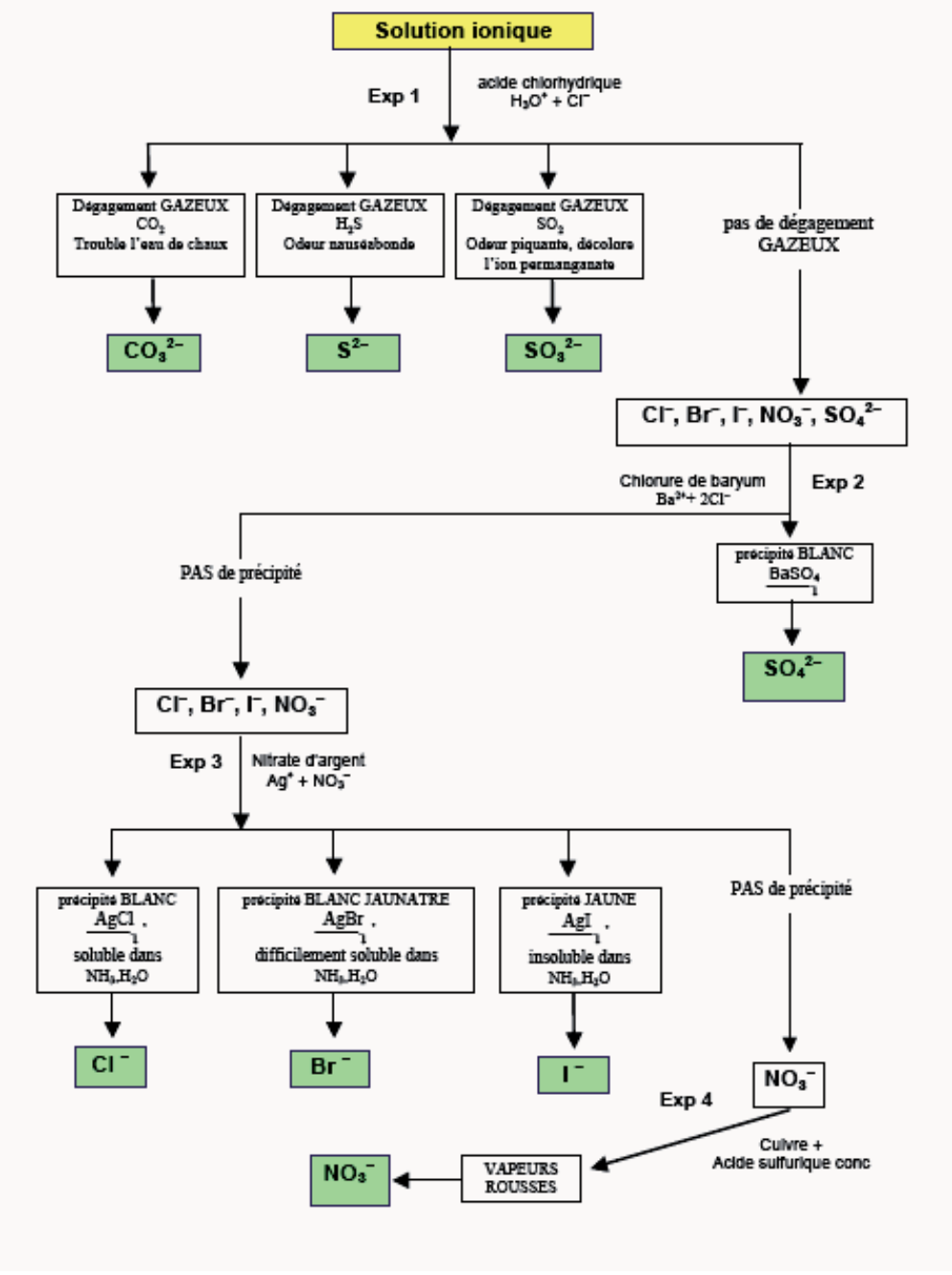


2.2-Tableau récapitulatif et organigramme de recherche de quelques anions

2.2.1- Tableau récapitulatif de recherche de quelques anions

TESTS D'IDENTIFICATION DES ANIONS				
ANION	**COULEUR**	**REACTIF**	**OBSERVATION**	**EQUATION DE LA REACTION**
Cl^- (chlorure)	incolore	Ag^+	Précipité blanc chlorure d'argent : **AgCl**	$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$
SO_4^{2-} (sulfate)	incolore	Ba^{2+}	Précipité blanc de sulfate de baryum : **$Ba(SO_4)$**	$Ba^{2+} + 2\ SO_4^{2-} \rightarrow Ba(SO_4)$
S^{2-} (sulfure)	incolore	H_3O^+	Dégagement d'un gaz à odeur d'œuf pourri : **H_2S** (sulfure d'hydrogène : c'est un gaz neurotoxique !)	$S^{2-} + 2\ H_3O^+ \rightarrow H_2S + 2H_2O$
		S^{2-}	Précipité noir de sulfure de plomb : **PbS**	$Pb^{2+} + S^{2-} \rightarrow PbS$
NO_3^- (nitrate)	incolore	$Cu + H_3O^+$	Dégagement d'un gaz roux (dioxyde d'azote) : **NO_2**	Equation pas étudiée en seconde
CO_3^{2-} (carbonate)	incolore	Ca^{2+}	Précipité blanc de carbonate de calcium : **$CaCO_3$**	$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3$
		H_3O^+	Dégagement d'un gaz qui trouble l'eau de chaux : **CO_2**	$CO_3^{2-} + 2H_3O^+ \rightarrow CO_2 + 3H_2O$

2.2.2- Organigramme de recherche de quelques anions



3- Rôle des ions dans la vie

- **Utilisation comme électrolyte pour piles et batteries**

Une **pile électrique** (ou plus simplement **pile**) est un dispositif électrochimique transformant l'énergie d'une réaction chimique en énergie électrique. Dans une pile du commerce, les réactifs sont introduits à la fabrication. Quand ils sont épuisés, la tension s'effondre et on doit remplacer la pile usagée.

