

Cours d'électricité

$K =$
 $\rho = 9,1 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$
 $l = 0,5 m$
 $S = 0,2 mm^2 \rightarrow 0,2 \cdot 10^{-6}$

Rédigé par :
MM. Annen, Barblan, Prina

$R = 0,1 \cdot \frac{0,5}{0,2} \cdot \frac{10}{1,4}$

Département de l'Instruction Publique

Cycle d'Orientation

GENEVE

E L E C T R I C I T E

Rédigé par: MM. ANNEN, BARBLAN et PRINA

Photographie: M. J. YUNG

Approuvé par: la commission d'étude des sciences dans le
cadre de la scolarité obligatoire. (Département de l'Instruction Publique)

Introduction historique

Chapitre 1 - LA NOTION DE CHARGE ELECTRIQUE

L'ACTION MUTUELLE DE DEUX CHARGES PONCTUELLES

1.1	L'électrisation par frottement	page 1
1.2	Isolant et conducteur	page 3
1.3	Les deux espèces d'électricité	page 5
1.4	Loi de Coulomb	page 8
1.5	L'interprétation électronique de l'électrisation	page 12
1.6	D'autres méthodes d'électrisation	page 13
1.7	Répartition des charges dans un conducteur	page 15

Chapitre 2 - GRANDEURS ELECTRIQUES FONDAMENTALES

2.1	Introduction	page 17
2.2	Le courant électrique	page 17
2.3	Les effets du courant électrique	page 22
2.4	Notion de potentiel	page 24
2.5	Différence de potentiel ou tension	page 25
2.6	La notion de résistance électrique	page 30
2.7	La résistivité	page 32

Chapitre 3 - PUISSANCE, TRAVAIL, LOI DE JOULE

3.1	Introduction	page 36
3.2	Le travail électrique et la loi de Joule	page 37
3.3	La puissance électrique	page 39

Chapitre 4 - CIRCUITS ELECTRIQUES

4.1	Circuit série	page 40
4.2	Circuit parallèle	page 43

Introduction historique

Nous vous présentons, sous la forme d'un tableau chronologique, quelques étapes essentielles de l'établissement des notions d'électricité. Il ne s'agit nullement de l'histoire complète de l'évolution des idées qui ont amené l'humanité à ses connaissances actuelles.

- THALES (600 avant J.C.) philosophe grec, cite pour la première fois les propriétés d'attraction sur d'autres corps de l'ambre frotté avec une fourrure.
(ambre = $\epsilon\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$, électron)
- DU FAY (1698-1739, français) découvre qu'il existe deux espèces d'électricité.
- FRANCKLIN (1706-1790, américain) montre que la foudre est un phénomène électrique.
- COULOMB (1736-1806, français) mesure l'action réciproque des charges électriques et introduit les grandeurs physiques qui permettent une description du phénomène (loi de Coulomb).

Avec Coulomb s'achève pratiquement une première période de mise au point des notions d'électricité. En effet, l'investigation a essentiellement porté, jusqu'à Coulomb, sur les corps chargés et leur action réciproque. Nous appellerons cette partie de l'électricité

l'électrostatique

(étude des charges électriques au repos)

Avec Volta commence une deuxième période où l'intérêt est porté sur les charges électriques en mouvement, c'est-à-dire l'étude du courant électrique. Nous appellerons cette partie de l'électricité

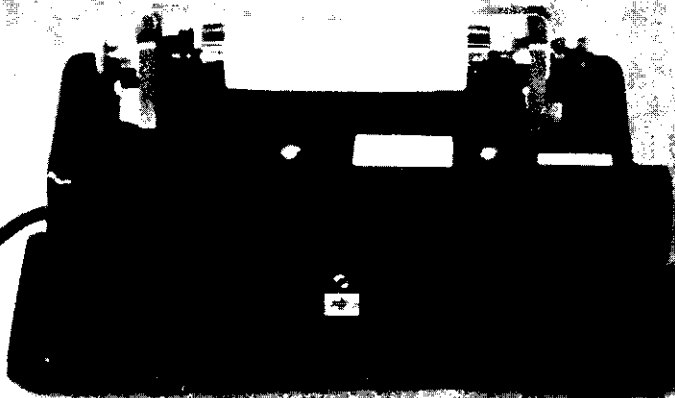
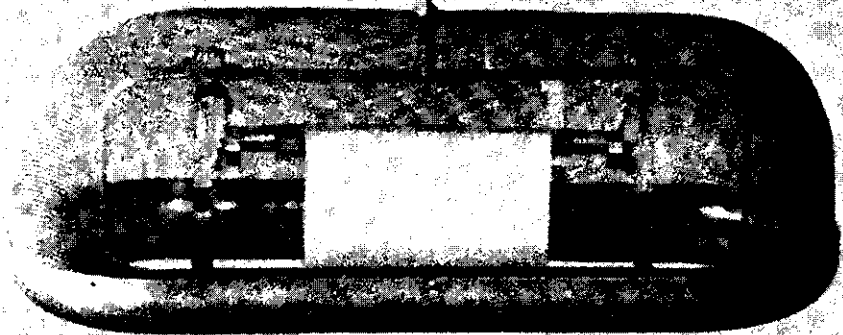
l'électrodynamique

(étude des charges en mouvement)

- VOLTA** (1745-1827, italien) invente la pile électrique.
- AMPERE** (1775-1836, français) étudie l'effet du courant électrique sur un aimant et l'effet des courants électriques entre eux.
- OHM** (1787-1884, allemand) détermine les propriétés quantitatives du courant électrique. Il établit une théorie mathématique du courant électrique.
- FARADAY** (1791-1867, anglais) étudie l'effet chimique du courant électrique (électrolyse).
- JOULE** (1818-1889, anglais) étudie l'effet calorifique du courant électrique (loi de Joule).

Une troisième période a le mérite essentiel d'avoir découvert l'agent des phénomènes électriques: l'électron.

- ROENTGEN** (1845-1923, autrichien, Prix Nobel en 1901) découvre les rayons X.
- HERTZ** (1857-1894, allemand) étudie les ondes électromagnétiques (ondes radio).
- MILLIKAN** (1868-1955, américain, Prix Nobel en 1923) détermine la charge électrique de l'électron.

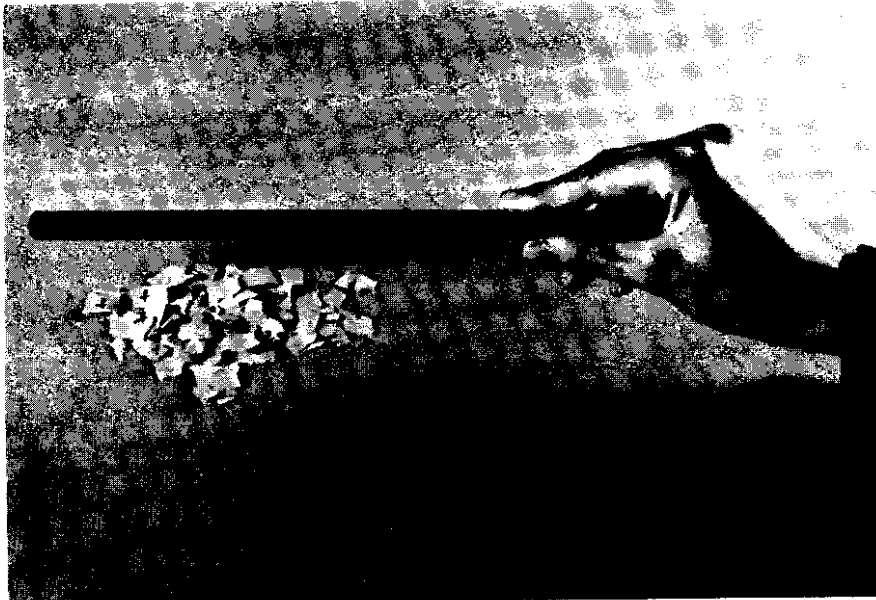


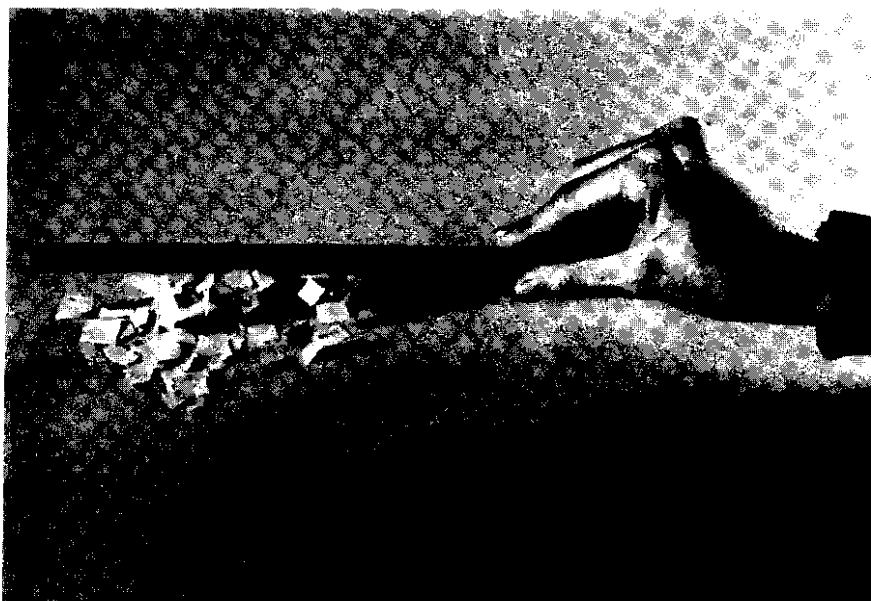
LA NOTION DE CHARGE ELECTRIQUE
L'ACTION MUTUELLE DE DEUX CHARGES PONCTUELLES

1.1 L'électrisation par frottement

Faisons l'expérience suivante:

Frottons un bâton d'ébonite avec une fourrure ou avec un tissu de laine, de soie. Approchons-le de corps légers tels que de petits morceaux de papier. Nous constatons que les corps sont attirés par le bâton. Par le frottement, le bâton d'ébonite acquiert la propriété d'attirer de petits objets légers sur sa partie frottée.





Nous dirons que l'ébonite s'électrise par frottement.

Nous pouvons répéter l'expérience en frottant de la même façon un bâton de verre ou encore une règle en matière plastique.





Le phénomène que nous venons de décrire se produit couramment, par exemple :

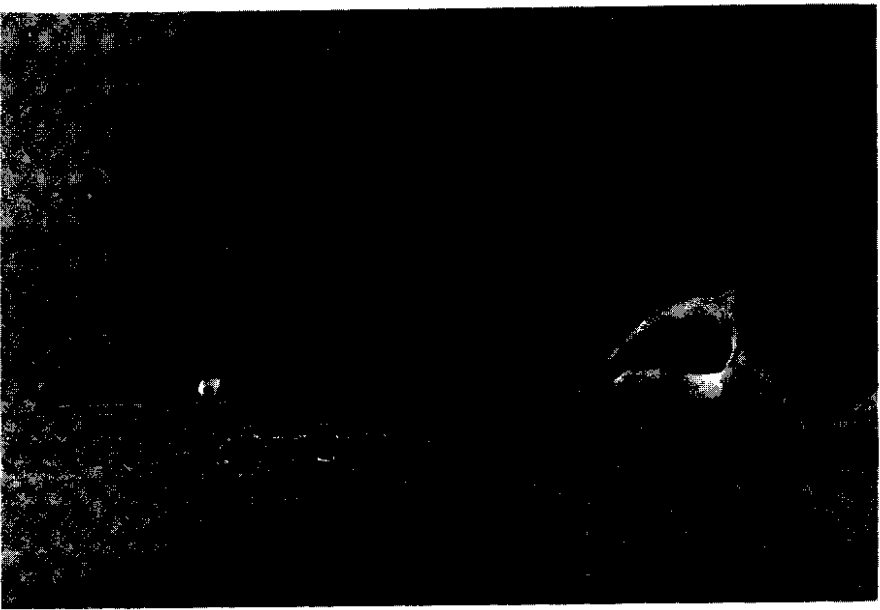
On peut remarquer que les grains de poussière viennent de nouveau se coller au disque de musique que l'on vient de passer sur un électrophone.

