

# Electricité

## Electrostatique

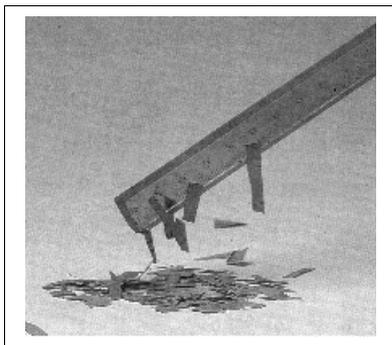
Cette partie du cours de physique étudie le comportement des charges électriques au repos ainsi que l'influence de celles-ci les unes sur les autres

### 1. Electrifications

Nous avons tous entendu parler d'électricité statique. Mais quelle est son origine ? Quelles sont ses propriétés ? Comment peut-on rendre un corps « électrique » ?

#### 1.1 Observations

1. Un disque tournant sur un tourne-disque et soumis aux frottements de l'aiguille du pick-up attire la poussière à sa surface.
2. Retirons un disque de sa pochette, il attire les poussières.
3. Des papiers bien secs peuvent être attirés par une latte de plastique préalablement frottée avec un tissu.
4. L'enfillement de certains vêtements fait apparaître de l'électricité dite statique qui se manifeste par le hérissément des poils et des cheveux.
5. Des cheveux secs se dressent lors du passage d'un peigne.
6. Que peut-on observer en déplaçant son bras près de l'écran de la TV en fonctionnement ?
7. Après avoir roulé en voiture, si vous touchez la carrosserie de votre voiture, vous ressentez une certaine décharge électrique. Pourquoi ?
8. Décharge électrique entre 2 personnes mais aussi entre le sol et les nuages..



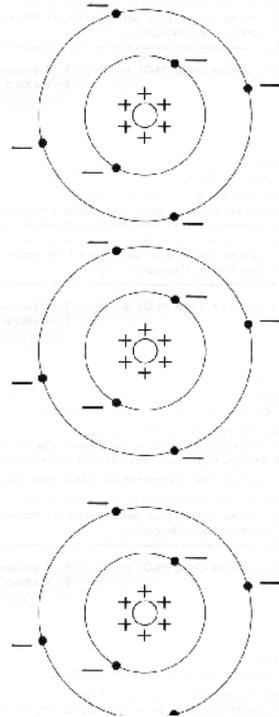
#### Conclusions

*Les frottements communiquent à certains corps la faculté d'attirer des corps légers. Nous dirons que le corps frotté a été électrisé ou qu'il a subi une électrisation par frottement.*

*On dit aussi que le corps a été chargé d'électricité ou qu'il s'est électriquement chargé. Un corps électrisé possède la propriété d'attirer un petit pendule.*

## 1. 2 Modèle atomique

Rappelons que les atomes de la matière sont constitués de noyaux (chargés positivement) et d'électrons (chargés négativement). L'atome est électriquement neutre c'est à dire que la charge positive du noyau est égale à la charge négative des électrons. Un corps est électriquement neutre s'il porte autant de charges positives que négatives.



Un corps est chargé positivement lorsqu'il possède un défaut d'électrons ( il a perdu des électrons ). ***L'atome est appelé : ion positif***

Un corps est chargé négativement s'il possède un excès d'électrons ( il a gagné des électrons ) ***L'atome est appelé ion négatif***

## 1. 3 Interprétation des expériences

***Un corps chargé d'électricité exerce des forces « électriques » sur les corps situés dans son voisinage.***

***Conclusion***

***Deux corps chargés d'électricité de même signe se repoussent.***

***Un même raisonnement peut être fait sur l'électricité portée par l'ébonite frotté et sur l'électricité portée par le verre frotté. Elles sont différentes.***

***Par convention, on appelle :***

***électricité négative, celle portée par l'ébonite frotté.  
électricité positive, celle portée par le verre frotté.***

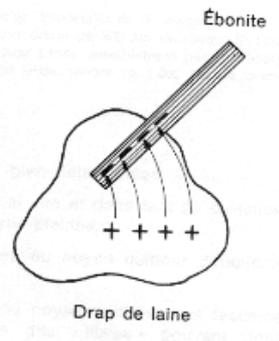
Toutes les expériences se ramènent a la même conclusion :

***Il n'existe que 2 sortes d'électricité : la positive et la négative***

***Deux charges électriques de même signe se repoussent.***



***Deux charges électriques de signe contraire s'attirent.***



## 1.4 Remarques

A. Les charges électriques sont des grandeurs mesurables.

*L'unité de charge électrique est le coulomb C.*

*La plus petite quantité d'électricité mesurée en valeur absolue est celle portée par l'électron et sa charge vaut  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C et est notée  $e$ .*

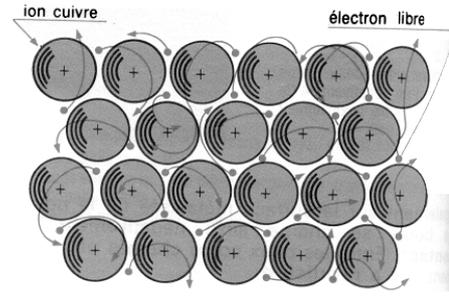
## 2 Conducteur et isolant

### 2.1 Les conducteurs

Les métaux sont constitués d'un ensemble de petits cristaux dans lesquels les atomes sont ordonnés en réseau.

*Ces atomes métalliques ont un ou plusieurs électrons périphériques qui demeurent à l'intérieur du réseau et y circulent dans tous les sens, on les appelle les électrons libres.*

*Les corps qui permettent le passage des électrons libres sont appelés conducteurs (cuivre, or, argent, aluminium, mercure le carbone, le corps humain...)*



Les électrons apportés par électrisation sont automatiquement répartis sur toute la surface du conducteur

### 2.2 Les isolants

*Les corps qui par leur structure interne, ne permettent pas le passage des électrons libres d'un atome à un autre sont appelés des isolants électriques ( ébonite, verre, porcelaine, les matières plastiques ...)*

## 3. Loi de Coulomb

Nous savons que les charges de même signe se repoussent et que celles de signe contraire s'attirent. *Il existe donc entre les charges électriques des forces d'attraction ou de répulsion suivant les cas.* Quelles sont les caractéristiques des forces électriques ? C'est le physicien français Coulomb qui établit en 1785 la loi de la force électrique.

Prenons 2 charges électriques symbolisées  $q_1$  et  $q_2$  ( exprimées en coulomb ) supposées ponctuelles. Soit  $d$  , la distance qui les sépare.

*Les expériences révèlent que 2 corps chargés électriquement exercent l'un sur l'autre une force de type électrique  $F_{el}$  dont :*

*la direction est celle de la droite joignant les 2 corps chargés*

*le sens est déterminé par le signe des charges (voir schémas)*

*l'intensité est :*

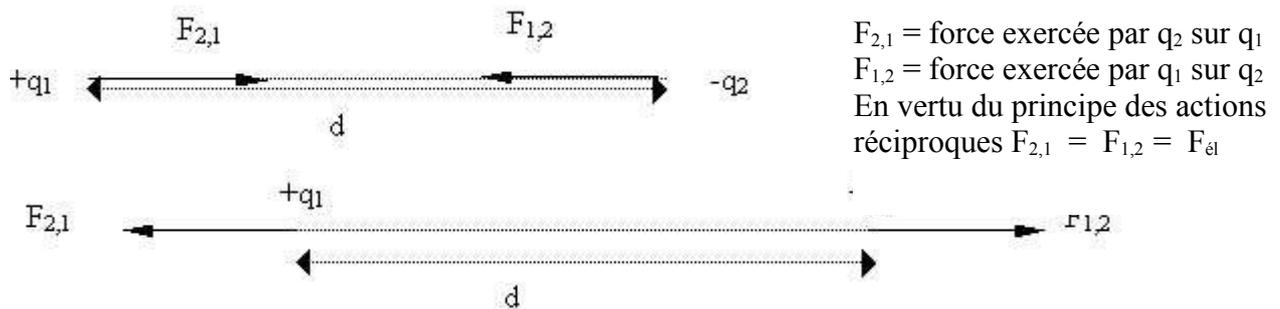
*inversement proportionnelle au carré de la distance  $d$   
proportionnelle à  $q_1$  et  $q_2$*

$$F_{\text{él}} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

$F_{\text{él}}$	Force d'attraction en newton ( $N$ )
$k$	Constante électrique
$q_1, q_2$	Charges électriques en coulomb ( $C$ )
$d^2$	Distance en mètre ( $m$ )

$k$  est la constante électrique qui dépend des unités et du milieu dans lequel sont placées les charges. Dans le vide et dans l'air

$$k = 9.10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

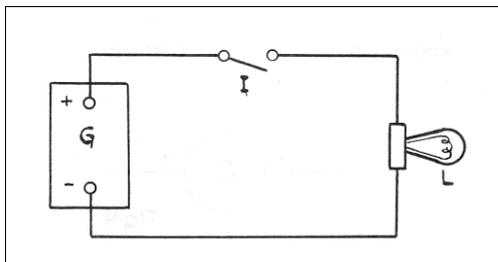


## Electrocinétique

En électrocinétique, nous étudierons le mouvement des charges électriques dans les conducteurs et leurs effets.

### 1. Notion de courant électrique

#### 1.2 Le circuit électrique : générateur, conducteur, récepteur



Un circuit électrique simple : une pile, des fils de cuivre, une ampoule et un interrupteur.

Selon la position de l'interrupteur, le circuit est :

***Fermé*** : la lampe brille, le courant passe

***Ouvert*** ; la lampe ne brille pas, le courant ne passe pas

Dans le langage courant, « ***allumer une lampe*** » signifie ***fermer le circuit*** et donc l'interrupteur.

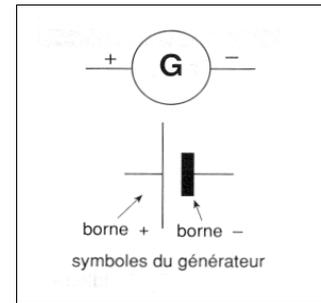
Inversement, « ***éteindre la lampe*** » signifie ***ouvrir le circuit*** et donc l'interrupteur.

### 1.2.1 Le générateur

*Elément capable de fournir l'énergie électrique.*

Exemples : batterie, dynamo, pile.

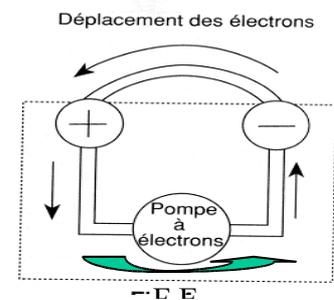
*Tous les générateurs possèdent 2 bornes (+ et -).*



**Que représentent ces 2 bornes ?**

Le GN est capable par l'intermédiaire d'une force interne ( force électromotrice ) d'arracher des électrons à une des bornes ( qui deviendra + ) et de les refouler sur l'autre borne ( qui deviendra -).