À l'origine, le terme désignait un élément unique composé d'un empilement d'une rondelle d'un métal et d'un autre baignant dans un électrolyte. Par extension, le mot « pile » désigne toute batterie monobloc non rechargeable. Cependant, le terme « batterie » désigne un ensemble d'éléments utilisés en série pour obtenir une tension souhaitée, dans un emballage unique.

Une batterie peut être rechargeable ou non. Dans le langage courant, c'est généralement une batterie lorsqu'elle est rechargeable, notamment batterie de voiture, au plomb. Mais la locution « pile rechargeable » n'a pas de sens. De même, par abus de langage, le terme « pile » est utilisé pour désigner d'autres générateurs électrochimiques : pile à combustible, accumulateur électrique.

- Utilisation comme engrais fertilisants ou comme pesticides
- Présence indispensables dans les aliments et dans les eaux. (leur absence entraine des carences, leur excès provoque des maladies)
- Utilisation comme engrais fertilisants ou comme pesticides
- **Présence indispensables dans les aliments et dans les eaux. (leur absence entraine des carences, leur excès provoque des maladies)**

Bien que sans rôle énergétique ni plastique, l'absence ou l'insuffisance d'ions minéraux peuvent être à l'origine de maladies par carence.

Les ions sodium (Na^+), associés aux ions chlore (Cl^-) dans le chlorure de sodium, sont les constituants principaux du milieu extracellulaire (sang, lymphe circulante et interstitielle). L'apport alimentaire de sodium, sous forme essentiellement de sel (NaCl), de l'ordre de 7 à 8 g par jour, est totalement absorbé au niveau de la muqueuse intestinale. Il est généralement excédentaire par rapport aux besoins de l'organisme qui sont de 1 à 2 g par jour. Le système nerveux et des hormones (aldostérone) interviennent dans la régulation du taux de sodium dans le sang (natrémie). L'excédent, filtré par les reins, est éliminé dans les urines.