On reçoit une décharge en glissant sa main sur une rampe d'escalier recouverts de plastique.

Les vêtements de nylon, portés la journée, restent collés au corps lorsqu'on désire les enlever.

1.2 Isolant et conducteur

Répetons notre expérience à l'aide d'une baguette de laiton ou de cuivre. Bien que très énergiquement frottée avec la même fourrure ou le même tissu, la baguette n'attire par les corps légers lorsqu'elle est tenue à la main.



Par contre, elle s'électrise sur toute sa surface quand on la tient par l'intermédiaire d'un manche en ébonite ou en matière plastique.

Elle attire donc aussi les corps légers.



Expliquons ces phénomènes.

Les forces qui précipitent ainsi de très légers objets sur les corps électrisés ont leur origine dans l'apparition de petites quantités d'électricité que nous appellerons

des charges électriques.

{ Nous pouvons distinguer des corps tels l'ébonite, le verre, les matières plastiques qui conservent les charges électriques. Ces dernières ne peuvent que difficilement se déplacer et nous constatons le phénomène d'attraction. Nous dirons que ces corps sont isolants.

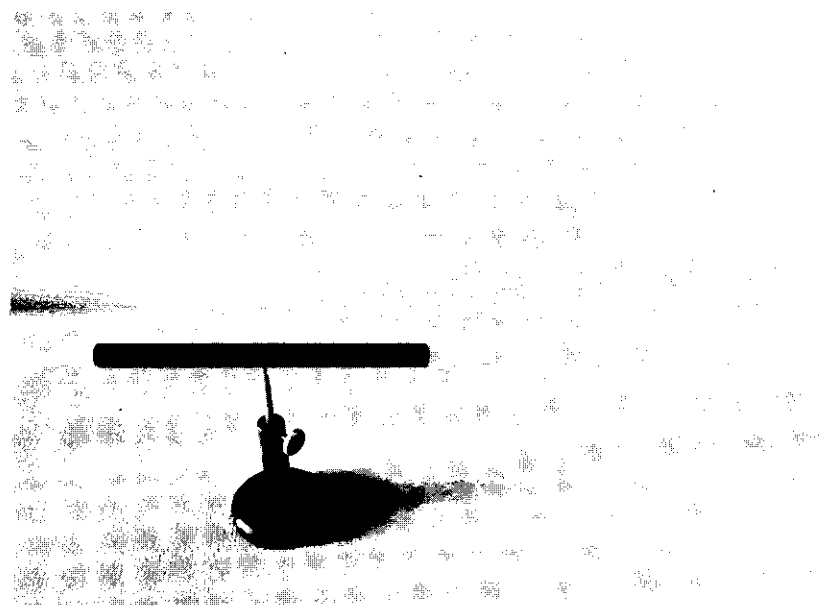
Un isolant ne permet que difficilement le déplacement de charges électriques.

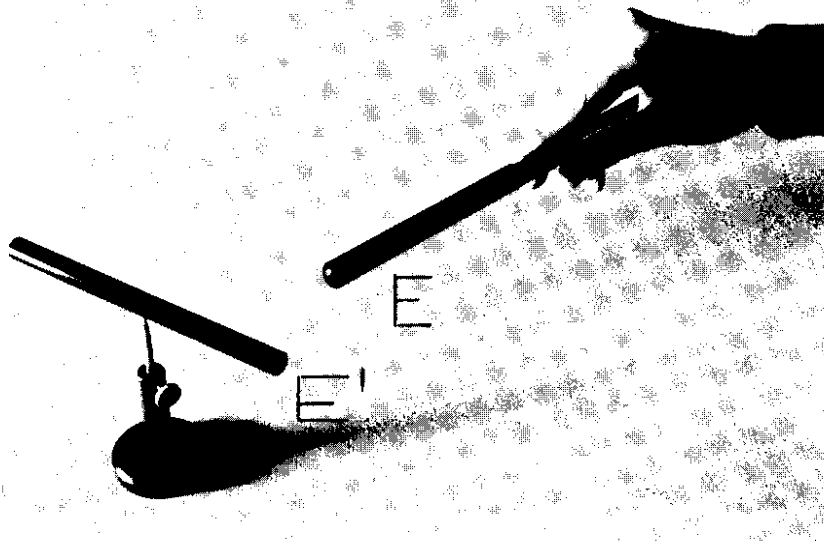
Par contre, un métal permet le déplacement des charges électriques et nous ne verrons pas de petits corps légers être attirés. Nous dirons qu'un métal est conducteur.

Un conducteur permet le déplacement des charges électriques.

1.3 Les deux espèces d'électricité

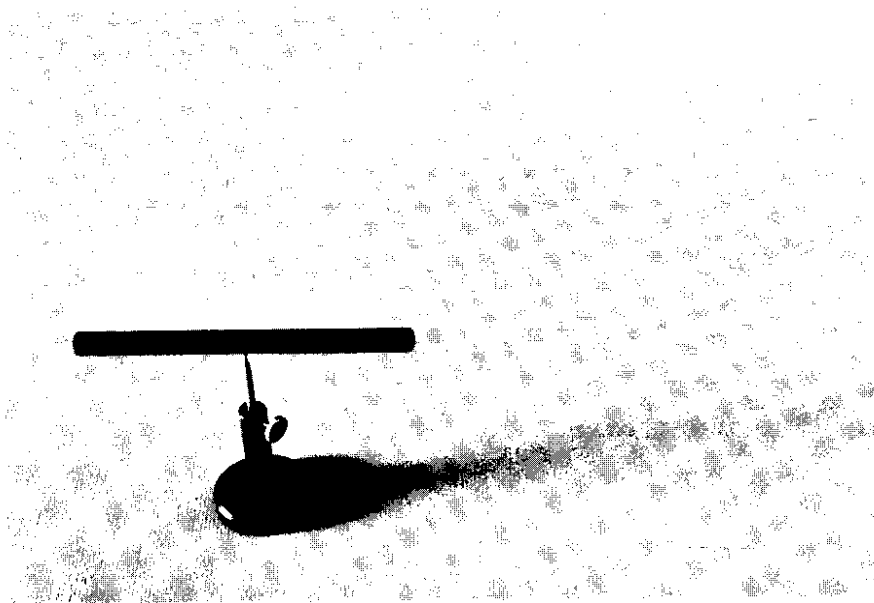
Après avoir électrisé par frottement les deux extrémités E et E' de deux bâtons d'ébonite, plaçons l'un de ces bâtons sur une aiguille servant d'axe de rotation. Approchons de l'extrémité E du bâton, l'extrémité E' de l'autre bâton.

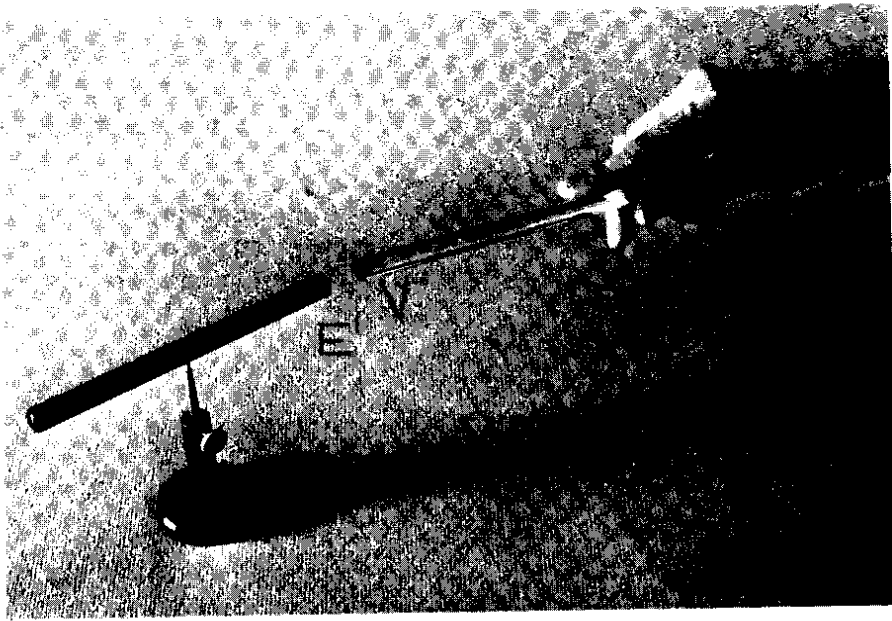




Nous constatons une répulsion.

Remplaçons le bâton d'ébonite par un bâton de verre dont l'extrémité V a été électrisé par frottement avec du drap. Approchons de V l'extrémité E' du bâton d'ébonite placé sur l'axe.





Nous observons cette fois une attraction.

Enfin, si nous approchons de V' la partie électrisée V d'un autre bâton de verre tenu à la main, nous observons de nouveau une répulsion. (V' étant l'extrémité d'un bâton de verre électrisé)

Ces expériences conduisent aux conclusions suivantes.

① Les charges électriques que le frottement fait apparaître sur l'ébonite et sur le verre sont d'espèces différentes.

Il n'existe d'ailleurs que ces deux espèces d'électricité car l'expérience montre que tout corps électrisé se comporte soit comme le bâton d'ébonite frotté avec une fourrure, soit comme un bâton de verre frotté avec du drap.

On convient d'appeler :

verre = positive

Electricité positive, celle qui apparait sur le verre frotté avec du drap.

ébonite négative

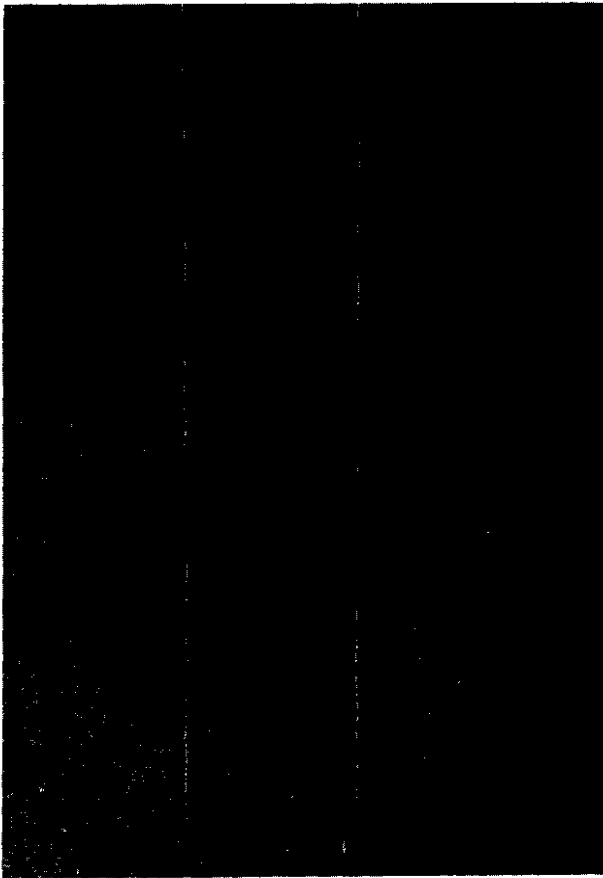
Electricité négative, celle qui apparait sur l'ébonite frotté avec une fourrure.

② Deux corps chargés d'électricité de même espèce se repoussent.

