

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 1 Electrostatique

### 1.1 Notions préliminaires

#### 1.1.1 Electrisation par influence

Certains corps possèdent la propriété de s'électriser par frottement : la cause de cette propriété est appelée **électricité**.

#### 1.1.2 Electrisation par contact

Un électroscope s'électrise par contact avec une tige de verre électrisée par frottement. Lors de contact de la boule de l'électroscope avec le doigt, l'électricité s'échappe de l'électroscope ; nous pouvons concevoir l'électricité comme un fluide qui s'écoule par l'intermédiaire du corps humain vers la terre.

#### 1.1.3 Deux espèces d'électricité

L'électricité engendrée par frottement de verre est différente de l'électricité engendrée par frottement du cuivre.

Quelles que soient les expériences, nous pouvons toujours ramener l'électricité à celle développée sur le verre ou à celle développée sur le cuivre : B. Franklin a appelé **positive** l'électricité analogue à celle acquise par le verre et **negative** l'électricité analogue à celle acquise par le cuivre.

#### 1.1.4 Forces exercées entre corps chargés

Deux charges électriques de même signe se repoussent tandis que deux charges électriques de signe contraire s'attirent. Les forces exercées entre les charges électriques nous permettent de mesurer les charges électriques.

Nous pouvons comprendre la cause pour laquelle les feuilles d'or de l'électroscope chargée se repoussent.

#### 1.1.5 Structure de l'atome

Des faits expérimentaux tant physiques que chimiques ont conduit à admettre que l'atome est un édifice complexe constitué :

- a) d'un noyau central très petit (diamètre  $\approx 10^{-15}$  m) mais condensant presque toute la masse de l'atome, chargé d'électricité positive et
- b) d'électrons planétaires, granule d'électricité négative extrêmement légère (la masse de l'électron est 1835 fois plus petite que la masse du noyau d'hydrogène), gravitant autour du noyau dans une sphère de quelque  $10^{-10}$  m de diamètre.

L'atome est électriquement neutre car la charge positive du noyau est compensée par la charge négative totale des électrons. Il est aisé de faire perdre ou de faire gagner à un atome un ou plusieurs électrons : l'atome se transforme en ion positif (cation) ou en ions négatif (anion).

Dans le cadre du cours d'électricité nous n'irons pas plus loin dans l'étude de l'atome.

# Chapitre V : L'électromagnétisme

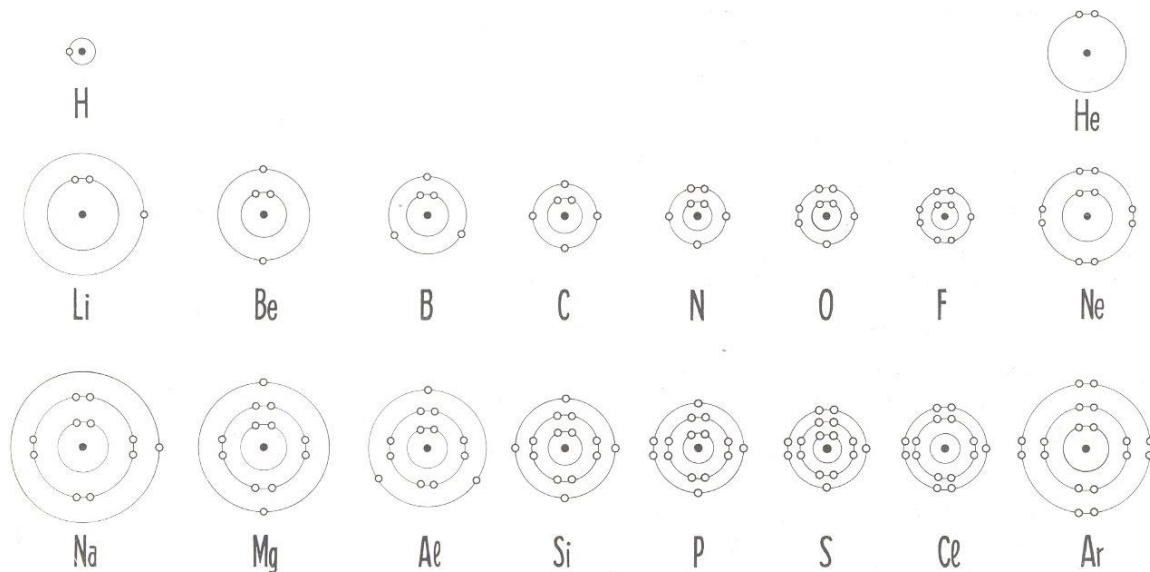


Fig. 14.

## 1.1.6 Interprétation électronique des faits fondamentaux

### 1.1.6.1 Electrisation par frottement

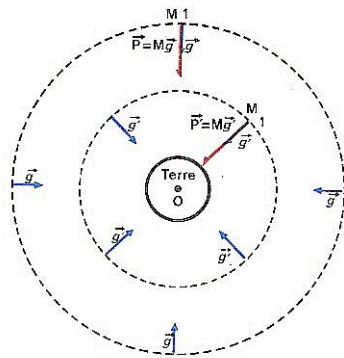
Lorsque nous frottons un bâton de verre avec un drap de laine, le verre cède des électrons à la laine : le verre s'électrise positivement et la laine négativement ; c'est le phénomène inverse qui se produit lorsque nous frottons un barreau d'ébonite avec un tissu de soie.

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 1.2 Champs électrique et différence de potentiel

### 1.2.1 Champs électrique

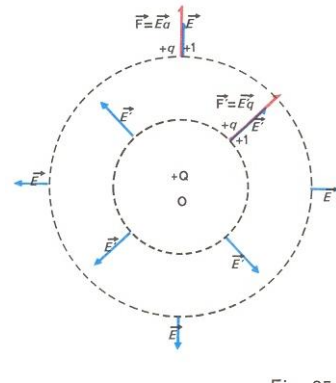
Il résulte de l'expérience que la terre exerce une action sur tout corps situé dans son voisinage. La région de l'espace dans laquelle la terre exerce une action est le siège d'un **champ de pesanteur**.



Mais l'action exercée par la terre varie d'un point à l'autre de l'espace. Pour caractériser l'action de la terre en un point A, on imagine qu'une masse unitaire soit placée en ce point : elle y serait soumise à une force dont la direction, le sens et l'intensité donnent, par définition, la direction, le sens et l'intensité du champ de pesanteur en ce point. Le champ de pesanteur est donc une grandeur vectorielle que l'on désigne par le symbole  $\vec{g}$ .

Il résulte de la définition du champ de pesanteur qu'une masse M subit, dans un champ de pesanteur  $\vec{g}$ , une force  $\vec{F}$  dont l'intensité est donnée par la relation  $\vec{F} = M \cdot \vec{g}$

Il résulte de l'expérience qu'un corps électrisé exerce une action sur toute charge électrique située dans son voisinage. La région de l'espace dans laquelle le corps électrisé exerce une action est le siège d'un **champ électrique**.



Mais l'action exercée par le corps électrisé varie d'un point à l'autre de l'espace. Pour caractériser l'action d'un corps électrisé en un point A, on imagine qu'une charge unitaire positive soit placée en ce point : elle y serait soumise à une force dont la direction, le sens et l'intensité donnent, par définition, la direction, le sens et l'intensité du champ électrique en ce point. Le champ électrique est donc une grandeur vectorielle que l'on désigne par le symbole  $\vec{E}$ .

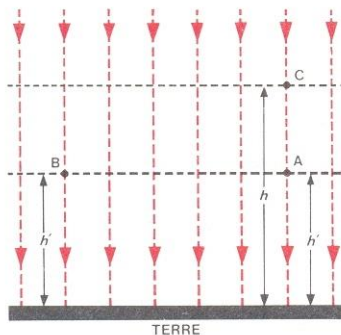
Il résulte de la définition du champ électrique qu'une charge électrique  $q$  subit, dans un champ électrique  $\vec{E}$ , une force  $\vec{F}$  dont l'intensité est donnée par la relation  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 1.2.2 Différence de potentiel électrique

Pour préciser la notion de différence de potentiel électrique, nous faisons appel à une analogie gravifique.

Si nous déplaçons une masse  $M$  de  $A$  en  $B$  perpendiculairement aux lignes de force du champ de pesanteur, le travail effectué par la pesanteur est nul. La ligne horizontale le long de laquelle s'est fait le déplacement est une surface équipotentielle car, en s'y déplaçant, l'énergie potentielle de la masse  $M$  n'a pas varié.

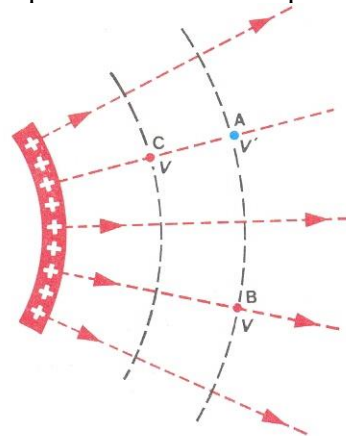


En reportant la même opération à partir du point  $A$  dans toutes les directions, nous déterminerons une surface équipotentielle.

Mais si nous déplaçons la masse  $M$  de  $A$  en  $C$  parallèlement aux lignes de forces, il faut effectuer un travail qui est fonction de la différence de niveau existant entre  $A$  et  $C$ . Si les niveaux en  $A$  et  $C$  sont respectivement  $h'$  et  $h$ , le travail effectué vaut  $T = M.g.(h - h')$ . La différence de potentiel gravifique entre deux points  $A$  et  $B$  est mesurée par le travail effectué du point  $A$  au point  $B$  c'est-à-dire par la différence des énergies potentielles.