Les ions potassium (K^+) sont les ions essentiels du milieu intracellulaire. L'apport alimentaire en potassium, totalement absorbé au niveau intestinal, est excédentaire par rapport aux besoins qui sont de l'ordre de 2 à 6 g par jour. L'excédent, filtré par les reins, est rejeté dans les urines.

Les ions magnésium (Mg^{2+}) sont contenus pour les deux tiers dans les os, le reste est intracellulaire. Ils interviennent dans toutes les réactions du métabolisme productrices d'énergie et sont indispensables à l'intégrité des membranes et au maintien des gradients ioniques (Ca^{2+}, K^+, Na^+).
L'apport alimentaire en magnésium est le plus souvent insuffisant, il est de l'ordre de 4 mg/kg/j, alors que les besoins de l'organisme sont évalués à 6 mg/kg/j. Toute carence en magnésium se traduit par un ralentissement de la croissance osseuse et une hyperexcitabilité neuromusculaire à l'origine de tétanie liée à une perturbation du fonctionnement des pompes à calcium et constitue un facteur de risque cardio-vasculaire.

Un assortiment de fromages, sources de calcium, de protides et de lipides.

- **Les ions calcium** (Ca^{2+}). 99 % des 1000 à 1200 g de calcium de l'organisme sont concentrés dans les os et les dents sous forme de cristaux d'hydroxyapatite, 1 % interviennent dans la contraction musculaire, la transmission des messages nerveux, la coagulation du sang et l'activation de nombreuses enzymes. Pour couvrir les besoins, qui sont de l'ordre de 900 mg par jour, l'apport alimentaire en ions calcium doit être nettement supérieur car leur absorption intestinale n'est que de 30 à 50 %. En cas d'insuffisance des apports alimentaires, il peut y avoir déminéralisation du squelette car le taux de calcium dans le sang (calcémie) est maintenu constant aux dépens du réservoir calcique des os. Des hormones (hormone parathyroïdienne, calcitonine) interviennent dans la régulation de la calcémie.

Le phosphore (P) est contenu pour l'essentiel (700 g) dans les os et les dents, associé aux ions calcium, mais il participe également à la constitution de molécules fondamentales comme les acides nucléiques (ADN et ARN), l'ATP et les phospholipides des membranes. L'apport alimentaire, qui est de l'ordre de 1600 mg par jour, est généralement suffisant pour couvrir les besoins de l'organisme qui sont de l'ordre de 700 à 900 mg par jour.

Poissons (soles) riches en protéines et en phosphore.

Le tableau ci-dessous précise, pour les principaux ions minéraux, leur besoins quotidiens, leur rôle et les troubles et carences dont ils sont responsables.

Ions minéraux	Besoins quotidiens et rôle	Troubles / Carences
Sodium (Na^+)	**1 à 2 g** Intervient dans : - l'excitabilité neuromusculaire - la pression artérielle	Baisse de la pression artérielle
Potassium (K^+)	**2 à 6 g** Intervient dans : - la propagation des messages nerveux - la pression artérielle	- Arythmie cardiaque - Faiblesse musculaire
Magnésium (Mg^{2+})	**0,3 à 0,4 g** Intervient dans : - l'excitabilité nerveuse - le maintien des gradients ioniques - la résistance aux infections et aux allergies	- Fatigue, insomnie, anxiété - Spasmophilie - Tétanie - Risque cardio-vasculaire - Ralentissement de la croissance osseuse - Favorise la production de radicaux libres
Calcium (Ca^{2+})	**0,9 g** Intervient dans : - la constitution des os et des dents - la contraction musculaire - la transmission nerveuse - la coagulation du sang Joue un rôle protecteur de l'hypertension artérielle Prévient l'ostéoporose	- Fragilité osseuse par déminéralisation - Ostéoporose*
Phosphore (P)	**0,7 à 0,9 g** Intervient dans la constitution : - du squelette et des dents - des molécules fondamentales (ADN, ARN, ATP, phospholipides membranaires)	