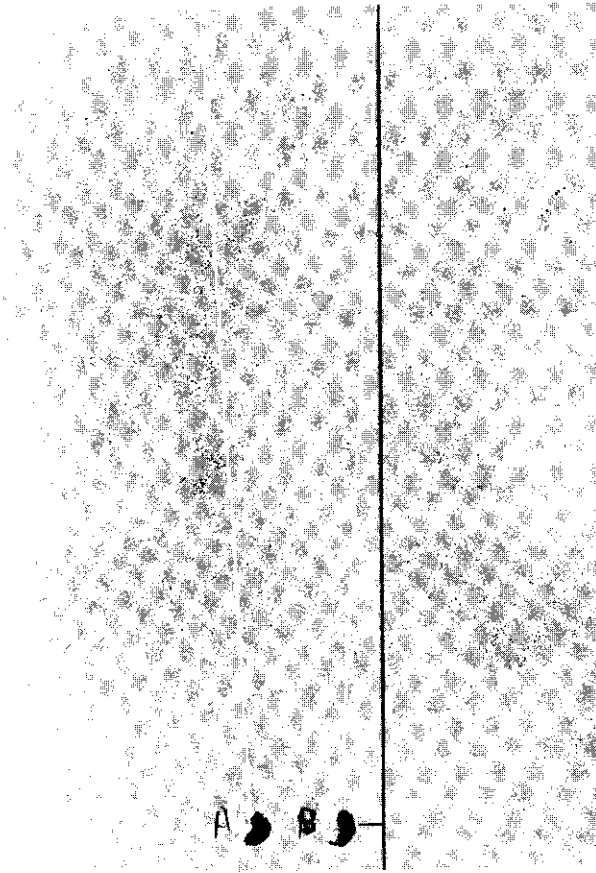
Deux corps chargés d'électricité d'espèces différentes s'attirent.

1.4 Loi de Coulomb

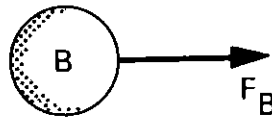
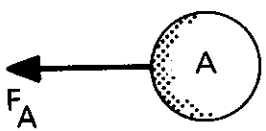
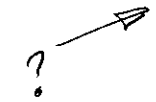
Deux petites sphères conductrices sont suspendues par des fils isolants, en soie par exemple. Lorsque les boules ne sont pas chargées, les deux fils de suspension sont parallèles.



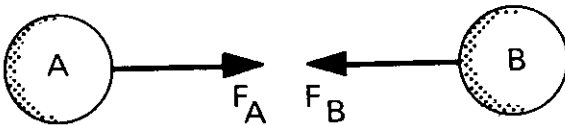
Electrisonons les deux sphères en les touchant avec un bâton d'ébonite ou de verre préalablement frotté. Les fils s'inclinent sous l'effet des forces électro-statiques que les charges A et B exercent l'une sur l'autre.



Conformément au principe de l'action et de la réaction, ces deux forces F_A et F_B sont dans tous les cas des forces opposées, quelles que soient les charges A et B.



F_A agit sur le corps A



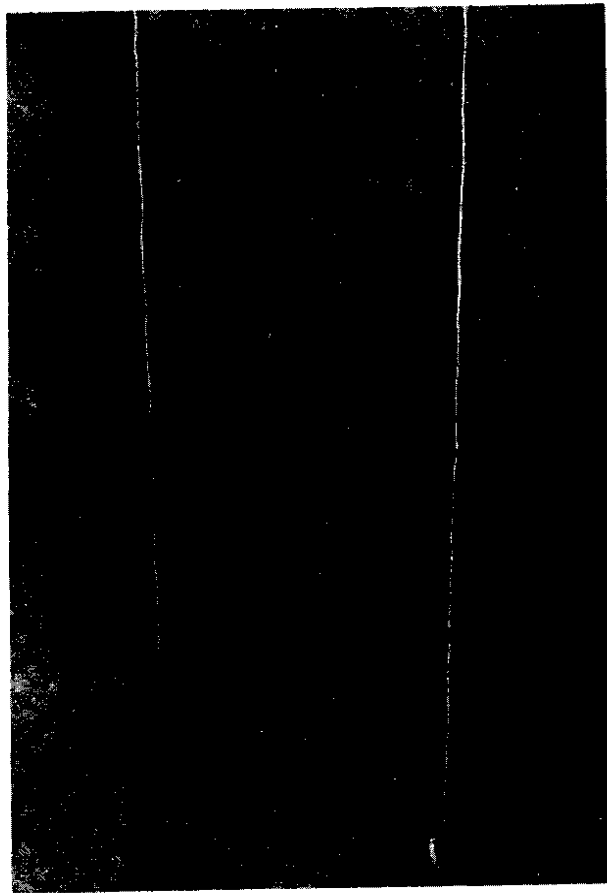
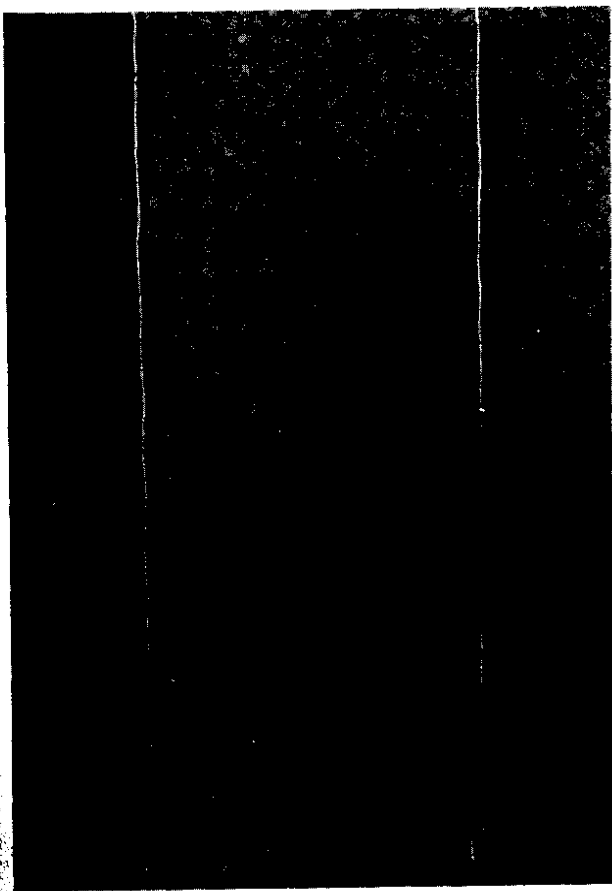
F_B agit sur le corps B

F_A et F_B ont même droite d'action, même intensité mais des sens opposés. (voir cours de mécanique)

Charles Coulomb a étudié ces forces. Il a constaté que:

1. Les forces F_A et F_B augmentent avec la quantité de charges située sur les deux sphères.
2. Les forces F_A et F_B diminuent si on augmente la distance entre les deux sphères.

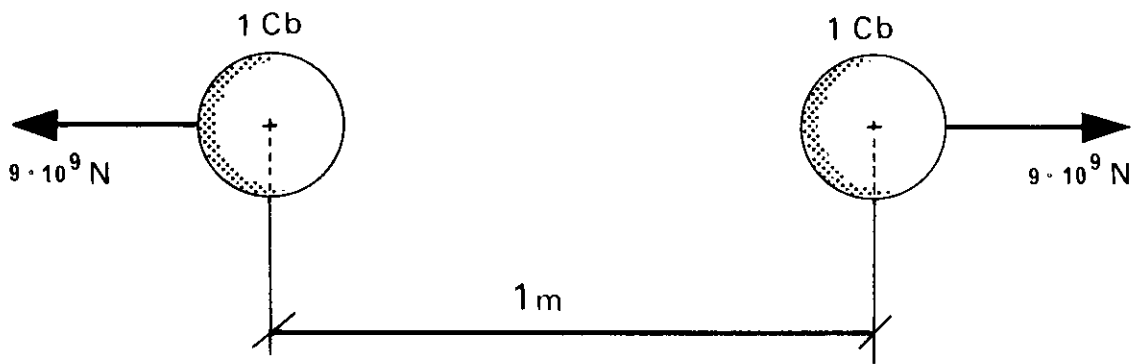
Ces deux constatations forment la loi de Coulomb.



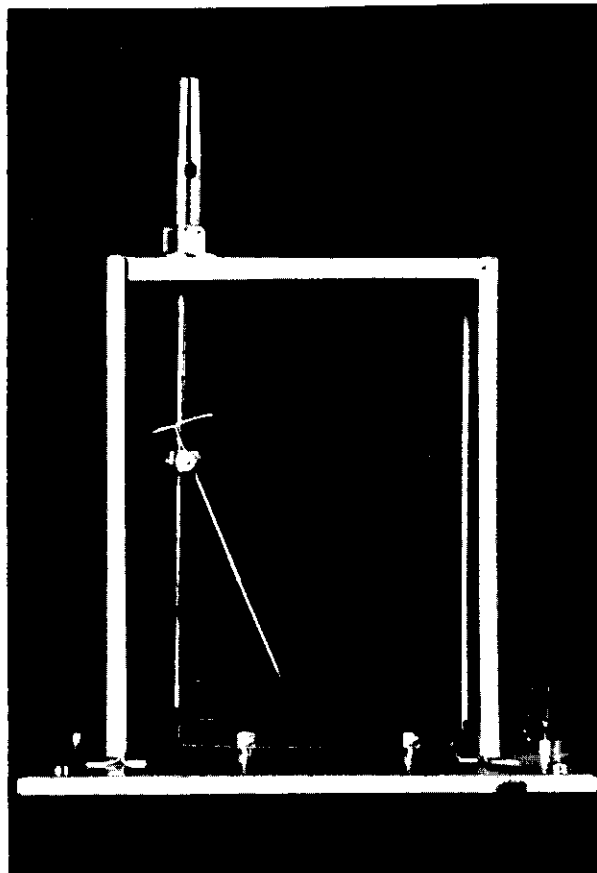
Nous pouvons utiliser cette loi pour définir une unité de charge électrique.

L'unité de charge électrique est la charge qui, placée sur chacun des deux corps situés à un mètre l'un de l'autre, produit une force de un Newton.

L'unité de charge ainsi définie s'avère être trop petite et on préfère utiliser une quantité $9 \cdot 10^9$ fois plus grande qu'on appelle Coulomb (Cb)



L'instrument permettant de constater la présence de charges électriques s'appelle un électroscope. Il est essentiellement basé sur la répulsion de charges de même signe.



1.5 L'interprétation électronique de l'électrisation

Nous savons que tous les corps sont formés par des assemblages

d'atomes

Ces atomes sont des particules extrêmement petites qui se comptent par milliers de milliards dans la moindre parcelle de matière.

Nous savons aussi que chaque atome est constitué par un noyau autour duquel gravitent les électrons. Dans les noyaux, nous trouvons deux des principales particules élémentaires: les protons et les neutrons.

Un proton possède une charge électrique élémentaire positive +
Un électron possède une charge électrique élémentaire négative -
Un neutron ne possède pas de charge électrique. (*neutre*)

Dans toutes les opérations (expériences) ordinaires de la Physique et de la Chimie, les noyaux des atomes demeurent inaltérés. Ils conservent donc intégralement leur charge électrique positive. Par contre, sous diverses influences comme le frottement par exemple, l'atome peut céder un ou plusieurs électrons.


A l'état normal, un atome est électriquement neutre. En effet, nous savons qu'un atome possède autant d'électrons que de protons. La charge négative que représente l'ensemble de ces électrons est égale, en intensité, à la charge positive de son noyau. Les charges positives et négatives se neutralisent mutuellement et un atome est électriquement neutre.

Si l'on enlève des électrons à un corps, la charge positive globale des noyaux de tous les atomes n'est plus exactement neutralisée par la charge négative globale des électrons restants. Le corps s'électrise positivement. Au contraire, il s'électrise négativement si on lui apporte un supplément d'électrons.

Lorsqu'on frotte une baguette de verre avec un chiffon de soie, on arrache des électrons au verre. La baguette de verre se charge positivement alors que la soie se charge négativement en recevant les électrons arrachés.

Au contraire, lorsqu'on frotte une baguette d'ambre avec une fourrure, on arrache des électrons à la fourrure qui se charge positivement; la baguette d'ambre, elle, se charge négativement par cet apport d'électrons.

Que se passe-t-il avec un conducteur métallique?

Les atomes métalliques perdent facilement un ou plusieurs électrons périphériques. Comme les atomes sont disposés selon une structure  ces électrons demeurent à l'intérieur du réseau et y circulent en tout sens de façon désordonnée. On les appelle les électrons libres du métal.