Si la masse  $M$  est amenée du niveau 0 (terre) au niveau  $h$ , la relation devient  $T = M.g.h$

Si nous déplaçons une charge électrique  $Q$  de  $A$  en  $B$  de manière que le déplacement se fasse toujours perpendiculairement aux lignes de force du champ électrique, le travail effectué par la force électrique à laquelle est soumise la charge  $Q$  est nul. La ligne suivant laquelle s'est fait le déplacement est une ligne



équipotentielle car, en s'y déplaçant, l'énergie potentielle de la charge  $Q$  n'a pas varié. En répétant la même opération à partir du point  $A$  dans toutes les directions, nous déterminerons une surface équipotentielle.

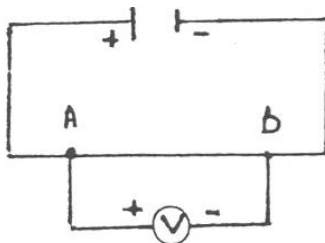
Mais si nous déplaçons la charge  $Q$  de  $A$  en  $C$  parallèlement à la ligne de force, il faut effectuer un travail qui est fonction de la différence de potentiel régnant entre  $A$  et  $C$ . Si les potentiels régnant en  $A$  et  $C$  sont respectivement  $V'$  et  $V$ , le travail effectué vaut  $T = Q.(V - V')$ . La différence de potentiel électrique entre deux points  $A$  et  $B$  est mesurée par le travail effectué par une charge unitaire déplacée du point  $A$  au point  $B$  c'est-à-dire par la différence des énergies potentielles

Si la charge électrique  $Q$  est amenée du potentiel 0 (terre) au potentiel  $V$ , la relation devient  $T = Q.V$ .

## Chapitre V : L'électromagnétisme

### 1.2.3 Mesure de la différence de potentiel – Voltmètre

La différence de potentiel se mesure à l'aide d'un voltmètre que l'on place entre deux points du circuit dont on veut mesurer la d.d.p., mais en dehors de celui-ci, en dérivation ; on dit qu'on le place en parallèle avec le récepteur.



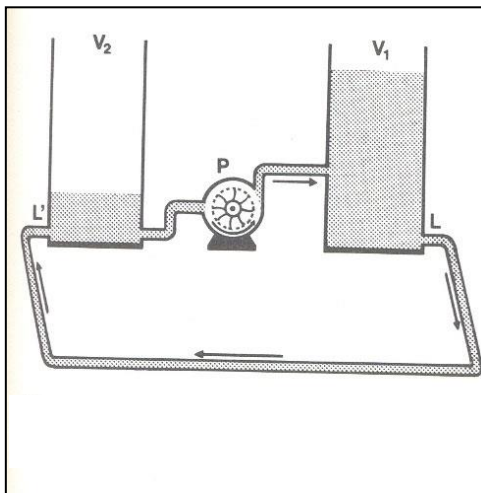
# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2 Electrodynamique

### 2.1 Courant électrique

#### 2.1.1 Conditions de production d'un courant électrique

L'électrostatique nous indique les conditions nécessaires à la production d'un courant électrique dans un conducteur. Si tous les points du conducteur sont au même potentiel, l'équilibre électrique est réalisé. Si deux points du conducteur sont à des potentiels différents, les charges électriques se mettent en mouvement et tendent à l'égalisation des potentiels. Un fil métallique reliant les armatures d'un condensateur chargé est le siège d'un courant électrique mais ce courant, qui cesse dès que les armatures du condensateur sont au même potentiel, est **momentané**. Pour produire un courant électrique **permanent** dans le fil, il faut maintenir une différence de potentiel permanente entre les extrémités du fil.



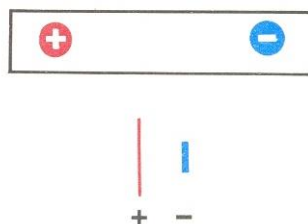
Le phénomène est analogue au courant d'eau qui se produit dans la canalisation LL' reliant les deux réservoirs  $V_1$  et  $V_2$ . Le courant liquide cesse dès que les surfaces libres de l'eau dans les vases sont au même niveau. Pour produire un courant liquide permanent dans la canalisation, il faut maintenir une différence de niveau permanente entre les surfaces libres de l'eau dans les vases. La pompe fournit à l'eau qui la traverse l'énergie potentielle en absorbant elle-même de l'énergie mécanique pour son fonctionnement. De même, pour produire un courant électrique permanent dans un fil métallique, il faut qu'une « pompe électrique » ramène les charges électriques du potentiel inférieur au potentiel supérieur. Ce travail exige de l'énergie que « la pompe

électrique » doit emprunter sous une forme quelconque. La « pompe électrique » est un transformateur d'énergie que nous appellerons générateur d'électricité.

Les générateurs électriques peuvent être classés en deux catégories :

- Les piles électriques et les accumulateurs qui utilisent l'énergie dégagée par une réaction chimique ;
- Les machines magnétoélectriques qui transforment en énergie électrique l'énergie mécanique nécessaires à leur rotation.

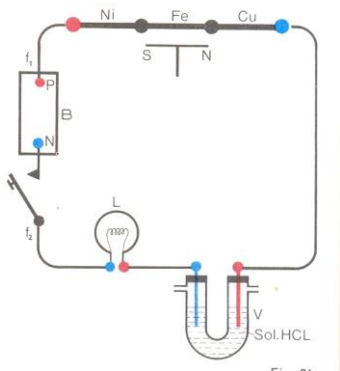
Schéma :



# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2.1.2 Effets du courant électrique

### 2.1.2.1 Expériences

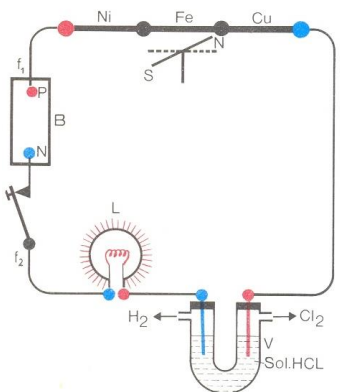


Montons en série c'est-à-dire les uns à la suite des autres par des fils de connections  $C_1$  et  $C_2$ :

- Une batterie d'accumulateur B dont la pièce métallique constituant la borne positive est colorée en rouge et la pièce métallique constituant la borne négative est colorée en bleu ;
- Un interrupteur constitue d'une lame en métal ;
- De gros fils Ni, Fe et Cu disposés parallèlement à une aiguille aimantée NS en équilibre sur un support vertical ;
- Un voltmètre constitue d'un tube en U comportant des tubulures latérales pour recueillir les gaz, contenant une solution de chlorure d'hydrogène dans laquelle plonge des électrodes de graphite ;

- Une petite lampe à incandescence.

Tant que la lame métallique de l'interrupteur n'est pas engagée c'est-à-dire tant que le circuit est ouvert, il ne se passe aucun phénomène dans le circuit. Par contre, dès que la lame est engagée c'est-à-dire dès que le circuit est fermé, il se produit des phénomènes dus au passage du courant électrique dans le circuit.



Nous observons :

1. Que le filament de la lampe devenu incandescent cède de la chaleur à l'air environnant ;
2. Que l'aiguille aimantée NS tend à se mettre en croix avec le fil de fer ;
3. Qu'il se dégage du dihydrogène et du dichlore aux bornes du voltmètre

Ouvrons le circuit : le courant électrique est interrompu et les phénomènes s'arrêtent immédiatement.

### 2.1.2.2 Conclusion

Le courant électrique a des effets calorifiques, magnétiques et chimiques.

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2.1.3 Le sens du courant

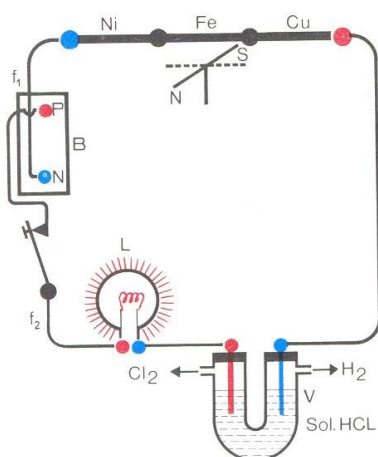


Fig. 83.

### 2.1.3.1 Expérience

Sans rien changer au circuit, permutons les connexions avec la batterie en reliant le fil  $C_2$  à la borne positive et le fil  $C_1$  à la borne négative. Fermons l'interrupteur. Observons que le filament devient rouge, que l'aiguille NS dévie en sens inverse du sens de la déviation de l'expérience précédente, que les dégagements d'hydrogène et de chlore sont également inverse dans le voltmètre.

### 2.1.3.2 Conclusion

L'inversion qui se produit dans les phénomènes magnétiques et chimiques prouve que le courant électrique a un sens.

Nous appellerons conventionnellement, comme l'a fait Ampère, sens du courant électrique le sens qui, va du pôle positif du générateur au pôle négatif du générateur

## 2.1.4 Interruption du courant électrique

### 2.1.4.1 Notions préliminaires

Le cuivre et le zinc se comportent différemment du verre ou du plastique. Tout se passe comme si les charges électriques positives ou négatives se déplaçaient facilement sur les barreaux métalliques alors qu'elles resteraient localisées sur les tiges de verre et de plastique. Nous appellerons **conducteurs** les corps qui se comportent comme le cuivre, **isolants** les corps qui se comportent comme le verre.

Les conducteurs de la chaleur sont conducteur électrique ; les isolant thermiques sont également isolants électriques. Citons comme conducteurs :

- Les métaux
- Le charbon
- Le corps humain
- Le sol
- Les solutions d'acides, de bases et de sels
- ...,

Comme isolant :

- Le verre
- L'ébonite
- La paraffine
- Le soufre
- La porcelaine
- La soie
- Le caoutchouc
- Le pétrole
- Les gaz secs

Entre ces deux catégories, il existe la gamme des corps plus ou moins conducteurs.



# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2.1.4.2 Définitions

**Isolant** : les électrons négatifs sont fortement liés à des noyaux positifs. Ils ne sont pas libres de passer d'un atome à l'autre. Les sauts électrons d'un atome à l'autre ne se produisent qu'au prix d'une dépense importante d'énergie. Un apport d'électrons à un isolant reste localisé à un endroit où il se produit ; un arrachement d'électrons à un isolant reste localisé à l'endroit où il se produit.

**Conducteur** : les électrons ne sont pas tous liés rigidement à des atomes déterminés : certains électrons qui se déplacent aisément dans l'espace inter atomique sont animés de mouvement désordonnés. Cette faculté explique que, lors d'un apport ou d'un arrachement électrons, l'excès ou le défaut d'électrons ne reste pas localisé à l'endroit où il se produit mais se répartit, à cause des répulsions des charges de même signe, sur le conducteur.

## 2.1.4.3 Expérience

Substituons à la lame métallique de l'interrupteur une lame de bois, de verre,... : le courant électrique est interrompu.

Remplaçons la solution de chlorure hydrogène par de l'alcool, de l'éther, du pétrole,... : le courant est interrompu.

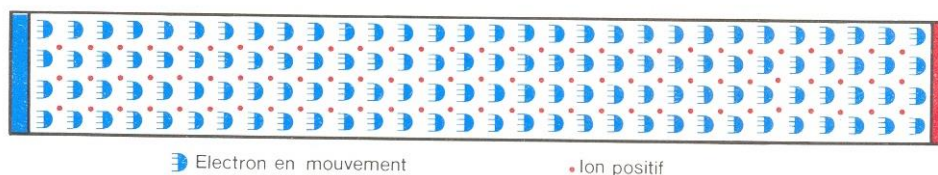
## 2.1.4.4 Conclusion

En conformité avec les notions préliminaires, les isolants ne laissent pas passer le courant électrique

## 2.1.5 Interprétation électronique du courant électrique

Le courant électrique n'a pas la même nature dans les liquides conducteurs dits électrolytes que dans les métaux. L'apparition de produit gazeux aux électrodes lors du passage du courant électrique dans la solution de chlorure d'hydrogène montre que le courant électrique est dû dans les électrolytes (acides, bases et sels) à un transport de matière ; par contre, l'absence de Cuivre dans le fer et de nickel dans le cuivre prouve que le courant électrique n'est dû dans les métaux à un transport de matière

Nous nous bornerons tout d'abord à étudier la nature du courant électrique dans les conducteurs métalliques. Nous savons que les électrons libres sont dans les conducteurs métalliques animés de mouvements parfaitement désordonnés : toute section d'un fil métallique est, par unité de temps, traversée par le même nombre d'électrons dans un sens comme dans l'autre. Lorsque nous relierons les extrémités du fil métallique aux bornes d'une batterie d'accumulateurs, il se produit un courant électrique qui se manifeste par un dégagement de chaleur et par une action sur l'aiguille aimantée. Puisque le courant électrique dans un fil conducteur n'est accompagné d'aucune migration de matière, les électrons, seuls, prennent un mouvement d'ensemble et se dirigent de la borne **négative**, borne qui repousse les électrons, à la borne **positive**, borne qui attire les électrons.



**Le sens du courant électrique est donc inverse au sens conventionnel du courant.**

## Chapitre V : L'électromagnétisme

### 2.1.6 Intensité du courant électrique

Nous pouvons caractériser un courant d'eau par son débit c'est-à-dire par la quantité d'eau qui s'écoule en l'unité de temps. De même, nous caractériserons le courant électrique qui circule dans un conducteur par son **intensité** c'est-à-dire par la **quantité d'électricité qui passe par seconde dans le conducteur**.

Si  $Q$  désigne la quantité d'électricité écoulee pendant le temps  $t$ , l'intensité  $I$  du courant, que nous supposons constante pendant ce temps, est définie par la relation :

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

Dans un circuit fermé, nous n'observons en aucun point du circuit une accumulation d'électricité. L'intensité du courant est donc la même dans toutes les parties du circuit simple.

Puisque le courant est constitué d'un flux d'électrons, son débit est le produit de la charge  $e$  d'un électron par le nombre  $n$  d'électrons écoulés par seconde à travers la section du conducteur.

$$I = n.e$$

### 2.1.7 Unité d'intensité – Ampère

**L'unité l'intensité de courant électrique est l'intensité d'un courant qui débite un coulomb par seconde**

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

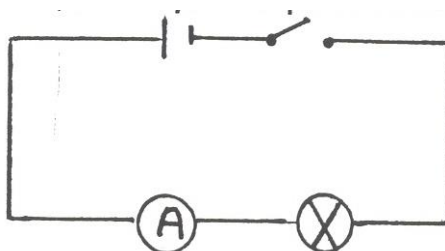
$$1C = 6.25.10^{18} \text{ électrons}$$

Pour fixer les idées :

- Fils de téléphone = quelques milliampères
- Lampe à incandescence = quelques ampères
- Radiateur électrique = quelques ampères
- Moteur de tram = quelques dizaines d'ampères

### 2.1.8 Ampèremètre

L'intensité du courant électrique se mesure à l'aide d'un ampèremètre que l'on place en série en un point du circuit.



# Chapitre V : L'électromagnétisme

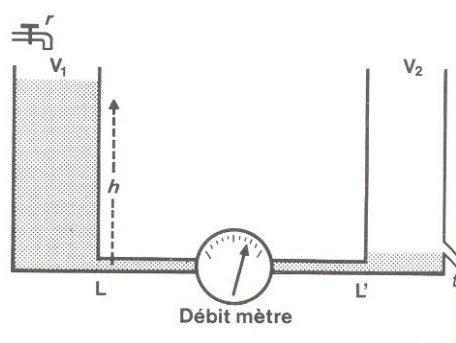
## 2.2 Courant électrique dans les solides

### 2.2.1 Loi d'Ohm

#### 2.2.1.1 Analogie hydraulique

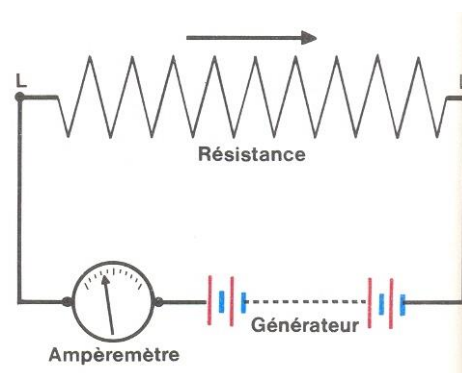
Considérons deux vases  $V_1$  et  $V_2$  reliés entre eux par une canalisation  $LL'$  de faible section. Le tube d'écoulement latéral  $t$  permet de maintenir constant le niveau de l'eau dans le vase  $V_2$ . Une ouverture appropriée du robinet  $r$ , permet de maintenir un niveau déterminé d'eau dans le vase  $V_1$  malgré l'écoulement.

La différence de niveau entre  $V_1$  et  $V_2$  produit dans la canalisation  $LL'$  un courant d'eau dont le débit est fonction de la **différence de niveau** entre  $V_1$  et  $V_2$ .



Considérons deux bornes métalliques  $L$  et  $L'$  reliées entre elles par un fil métallique. Les bornes  $L$  et  $L'$  sont reliées respectivement aux pôles positifs et aux pôles négatifs d'un générateur (batterie d'accumulateur). Nous pouvons, en changeant le nombre d'éléments de la batterie, faire varier la différence de potentiel entre les extrémités  $L$  et  $L'$  du fil.

La différence de potentiel que nous noterons dorénavant  $U$  ( $U=V-V'$ ) entre les bornes  $L$  et  $L'$  produit dans le fil  $LL'$  un courant électrique dont l'intensité est fonction de la **différence de potentiel** entre les deux bornes  $L$  et  $L'$ .



#### 2.2.1.2 Conclusion

L'expérience, suggérée par l'analogie hydraulique, conduit à la loi suivante connue sous le nom de loi d'Ohm. :

**L'intensité du courant électrique qui traverse un conducteur est directement proportionnelle à la différence de potentiel appliquée aux extrémités de ce conducteur.**

$$\frac{U}{I} = R$$

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2.2.2 Résistance

Que signifie le rapport  $R$  constant pour un conducteur déterminé ? La même tension ne produit pas la même intensité de courant dans tous les conducteurs : pour une tension déterminée, l'intensité du courant est d'autant plus faible que le coefficient  $R$  est plus grand. Le coefficient  $R$ , qui caractérise un conducteur, nous apparaît donc comme la résistance qu'oppose le conducteur au passage du courant. D'une manière analogue, le débit dans une canalisation d'eau est, pour une différence de niveau déterminée, d'autant plus faible que la canalisation offre plus de difficulté, plus de résistance au passage de l'eau.

## 2.2.3 Unité de résistance

La relation  $R = U/I$  permet de fixer l'unité de résistance.