On dit que c'est « une pompe à électrons »



### 1.2.2 Différence de potentiel ou tension entre 2 points (symbole = U)

👉 Définition vue en 3G

*Grandeur qui traduit la différence de concentration d'électrons entre les 2 points en question. Elle mesure la différence de niveau électrique entre les 2 bornes + et -*

👉 Définition de 5G

*La d.d.p. entre 2 points représente l'énergie à fournir pour amener une charge unitaire positive d'un point à l'autre ; c'est aussi l'énergie totale dissipée dans le circuit lors du passage d'une unité de charge dans ce circuit*

*La tension ou d.d.p (ou différence de potentiel) se symbolise par la lettre U*

*Elle se mesure en volt (symbole V)*

**Voltmètre** : appareil de mesure de la tension. Il se raccorde directement sur les 2 points dont on veut déterminer la d.d.p. (placement en parallèle).

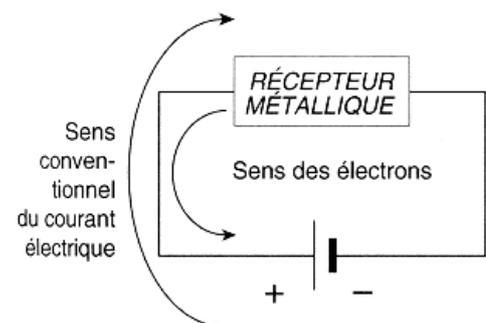
### 1.2.3 Courant électrique

*C'est le mouvement d'ensemble des électrons de la borne - vers la borne + du GN par l'extérieur de celui-ci .*

Remarque : Au début, on ne connaissait pas la nature du courant électrique, on en constatait seulement les effets. Par convention, on a attribué un sens conventionnel au passage du courant électrique.

Le sens conventionnel du courant électrique est le sens inverse du déplacement des électrons.

Le **sens conventionnel** du courant électrique va donc du + vers le - par l'extérieur du générateur.



Pour qu'un courant circule dans un circuit, il faut :

- qu'il existe une d.d.p. aux bornes du circuit.
- que le circuit soit fermé.

### 1.2.4 Intensité ( symbole = I ) :

On caractérise l'écoulement d'un fleuve en un lieu par son débit c'est à dire par le volume d'eau qui traverse par seconde la section du fleuve en ce lieu.

Par analogie,

*L'intensité du courant électrique représente la quantité de charge électrique qui circule par seconde dans le circuit.*

$I = \frac{q}{t}$	$I$ Intensité en ampère ( A )
	$q$ Quantité d'électricité en coulomb ( C )
	$t$ Temps en seconde ( s )

Rappelons que la charge électrique portée par un électron est de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

Pour avoir une intensité de 1A, la charge électrique doit être de 1C par seconde ce qui représente le passage par seconde de  $6,25 \cdot 10^{18}$  électrons

**Ampèremètre** : appareil de mesure de l'intensité. Il doit être traversé par le courant du circuit, on dit qu'il se place en série dans le circuit.

## 2. Rappels des lois fondamentales d'électricité

### 2.1 Loi d'Ohm

*Pour un conducteur donné, la **résistance** est le rapport entre la **différence de potentiel U** à ses bornes et l'intensité **I** du courant qui le traverse :*

$R = \frac{U}{I}$	$R$ Résistance en ohm ( $\Omega$ )
	$U$ d.d.p en Volt ( V )
	$I$ Intensité du courant en ampère ( A )

La résistance d'un conducteur est de 1 ohm lorsque soumis à une différence de potentiel de 1 volt, il est parcouru par un courant d'une intensité de 1 A.

*Plus la résistance d'un conducteur est élevée, plus il s'opposera au passage du courant et plus l'intensité qui le traverse sera faible pour une tension donnée.*

### 2.2 Puissance P

#### Expériences

Prendre des ampoules de différentes puissances P , mesurer U et I lorsqu'elles fonctionnent normalement.

*Faire un tableau U, I, P, - et faire remarquer que pour chaque ampoule le produit U.I est quasiment égal à la puissance P.*

***Le produit de la tension  $U$  par l'intensité  $I$  du courant définit la puissance  $P$  de l'appareil.***

$P=U.I$	$P$	Puissance en watt ( $W$ )
	$U$	d.d.p en volt ( $V$ )
	$I$	Intensité du courant en ampère ( $I$ )

***Comme  $U$  est l'énergie par unité de charge, comme  $I$  est la charge qui passe par seconde dans le circuit, la puissance est donc bien l'énergie dépensée par seconde dans ce circuit.***

## 2.3 Energie E

Le montant de la facture d'électricité dépend de l'énergie électrique consommée par l'ensemble des appareils électriques utilisés.

Une lampe qui fonctionne deux heures coûte deux fois plus chère que si elle ne brille que 1 heure car elle consomme deux fois plus d'énergie.

De plus une lampe de 100 W consommera plus d'énergie qu'une de 40 W.

***L'énergie électrique  $E$  consommée par un appareil est proportionnelle à sa puissance  $P$  et à son temps de fonctionnement  $t$***

$E = P.t$	$E$	Energie en joule ( $J$ )
	$P$	Puissance en watt ( $W$ )
	$t$	Temps en seconde ( $s$ )

Le Joule étant une unité très petite, on utilise

**$P$  en kW (kilowatt = 1000 watts)**

**$t$  en heure (h)**

**L'énergie  $E$  en kilowatt heure (kWh)**

***Une lampe de 1000W qui fonctionne durant 1 heure consomme 1 kWh d'énergie***

## 2.4 L' effet Joule – loi de joule

### 2.4.1 Expérience

Les expériences montrent que le fait d'envoyer du courant dans un conducteur provoque un échauffement plus ou moins important dans celui-ci.

***L'effet Joule est le dégagement de chaleur qui se produit dans un conducteur lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.***

***La quantité de chaleur dégagée est exprimée en joules et notée  $Q$ . Comme cette chaleur n'est rien d'autre que de l'énergie on la note aussi  $E$***

### 2.4.2 Conclusion

***Lors de l'effet Joule, le dégagement de chaleur est proportionnel***

- ***à la résistance électrique  $R$  du conducteur***
- ***au carré de l'intensité  $I$  du courant***
- ***au temps  $t$  de passage du courant dans le conducteur***

L'énergie électrique qui est transformée en chaleur est donnée par la formule

$E = R.I^2.t$	$E$	Energie en joule ( $J$ )
	$R$	Résistance en ohm ( $\Omega$ )
	$I$	Intensité du courant en ampère ( $A$ )
	$t$	Temps en secondes ( $s$ )

## 2.5. Cause de l'effet Joule

*L'énergie thermique produite par le passage du courant est due aux chocs des électrons contre les atomes du conducteur lors de leur mouvement d'ensemble à travers le conducteur.*

*Ils sont freinés par les atomes.*

*Ils perdent lors de chaque collision avec les atomes un peu de leur énergie. Ils communiquent donc au cours de ces très nombreux chocs de l'énergie aux atomes. Ceux-ci s'agitent de plus en plus ce qui entraîne une augmentation de la température du conducteur.*

## 3 Installation domestique

Le confort procuré par l'électricité est devenu d'une telle évidence de nos jours que l'on en profite tous les jours sans vraiment s'en rendre compte. Nombreux sont les foyers qui possèdent à la fois une machine à laver, un séchoir, un boiler, une cuisinière, un lave-vaisselle, un four à micro-ondes, un grille-pain, etc.

*Les installations électriques domestiques existantes sont-elles conçues pour supporter tous ces appareils qui, de plus, fonctionnent souvent simultanément?*

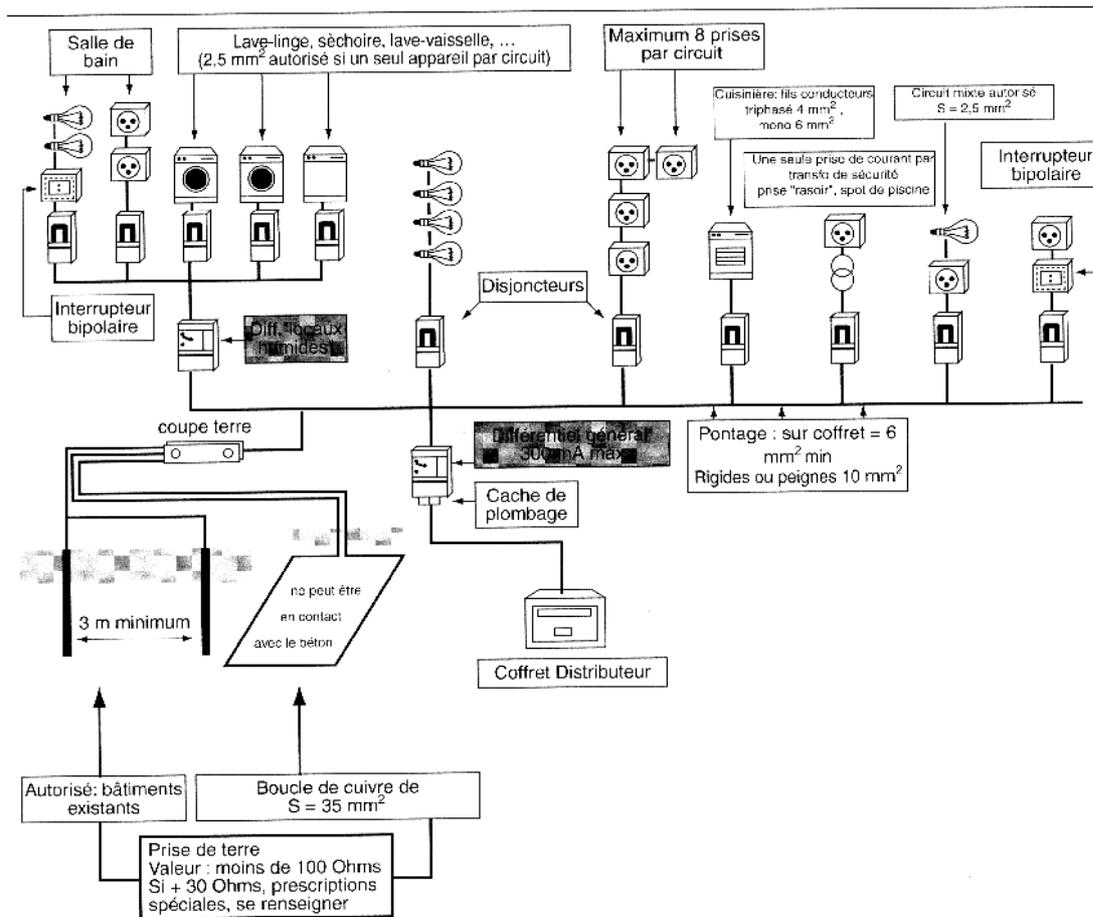
Toute installation électrique moderne doit répondre aux impositions du R.G.I.E (Règlement Général Installations Électriques) et doit être agréée par un organisme de contrôle reconnu par l'État (par ex. : AIBVincotte, G. Thomas, ...). Ceci est d'ailleurs une condition indispensable pour que les sociétés d'électricité acceptent de fournir du courant électrique à l'installation. Insistons cependant sur le fait que les règlements sont fréquemment sujets à modification et diffèrent (légèrement) d'un organisme d'agrément à l'autre.

Si nous observons le schéma d'une installation électrique domestique, nous pouvons faire plusieurs observations.

1)

L'installation comporte des  **fils conducteurs de sections bien précises**  qui varient selon les circuits.