Cette possibilité pour les électrons de se déplacer facilement explique l'impossibilité d'électriser une tige métallique que l'on tient à la main. Si le frottement fait apparaître un excès d'électrons sur une partie de la tige, ils se dispersent aussitôt vers le sol, par l'intermédiaire de la tige et du corps de l'expérimentateur.

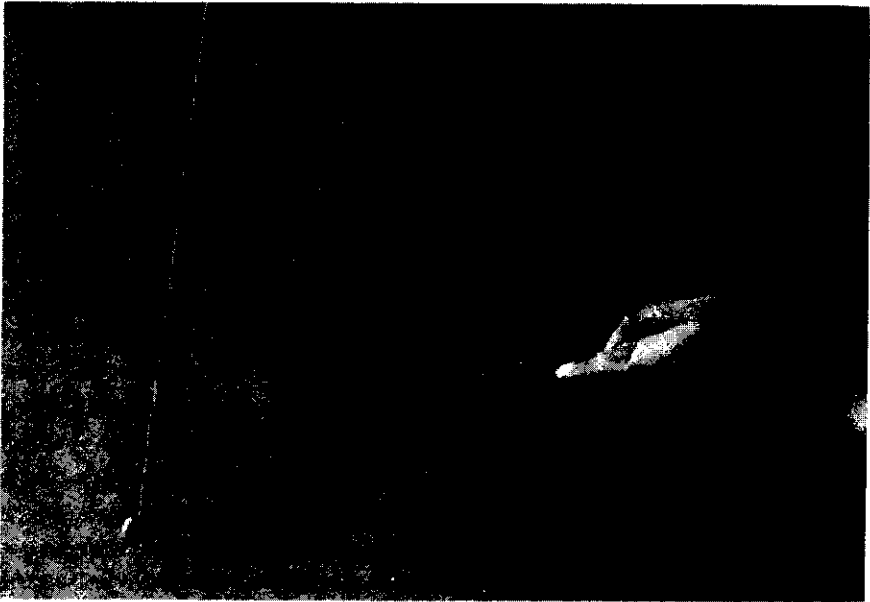
D'autres méthodes d'électrisation

Électrisation par contact.

Nous appellerons pendule électrique, une petite sphère électriquement isolée du sol. Cette petite boule est en moelle de sureau par exemple.

Approchons du pendule un bâton d'ébonite que nous avons frotté avec une fourrure.

La boule est attirée, preuve que le bâton est électrisé. Si, après avoir laissé la boule toucher le bâton, nous l'en séparons par une légère secousse, nous constatons que le bâton la repousse.



Par contre, la boule est attirée par un bâton de verre préalablement frotté avec du drap.

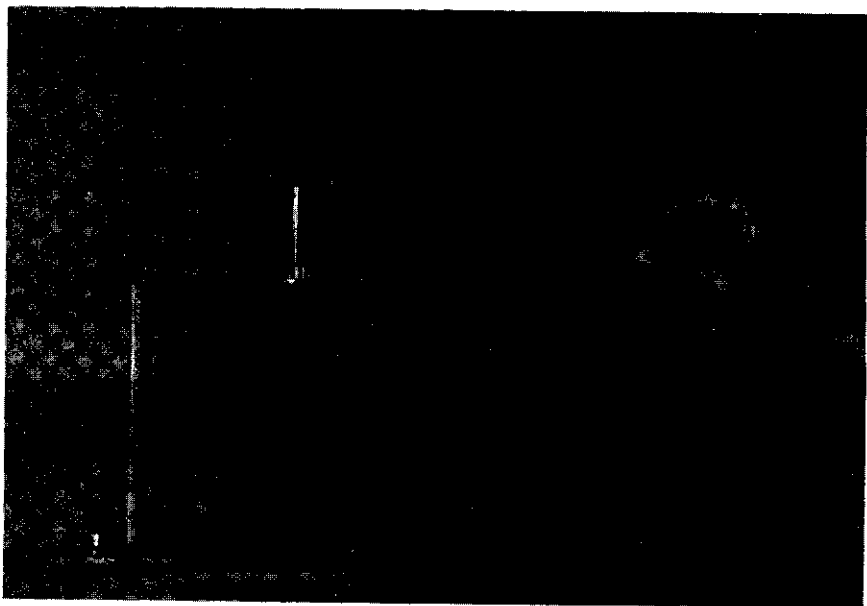
Ces faits expérimentaux s'expliquent également par un transfert d'électrons.

Le bâton d'ébonite, préalablement frotté, possède un excédent d'électrons arrachés à la fourrure. Il est donc chargé négativement. Dès que la boule est mise en contact avec le bâton, une partie de l'excédent d'électrons passe sur la sphère. Elle sera donc ainsi chargée négativement. Etant chargé d'électricité de même espèce, le bâton et le pendule se repoussent.

Le bâton de verre, étant chargé positivement par un manque d'électrons cédés au drap lors du frottement, attire le pendule chargé négativement.

phénomène d'influence.

Utilisons cette fois un électroscope. C'est un appareil constitué par une tige métallique t portant à l'extrémité supérieure un petit plateau P (parfois une petite sphère) en métal et à la partie inférieure deux feuilles très minces, en or ou en aluminium.



La tige est isolée de l'enceinte conductrice E par un bouchon isolant B. L'enceinte comporte deux ouvertures permettant d'observer les feuilles.

L'électroscope étant déchargé donc neutre, approchons de P, sans le toucher, un bâton d'ébonite électrisé. Les feuilles divergent, preuve qu'elles se repoussent. L'interprétation électronique de cette observation est immédiate: Les électrons libres de l'électroscope, repoussés par l'ébonite électrisé négativement, vont s'accumuler dans les feuilles. De ce fait, le plateau s'électrise positivement pendant que les feuilles s'électrisent toutes deux négativement.

4.7 Répartition des charges dans un conducteur

Faisons les expériences suivantes:

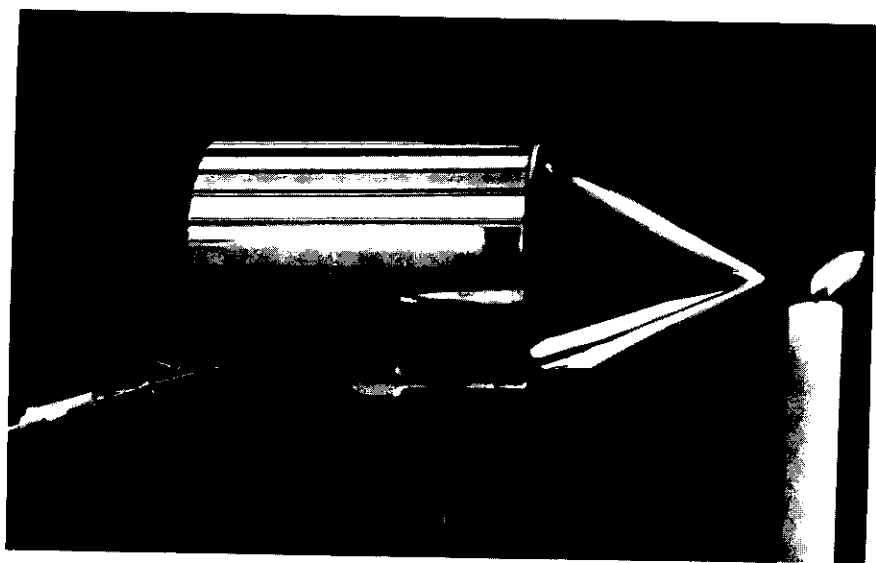
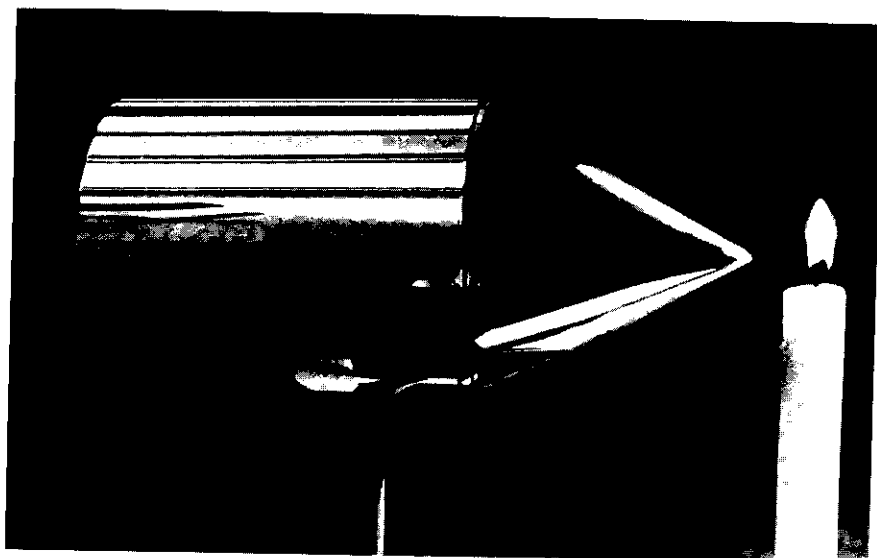
Chargeons un corps conducteur creux possédant une petite ouverture. A l'aide d'une petite sphère conductrice touchons l'extérieur du corps. Elle se charge à son tour comme nous pouvons nous en assurer en voyant diverger les feuilles de l'électroscope lorsque la petite boule est mise en contact avec l'électroscope. Des charges ont donc été transportées.

Refaisons l'expérience mais en touchant, cette fois, l'intérieur du corps creux. L'électroscope nous apprend que, dans ce cas, aucune charge n'a été transportée.

Nous pouvons conclure que les charges électriques se répartissent sur la surface extérieure d'un corps conducteur.

En tenant un conducteur de forme conique que nous chargeons. La flamme d'une bougie placée près de la pointe du cône vacille et est déviée.

Ce phénomène s'appelle le pouvoir des pointes.



Chapitre ■

GRANDEURS ELECTRIQUES FONDAMENTALES

2.1 Introduction

Au chapitre précédent, nous avons vu qu'il existe deux espèces d'électricité. Cette différence est expliquée par la constitution des atomes.

L'électricité positive (+) est essentiellement portée par les noyaux des atomes, en outre ceux-ci représentent la quasi totalité de la masse des atomes.

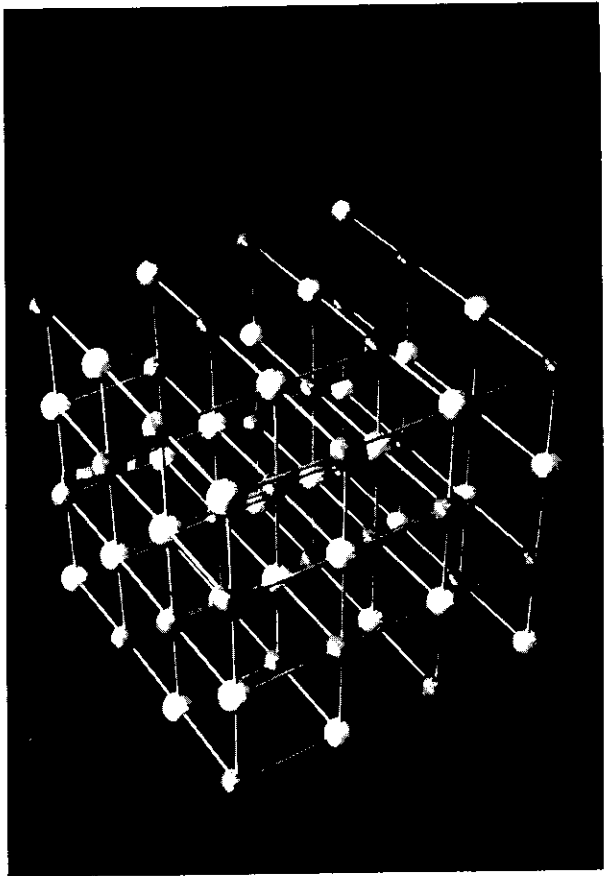
Ainsi toute la matière se déplacera si des charges (+) sont en mouvement.