**L'unité de résistance est la résistance d'un conducteur qui, soumis à une différence de potentiel de un volt, laisse passer un courant d'une intensité de un ampère.** Cette unité s'appelle le **Ohm** ( $\Omega$ ).

$$1\text{Ohm} = \frac{1\text{Volt}}{1\text{Ampère}}$$

## 2.2.4 Loi de Pouillet

La résistance d'un fil conducteur est directement proportionnelle à la longueur, inversement proportionnelle à la section, directement proportionnelle à un coefficient particulier à chaque conducteur que nous appelons résistance spécifique ou résistivité.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

## 2.3 Energie électrique, effet Joule

### 2.3.1 Energie et puissance électrique

L'énergie  $E$  dégagée par un courant électrique se déduit directement de la relation :  $E = Q \cdot (V - V')$  dans laquelle nous substituons à  $Q$  la valeur correspondante  $It$  et à la valeur  $V - V'$  la tension  $U$ . Nous avons donc :  $E = U \cdot I \cdot t$

L'énergie électrique s'exprime en **joules** si la différence de potentiel est exprimée en volts, l'intensité en ampères et le temps en secondes. Fréquemment, les électriciens emploient une autre unité d'énergie : le **kilowattheure** (kWh). Le kilowattheure est l'énergie dépensée par un courant électrique d'une puissance de 1000 watts pendant une heure. Donc,

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

La puissance du courant électrique c'est-à-dire l'énergie fournie par unité de temps est donnée par la relation :

$$P = U \cdot I$$

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2.3.2 Effet joule

La dissipation sous forme de chaleur de l'énergie électrique d'un courant circulant dans un conducteur est connue sous le nom d'**effet Joule**.

La loi d'Ohm nous donne :

$$U = R.I$$

Si l'énergie dissipée par effet joule :

$$E = U.I.t ; E = R.I^2.t$$

Si l'énergie dissipée par effet joule est exprimée en kilocalories,

$$Q = 240.10^{-6}.R.I^2.t$$

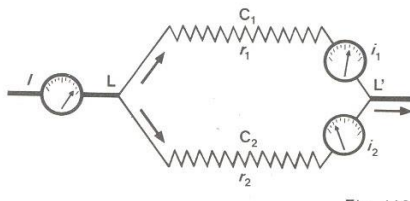
L'effet joule peut-être vérifié expérimentalement.

## 2.3.3 Applications

Chauffage, éclairage, fusible,...

## 2.4 Courants dérivés

### 2.4.1 Résistances en parallèle



Considérons un circuit qui se partage entre deux points L et L' en deux branches C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>. Chacune de ces branches constitue un circuit dérivé. Recherchons les relations entre les intensités des courants dans les circuits dérivés et l'intensité du courant dans le circuit principal.

Désignons par I l'intensité du courant principal, par i<sub>1</sub> et i<sub>2</sub> les intensités des courants dérivés, par r<sub>1</sub> et r<sub>2</sub> les résistances et par U la d.d.p. entre les points L et L'.

- Puisqu'il ne peut y avoir accumulation d'électricité en un point du circuit, nous devons avoir :  $I = i_1 + i_2$

**La somme des intensités des courants dérivés est égale à l'intensité du courant principal.**

- Appliquons la loi d'Ohm à C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> :  $U = i_1.r_1$  et  $U = i_2.r_2$

Nous en tirons :

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

**Les intensités des courants dans les circuits dérivés sont inversement proportionnelles aux résistances de ces circuits.**

## Chapitre V : L'électromagnétisme

- Désignons par  $R$  la résistance unique qui, substituée aux circuits dérivés  $C_1$  et  $C_2$ , ne modifierait pas l'intensité  $I$  du courant principal. Cette résistance, qui est appelée **résistance équivalente**, est telle que :

$$U = R.I$$

or, 
$$i_1 = \frac{U}{r_1} ; \quad i_2 = \frac{U}{r_2} ; \quad I = \frac{U}{R}$$

Remplaçons dans la relation précédente et nous obtenons :

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2}$$

ou

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

### 2.4.2 Applications

#### 2.4.2.1 Voltmètre

Pour mesurer la tension qui règne entre deux points A et B, il faut toujours placer le voltmètre en dérivation (parallèle). Il est donc traverser par un courant très faible qui ne produit pratiquement aucune modification du courant qui passait dans le circuit, entre les points A et B, avant que le voltmètre ne soit branché.

#### 2.4.2.2 Groupement des lampes

Les lampes sont placées en parallèle dans les habitations

## 2.5 Courant dans les liquides

### 2.5.1 Electrolyse

#### 2.5.1.1 Généralités

Si nous intercalons un liquide dans un circuit électrique formé d'un générateur et de fils conducteurs, deux cas peuvent se présenter :

1. Le courant ne passe pas ; le liquide est isolant : tels sont l'eau pure, le pétrole, l'alcool, l'éther,...
2. Le courant passe ; le liquide est conducteur. Parmi les liquides conducteurs, nous distinguons :
  - a) Les liquides qui ne subissent aucune modification chimique sous l'action du courant et qui se comportent donc comme des conducteurs métalliques : tels sont le mercure et les métaux en fusion ;
  - b) Les liquides que le courant décompose : tels sont les sels et les bases en fusion ou en dissolution dans l'eau, les acides en dissolution dans l'eau (les acides à l'état liquide ne sont pas, en l'absence d'eau, conducteur d'électricité).

## Chapitre V : L'électromagnétisme

Nous appellerons **électrolyse** le phénomène de décomposition chimique produit par le courant électrique ; **électrolyte**, le liquide qui subit la décomposition ; **électrode**, les conducteurs plongeant dans l'électrolyte et reliés au générateur.

L'**oxydation** se fait à l'**anode** (électrode **positive**) et la **réduction** se fait à la **cathode** (électrode **négative**).

### 2.5.1.2 Mécanisme de l'électrolyse

La conduction électrique dans les électrolytes est tout à fait différente de la conduction dans les métaux : tandis que le courant électrique dans les métaux est constitué d'un flux d'électrons, le courant électrique dans les électrolytes est constitué d'un flux d'ions (cations) vers l'électrode négative et d'un flux d'ions (anions) vers l'électrode positive ; tandis que le courant électrique dans les métaux n'est dû à aucune migration de particules matérielles, le courant électrique dans les électrolytes est dû à deux migrations de particules matérielles.

Le mécanisme d'électrolyse s'explique aisément.

#### 2.5.1.2.1 Electrolyse de chlorure d'hydrogène

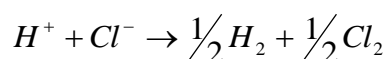
Les ions  $H^+$  attirés par l'électrode négative (par excès d'électrons) se combinent avec un électron pour former les atomes H qui s'unissent, deux à deux, pour former des molécules de dihydrogène  $H_2$

La réaction est :  $H^+ + 1e^- \rightarrow \frac{1}{2}H_2$  Réduction (cathode)

Les ions  $Cl^-$  attirés par l'électrode positive (déficit d'électrons) cèdent leurs électrons supplémentaires pour former les atomes Cl qui s'unissent, deux à deux, pour former les molécules de dichlore  $Cl_2$ .

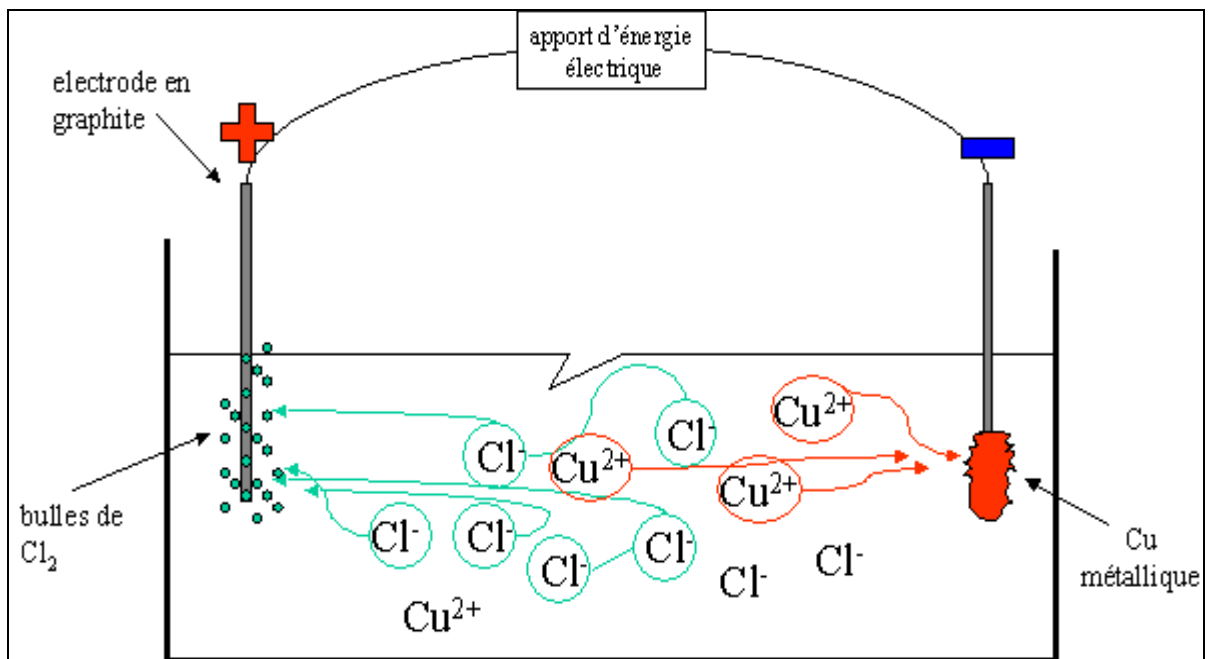
La réaction est :  $Cl^- \rightarrow \frac{1}{2}Cl_2 + 1e^-$  Oxydation (anode)

La réaction globale s'écrit :



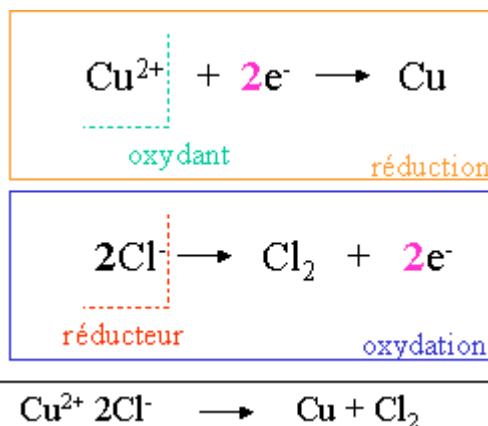
# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2.5.1.2.2 Electrolyse du $\text{CuCl}_2$ :



Le  $\text{CuCl}_2$  en solution (ions  $\text{Cu}^{2+}$  et  $2\text{Cl}^-$ ), est mis en présence d'électrodes de graphite auxquelles sont appliquées une différence de potentiel. A la cathode, les ions  $\text{Cu}^{2+}$  sont réduits en cuivre métallique qui se dépose sur l'électrode. A l'anode, les ions  $\text{Cl}^-$  se transforment en  $\text{Cl}_2$  gazeux et du dichlore est dégagé, il y a oxydation à l'anode qui est positive.