L'ESSENTIEL DU COURS

Les ions sont identifiables par des tests :

- ✓ Couleur en solution aqueuse :
  - o Bleu pour les ions cuivre II
  - o Vert pour les ions fer II
  - o Rouille pour les ions fer III
- ✓ Couleur au test à la flamme
  - o flamme jaune pour l'ion sodium
  - o flamme verte pour le cuivre (à faire dans le cours)
- ✓ Obtention de précipités colorés (incompatibilité)
  - o Précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II
  - o Précipité vert d'hydroxyde de fer II
  - o Précipité rouille d'hydroxyde de fer III
  - o Précipité blanc laiteux d'hydroxyde d'aluminium
- ✓ Par redissolution ou non dans des tests complémentaires.
- ✓ L'identification complexe d'ions se fait parfois selon un protocole

Les ions jouent un rôle important dans la vie.

EXERCICES

Connaissances essentielles du cours

1 Compléter les phrases suivantes :

a) Une solution aqueuse de sulfate de cuivre a une coloration ……..……..
b) Une solution aqueuse de sulfate de fer II a une coloration ……..……..
c) Une solution aqueuse de sulfate de sulfate de fer III a une coloration ……..……..

2 Compléter les phrases suivantes :

a) Pour identifier les ions chlorure Cl^-, on utilise ……..……..qui donne un précipité de ……..…….. qui noircit à la lumière
b) Pour identifier les ions ……..……..on utilise le chlorure de baryum qui donne un précipité blanc de sulfate de baryum.
c) Pour identifier les ions nitrate NO_3^- on ajoute des copeaux……..……..dans la solution les contenant puis on fait réagir cette solution avec de l'acide sulfurique concentré.

3 On trempe une baquette de verre dans une solution aqueuse de chlorure de sodium puis on présente cette extrémité à la flamme d'un brûleur :

a) Quels sont les ions présents dans la solution de chlorure de sodium ?
b) Quelle est la couleur de la flamme ?
c) Quel ion est mis en évidence ?
d) Comment peut-on mettre en évidence l'autre ion ?

Applications directes du cours

4 On dispose de 3 échantillons d'une solution aqueuse.

Dans le premier échantillon on verse une solution d'hydroxyde de sodium il se forme un précipité blanc soluble dans un excès d'hydroxyde de sodium et insoluble dans un excès d'une solution d'ammoniaque

Dans le deuxième échantillon on verse une solution d'hydroxyde de sodium il se forme un précipité blanc soluble à la fois dans un excès d'hydroxyde de sodium et dans un excès d'une solution d'ammoniaque

Dans le troisième on verse une solution de nitrate d'argent il se forme un précipité blanc qui noircit à la lumière.

1) Identifier dans chaque cas l'ion testé dans l'échantillon.
2) Ecrire l'équation bilan de la réaction de précipitation.