Au contraire, l'électricité négative (-) est due aux charges négatives des électrons qui, eux, ont une masse pratiquement nulle.

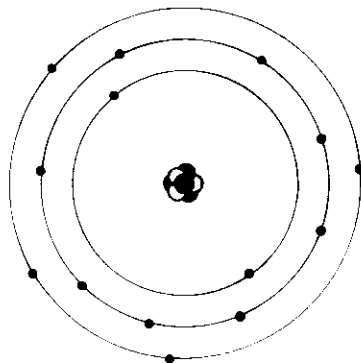
Aucune matière ne se déplacera si des charges (-), c'est-à-dire des électrons, sont en mouvement.

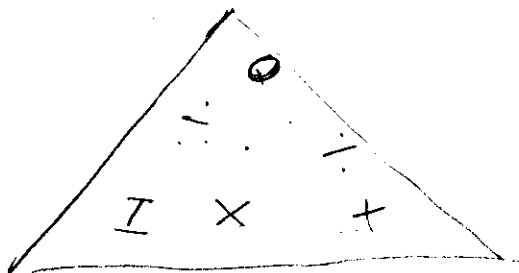
2.2 Le courant électrique

Les atomes d'un conducteur métallique sont disposés systématiquement les uns par rapport aux autres. Ils occupent une position bien définie dans l'espace. On dira que ce conducteur possède une structure cristalline.



Les électrons gravitent autour du noyau de l'atome, sur des couches de plus en plus éloignées.

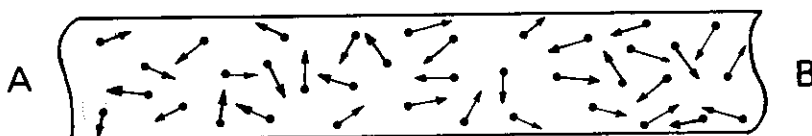


CHAPITRE 2.CHARGE ELECTRIQUE, COURANT

2. 1) L'intensité du courant électrique, qui traverse un radiateur, est de 10 (A). Quelle est la charge globale qui traverse ce radiateur s'il fonctionne pendant 10 minutes ?
2. 2) Dans l'anneau de l'accélérateur de particules du CERN, il circule un faisceau de protons. L'intensité du courant représenté par ce faisceau de protons est de 0,3 (A).
Calculer le nombre de protons qui passent chaque seconde, dans une section donnée de l'anneau.
2. 3) Dans votre poste de TV, l'image est formée par un fin faisceau d'électrons, l'intensité de ce faisceau d'électrons est de 1 (mA).
(1 (mA) = 1 milliAmpère = 10^{-3} (A)).
Déterminer le nombre d'électrons qui, chaque seconde, frappe l'écran de votre télévision.
2. 4) Une pile plate de lampe de poche peut fournir, pendant environ une heure, un courant électrique d'intensité égale à environ 0,25 (A).
Evaluer la charge globale contenue dans cette pile.
2. 5) La batterie d'accumulateurs d'une voiture porte l'indication :
"CAPACITE = 55 AH"
Sachant que "AH" signifie Ampère x Heure, cette unité est donc une unité de *de charge*
Calculer le temps nécessaire à la charge totale de cette batterie, si l'intensité du courant de charge est de 2,75 (A).
2. 6) L'intensité moyenne du courant dans un éclair est d'environ 10^5 (A).
La durée moyenne de l'éclair est d'environ 10^{-1} (s).
Evaluer la charge globale échangée entre le nuage et la terre.

Les électrons périphériques des atomes métalliques, c'est-à-dire ceux qui sont les plus éloignés du noyau, passent très facilement d'un atome à l'autre. Le trou provoqué par le départ d'un électron est aussitôt comblé par un autre électron venant d'un autre atome. On ne pourra plus déterminer à quel atome appartiennent ces électrons qui seront appelés électrons libres.

Le mouvement de ces électrons est désordonné et a lieu dans toutes les directions.



Il n'y a pas de déplacement d'ensemble. En moyenne, il y a autant d'électrons qui vont dans un sens que dans l'autre.

Par une contrainte extérieure, nous pouvons ordonner le mouvement de ces électrons de telle sorte qu'ils se dirigent pour la plupart dans la même direction et le même sens.

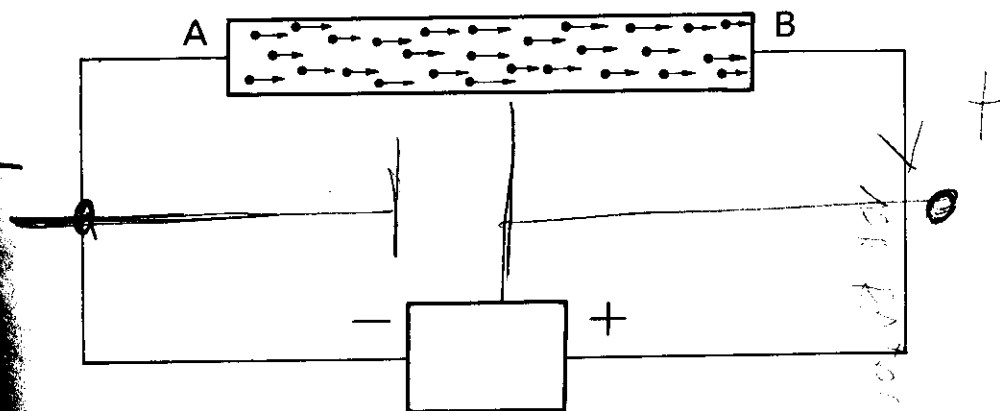
De quels moyens disposons-nous pour obliger les électrons libres à se mouvoir de A vers B ?

Nous savons que les charges de signe contraire s'attirent et que les charges de même signe se repoussent.

Il faut donc attirer les électrons vers B tout en les repoussant de A.

A cet effet, nous plaçons un générateur qui exerce

en A des forces de répulsion
en B des forces d'attraction



Ainsi un courant électrique est constitué par le mouvement d'ensemble des électrons libres du métal et non par le déplacement des noyaux des atomes.

D'une manière générale, nous dirons qu'il y a courant électrique lorsque des charges sont en mouvement.

Remarque:

Dans le cas particulier de l'électrolyse, le courant électrique est produit à la fois par le mouvement d'ensemble des électrons et des ions (+).

courant électrique provient à la fois des électrons et des ions (+)

Les électrons se dirigent donc du pôle négatif vers le pôle positif.

Définition

On appelle intensité I d'un courant électrique la quantité d'électricité, ou le nombre d'électrons, qui traverse le circuit chaque seconde. L'unité d'intensité de courant est l'ampère (A).

Un ampère est l'intensité d'un courant qui transporte une charge de un coulomb par seconde. Sachant que la charge d'un électron est de $1,6 \cdot 10^{-19} \text{Cb}$, il y aura

$$\frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,3 \cdot 10^{18} \text{ électrons en une seconde pour un ampère}$$

Donc un ampère représente le passage de $6,3 \cdot 10^{18}$ électrons par seconde.

un coulomb = (6,25 x 10¹⁸ électrons)
nombre d'électrons pour un coulomb

$$\begin{array}{r} 12 \\ 12 \\ - \\ 24 \\ 120 \\ \hline 144 \end{array}$$

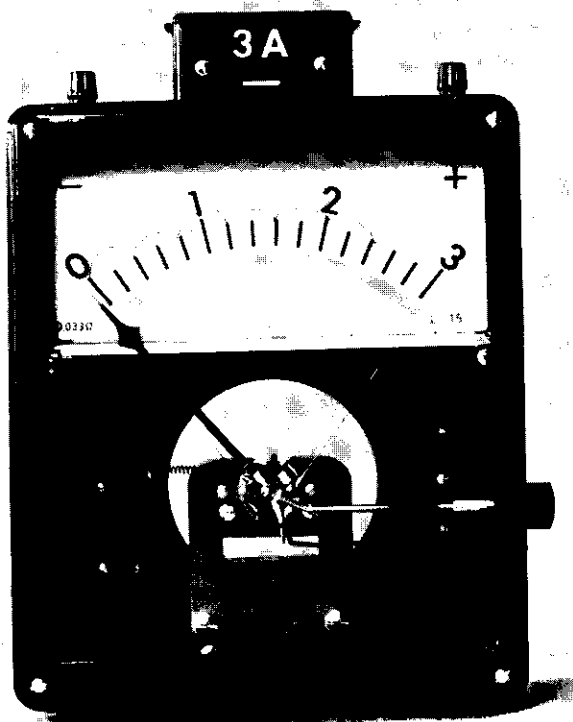
$$\frac{1}{1,6 \cdot 10^{-18}} = 1 \text{ A} \rightarrow 1 \text{ coul}$$

$$1 e^- \rightarrow 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ coul}$$

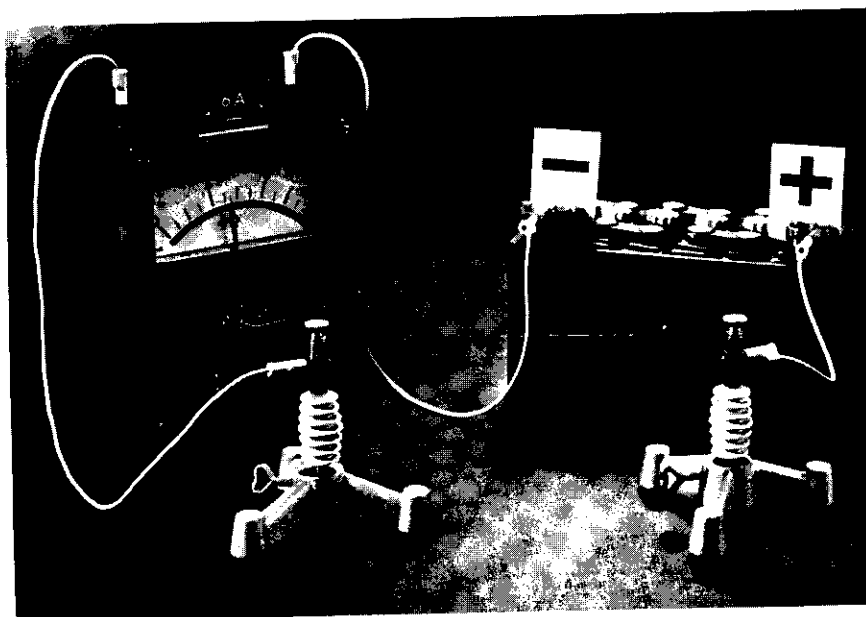
$$1 \text{ f s} = 1 \text{ A}$$

$$1 \text{ bb} = 0,1 \text{ f s} \quad \text{20 bb}$$

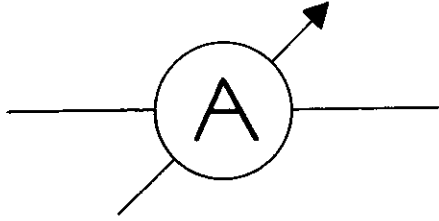
Instrument de mesure du courant électrique



C'est avec un ampèremètre que l'on effectue cette mesure. Cet instrument permet en fait de mesurer la quantité d'électrons passant dans le circuit par seconde. C'est pour cette raison que l'ampèremètre doit être mis en série dans le circuit, afin qu'il puisse "compter" tous les électrons.



On le schématise de la manière suivante:



2.3 Les effets du courant électrique

Quels sont les effets produits par le passage du courant électrique dans un conducteur? Nous en distinguerons trois.