Les signes sont donc opposés à l'anode et à la cathode par rapport au phénomène des piles !



*Expliquer l'électrolyse du chlorure de plomb (II) et  $\text{NaCl}$  fondu ?*



# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2.5.2 Piles

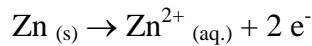
### 2.5.2.1 Piles hydroélectriques

*Principe général d'une pile* : Transformation d'énergie chimique en énergie électrique.  
Nous définirons le courant comme étant un déplacement d'électrons.

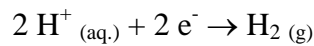
#### 2.5.2.1.1 La pile Volta (en milieu $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$ )

Le courant électrique est en fait produit grâce à une réaction chimique entre les différentes substances constitutives de cette pile. Dès que l'on connecte un disque de zinc à un disque de cuivre, la pile débite du courant.

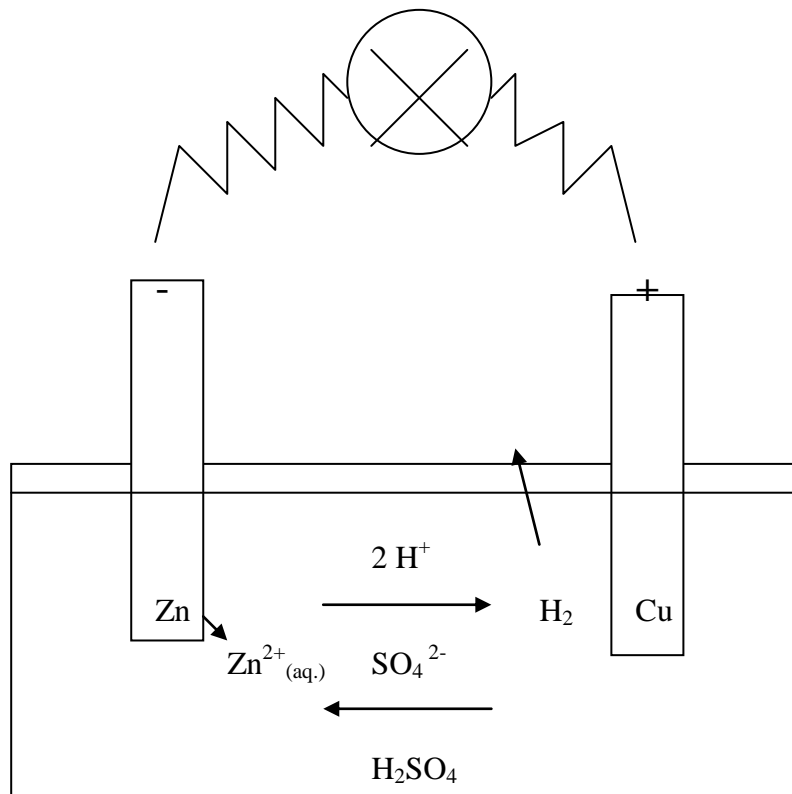
- Au niveau du  $\text{Zn}_{(s)}$  : Le zinc perd des électrons et devient des ions  $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$  (**Oxydation**)



- Au niveau du  $\text{Cu}_{(s)}$  : Les ions  $\text{H}^+$  provenant de la solution d'électrolyte acide captent les  $e^-$  et deviennent des molécules de dihydrogène  $\text{H}_2$  (**Réduction**)



Nous pouvons schématiser le phénomène comme suit :



# Chapitre V : L'électromagnétisme

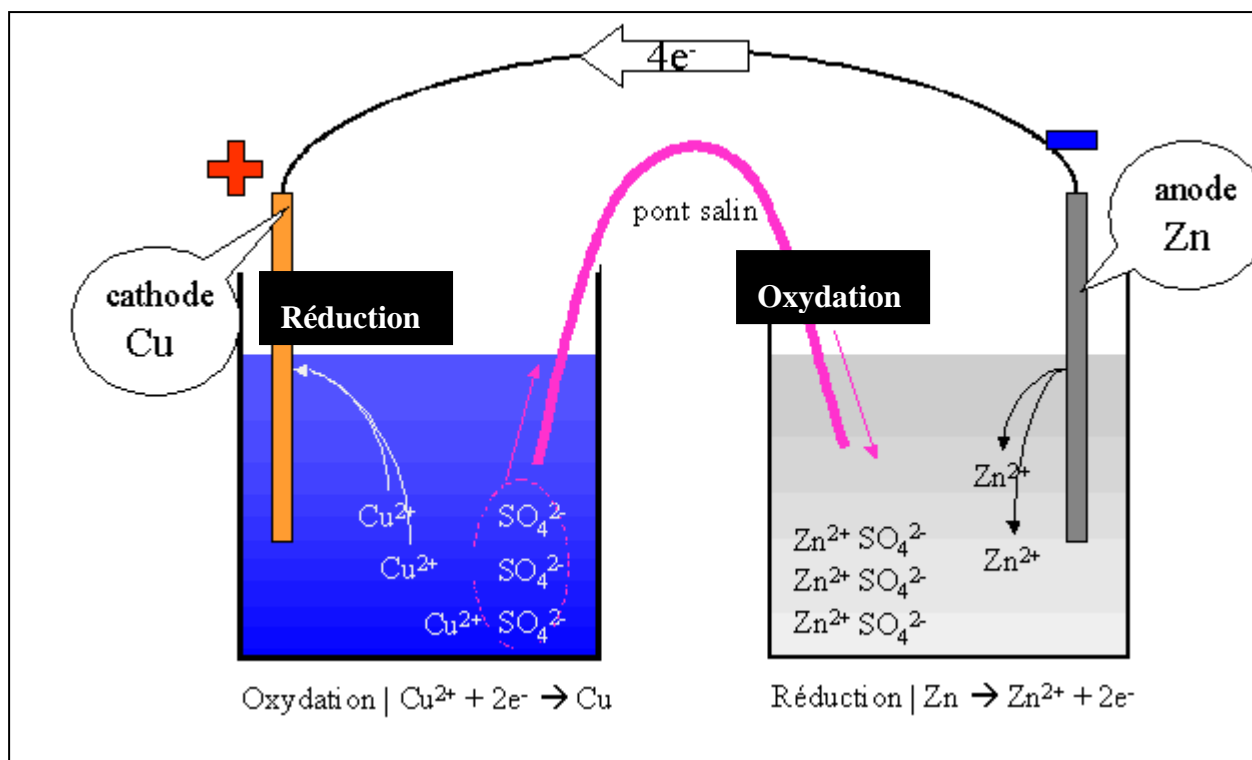
## 2.5.2.1.2 La pile Daniell

Deux couples sont en présence dans cette pile :  $\text{Cu} / \text{Cu}^{2+} (\text{SO}_4^{2-})$  et  $\text{Zn} / \text{Zn}^{2+} (\text{SO}_4^{2-})$ . Le couple  $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}$  fera une réduction et le couple  $\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}$  fera une oxydation.

L'oxydation se fait à l'anode (électrode **négative**) et la réduction se fait à la cathode (électrode **positive**).

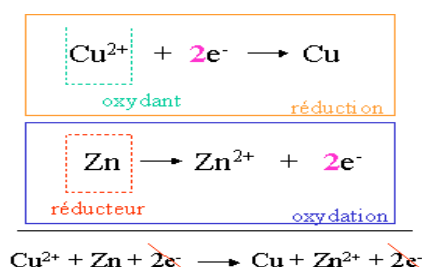
Au départ,  $[\text{Cu}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}]$  et  $[\text{Zn}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}]$

En fonctionnement,  $[\text{Cu}^{2+}] < [\text{SO}_4^{2-}]$  et  $[\text{Zn}^{2+}] > [\text{SO}_4^{2-}]$ .



L'électrode de cuivre augmente de masse au cours du temps tandis que l'électrode de zinc va diminuer de masse au cours du temps.