Un circuit ne comportant que quelques ampoules, par exemple, peut être constitué de fils de section de  $1,5 \text{ mm}^2$ . Les circuits « normaux » comportent des fils de section de  $2,5 \text{ mm}^2$ . On note également la présence de fils de section de 4, 6 ou  $10 \text{ mm}^2$  : ceux-ci sont utilisés dans des circuits électriques comportant des appareils de plus forte puissance électrique comme une cuisinière, un chauffe-eau, ... ou pour relier un tableau électrique secondaire à un tableau électrique principal.



**On constate donc que plus un circuit électrique comprend des appareils de puissance élevée, plus la section des fils constituant le circuit est importante.**

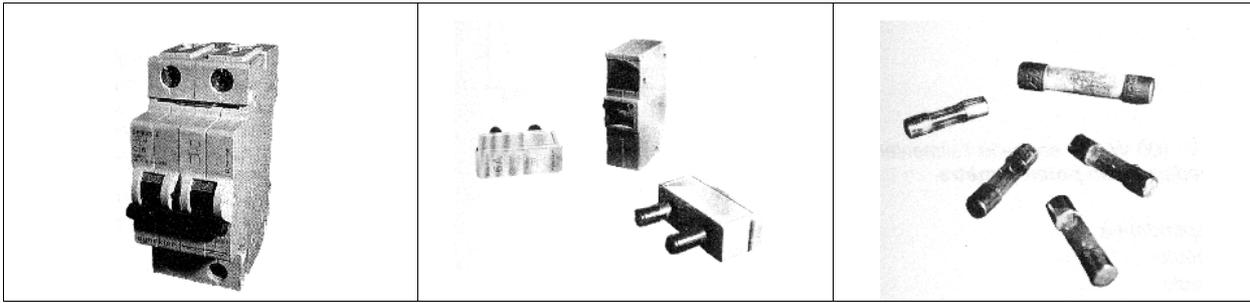
Ceci s'explique comme suit: plus un circuit comprend des appareils de puissance élevée, plus l'intensité du courant électrique circulant dans les fils conducteurs du circuit est grande et plus l'effet Joule est important, ce qui est évidemment un inconvénient.

*Si on veut que cet effet Joule ne soit pas trop important, il faut alors prendre des fils conducteurs de résistance d'autant plus petite que le circuit comprend des appareils de puissance élevée. Comme la résistance d'un fil électrique conducteur est inversement proportionnelle à sa section (loi de Pouillet), les fils électriques doivent donc être d'autant plus gros que la puissance des appareils est élevée.*

## 2) L'installation électrique comporte également des **disjoncteurs**

On en retrouve dans tous les circuits aussi bien dans le circuit principal que dans les circuits secondaires. **Leur rôle est d'interrompre immédiatement l'arrivée de courant en cas de surintensité dans un circuit. Cette surintensité peut provenir d'un court-circuit ou parce qu'il y a trop d'appareils ou des appareils de puissance trop élevée dans le circuit.**

Une surintensité dans un circuit est extrêmement dangereuse par ce qu'elle va amener une surchauffe des fils conducteurs (effet Joule) qui pourrait amener une rupture du circuit (dans un mur par exemple ...) ou, plus grave encore, une incendie.



Le type de disjoncteur que l'on place dépend évidemment des sections des fils conducteurs du circuit auquel il est relié: un fil conducteur de section  $2,5 \text{ mm}^2$ , par exemple, doit être protégé par un disjoncteur de 20 A maximum. Le principe de fonctionnement du disjoncteur sera expliqué plus tard, comme application du champ magnétique.

Notons encore que dans les plus vieilles installations domestiques, on trouve des **fusibles** à la place des disjoncteurs.

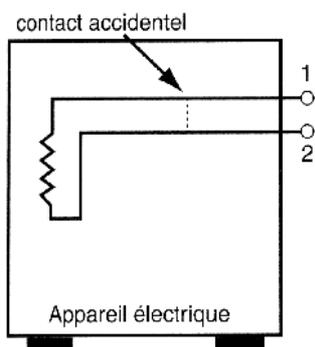
Ceux-ci sont constitués d'un fil de section beaucoup plus petite que les circuits dans lesquels ils sont placés. Si une surintensité apparaît dans un circuit, c'est le fil du fusible qui, en premier lieu va surchauffer et se rompre, empêchant alors le courant de continuer à circuler dans le circuit.

3) L'installation électrique comporte également des disjoncteurs **différentiels**.

*Ceux-ci réagissent à la moindre fuite de courant: ils déconnectent le circuit électrique lorsqu'un courant dans une des lignes électriques s'écarte de son chemin normal et se dirige vers la terre* (en cas de détérioration d'un fil ou par ce qu'une personne touche un fil électrique sous tension par exemple).

*Ces disjoncteurs différentiels comparent en effet à tout moment le courant dans un des deux fils conducteurs (courant d'entrée) avec le courant dans l'autre fil (courant de sortie) et déclenchent lorsque la différence dépasse une certaine valeur.*

4) Chaque circuit comporte au minimum 3 fils conducteurs:



Si le courant électrique parvient accidentellement à relier le fil 1 au fil 2 sans passer par l'élément chauffant de l'appareil électrique (grâce à une « passerelle » conductrice comme un fil électrique conducteur, de l'eau, ...), l'intensité du courant électrique va fortement augmenter. On dit qu'il se produit un *court-circuit*.

Les deux premiers fils servent à acheminer le courant électrique

Le troisième, appelé *fil de terre* sert, comme son nom l'indique à connecter à la terre, la masse métallique des appareils électriques ainsi que les canalisations d'eau. On comprend immédiatement son rôle: suite à un défaut d'un appareil électrique ou d'une canalisation, les parties métalliques de l'appareil pourraient être mises en contact avec l'un des deux fils acheminant le courant.

Si une personne touche alors la masse métallique de l'appareil et que cet appareil n'est pas relié à la terre, un *courant de fuite* va naître à travers la personne. Le risque d'électrocution dans de telles conditions est alors bien réel. Si par contre, l'appareil électrique est correctement relié à la terre le courant de fuite passera directement à travers le fil de terre, celui-ci étant meilleur conducteur que le corps humain (la résistance maximale imposée au circuit de terre est de 100 ohms).

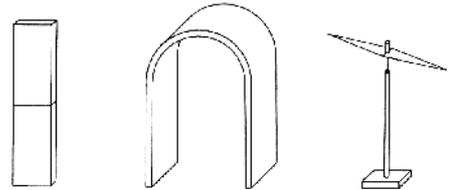
# Electromagnétisme

## 1. Magnétisme

Le magnétisme est la partie du cours de physique dans laquelle on étudie les aimants.

### 1.1 Les aimants

#### 1.1.1 Sortes d'aimants



##### 1.1.1.1 Aimant naturel

C'est la magnétite (minerai de fer  $Fe_3O_4$ ) qui possède la propriété d'attirer la limaille de fer. La magnétite est un aimant naturel. Cette roche fut trouvée pour la première fois près de la ville de Magnésia en Asie Mineure d'où le nom de magnétisme.

##### 1.1.1.2 Aimant artificiel

On utilise des aimants artificiels fabriqués pour la plupart en acier et auxquels, on a communiqué cette propriété de magnétisme par un procédé électrique. (voir autre partie de ce cours) Ils peuvent avoir plusieurs formes différentes : **Aiguille de boussole, barreau rectiligne, aimant en forme de U**

### 1.2 Les phénomènes magnétiques

#### 1.2.1 Expériences

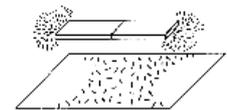
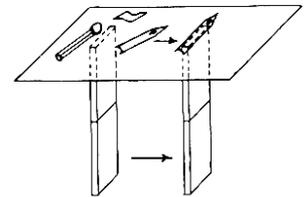
1. Approchons un aimant de certains objets : bois, pièces de monnaie, clefs, cuivre, clou d'acier, limaille de fer,...

Il existe :

**des matériaux non magnétiques** : aucune attraction par un aimant (papier, bois, plomb, aluminium, plastiques,...

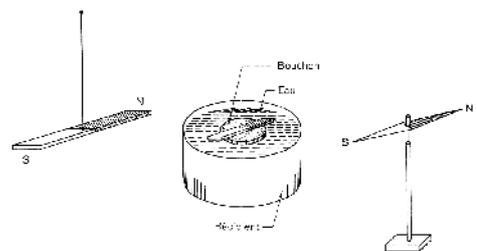
**des matériaux magnétiques** : attraction par un aimant (fer, fonte, acier,...)

**Un aimant exerce une force attractive à distance sur les matériaux magnétiques.**



2. *L'attraction magnétique des corps se manifeste essentiellement aux extrémités appelées pôles de l'aimant.*

3. *Toute aiguille aimantée capable de bouger, s'oriente toujours dans la même direction : celle du Sud Nord géographique.*



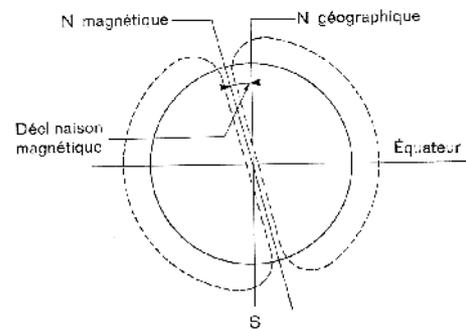
Par convention, on appelle

**pôle N, le pôle pointant vers le N géographique**

**pôle S, le pôle pointant vers le S géographique**

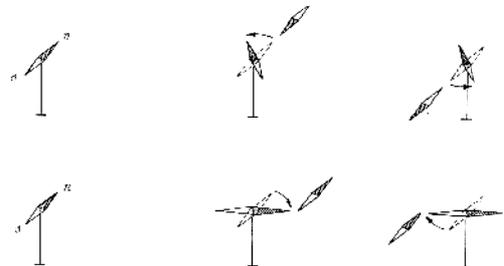
L'angle entre l'orientation de l'aiguille et celle de la direction Sud Nord géographique est d'approximativement de  $5^\circ$ .

**Cet angle est appelé la déclinaison magnétique**



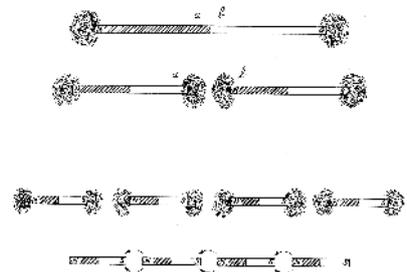
#### 4. Interactions entre pôles

**Deux pôles de même noms se repoussent, deux pôles de noms contraires s'attirent**



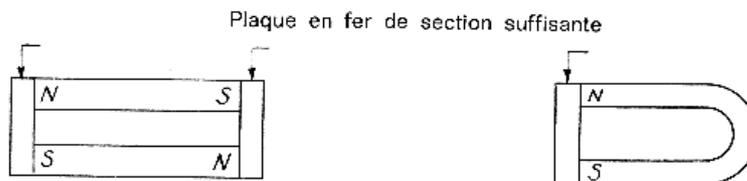
#### 5. Bris d'un aimant.