Effet calorifique

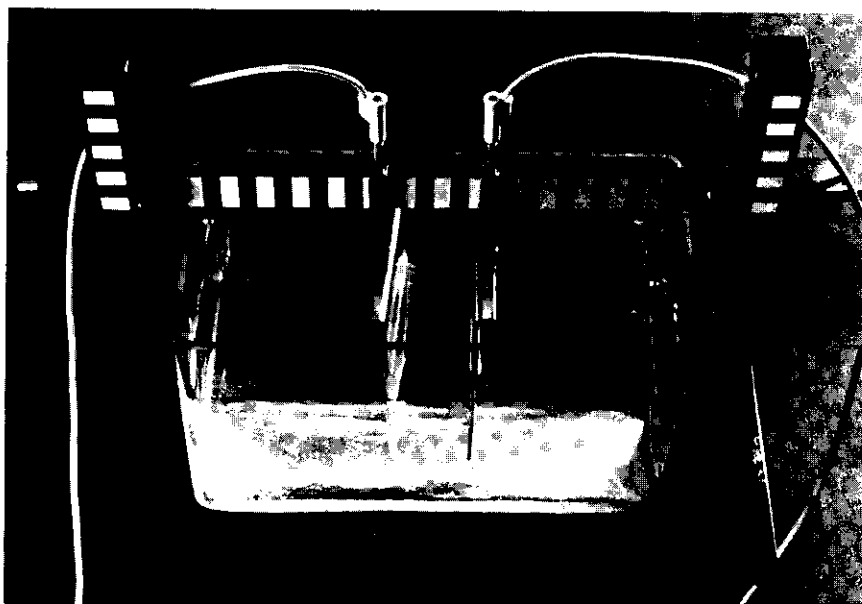
Vous avez tous, une fois ou l'autre, utilisé un grille-pain, un radiateur ou tout autre appareil "électrique" produisant de la chaleur. Cette chaleur est produite par le passage du courant électrique dans un élément approprié. Tous les corps sont capables de produire une quantité de chaleur plus ou moins grande. Elle dépend de la nature des corps et de l'intensité du courant qui les traverse.



Effet chimique

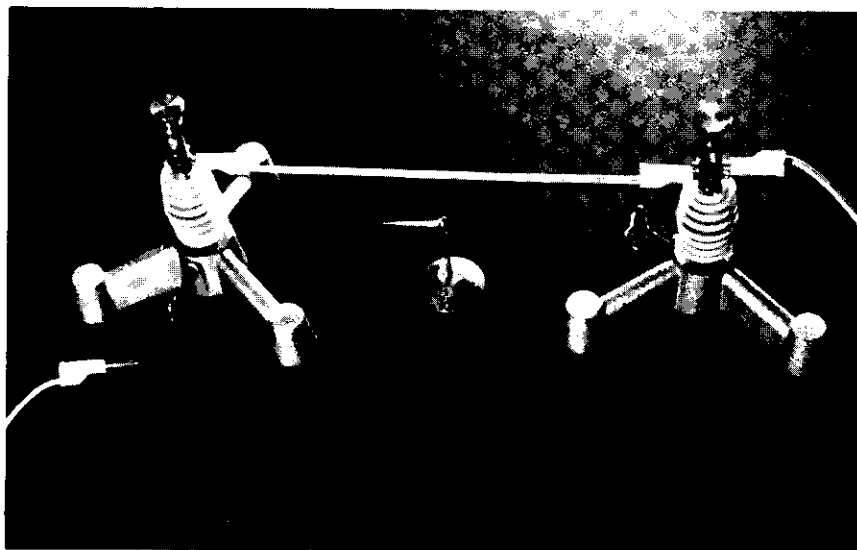
Une cuve contient une solution aqueuse de soude dans laquelle plonge deux tiges de fer. Lorsque le courant électrique traverse la solution des petites bulles apparaissent sur chacune des tiges. Ces bulles se détachent, s'élèvent dans le liquide et le gaz qu'elles contiennent peut être recueilli. Il est facile de vérifier que le gaz ainsi produit à l'une des tiges est de l'oxygène alors que nous trouverons de l'hydrogène à l'autre tige.

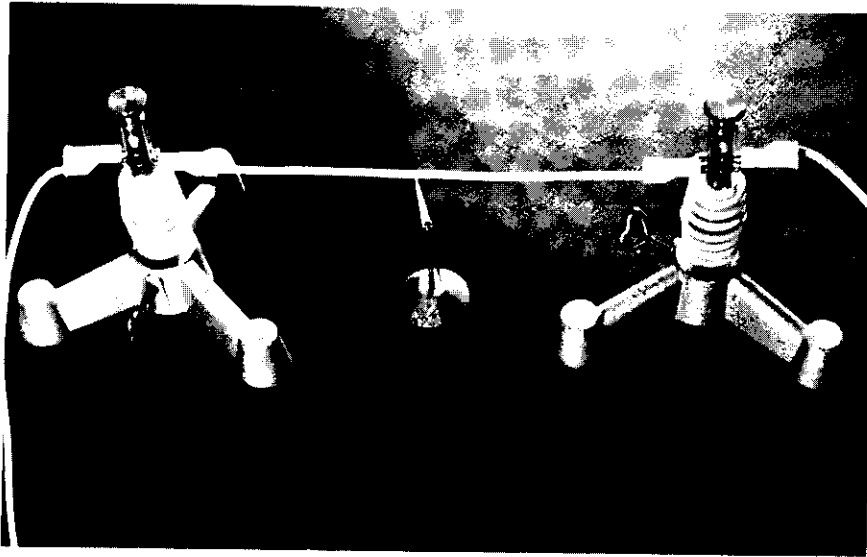
L'effet chimique de cette exemple, appelé électrolyse, se solde ici par une décomposition de l'eau en ses deux composants hydrogène et oxygène.



Effet magnétique

L'aiguille aimantée d'une boussole indique le nord. Plaçons un fil conducteur, parallèlement à l'aiguille, comme nous le représentons dans la photographie ci-dessous.

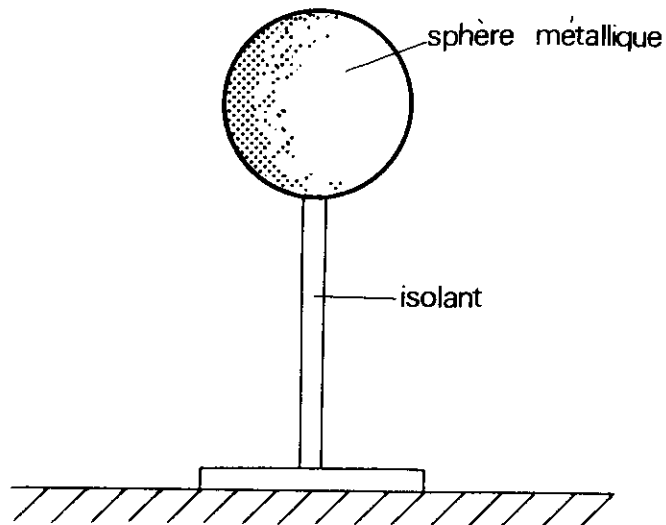




Le circuit est maintenu ouvert par l'interrupteur, aucun courant ne circule. En fermant le circuit, nous établissons un courant électrique dans le conducteur. L'aiguille aimantée va aussitôt pivoter sur son axe. Cette déviation montre qu'au voisinage d'un circuit parcouru par un courant électrique un aimant (ici l'aiguille aimantée de la boussole) est soumis à des forces.

2.4 Notion de potentiel

Prenons une sphère métallique et plaçons des électrons sur cette sphère.



Nous dirons, par convention, que cette sphère a acquis un potentiel.

Le potentiel de la sphère est nul si elle ne porte aucune charge.

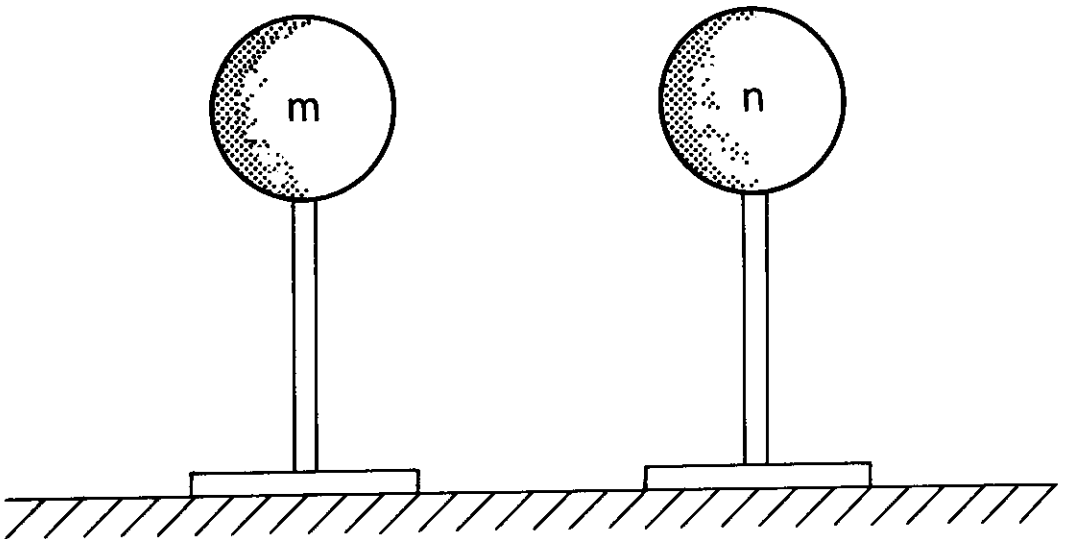
En augmentant le nombre de charges électriques de la sphère, nous augmentons son potentiel. Il est donc possible de faire varier le potentiel d'un corps en changeant le nombre de charges placées à sa surface.

Remarque:

Le potentiel d'un corps dépend encore d'autres facteurs; entre autre de la dimension du conducteur et de la proximité d'autres charges.

2.5 Différence de potentiel ou tension

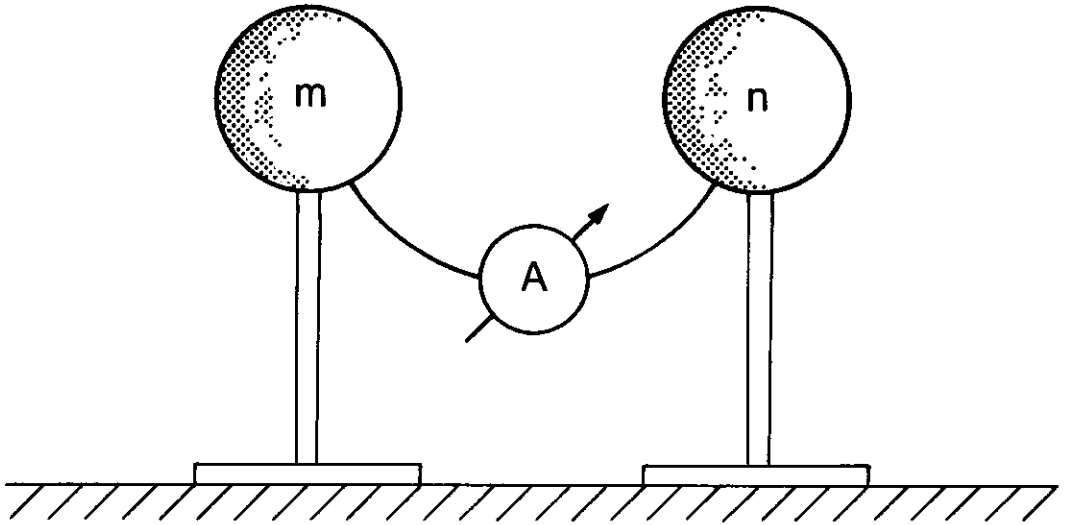
Considérons deux sphères métalliques chargées l'une de n électrons et l'autre de m électrons. $n > m$



Chaque sphère possède un potentiel, mais ils sont différents l'un de l'autre car la sphère 1 (par exemple) porte plus de charges que la sphère 2.

Il existe donc une différence de potentiel entre les deux sphères.

Réunissons nos deux sphères par un fil métallique conducteur à un ampèremètre.