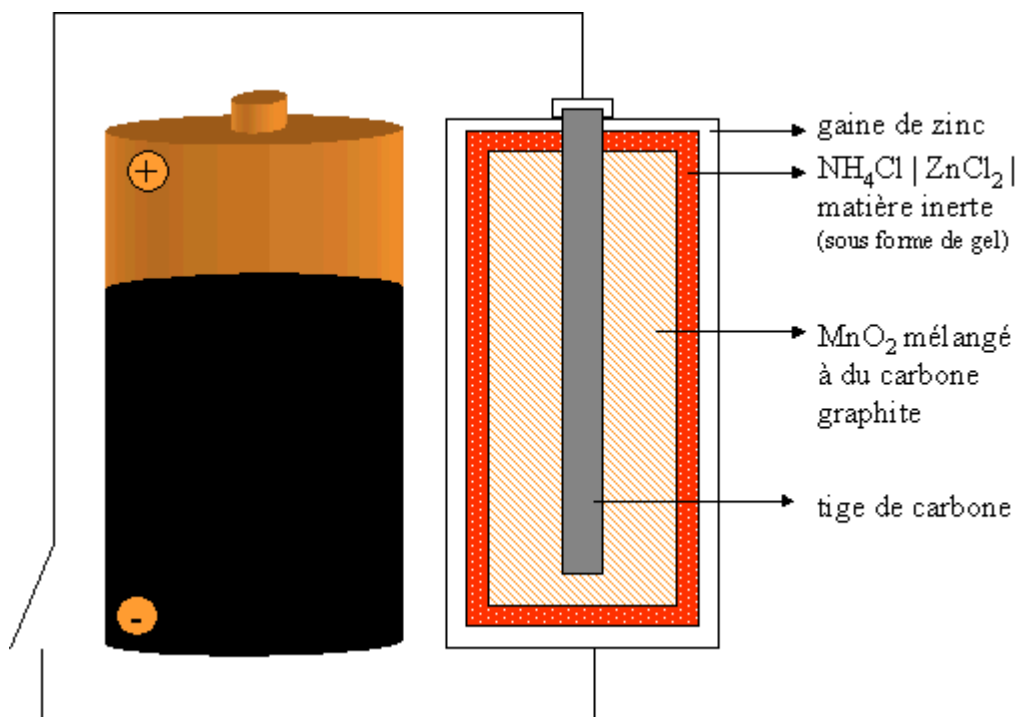
Le pont salin va permettre aux ions  $\text{SO}_4^{2-}$  de circuler d'un berlin à l'autre, afin que l'électroneutralité soit maintenue dans chacun des berlins. Ce pont est constitué soit d'un papier mouillé avec une solution d'un sel ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ , ...) soit d'un pont liquide constitué de la solution saline.



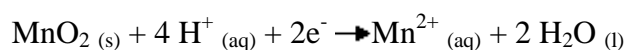
## Chapitre V : L'électromagnétisme

### 2.5.2.1.3 La pile Leclanché, pile saline :

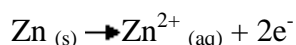
Les deux couples redox de cette pile sont :  $\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$



En fonctionnement, à la borne positive (cathode), une réaction de réduction se fait : la réduction de  $\text{MnO}_2$  en  $\text{Mn}^{2+}$  suivant l'équation ci-dessous :



A la borne négative, anode, c'est une réaction d'oxydation qui s'effectue :

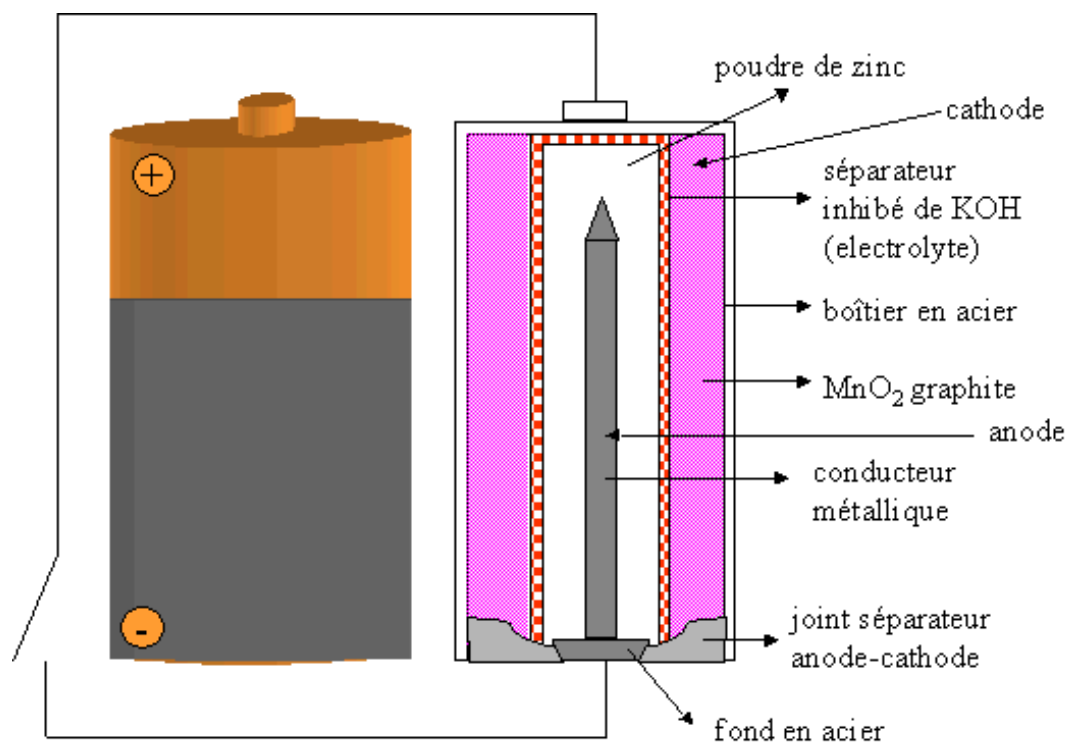


Le gros problème de cette pile est que son "emballage" réagit ! En effet, l'enveloppe de Zinc s'amincit au cours du temps et finit par percer. La pile finit par se trouer et la solution qu'elle contient s'écoule dans l'appareil. La solution étant corrosive, elle cause des dégâts à terme à l'appareil.

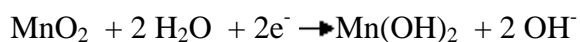
## Chapitre V : L'électromagnétisme

### 2.5.2.1.4 La pile Alcaline :

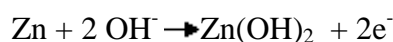
Il s'agit d'une variante de la pile Leclanché. Cette pile est appelée alcaline car elle fonctionne en milieu basique (KOH).



En fonctionnement, à la borne positive (cathode), une réaction de réduction se fait : la réduction de MnO<sub>2</sub> en Mn<sup>2+</sup> suivant l'équation ci-dessous :



A la borne négative, anode, c'est une réaction d'oxydation qui s'effectue :



Avantages de cette pile :

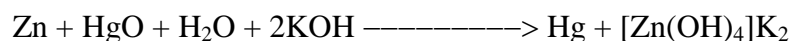
- Elle est plus étanche que la pile Leclanché car le zinc ne constitue plus le boîtier extérieur.
- Elle a une durée de vie plus longue car elle renferme plus de MnO<sub>2</sub> (oxydant) et de Zn (réducteur) dans le même volume qu'une pile Leclanché.

## Chapitre V : L'électromagnétisme

Il existe encore d'autres types de piles qui ne seront plus détaillées dans ce cours.

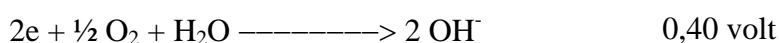
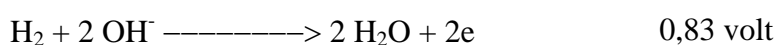
<i>Pile au mercure</i>		Zn/Zn <sup>++</sup> et Hg/Hg <sup>++</sup>
------------------------	--	--

Réaction en fonctionnement :



<i>Pile à combustible</i>	1,23 volt	H <sub>2</sub> /H <sup>+</sup> et OH <sup>-</sup> /O <sub>2</sub>
---------------------------	-----------	---

Réactions en fonctionnement :



Les accumulateurs fonctionnent tantôt en pile, tantôt en électrolyse.

Ex : La batterie de voiture, les piles rechargeables, ...

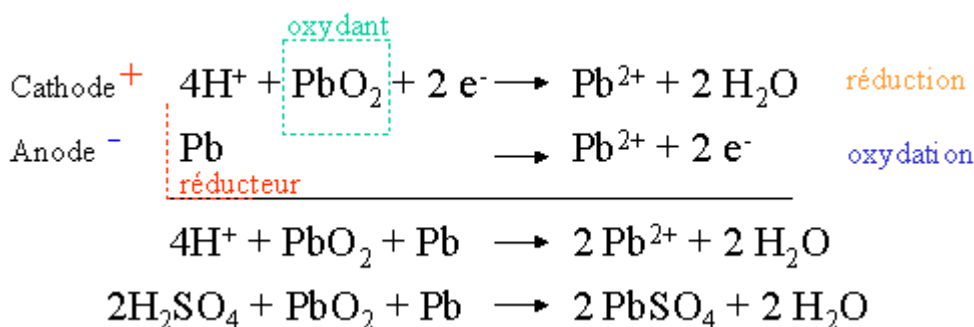
### 2.5.2.1.5 L'accumulateur au plomb (batterie de voiture)

Composition :

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3M) (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O distillée)
- Electrodes de plomb
- Electrodes de plomb recouvertes de PbO<sub>2</sub>

Les couples de cette réaction sont : PbO<sub>2</sub> / Pb<sup>2+</sup> et Pb<sup>2+</sup> / Pb.

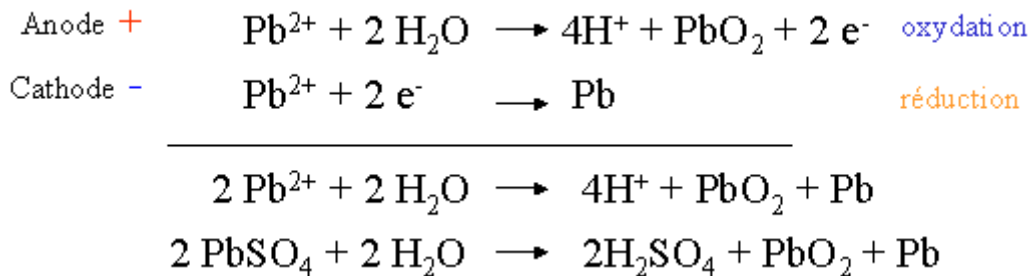
1. *fonctionnement en pile (décharge) lors du démarrage, utilisation du matériel électrique à bord du véhicule, ...*



La densité de la solution diminue puisqu'il y a transformation de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en H<sub>2</sub>O.