**Il est impossible d'isoler un pôle d'aimant. Il n'existe donc pas de monopôle magnétique alors qu'en électricité, on pouvait séparer des charges positives et des charges négatives**



#### 6. Conservation des aimants

Il faut relier les aimants comme le montre la figure, par des morceaux de fer afin de fermer le circuit magnétiquement

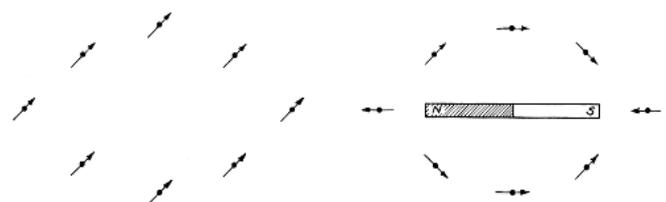


### 1.3. Champ magnétique B

#### 1.3.1 Notion de champ magnétique

Plaçons des boussoles dans l'espace : elles s'orientent toutes dans la direction N-S  
Plaçons les boussoles au voisinage d'un aimant droit.

En chaque point de l'espace la boussole s'oriente différemment.



*Par son magnétisme, l'aimant modifie donc les propriétés de l'espace qui l'entoure en créant dans cet espace des forces magnétiques*

### 1.3.2 Définition

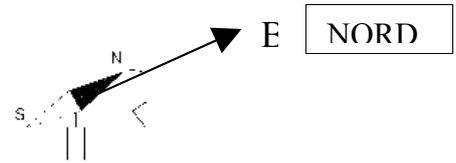
*On dit qu'il existe au voisinage de l'aimant un champ magnétique si une boussole tend à s'y orienter*

Pour caractériser le champ magnétique, on définit *le vecteur champ magnétique*  $\vec{B}$ .

**Direction** diagonale de l'aiguille aimantée placée au point considéré ; c'est aussi la direction de la tangente à la ligne d'induction magnétique

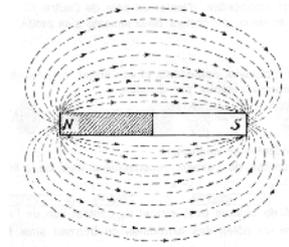
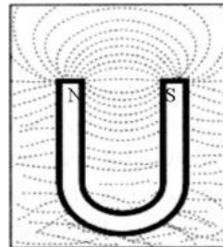
**Sens** : celui allant du Sud vers le Nord par l'intérieur de l'aiguille aimantée. C'est en fait le même sens que celui des lignes d'induction.

**Intensité** fonction de l'aimant utilisé et de la position du point. Son unité est le Tesla ( $T$ ).  
: Ordre de grandeur : Sur la Terre :  $B = 10^{-5} T$ . Aimant de labo :  $B = 10^{-3} T$



### 1.3.3 Ligne de champ magnétique

Ligne qui en chacun de ses points est tangente au vecteur induction magnétique  $\vec{B}$ . Les représentations montrent que les lignes de champs vont du Nord vers le sud par l'extérieur de l'aimant (idem pour le vecteur  $B$ )



### 1.3.4 Spectre magnétique

*Ensemble des lignes de champ magnétique. (matérialisée par la limaille de fer)*

#### 1.3.5 Champ magnétique uniforme

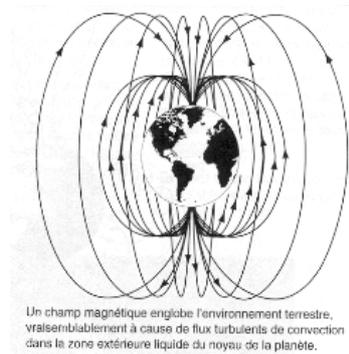
*Entre les branches d'un aimant en U, les vecteurs  $B$  sont // et partout identiques. On dit que le champ est uniforme*

### 1.3.6 Champ magnétique terrestre

Une boussole au voisinage de la Terre subit une influence de type magnétique.

*La Terre produit donc un champ magnétique dans son voisinage et elle se comporte comme un énorme aimant droit.*

#### Sud magnétique



Un champ magnétique englobe l'environnement terrestre, vraisemblablement à cause de flux turbulents de convection dans la zone extérieure liquide du noyau de la planète.

#### Nord magnétique

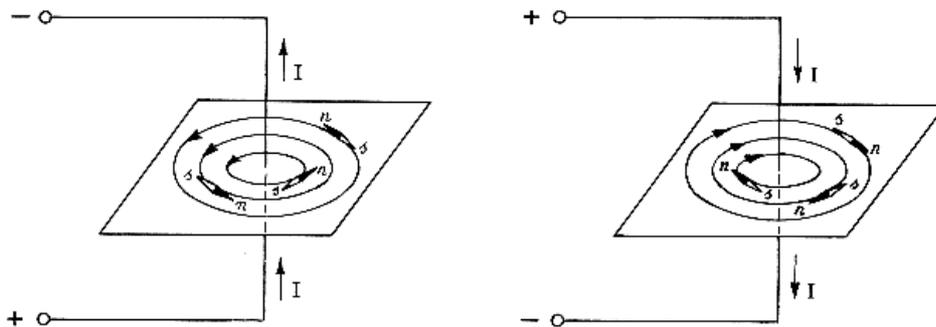
C'est la pointe N de la boussole qui pointe vers le Nord géographique auquel correspond donc un **pôle Sud magnétique**.

De même, c'est la pointe Sud de la boussole qui pointe vers le Sud géographique auquel il correspond un **pôle Nord magnétique**

## 2. Electromagnétisme

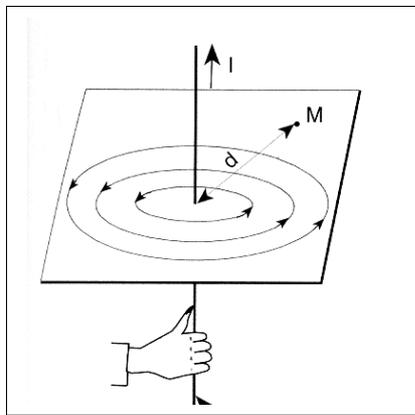
*Les expériences montrent que tout conducteur parcouru par un courant engendre au voisinage de celui-ci un champ magnétique (identique à celui produit par l'aimant)  
Donc, à partir du courant on peut obtenir un champ magnétique.*

### 2.1 Magnétisme produit par le courant rectiligne



Les lignes de champs sont des cercles disposés dans un plan perpendiculaire au conducteur et centré sur celui-ci. En chaque point,  $B$  est tangent à ces cercles.

Le sens de  $B$  est inversé si on permute le sens du courant.

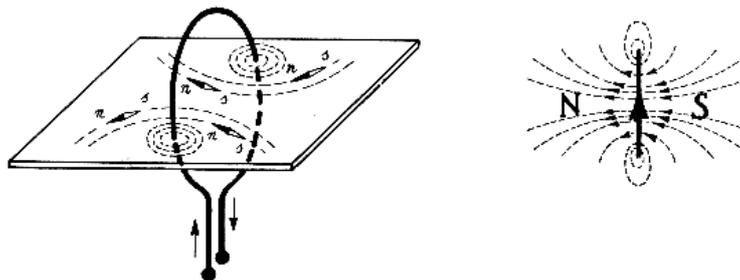


Ce sens peut être retrouvé par la règle mnémotechnique suivante, appelée **règle du pouce droit** (fig. 6.26) : si on enroule la main droite autour du conducteur, le pouce indiquant le sens conventionnel du courant, les doigts recourbés donnent le sens des lignes de champ.

La grandeur de  $B$  (en tesla) à une distance  $d$  (en mètre) d'un conducteur parcouru par un courant d'intensité  $I$  (en ampère) est donnée par la formule :

$$B = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot I}{d}$$

### 2.2 Magnétisme produit par un courant circulaire (spire)



La grandeur de  $B$  au centre de la spire de rayon  $r$  est donnée par la formule

$B = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot I}{r}$	$B$	Induction magnétique en tesla ( $T$ )
	$I$	Intensité du courant en ampère ( $A$ )
	$r$	Rayon en mètres ( $m$ )

**Le sens de B est toujours donné par la règle de la main droite**

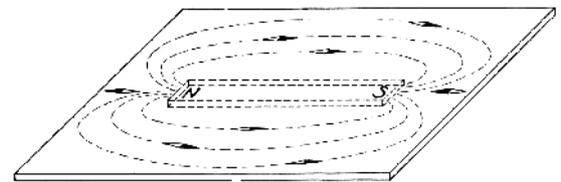
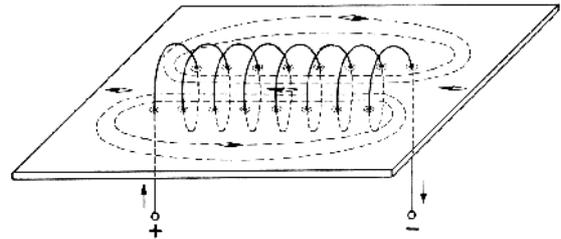
- *le pouce est tendu dans le sens du courant*
- *les doigts courbés donnent le sens de B au centre de la spire*

### 2.3 Champ magnétique produit par un solénoïde

*Un solénoïde est constitué d'un fil conducteur qui a été enroulé autour d'un cylindre de grande longueur par rapport à son diamètre.*

Un solénoïde parcouru par un courant peut être assimilé à un aimant droit. Il possède un pôle nord et un pôle sud. Le sens de B dépend du sens du courant.

Le champ magnétique cesse dès que l'on coupe le courant.



La valeur de B au centre du solénoïde est donnée par la formule

$B_{\text{intérieur}} = \mu \frac{N}{l} I$	$B_{\text{intérieur}}$	Induction magnétique en tesla ( $T$ )
	$\mu$	Perméabilité magnétique
	$N$	Nombre de spires
	$l$	Longueur du solénoïde en mètres ( $m$ )
	$I$	Intensité du courant en ampère ( $A$ )

$\mu$  est la perméabilité magnétique du milieu. C'est un coefficient qui dépend du milieu remplissant l'intérieur

Dans le vide (sans noyau de fer), la perméabilité vaut  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$

**On appelle perméabilité relative du milieu, le rapport du champ magnétique B créé avec un noyau sur le champ magnétique  $B_0$  créé sans noyau**

$$\mu_r = B / B_0$$

Le sens de B est toujours donné par la règle de la main droite



### 2.3.1 L'électro-aimant

#### 2.3.1.1 Définition

*Un électro-aimant est un ensemble formé d'une bobine et d'un noyau de fer*

#### 2.3.1.2 Applications

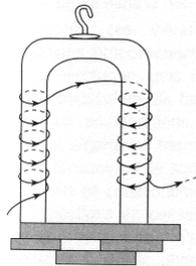


Figure 6.39

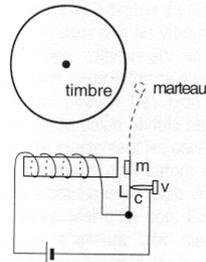


Figure 6.40

#### 6.6.1 Électroaimant porteur

On utilise les forces attractives développées par les pôles d'un électroaimant pour soulever des substances magnétiques, pour les transporter ailleurs, ou pour les trier parmi d'autres (fig. 6.39). Les objets soulevés par des électroaimants industriels peuvent atteindre plusieurs tonnes.