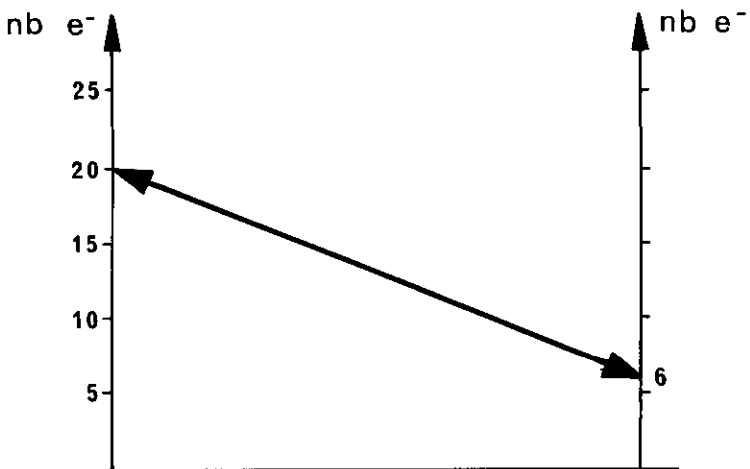


Pendant un court instant, un courant d'électrons s'établit de la sphère 1 vers la sphère 2.

Comment pouvons-nous interpréter ce phénomène?

Supposons arbitrairement que la sphère 1 porte 20 électrons et 6 la sphère 2.

Utilisons le diagramme suivant.



En nous plaçant sur la sphère 1, nous voyons que le potentiel de la sphère 2 est moins négatif que celui de la sphère 1. Nous dirons qu'il est positif par rapport à celui de la sphère 1. Par contre, en nous plaçant sur la sphère 2, nous voyons le potentiel de la sphère 1 plus négatif que celui de la sphère 2. Nous comprenons maintenant pourquoi les électrons de 1 se déplacent vers 2, car ils "voient" la sphère 2 comme étant chargée positivement. Les électrons vont passer de 1 à 2 jusqu'à ce qu'il n'existe plus de différence entre le nombre de charges, c'est-à-dire, plus de différence de potentiel. Dans notre exemple, le courant sera nul lorsque 7 électrons auront passé de 1 à 2. Les deux sphères porteront chacune 13 charges.

Conclusion

Dès qu'il existe une différence de potentiel (ou différence de nombre d'électrons) entre deux points joints par un fil conducteur, un courant électrique s'établit.

{ La différence de potentiel s'appelle aussi la tension, elle se note U .
L'unité de différence de potentiel ou de tension est le volt V .

Remarque:

Les deux sphères de notre expérience étaient chargées d'un nombre fini d'électrons. Un temps limité a été nécessaire pour que les deux sphères, reliées par un conducteur, atteignent le même potentiel. Puis, le courant s'est annulé.

Il existe des appareils qui peuvent maintenir une différence de potentiel constante entre leurs bornes. Au fur et à mesure que les électrons quittent la borne négative l'appareil en fournit de nouveaux. Ces appareils sont appelés générateurs.

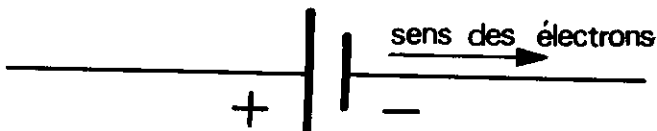
Ils sont de deux types:

- 1) les piles, batteries (durée limitée)
- 2) les générateurs de tension (durée illimitée)

Ces générateurs sont caractérisés par:

- a) une borne négative, d'où partent les électrons.
- b) une borne positive, où arrivent les électrons.
- c) une différence de potentiel ou tension U .

Par raison de simplicité, on schématise les générateurs de la manière suivante:

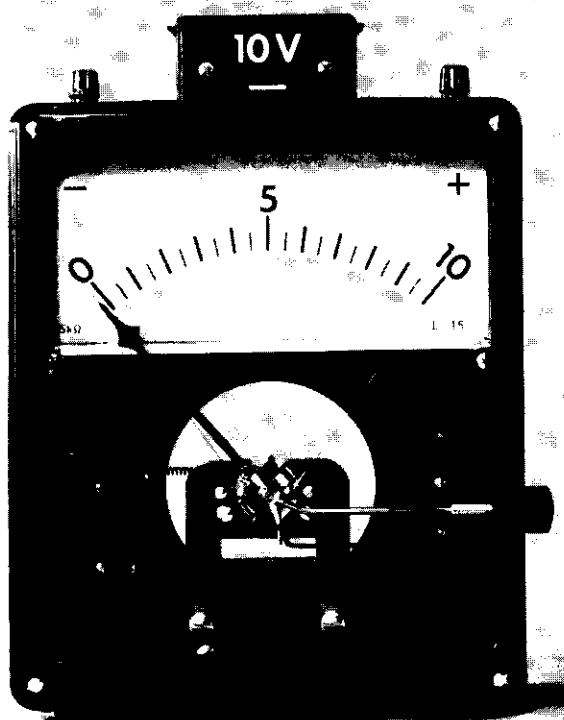




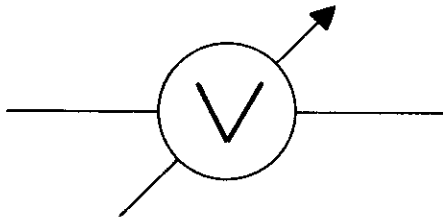
Au paragraphe 2, de ce chapitre, nous avons utilisé un générateur pour créer le mouvement d'ensemble des électrons dans le fil. La borne négative fournit des électrons et force ceux du fil à se diriger vers la borne positive. Cette même borne positive attire les électrons repoussés par la borne négative. Nous avons là un effet cummulatif.

Instrument de mesure de la différence de potentiel

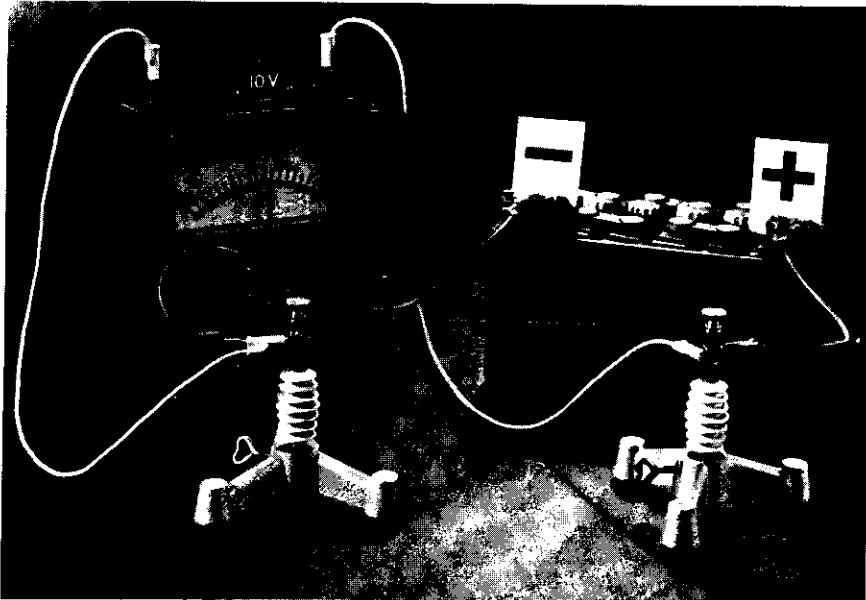
C'est un voltmètre , étalonné en volts (V)



On le schématise de la manière suivante:

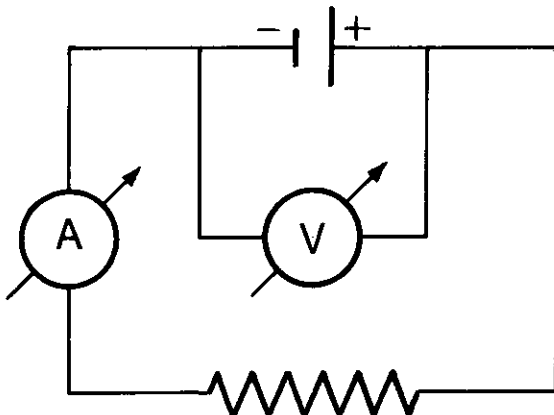


Le voltmètre mesure la différence de potentiel entre deux points, c'est-à-dire une différence du nombre d'électrons. Il faut, pour cela, que chacune des bornes du voltmètre soit connectée aux deux points en question afin de comparer les deux potentiels.



Exemple:

Nous mesurons la différence de potentiel donné par un générateur se trouvant dans le circuit suivant:



Les deux bornes du voltmètre doivent être connectées aux bornes du générateur. On dira que le voltmètre est monté en parallèle dans le circuit.

Remarque:

Le sens conventionnel du courant (voir flèche) est en sens contraire du déplacement des électrons.

2.6 La notion de résistance électrique

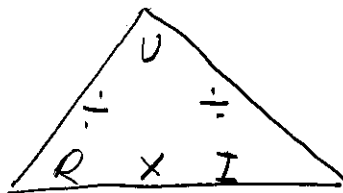
Faisons l'expérience suivante:

Un conducteur C est connecté aux bornes d'un générateur G fournissant toute une gamme de tensions U différentes les unes des autres. Nous mesurons, pour chaque tension U, l'intensité du courant traversant le circuit.



Nous remplaçons le conducteur C par d'autres qui diffèrent par leur nature ou par leur dimension et nous répétons l'expérience.

Nous portons les résultats de nos mesures dans le tableau suivant, puis nous calculons le quotient $\frac{U}{I}$.



CHAPITRE 3

Lorsque on branche un réchaud sur une tension de $U = 220 \text{ V}$, le courant qui le parcourt est de $I = 5 \text{ A}$.
 Quelle est la résistance électrique du réchaud ?

La résistance électrique d'un chauffe-eau est de $R = 100 \ \Omega$, déterminer l'intensité du courant qui passe dans le chauffe-eau lorsque celui-ci est branché sur une tension $U = 220 \text{ V}$.

Une ampoule dont la résistance est $R = 1200 \ \Omega$ est parcourue par un courant d'intensité $I = 0,01 \text{ A}$.
 Déterminer la tension du générateur auquel est connecté l'ampoule.

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

?
 220 V
 5 A

$$\frac{U}{I} = 220 \div 5 = 44 \ \Omega$$

$$R = \frac{220}{5} = 44 \ \Omega$$

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

$R = 100 \ \Omega$
 $U = 220 \text{ V}$
 $I = ?$

$$100 = \frac{220}{I} = 2,2 \text{ A}$$

$$I = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ A}$$

$R = 1200 \ \Omega$

$I = 0,01 \text{ A}$

$U = ?$

$$U = 1200 \times 0,01 = 12 \text{ V}$$

C ₁	U				
	I				
	$\frac{U}{I}$				
C ₂	U				
	I				
	$\frac{U}{I}$				
C ₃	U				
	I				
	$\frac{U}{I}$				

Nous constatons que chaque conducteur est caractérisé par un quotient $\frac{U}{I}$ (V) constant. Ce quotient s'appelle la résistance électrique R.

Nous pouvons écrire: $R = \frac{U}{I}$

La valeur de la résistance est exprimée dans une unité que l'on appelle l'ohm (symbole Ω).

Ainsi, un ohm est la résistance électrique qui existe entre deux points d'un conducteur lorsqu'une tension constante de un volt, appliquée entre ces deux points, produit dans ce conducteur un courant de un ampère.

Exemple:

Un fil conducteur, parcouru par un courant de 2A et connecté aux bornes d'un générateur fournissant une tension de 10 V, possède une résistance R:

$$R = \frac{10}{2} = 5 \Omega$$

Le symbole attribué à la résistance électrique est



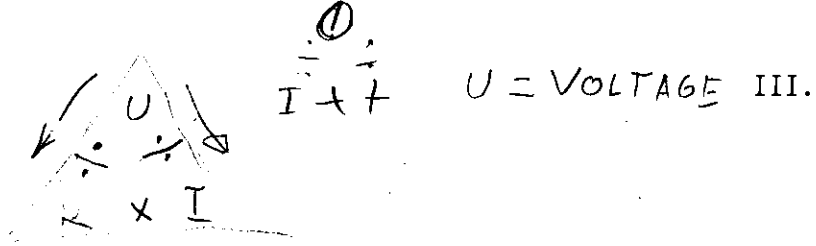
?