## Chapitre V : L'électromagnétisme

2. fonctionnement en électrolyse (charge) lorsque la voiture roule (syst. dynamo).



La densité de la solution augmente au cours du temps.

L'accumulateur peut donc théoriquement charger et décharger autant de fois que l'on veut. En pratique, il existe des limites physiques et la durée de vie d'un accumulateur est limitée.

### 2.5.2.1.6 Caractéristiques d'une pile

#### 2.5.2.1.6.1 Force électromotrice

La différence de potentiel observée aux bornes d'une pile à **circuit ouvert** constitue la **force électromotrice**  $E$  de la pile. La force électromotrice d'une pile est indépendante des dimensions des éléments constitutifs, du potentiel auquel peut être portée une de ses bornes ; elle dépend uniquement de la nature des substances constitutives.

Elle représente l'énergie maximale que peut fournir la pile par unité de charge ; elle a même nature que la différence de potentiel. Ce n'est donc plus une force au sens de la mécanique.

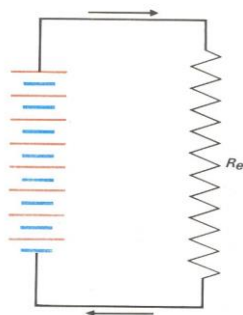
#### 2.5.2.1.6.2 Résistance interne

Les piles, comme tout conducteur, opposent une résistance au passage du courant. Cette résistance, dépend naturellement du type de pile envisagé mais aussi de la surface des électrodes, de la distance qui les sépare, de la présence ou l'absence d'un vase poreux.

### 2.5.2.2 Généralisation de la loi d'Ohm

#### 2.5.2.2.1 Groupement en série

Dans ce genre d'association, le pôle positif du premier générateur est relié au pôle négatif du second, le pôle positif du second au pôle négatif du troisième et ainsi de suite... Associations  $n$  générateurs identiques de force électromotrice  $E$  et de résistance interne  $r_i$ .

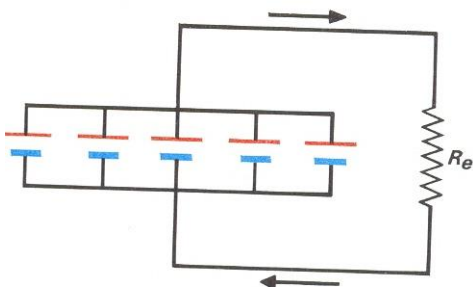


Supposons le circuit ouvert et le pôle négatif du premier générateur mis à la terre. Le pôle négatif du premier générateur est donc au potentiel 0 et le pôle positif au potentiel  $E$  ; le pôle négatif du second générateur est au potentiel  $E$  et le pôle positif au potentiel  $E + E$  c'est-à-dire  $2E$  et ainsi de suite.

La force électromotrice du groupement est égale à la somme des forces électromotrices des générateurs.

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 2.5.2.2.2 Groupement en parallèle

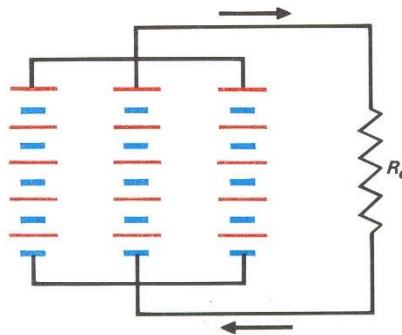


Dans ce genre d'association, tous les pôles de même nom sont réunis entre eux. Associons  $n$  générateurs identiques de force électromotrice  $E$  et de résistance interne  $r_i$ . La force électromotrice est  $E$ . En circuit fermé, le courant passe le circuit extérieur de résistance  $R_e$  puis dans les circuits dérivés dont la résistance est pour chacun d'eux  $r_i$ . Or la résistance équivalente  $R'$  des circuits dérivés est :  $r_i/n$ .

$$I = \frac{E}{R_e + \frac{r_i}{n}}$$

## 2.5.2.2.3 Groupement mixte

Le groupement mixte consiste à grouper les  $n$  générateurs en  $q$  séries comprenant chacune  $p$  générateurs, en séries étant relié en parallèle.



## 2.6 Effets du courant électrique

### 2.6.1 Effets physiologiques

#### *Le courant électrique est-il dangereux ?*

Il faut savoir que, si la tension est assez importante, n'importe quelle matière peut devenir conductrice. C'est le cas de l'air lors d'un orage, ce qui provoque des éclairs.

Nous ne sommes pas de mauvais conducteurs.

A partir de 25 V, l'électricité peut nous traverser. Donc, pas de risque avec l'électricité provenant d'une pile ou d'un transformateur 12 V (dit « très basse tension ») du style de celui que vous utilisez pour recharger votre GSM. Par contre, le courant est distribué à la prise avec du 220 V : attention !

Mais la tension ne dit pas si la décharge est dangereuse ou pas. Elle dit seulement qu'il y a une décharge. C'est l'intensité qui détermine le danger. C'est la quantité d'électricité qui nous traverse qui importe. L'effet calorifique de l'électricité peut causer des lésions mortelles.

## Chapitre V : L'électromagnétisme

<i>Tension (V)</i>	<i>Intensité du courant (mA)</i>	<i>Sensation</i>
220	0,9 à 1,2	A peine perceptible à l'endroit de contact
220	1,2 à 1,6	Fourmillement dans la main
220	1,6 à 2,2	La main est endormie
220	2,2 à 2,8	Perceptible dans les articulation de la main
220	2,8 à 3,5	Légère crispation de la main
220	3,5 à 4,5	Crispation plus sévère ; l'avant bras est engourdi
220	4,5 à 5,0	Légères crampes dans l'avant bras
220	5,0 à 9,0	Crampes dans l'avant bras
220	9,0 à 15	La main ne peut plus lâcher l'objet
220	15 à 25	Fortes crampes dans le thorax : seuil d'asphyxie
220	65 à 100	Arrêt cardiaque
220	2000 à 3000	Inhibitions des centres nerveux (perte de connaissance immédiate)

La quantité de chaleur dégagée explique la survenue de brûlure liées à l'effet thermique de l'électricité, c'est-à-dire à l'énergie dissipée le long du trajet du courant ( $W=U.I.t$ ).

### 2.6.2 Comment se protéger et protéger sont habitation

#### 2.6.2.1 Prise de terre

Dans les installations domestiques, il y a des prises « avec terre » comportant deux bornes femelles et une borne mâle. Cette borne appelée terre est reliée par des conducteurs à un piquet métallique enfoncé dans le sol (ou pour les nouvelles maisons un boucle de terre). Si elle ne paraît pas indispensable au fonctionnement d'un appareil, la prise de terre joue un rôle de sécurité très important.

Lorsqu'on démonte une prise, on reconnaît la terre à sa gaine isolante verte et jaune.



## Chapitre V : L'électromagnétisme

*Exemple : un fil électrique dont l'isolant est déchiré peut entrer accidentellement en contact avec la carcasse métallique d'une machine à laver. Lorsque l'utilisateur touche la machine, il est relié au fil électrique : il peut être électrocuté sans avoir commis d'imprudence. Pour éviter ce genre d'accident, les installations électriques possèdent un fil de terre. Ce fil est relié à la carcasse de la machine. Lorsque le fil électrique mal isolé touche la carcasse, un courant circule dans le fil de terre, et le différentiel coupe aussitôt le circuit.*

### 2.6.2.2 Disjoncteur différentiel (également appelé différentiel)

Le courant parcourt le chemin suivant :

1. fil de phase du réseau de distribution
2. fil de phase de l'installation électrique de la maison
3. et retour par le fil neutre de l'installation électrique de la maison
4. fil neutre du réseau de distribution

Le différentiel mesure en permanence le courant sur le neutre et la phase de l'installation électrique. S'il détecte une différence de courant entre les deux fils il coupe le courant sur le circuit. En d'autres mots, il réagit à la plus faible perte de courant en interrompant le courant sur le circuit.

N.B. : Les installations électriques doivent être équipées d'un différentiel général de 300 mA. Un différentiel supplémentaire de 30 mA est obligatoire pour les locaux humides.

Mais attention il ne protège pas de tous les accidents !

<i>Lequel ?</i>
-----------------

### 2.6.2.3 Le fusible

Il protège l'installation électrique de la maison de la surintensité.

**Surintensité :** un conducteur dans un circuit fermé peut laisser passer sans dommage un courant électrique qui dépend de la section. Si l'intensité de ce courant est trop élevée, le conducteur s'échauffe et sa gaine isolante peut s'enflammer et provoquer un incendie.

Les fusibles sont des portions de circuit qui fondent pour une valeur précise de l'intensité de courant, valeur adaptée aux appareils qu'ils protègent.

<i>Comment avoir une surintensité ? (Envisager deux cas)</i>
--

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 3 Electromagnétisme

### 3.1 Définitions

**Magnétisme** : Partie de la physique dans laquelle on étudie les propriétés des aimants.

**Aimant** : Matériau servant à produire un champ magnétique extérieur. C'est un solide capable d'attirer des matières tel que du fer, du nickel,...