#### 6.6.2 Interrupteurs automatiques

Décrivons ci-dessous, à titre d'exemple, quelques interrupteurs automatiques.

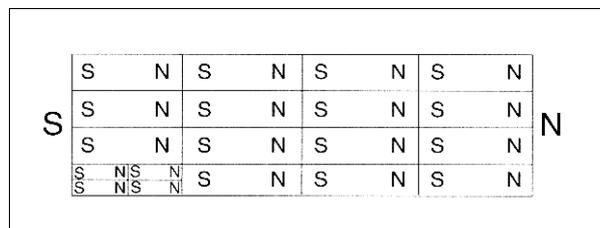
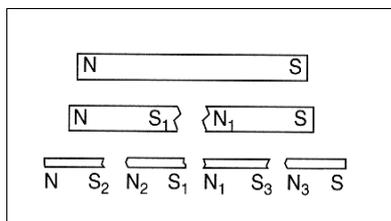
- a) La **sonnette électrique** : l'objet magnétique  $m$  (fig. 6.40) est attiré par le pôle de l'électroaimant qui lui fait face, ce qui provoque une frappe du marteau sur le timbre. Le circuit électrique est alors coupé en  $c$ . La lame élastique  $L$  est ensuite rappelée vers la pointe de la vis  $V$  (fig. 6.40). Le circuit électrique se ferme alors de nouveau et le phénomène recommence.
- b) Les **disjoncteurs** : on les retrouve (cfr. paragraphe 4.8), entre autres, dans les tableaux de distribution des installations électriques de nos habitations. Rappelons qu'ils ont pour rôle d'interrompre immédiatement le courant électrique en cas de surintensité dans un circuit. Une surintensité dans un circuit électrique est évidemment dangereuse parce qu'elle peut provoquer un échauffement exagéré des fils électriques (effet Joule) qui pourrait amener une rupture du circuit (dans un mur par exemple ...) ou, plus grave encore, un incendie.

### 2.4 Interprétation de l'aimantation : modèle d'Ampère

À ce stade, deux faits expérimentaux nous suggèrent des hypothèses concernant l'origine des propriétés magnétiques d'un aimant.

1. Nous avons vu qu'en brisant un aimant, il était impossible d'isoler un pôle.

On peut imaginer que cette expérience se reproduit indéfiniment: on en arriverait à décomposer l'aimant en une multitude d'aimants élémentaires (dipôles magnétiques) dont les dimensions seraient de l'ordre de grandeur de celles des atomes.



*L'aimantation résulterait donc d'une propriété de la matière affectant tout l'aimant et non seulement ses extrémités. Si les propriétés magnétiques ne se manifestent qu'au voisinage de celles-ci, c'est parce que les dipôles intérieurs annuleraient mutuellement leurs effets.*

2. Nous avons observé également qu'un solénoïde présentait un spectre extérieur semblable à celui d'un barreau aimanté.

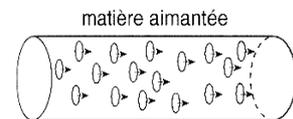
Cette constatation suggère que les dipôles élémentaires seraient constitués de courants électriques circulant dans le même sens. Cette hypothèse des «boucles élémentaires de courant» avait déjà été formulée par Ampère vers 1820.

Les connaissances actuelles sur l'organisation de l'atome nous permettent de préciser la nature de ces courants: ils seraient constitués par les **mouvements des électrons autour des atomes**.

Dans une matière non aimantée, les boucles de courant s'orientent de manière **aléatoire, en compensant statistiquement leurs effets magnétiques**

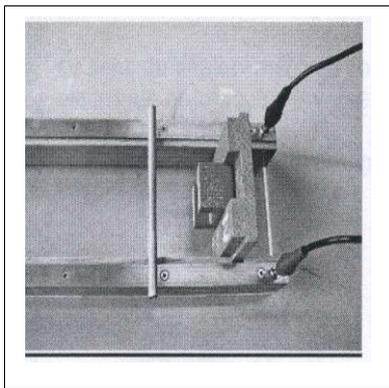


Dans la matière aimantée, il existerait une orientation **préférentielle des boucles** de courant  
Le champ magnétique résultant est évidemment important puisque les champs élémentaires sont alignés.



## 3. La force électromagnétisme ou force de Laplace

### 3.1 Expérience



- Disposons un conducteur sur deux rails de manière à ce qu'il puisse se déplacer tout en étant parcouru par un courant électrique.
- Plaçons ce conducteur parcouru par un courant électrique continu dans le champ magnétique produit par un aimant en fer à cheval et observons son mouvement.
- Invertissons le sens du courant électrique dans le conducteur et observons son mouvement.
- Invertissons les pôles de l'aimant et observons le mouvement du conducteur.

→ **Le conducteur se déplace et le sens de son déplacement s'inverse lorsqu'on inverse le sens du courant électrique et lorsqu'on inverse les pôles.**

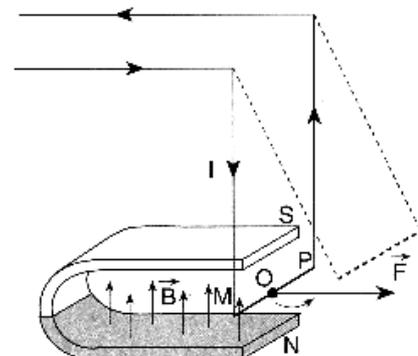
→ La force qui agit est appelée « **force électromagnétique** ».

### 3.2 Conclusions

*On constate que tout conducteur parcouru par un courant  $I$  et placé dans un champ magnétique  $B$  est soumis à une force appelée **force électromagnétique  $F$** . Dès que le courant est interrompu ou que l'aimant est retiré, le conducteur reprend sa position initiale.*

*Plus le courant est important, plus la force est grande.  
Si on inverse le sens du courant ou celui de  $B$ , le sens de la force s'inverse.*

*Lorsque le conducteur est placé //ment au vecteur  $B$ , la force est nulle.*



### 3.3 Expression de la force électromagnétique $F$

**Direction** : la perpendiculaire à  $\vec{B}$  et à l'élément de courant  $I$

**Sens** : déterminé par la règle des 3 doigts  $\perp$  de la **main gauche** ( FBI )

pouce =  $F$

index =  $B$

majeur =  $I$

#### Grandeur

$F$  est proportionnelle à :

l'intensité du courant  $I$

au champ magnétique  $B$

la longueur  $L$  du circuit qui est soumis au champ magnétique

Dans le cas, où le conducteur est le vecteur champ magnétique sont  $\perp$  alors

$$F = B \cdot I \cdot L$$

Si le conducteur fait avec le champ magnétique un angle  $\alpha$ , alors

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha$$

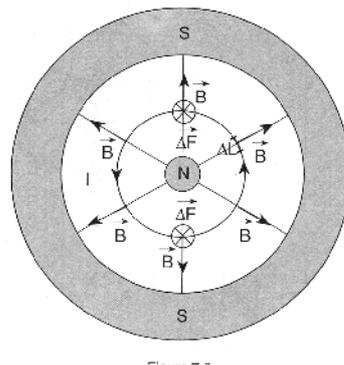
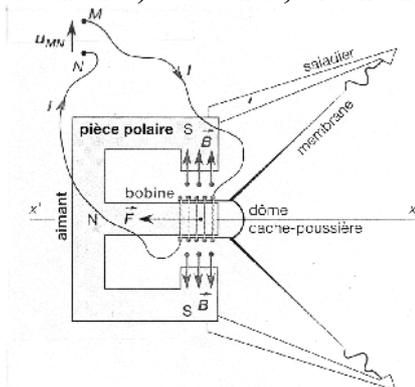
$F$  en newton,  $I$  en ampère,  $L$  en mètre.  $F$  est maximale pour  $\alpha = 90^\circ$ .  $F$  est minimale pour  $\alpha = 0^\circ$

### 3.4 Applications

#### 3.4.1 Le haut-parleur

Les différents éléments trouvés dans un HP sont :

**l'aimant, la bobine, une membrane (solidaire de la bobine)**



La bobine est reliée à la sortie d'un ampli ou d'un GN de courant alternatif d'une certaine fréquence  $f$ .

Si la bobine est parcourue par un courant dans un certain sens, elle se comporte comme un aimant N-S

Si cette même bobine est parcourue par un courant en sens opposé, elle se comporte comme un aimant S-N

**Cette même bobine étant à proximité d'un autre aimant, elle est parfois attirée parfois repoussée suivant le sens du courant**

Le mouvement du va-et-vient de la membrane du HP est de la même fréquence que la fréquence du courant

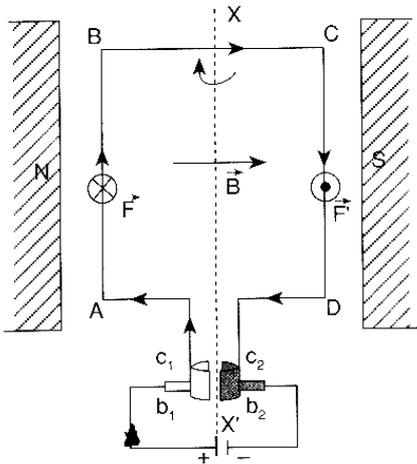
La bobine étant solidaire d'une membrane, celle-ci vibre à la fréquence  $f$  du courant. Elle engendre un son de même fréquence.

Courant alternatif  $\rightarrow$  mouvement alternatif de la membrane  $\rightarrow$  son  
(fréquence  $f$ ) (fréquence  $f$ )

***Le HP transforme un courant alternatif en un son de même fréquence***

### 3.4.2 Le moteur électrique

Principe



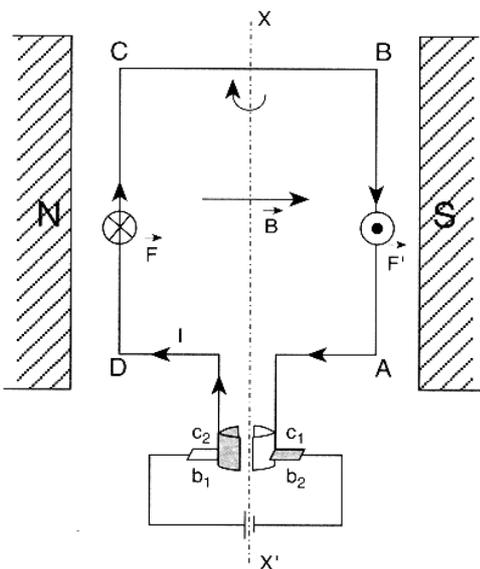
Soit une spire rectangulaire ABCD placée dans un champ magnétique et pouvant tourner autour de l'axe  $XX'$ .

Le champ est produit par un aimant [N-S] ou un électro-aimant.

Les extrémités sont solidaires de 2 petits anneaux  $C_1$  et  $C_2$  appelés : les collecteurs.

Les 2 collecteurs tournent avec la spire.

Des balais de carbone fixes frottent sur ces collecteurs et sont connectés aux bornes d'un générateur.