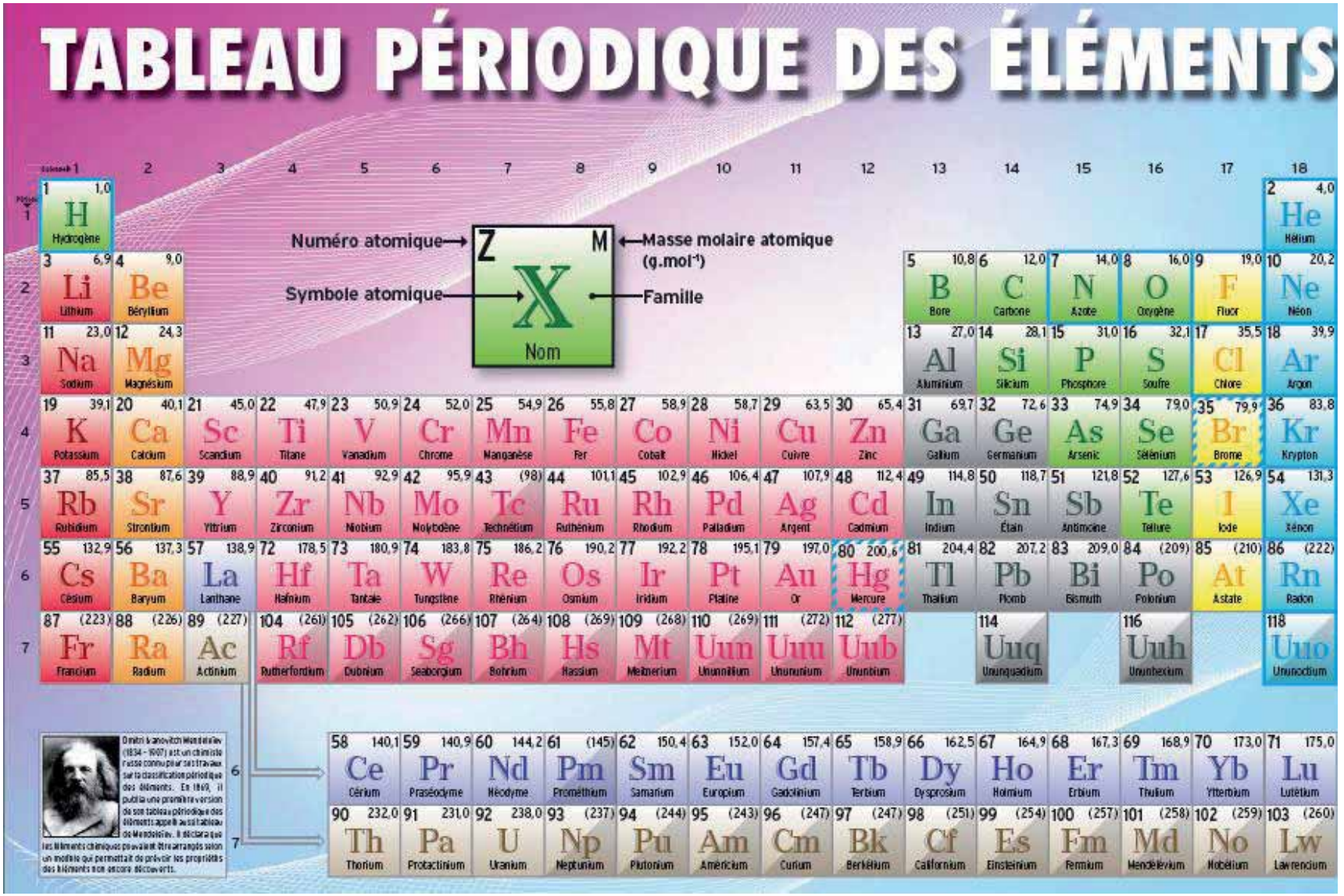


TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS
Numéro atomique
Z
M
Masse molaire atomique (g.mol⁻¹)
Symbole atomique
X
Famille
Nom
Dmitri Ivanovitch Mendeleïev (1834 - 1907) est un chimiste russe connu pour ses travaux sur la classification périodique des éléments. En 1869, il publia une première version de son tableau périodique des éléments appelé aussi tableau de Mendeleïev. Il déclara que les éléments chimiques pouvaient être arrangés selon un modèle qui permettait de prévoir les propriétés des éléments non encore découverts.

USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

Un Projet pour le Gouvernement du Sénégal
Financé par L'Initiative pour l'Éducation en Afrique AEI de l'USAID
Programme des Manuels Scolaires et Autres Outils d'Apprentissage TLMP

CA Référence: RLA-A-00-09-00037-00

VENTE INTERDITE

$0.00
ISBN 978-0-9825955-7-2
90000>
9 780982 595572