**Aimant naturel** : Trouver tel quel dans l'écorce terrestre (ex. :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  = magnétite)

**Aimant artificiel** : Obtenu par frottement d'un acier au moyen d'un aimant naturel ou en le plaçant dans un solénoïde.

**Solénoïde** : fil électrique enroulé en spirale.

**Corps magnétique** : un corps magnétique est un corps attiré par un aimant.

**Champ magnétique** : est la région de l'espace où un aimant exerce son influence.

Lorsqu'on place des limailles de fer au voisinage d'un aimant la limaille se dispose selon une géométrie déterminée. Elles forment des lignes appelées lignes de force d'un champ magnétique. On leur attribue un sens : elles sortent toujours par le pôle N et entre toujours par le pôle S.

L'ensemble des lignes de forces constitue le spectre magnétique d'un aimant.

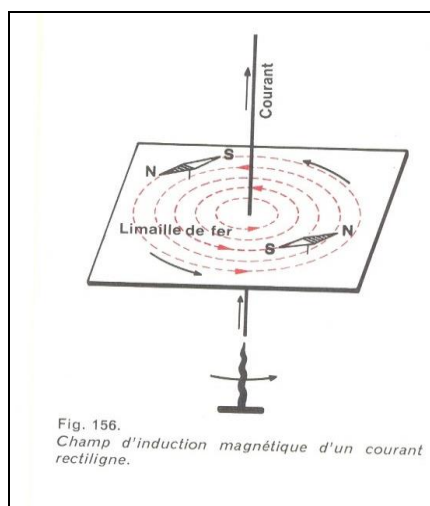
Remarque : on ne peut pas isoler un pôle d'un aimant.

### 3.2 Loi du magnétisme

Des pôles de même nom se repoussent et inversement.

### 3.3 L'induction magnétique

Un courant a des effets magnétiques : une aiguille aimantée, disposée parallèlement à un fil conducteur, s'écarte de sa position d'équilibre lorsque le fil est parcouru par un courant. La déviation de l'aiguille cesse dès que le courant est interrompu.



# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 3.4 L'électro-aimant

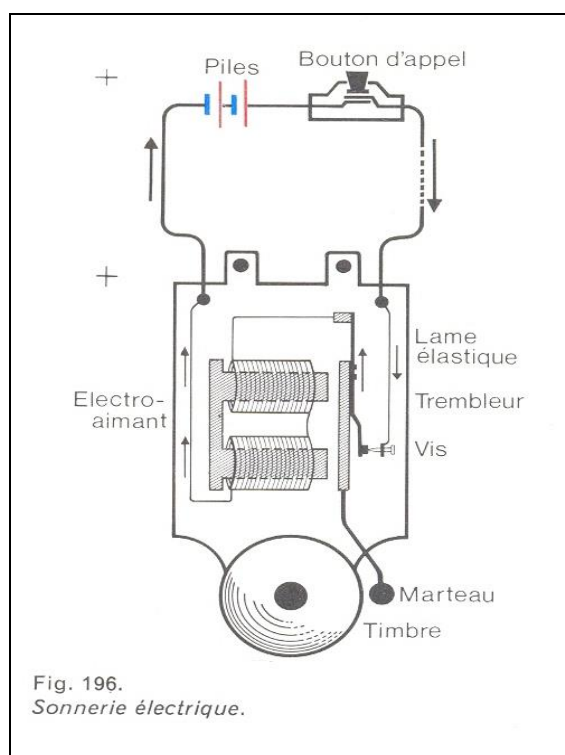
C'est un aimant temporaire qui ne dure que le temps de passage du courant.

Il est constitué d'un noyau de fer doux sur lequel est enroulé un fil conducteur isolé. Lorsqu'un courant, même de faible intensité, est lancé dans le solénoïde, le noyau s'aimante ; lorsque le courant est interrompu, le noyau ne conserve que de très faibles propriétés magnétiques.



### 3.4.1 Sonnerie électrique

La sonnerie électrique comporte un électro-aimant, un trembleur et un timbre. Le trembleur fixé à une lame élastique s'appuie sur une vis. L'une des bornes d'un générateur est en relation l'une des extrémités du fils conducteur de l'électro-aimant ; l'autre borne est reliée par l'intermédiaire du bouton d'appel, de la vis et du trembleur à l'autre extrémité du fil de l'électro-aimant. Lorsqu'on appuie sur le bouton d'appel, le courant passe dans l'électro-aimant : ce dernier attire le trembleur dont le marteau frappe le timbre. Mais par suite du déplacement du trembleur, le contact entre la vis et le trembleur est rompu.



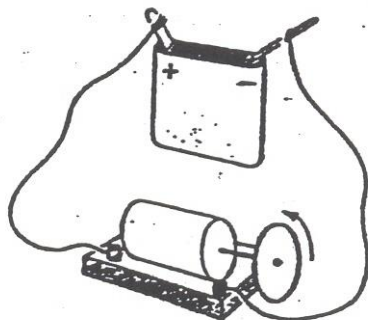
# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 4 Notions de courant alternatif

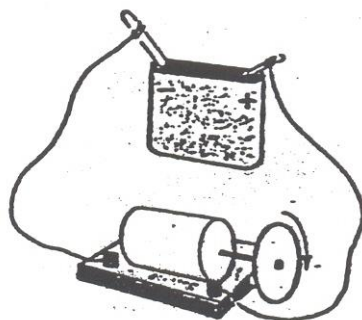
Le fabricant différencie les deux bornes d'une pile en notant l'une + et l'autre -.

Pour alimenter une lampe avec une pile nous ne nous préoccupons pas de cette indication ; mais réalisons les deux expériences suivantes.

1. Branchons un moteur aux deux bornes d'une pile ; il tourne dans un certain sens.



2. Invertissons les bornes de la pile ; il tourne en sens inverse.



Donc, les deux bornes d'une pile ne sont pas identiques puisque le sens de rotation du moteur dépend du branchement. C'est pourquoi elles sont notées différemment.

Un générateur de tension continue exerce toujours une action de même sens sur les électrons. La vitesse des électrons est toujours la même, quelle que soit l'intensité du courant. Seul le nombre d'électrons en mouvement, pendant une durée déterminée, varie selon l'intensité. En courant continu, les électrons se déplacent toujours dans le même sens du pôle - vers le pôle +.

Il existe d'autres générateurs dont les bornes ne sont pas différenciées (générateur de bicyclette, par exemple) ; ils débitent un autre type de courant semblable à celui délivré par les prises de courant du secteur et est appelé du courant alternatif.

Si l'on fait tourner lentement (à la main) le galet d'une dynamo, toujours dans le même sens, l'aiguille d'un ampèremètre à 0 central dévie alternativement à droite et à gauche. Le courant produit circule donc alternativement dans un sens, puis dans l'autre : c'est un courant alternatif.

Le courant alternatif est le courant industriel.

## Chapitre V : L'électromagnétisme

Un générateur de tension alternative, ou alternateur, exerce sur les électrons une action dont le sens change constamment. Les électrons se déplacent dans un sens, s'arrêtent puis repartent en sens contraire. Le changement de sens se produit à des intervalles de temps réguliers et très rapprochés. A un instant donné, tous les électrons ont la même vitesse et se déplacent dans le même sens.

### 4.1 Comment fonctionne la génératrice de la bicyclette ?

#### 4.1.1 Aimants

Un aimant possède deux pôles (extrémités où les forces attractives sont les plus importantes) : un pôle nord et un pôle sud.

***Deux pôles de même nom se repoussent et deux pôles de nom contraire s'attirent.***

#### 4.1.2 Un aimant peut produire un courant dans un circuit

Si on déplace un aimant devant une bobine, le détecteur de courant met en évidence l'apparition d'un courant dans le circuit : on dit que l'aimant induit un courant dans la bobine ; le courant cesse quand le déplacement s'arrête.

Le sens du courant induit dépend de la nature du pôle le plus proche de la bobine et du sens de son déplacement ; par exemple, il revient au même d'approcher un pôle nord ou d'éloigner un pôle sud d'une même extrémité de la bobine.

Si l'aimant se déplace alternativement dans les deux sens, on obtient dans la bobine un courant qui circule tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre sens ; c'est un courant **alternatif**. Ce phénomène apparaît également lorsque l'aimant tourne au voisinage de la bobine (principe de l'alternateur qui n'est pas une pompe à électron comme la pile, il ne fait pas circuler les électrons tout au long des conducteurs mais il les fait osciller autour d'une position moyenne).

# Chapitre V : L'électromagnétisme

## 5 Questions résumés

- Qu'est-ce qu'un récepteur, un générateur ?
- Différencier les isolants et les conducteurs ?
- Qu'appelle-t-on électricité statique ?
- Qu'est-ce qu'un courant électrique ?
- Quel est le rôle du générateur ?
- Expliquer le sens conventionnel du courant et faire une représentation schématique d'un circuit ?
- Qu'est-ce qu'une différence de potentiel, donner son unité et l'appareil de mesure ?
- Définir l'intensité du courant avec la formule, son utilité et l'appareil de mesure ?
- Qu'est-ce qu'une résistance ? (+ unité et appareil de mesure)
- Expliquer la loi d'Ohm ?
- Que signifie la puissance d'un micro-onde de 600 W ?
- Qu'est-ce que l'énergie électrique d'un appareil ?
- Qu'est-ce que le kilowattheure ?
- Expliquer l'effet Joule ?
- Définir le courant alternatif ?
- Expliquer ce qu'est un aimant ?
- Pourquoi un aimant peut-il produire de l'électricité ?
- Sachant que le prix du kWh est de 0.2 €, calculer le prix du fonctionnement d'une lampe de 60 W qui fonctionne pendant deux heures ?
- Expliquer le fonctionnement de la pile de Volta ?