***Lorsqu'on envoie du courant la spire, comme elle placée dans un champ magnétique, elle est soumise à force (fonction du sens du courant), perpendiculaire au plan de la feuille.***

***Sous l'action de ces 2 forces de sens opposés, le cadre tourne dans le sens indiqué.***

Si le courant dans les fils montants n'étaient pas changés, le cadre (après un  $\frac{1}{2}$  tour) retournerait en sens inverse et il oscillerait.

Pour éviter cela, lorsque le cadre fait un  $\frac{1}{2}$  tour, le balai  $b_1$  se met en contact avec le collecteur  $C_2$  et le balai  $b_2$  se met en contact avec le collecteur  $C_1$ .

Résultat : ***le courant monte toujours dans le fil de gauche et il descend toujours dans le fil de droite ce qui permet à la spire d'effectuer une rotation continue toujours dans le même sens.***

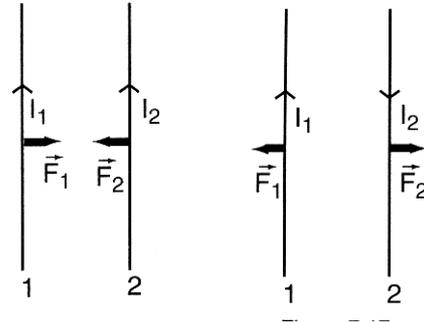
***Le système [balais-collecteurs] est nécessaire pour assurer une rotation continue du moteur.***

### 3.5. Interactions entre 2 courants //

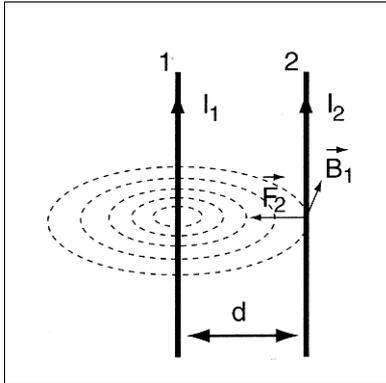
#### 3.5.1 Conclusions

*Deux courants // de même sens s'attirent*

*Deux courants // de sens contraire se repoussent*



#### 3.5.2 Interprétation



L'induction  $B_1$  créée par  $I_1$  sur le conducteur 2 est :

$$B_1 = 2 \cdot 10^{-7} I_1 / d$$

La force électromagnétique sur le conducteur 2 est :

$$F_2 = B_1 \cdot I_2 \cdot L$$

Donc  $F_2 = 2 \cdot 10^{-7} I_1 \cdot I_2 \cdot L / d$

Si dans cette formule  $I_1 = I_2 = 1\text{A}$ ,  $L = 1\text{m}$ ,  $d = 1\text{m}$ , on a  $F = 2 \cdot 10^{-7}\text{N}$

#### 3.5.3 Définition légale de l'ampère

*L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui passant dans 2 fils conducteurs rectilignes // de longueur infinie et de section négligeable, placés dans le vide à un mètre l'un de l'autre, produit entre ces 2 conducteurs une force de  $2 \cdot 10^{-7}\text{N}$  par mètre de longueur.*

## 4. Induction électromagnétique

Dans cette partie du cours, on se propose d'étudier les phénomènes dans lesquels il y a création de courant électrique sans l'utilisation d'une pile ou d'un générateur. Ce type de phénomène aboutira sur la création d'un nouveau type de courant appelé : courant alternatif.

### 4.1 Production d'un courant à partir d'un aimant

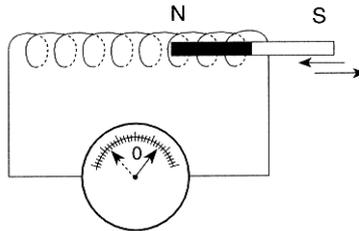
Lorsqu'on parle d'électricité, de courant électrique, on pense toujours aux mots « pile, batterie, générateur, dynamo de vélo »

Il existe une autre façon très utilisée en pratique pour produire un courant dans un circuit.

*Elle est basée sur le phénomène d'induction électromagnétique et les courants ainsi créés sont appelés courants induits.*

#### 4.1.1 Les courants induits

##### 4.1.1.1 Expérience de base : bobine + aimant + ampèremètre



##### 4.1.1.2 Conclusions

*L'expérience montre que l'on peut créer un courant dans un circuit ne possédant pas de générateur : on parle de courant induit.*

*Pour créer ces courants dans une bobine, il suffit de déplacer un aimant dans cette bobine ou de déplacer la bobine vers l'aimant.*

*Le courant s'arrête dès que le mouvement cesse.*

- *Le courant se nomme courant induit*
- *La bobine se nomme bobine induite ou l'induit*
- *L'aimant est appelé inducteur*
- *Le phénomène de production des courants induits porte le nom d'induction électromagnétique*

Notons que si l'aimant s'approche de la bobine, le courant grandit vers le positif (courant dans un certain sens) et si l'aimant recule, le courant grandit vers le négatif (courant dans l'autre sens)

*On crée par le mouvement de va-et-vient de l'aimant, un courant dit alternatif dont la fréquence est la même que celle du mouvement* (voir chapitre suivant)

*Les « machines » permettant la création d'un courant alternatif sont appelés des alternateurs.*

##### 4.1.1.4 Conclusions

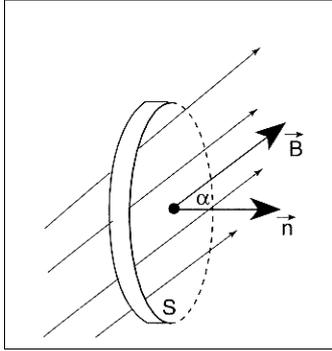
**Pour qu'il y ait un courant induit dans un circuit, il faut qu'il y ait**

- soit modification de la grandeur du champ magnétique  $\vec{B}$  traversant la spire (exp. 1, 3, 4, 6)
- soit modification de la surface  $S$  traversée par les lignes du champ magnétique (exp. 9)
- soit modification de l'orientation du champ magnétique  $\vec{B}$  par rapport à la spire (exp. 8).

#### 4.1.2 Notion de flux magnétique $\Phi$

##### Définition

*Le flux d'induction magnétique à travers une surface  $S$  représente la quantité de magnétisme qui traverse cette surface  $S$*



$$\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \cos \alpha$$

avec  $\alpha$  = angle entre le vecteur  $\mathbf{B}$  et la normale  $\mathbf{n}$  à la surface

Si  $\alpha = 0^\circ$ , alors  $\mathbf{B}$  est  $\perp$  à  $\mathbf{S}$  et

$$\Phi_{\max} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$$

Si  $\alpha = 90^\circ$ , alors  $\mathbf{B}$  est  $\parallel$  à  $\mathbf{S}$  et

$$\Phi_{\min} = 0$$

☞ Si le circuit comprend  $N$  spires, alors  $\Phi$  à travers le circuit est :

- $\Phi = N \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \cos \alpha$  où  $\mathbf{B}$  est le champ créé par une spire ( $B = \mu I / L$  avec  $N = 1$ )
- $\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \cos \alpha$  où  $\mathbf{B}$  est le champ créé par les  $N$  spires de la bobine ( $B = \mu NI / L$ )

Le flux  $\Phi$  s'exprime en Wéber (Wb),  $S$  en  $\text{m}^2$ ,  $B$  en tesla ( $T$ )

### 4.1.3 Synthèse sur la production de courant induit

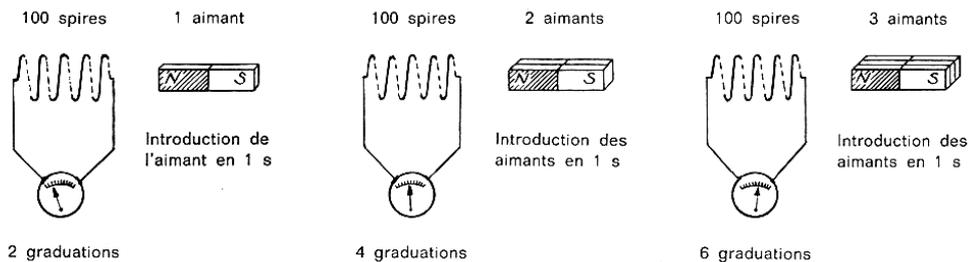
Pour qu'il y ait création d'un courant induit dans un circuit, il faut que celui-ci soit soumis à une variation de flux  $\Phi$ .

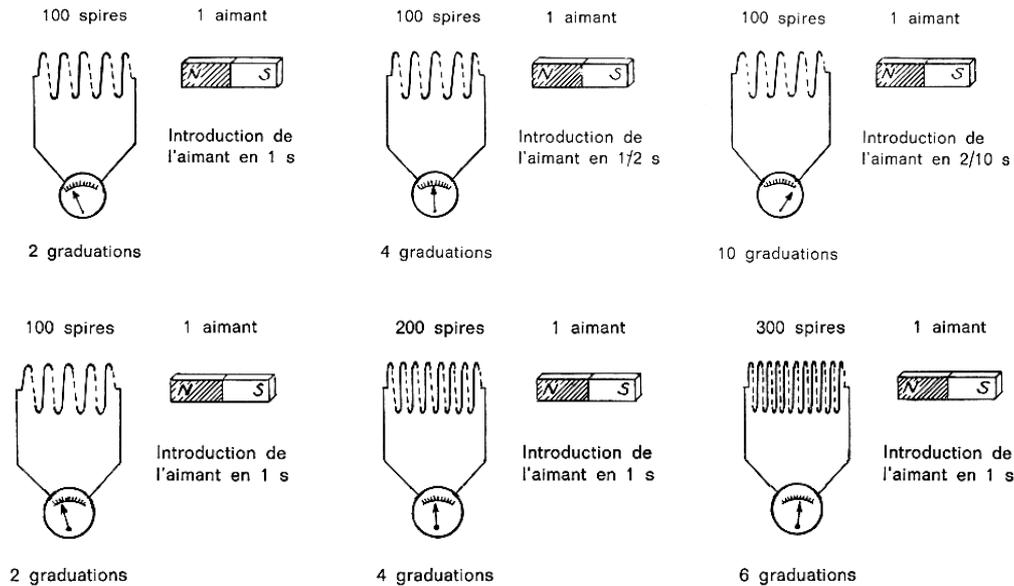
Ce courant ne dure que pendant cette variation de flux  $\Delta\Phi$

## 4.2 Loi de Faraday - Valeur de la tension induite $E$

*La loi de Faraday est une loi qui permet de déterminer la grandeur de la tension induite dans le conducteur (bobine) suite à une variation de flux.*

### 4.2.1 Paramètres influençant le courant induit





#### 4.2.2 Conclusion

*La d.d.p induite  $E$  ( V ) qui prend naissance aux bornes d'une bobine induite est :*

- *Proportionnelle à la variation de flux  $\Delta\Phi$  ( Wb )*
- *Inversement proportionnelle à la durée  $\Delta t$  ( s ) de la variation de flux*
- *Proportionnelle au nombre  $N$  de spires de la bobine induite*

$$E = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$E$	Tension induite en volt ( V )
$N$	Nombre de spires
$\Delta\Phi$	Variation de flux magnétique en wéber ( Wb )
$\Delta t$	Intervalle de temps en secondes ( s )

#### 4.3 Loi de Lenz

*La loi de Lenz est une loi qui permet de déterminer le sens du courant induit dans la bobine induite*

##### 4.3.1 Loi

*Le courant induit a un sens tel que par ses effets ils s'oppose à la cause qui lui a donné naissance. ( d'où le signe négatif dans la loi de « Lenz – Faraday » )*

##### 4.3.2 Vérification de la loi de Lenz

##### Chute d'un aimant dans un tube

###### a) Expérience

Soient deux tubes verticaux de même longueur et de même section intérieure, l'un en plastique et l'autre en cuivre. On y laisse tomber deux aimants identiques.

On observe des durées de chute très différentes : le retard dans le tube métallique est considérable et semble de nature à mettre en doute l'idée que dans le vide (ou dans l'air) tous les corps subissent, à un endroit donné, la même accélération due à la pesanteur.

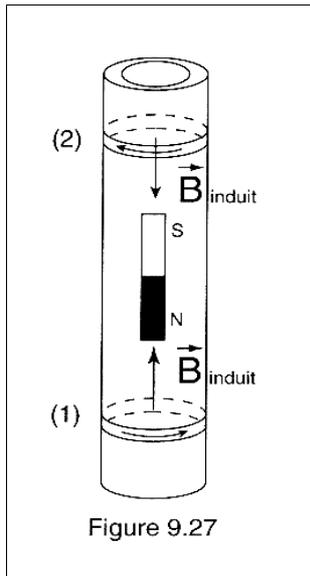


Figure 9.27

### b) Explication

La figure 9.27 représente les courants induits prenant naissance dans le tube en cuivre avant (1) et après (2) passage de l'aimant.

En (1), on approche un pôle Nord de la spire correspondant à une tranche du tube en cuivre. Le courant induit est source d'un champ magnétique vertical dirigé vers le haut, qui repousse l'aimant vers le haut. En (2), le pôle Sud de l'aimant s'éloigne de la spire. Le courant induit est source d'un champ magnétique vertical et dirigé vers le bas, qui retient l'aimant vers le haut. Ainsi l'aimant est freiné au long de sa chute.

## 4.4 APPLICATIONS DES COURANTS INDUITS

### 4.4.1 le microphone

Schéma

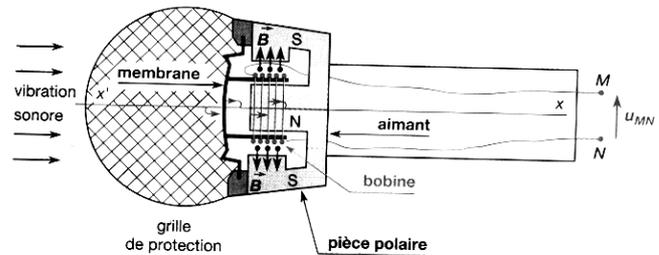
Organes de base :

un aimant

une bobine assemblée à une membrane (+ grille de protection)

l'aimant : permet de créer un champ magnétique  $B$

bobine : peut se déplacer //ment à l'axe de l'aimant.



Lorsque la membrane reçoit, à travers la grille, une vibration sonore, elle entre en vibration. Ce mouvement est automatiquement transmis à la bobine. Celle-ci se déplace au voisinage de l'aimant et il se crée un courant induit dans cette bobine. Celui-ci est récupéré par deux fils et amener vers un amplificateur.

Si la membrane reçoit un son de fréquence  $f$ , le mouvement de la bobine est aussi de fréquence  $f$  tout comme le courant produit.

SON (fréquence  $f$ ) → mvt alternatif de la membrane → courant alternatif (fréquence  $f$ )

*Le microphone transforme un son en un courant alternatif de même fréquence.*

### 4.4.3 La magnéto de vélo

Reprenons le schéma de la magnéto de vélo (fig. 9.21) présenté dans les générateurs mécaniques (fig. 2.12, chapitre 2).

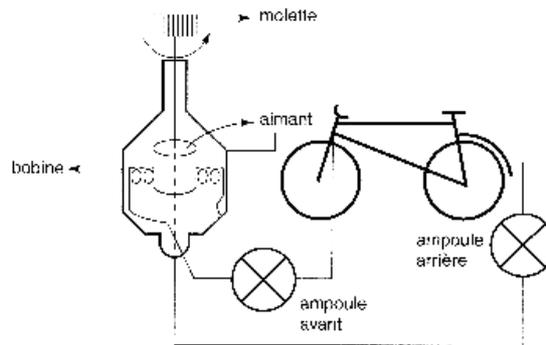


Figure 9.21

Lorsque le cycliste pédale, la molette solidaire de l'aimant central frotte contre la roue en mouvement. Il apparaît ainsi une variation du flux magnétique à travers la bobine fixe entourant l'aimant et donc un courant induit. Plus le cycliste roule vite, plus la variation de flux est rapide et plus l'intensité du courant induit est grande.

### 4.4.4 Les courants de Foucault

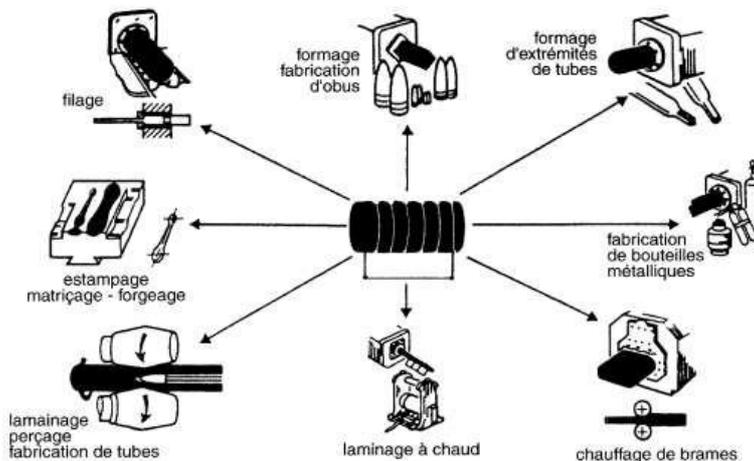
Le courant induit est plus important lorsque la résistance des conducteurs est très faible ( $i = E / R$ ). C'est le cas de conducteur de grosse section et des conducteurs massifs.

***Les courants induits dans des conducteurs massifs s'appellent courants de Foucault.***

#### a) Échauffement d'un corps métallique

##### • Four à induction

Dans un four à induction, un corps conducteur (en noir gras sur la figure 9.22) est chauffé en le plaçant à l'intérieur d'un bobinage parcouru par un courant alternatif de haute fréquence. L'usage de la haute fréquence (HF) permet de créer des variations de flux très rapides et donc des courants induits intenses.



Parmi les applications des fours à haute fréquence : chauffage de demi-produits (billettes, lopins, barres, tubes, ...) avant mise en forme à chaud par laminage, estampage, matricage, forgeage, filage, extension, ... Cette technique s'applique à des métaux tels que l'acier, le cuivre, l'aluminium, ...

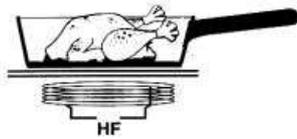
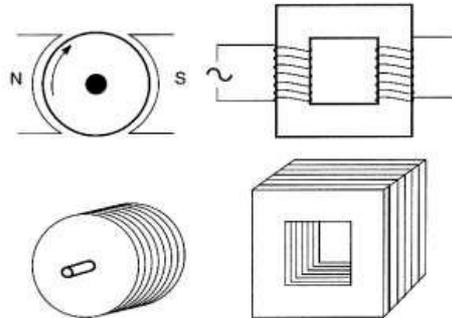


Figure 9.23

- **Cuisinière à induction**

Dans l'appareil de cuisson, un circuit électronique alimente une bobine appelée inducteur, placée sous la zone de cuisson. Cet inducteur crée un très fort champ magnétique variable. Lorsqu'on place un récipient conducteur sur la plaque vitrocéramique, il se crée dans le fond de celui-ci un courant induit. C'est celui-ci qui chauffe le fond du récipient et indirectement, chauffe les aliments contenus dans le récipient.

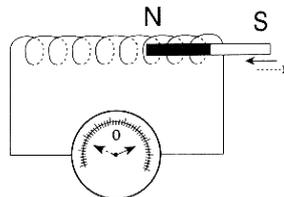
- **Bloc de fer feuilleté**



Le rotor d'un moteur électrique (à gauche) et le noyau de fer d'un transformateur (à droite) sont constitués de tôles isolées dont le plan est constamment parallèle aux lignes du champ magnétique.

## 5. Les courants alternatifs

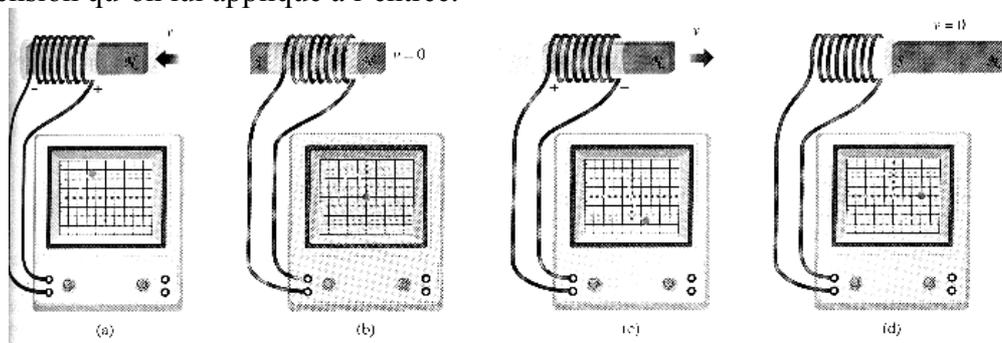
### 5.1 Production



Les expériences de base sur la production des courants induits nous ont montré que la tension ou différence de potentiel induite dans la bobine changeait de sens régulièrement au fur et à mesure que le mouvement se reproduit.

L'allure de la tension induite dans la bobine peut être visualisée sur un oscilloscope.

Un oscilloscope est un appareil électronique qui retrace sur un écran, la forme mathématique de la tension qu'on lui applique à l'entrée.



### 5.1.1 Définition

*Une tension qui change régulièrement de sens est appelée « tension alternative » ; elle produit un courant alternatif dans un circuit électrique fermé.*

*Lors du mouvement complet de l'inducteur ou de l'induit, la tension passe par toutes les valeurs qu'il est possible de produire ; on dit qu'elle décrit un cycle*

*La durée d'un cycle complet est appelée période du courant alternatif. Son symbole est  $T$  et elle se mesure en seconde (s)*

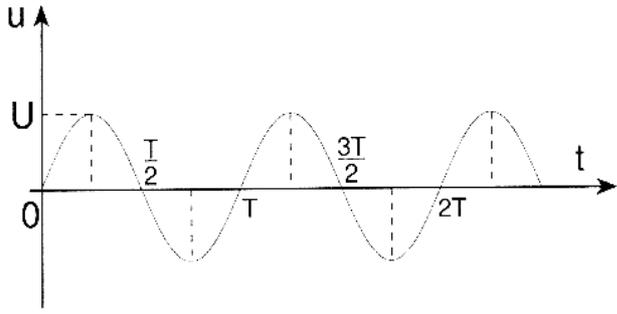
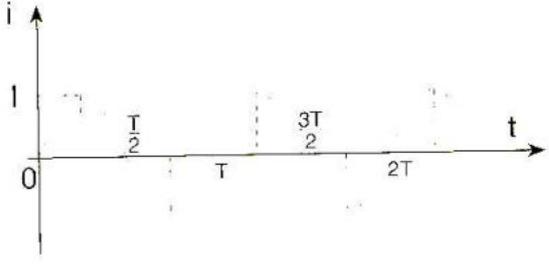
*Le nombre de cycles par seconde est appelé fréquence. Son symbole est  $f$  et elle se mesure en Hertz (Hz)*

### 5.1.2 Tension induite

#### Définitions

*Un courant d'intensité variable est dit périodique quand son intensité se reproduit identique à elle-même au bout d'intervalle de temps appelé période  $T$ .*

*Un courant est alternatif si son intensité reprend la même valeur changée de signe chaque fois que le temps augmente d'une demi période.*

$U(t) = U_M \sin \omega t$	$I(t) = I_m \sin \omega t$
	
La tension alternative est une fonction sinusoïdale du temps	L'intensité alternative est une fonction sinusoïdale du temps

On appelle

$I(t)$  ou  $I$  = intensité instantanée (idem pour  $U(t)$  ou  $U$ )

$I_m$  = intensité maximale ou amplitude du courant (idem pour  $U_m$ )

$\omega$  = pulsation du courant =  $2\pi / T = 2\pi f$

$f$  = fréquence du courant =  $1 / T$

Les courants alternatifs les plus fréquents sont les courants sinusoïdaux dont l'intensité est une fonction sinusoïdale du temps.

#### Remarques

- Courants industriels  $f = 50$  Hz en Europe       $f = 60$  Hz aux Etats-Unis
- Courants basses fréquences de 100 Hz à 10000 Hz
- Courants hautes fréquences de  $10^4$  Hz à  $10^9$  Hz
- Courants d'hyperfréquences de  $10^9$  Hz à  $10^{11}$  Hz

### 5.1.3 Les alternateurs industriels

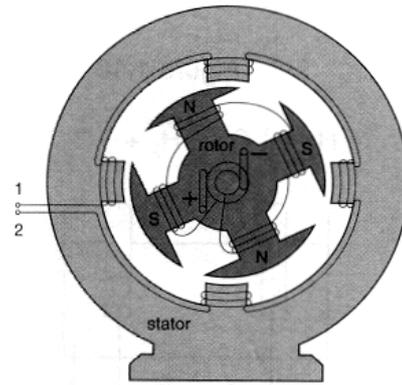
Si on veut obtenir une amplitude de courant appréciable, il ne faut pas prendre une spire mais un grand nombre et les faire tourner rapidement dans un champ magnétique intense.

Un alternateur industriel est un générateur de courants alternatifs d'intensité très grande.

Il en résulte un important dégagement de chaleur (effet Joule) ce qui nécessite un refroidissement important.

Comme il est plus facile de refroidir un système fixe qu'un système mobile, l'alternateur se compose :

- **d'un rotor** (= partie mobile centrale de l'alternateur) qui est un électro-aimant (*joue le rôle de l'aimant*)
  - **d'un stator** (= partie fixe extérieure) dans lequel se crée le courant induit (*joue le rôle de la bobine*)
- (Voir schéma)



En pratique le mouvement du rotor dans le stator est obtenu grâce à une turbine

## 5.2 Les effets du courant alternatif

### 5.2.1 Effet chimique

Chimiquement, le courant continu est utilisé pour les électrolyses. (*voir cours de chimie*)

Rappelons que le courant alternatif correspond au mouvement des électrons dans un sens pendant une demi période et au mouvement de ces mêmes électrons dans l'autre sens pendant la seconde demi période.

Ceci signifie que les produits de l'électrolyse qui apparaissent à l'anode et à la cathode sont constamment mélangés lors de leur production car anode et cathode se succèdent à chaque demi période.

***En conséquence, le courant alternatif n'est pas utilisé pour des électrolyses.***

### 5.2.2 Effet magnétique

L'action d'un champ magnétique sur un courant alternatif est la même qu'en courant continu si ce n'est que la force électromagnétique ou force de Laplace change de sens au même rythme que celui du courant.

### 5.2.3 Effet biologique

Des courants alternatifs, même faibles traversant le corps humain peuvent provoquer des blessures ou même la mort.

Les blessures sont dues à l'énergie thermique dégagée lors du passage du courant par effet Joule

### 5.2.4 Effet calorifique - Grandeurs efficaces

L'effet Joule ne dépend pas du sens du courant.

Le courant alternatif permet la production de chaleur pour le chauffage et l'éclairage par incandescence si sa fréquence est suffisante ( $f > 30 \text{ Hz}$ ) pour produire un éclat fixe.

### 5.2.4.1 Intensité efficace $I_{\text{eff}}$ ou $I_e$

*On appelle intensité efficace  $I_e$  d'un courant alternatif, l'intensité d'un courant continu qui dégage, pendant une période et dans la même résistance, la même quantité de chaleur que le courant alternatif.*

### 5.2.4.2 Différence de potentiel efficace $U_{\text{eff}}$ ou $U_e$

*La différence de potentiel efficace  $U_e$  est la différence de potentiel continue qui, appliquée aux extrémités d'une résistance  $y$  produit un courant d'intensité égale à l'intensité efficace du courant alternatif.*

### 5.2.4.3 Remarques

Les appareils de mesure de courant alternatif mesure toujours les grandeurs efficaces du courant

Ainsi, aux bornes d'une prise de courant, on mesure une ddp de 220V. Cela représente  $U_e$ . La ddp instantanée aux bornes de la prise oscille donc de - 311V à + 311V.

## 6. Les transformateurs

### 6.1 Introduction

Les utilisateurs de courant électrique n'ont pas tous besoin de la même tension. Ainsi une sonnerie électrique fonctionne sous un d.d.p. de 6V et une lampe halogène sous 12V ou 24V.

Il faut donc un système qui permet de modifier la tension ; c'est le transformateur.

Cet appareil ne fonctionne qu'en courant alternatif et pas en courant continu..

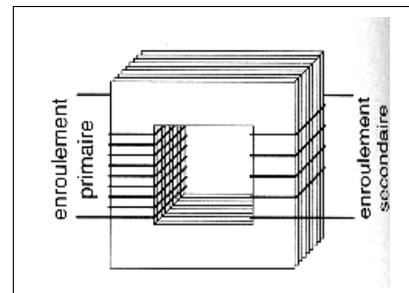
### 6.2 Description

Le transformateur se compose de :

Un circuit primaire = bobine constituée de  $N_p$  spires

Un circuit secondaire = bobine constituée de  $N_s$  spires

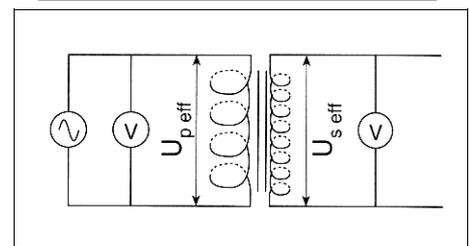
Un circuit magnétique constitué de tôles de fer = carcasse métallique



### 6.3 Expérience

Le primaire est raccordé à une source de courant alternative de tension  $U_p$  (grandeur efficace)

Le secondaire est relié au circuit utilisateur et à ses bornes existe une tension  $U_s$  (grandeur efficace)



Regarder l'influence de  $N_p$  et de  $N_s$  sur  $U_s$

#### 6.3.1 Loi du transformateur

Pour un transformateur idéal c'est à dire sans perte magnétique, on a

$$\frac{U_s}{U_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Le rapport  $N_s/N_p$  est appelé « **rapport de transformation** »

$N_s/N_p > 1$  le transformateur élève la tension

$N_s/N_p < 1$  le transformateur abaisse la tension

## 6.4 Applications

### 6.4.1 Soudure par point

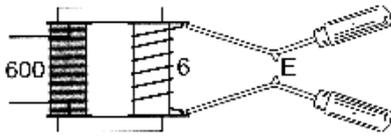


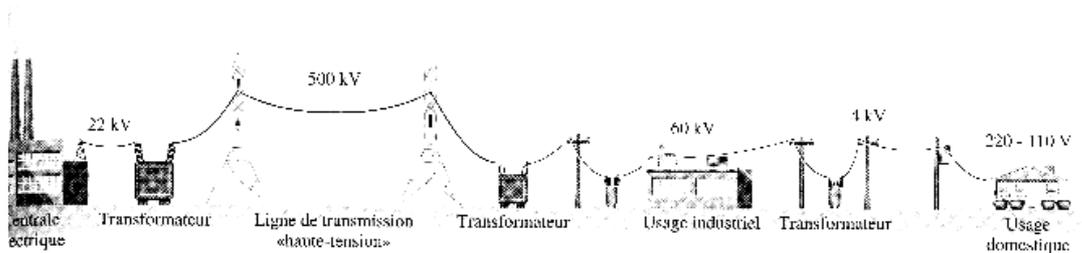
Figure 2.4

Utilisons un transformateur comprenant 600 spires au primaire et 6 spires au secondaire. Fermons le circuit secondaire à l'aide d'un petit clou. Soumettons le primaire à une différence de potentiel de 220 V. Si la résistance du secondaire est faible, nous pouvons obtenir des courants jusque 500 A malgré la petitesse de  $U_{s\text{ eff}}$  (2,2 V). Le clou va alors devenir incandescent et fondre. La soudure électrique par point repose sur ce principe. On serre deux tôles entre les électrodes  $E$  d'une pince à souder (fig. 2.4). Si le courant dans le secondaire est suffisant, les deux tôles vont se souder au point de contact.

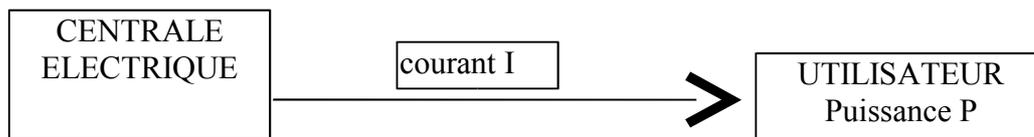
### 6.4.2 Production de basse tension

pour les ampoules halogènes, sonneries électriques,...

### 6.4.3 Transport de l'énergie



Pourquoi faut-il transformer la tension du courant pour la transporter ?



L'intensité de transport du courant est  $I = \frac{P}{U}$ . Or tout conducteur parcouru par un courant est soumis à l'effet Joule  $E = R.I^2.t$ . La puissance perdue par effet Joule est donc  $P = R.I^2$

Pour limiter ces pertes, la compagnie d'électricité a plusieurs choix:

1. diminuer la résistance  $R$  des câbles
  - choisir un bon conducteur (cuivre)
  - augmenter la section des câbles (max 6 cm<sup>2</sup>)
2. diminuer l'intensité du courant dans les câbles
  - Comme  $P$  est constant et  $P = U.I$  Si  $I$  diminue,  $U$  doit augmenter

**Pour limiter les pertes par effet Joule dans les lignes de transport, l'énergie électrique doit être transportée sous haute tension.**