(V)

ersé

?

./.



LOI D'OHM

- 2.12) Une résistance, branchée sur une batterie d'accumulateur de 12 (V), est traversée par un courant d'intensité = 0,125 (A). $U = 12 \text{ V}$
 Calculer la valeur de cette résistance. $I = 0,125 \text{ A}$
 $R = 96 \Omega$
- 2.13) Le courant maximum que peut débiter une pile de 1,5 (V) UMI est de l'ordre de 0,5 (A).
 Est-il possible de brancher une résistance de 1,8 (Ω) sur cette pile ?
- 2.14) Une ampoule d'éclairage, branchée sur le secteur (220 (V)) est traversée par un courant de 0,2 (A).
 Déterminer la résistance électrique de cette lampe.
 On branche cette même lampe sur un générateur de 12 (V).
 A ton avis, la résistance de cette lampe sera-t-elle la même sur 12 (V) que sur 220 (V) ?
- 2.15) On réalise une résistance bobinée en fil de CONSTANTAN.
 Si on branche cette résistance sur un générateur de 12 (V), elle est traversée par un courant d'intensité = 1,5 (A).
 Déterminer la valeur de cette résistance.
 On branche cette même résistance sur un générateur de 6 (V).
 A ton avis, la valeur de cette résistance sera-t-elle la même sur 48 (V) que sur 6 (V) ?
 Pourquoi le fil utilisé est-il du CONSTANTAN ?
- 2.16) Un bain d'électrolyse, pour la fabrication de l'aluminium, est traversé par un courant électrique d'intensité égale à 10^4 (A).
 La tension d'alimentation aux bornes du bain est de 36 (V).
 D'après toi, le bain a-t-il une grande ou une petite résistance ?
 Pour vérifier ta réponse, calcule la valeur de cette résistance.
- 2.17) On branche un voltmètre sur une source de tension. Il indique alors 2,5 (V) et il est traversé par un courant dont l'intensité est de 0,23 (μ A).
 $1 (\mu \text{ A}) = 1 \text{ microAmpère} = 10^{-6} \text{ (A)}$.
 D'après toi, la résistance de ce voltmètre est-elle grande ou petite ?
 Pour vérifier ta réponse, calcule la valeur de cette résistance.

loi d'Ohm ; $R = \frac{U}{I}$

15 Indique par une croix les propositions exactes :

- Si U augmente, I diminue
- Si U augmente, I augmente
- Si R diminue, I augmente
- Si R diminue, I diminue
- Si U diminue, I diminue
- Si U diminue, I augmente
- Si R augmente, I augmente
- Si R augmente, I diminue

16 A partir de la loi d'Ohm $U = R \cdot I$ exprime par une formule

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

17 Complète le tableau suivant

Grandeur physique	Symbole de la grandeur	Unité de mesure	Symbole de l'Unité	Appareil de Mesure	Symbole de l'Appareil mesure
charge	Q	COULOMB	C	electrique	
longueur	l; d	mètre	[M]	recte grandeur	
temps	t	seconde	[S]	chronometre	
Tension	U	Volt	[V]	voltmètre	
Intensité	I	ampère	[A]	ammètre	
résistance	R	ohm	[Ω]	ohmmètre	

2.7 La résistivité

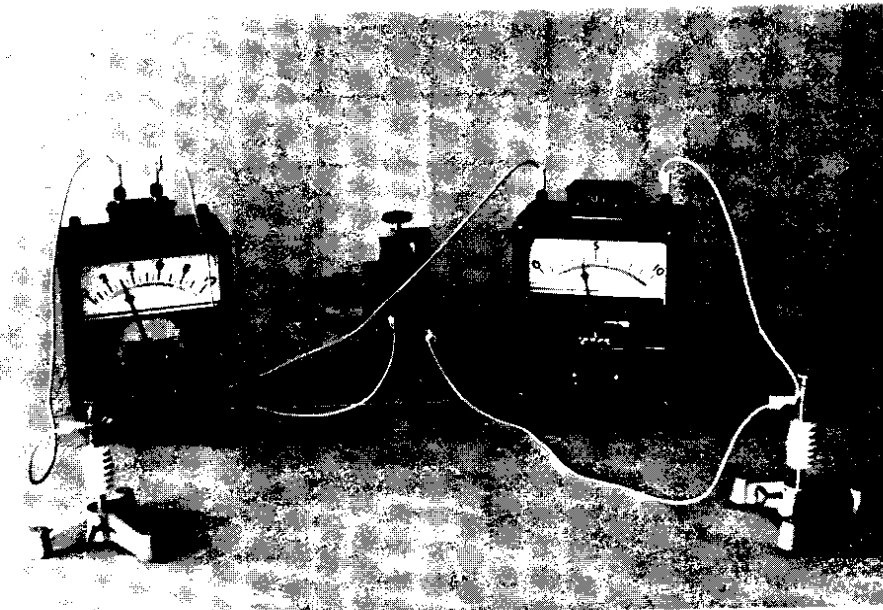
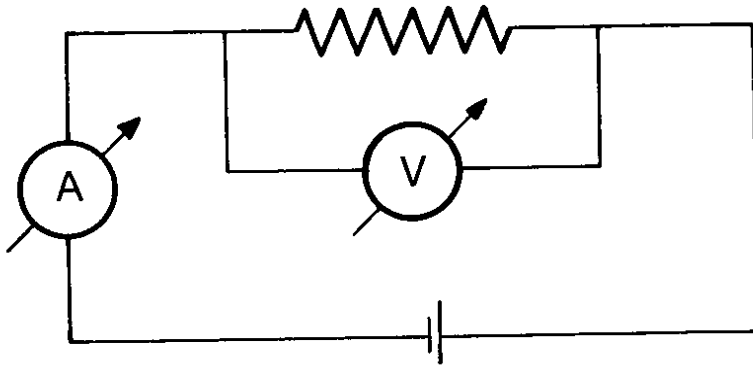
Tout conducteur, quelle que soit sa nature, présente une résistance R au passage du courant.

Comment varie cette résistance lorsque le conducteur est un fil métallique, homogène, de section constante? Quelles sont les grandeurs physiques qui nous permettront de déterminer R ?

Pour répondre à ces deux questions, nous allons effectuer trois expériences.

1ère expérience

Nous mesurons la tension et le courant électrique circulant dans des fils, de même nature (par exemple cuivre, aluminium) et de même section mais de longueurs l différentes, à l'aide du montage suivant.



2.7 La résistivité

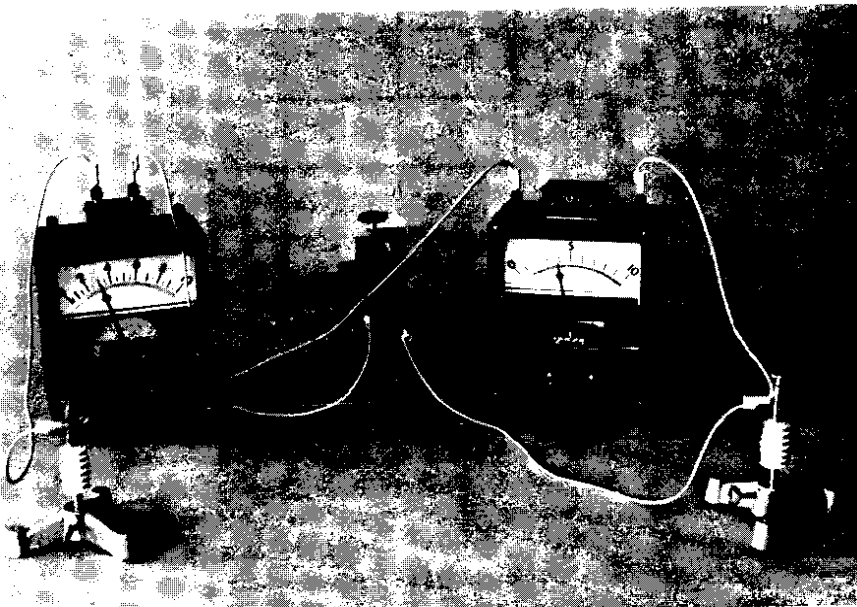
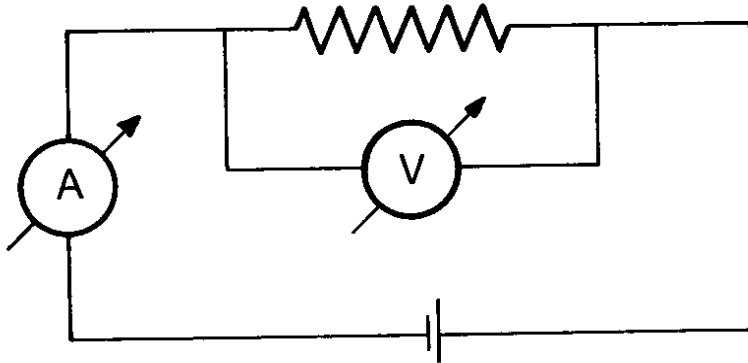
Tout conducteur, quelle que soit sa nature, présente une résistance R au passage du courant.

Comment varie cette résistance lorsque le conducteur est un fil métallique, homogène, de section constante? Quelles sont les grandeurs physiques qui nous permettront de déterminer R ?

Pour répondre à ces deux questions, nous allons effectuer trois expériences.

lère expérience

Nous mesurons la tension et le courant électrique circulant dans des fils, de même nature (par exemple cuivre, aluminium) et de même section mais de longueurs l différentes, à l'aide du montage suivant.



Nous portons les résultats des mesures dans le tableau et nous calculons la valeur de R dans chaque cas.

	L	U	I	R
C ₁				
C ₂				
C ₃				
C ₄				
C ₅				

Nous constatons que la résistance R d'un fil augmente avec la longueur du fil. La résistance est proportionnelle à la longueur du fil.

2ème expérience

Nous utilisons, cette fois-ci, des conducteurs de même nature, de même longueur mais de sections S différentes que nous plaçons sur notre premier montage.

	S	U	I	R
C ₁				
C ₂				
C ₃				
C ₄				
C ₅				

Dans ce cas, nous remarquons que lorsque la section est multipliée par un facteur n, la résistance est divisée par n, c'est-à-dire que la résistance du fil est inversement proportionnelle à la section S.

3ème expérience

Finalement, nous branchons sur notre montage des fils de même longueur, de même section mais de différentes natures.

	nature du fil	U	I	R
C ₁				
C ₂				
C ₃				
C ₄				
C ₅				

La résistance d'un fil est donc variable avec la substance dont il est fait.

La résistance, de longueur unité et de section unité caractérise la nature du fil. C'est une constante physique de la substance dont est fait le fil considéré; on l'appelle la résistivité. L'unité de résistivité est ohm . mètre.

Résumons les conclusions de nos trois expériences.

$1 \cdot 10^6$

La résistance d'un fil homogène est:

- 1) proportionnelle à sa longueur
- 2) inversement proportionnelle à sa section
- 3) variable avec la substance.

Les propriétés précédentes se traduisent par la relation

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

$$R = 2,8 \cdot 10^{-8} (\Omega \cdot m) = \frac{10}{4}$$

Exemple:

Soit un fil de 10 m de longueur, de 1 mm² de section, en aluminium. Quelle sera sa résistance?

ρ_{Al} se trouve dans des tables où nous lisons $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

$$R = 2,8 \cdot 10^{-8} \frac{10}{10^{-6}} = 2,8 \cdot 10^{-1} = 0,28 \Omega$$

Résistivité de substances d'usage courant.

Métal	Résistivité
Argent	$1,6 \cdot 10^{-8} \Omega m$
Cuivre	$1,7 \cdot 10^{-8} \Omega m$
Aluminium	$2,8 \cdot 10^{-8} \Omega m$
Tungstène	$5,6 \cdot 10^{-8} \Omega m$
Fer	$9,6 \cdot 10^{-8} \Omega m$

Remarque:

La construction industrielle des résistances se fait au moyen de dérivés du carbone tel le graphite.

$$\rho = 5 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot m$$

PUISSANCE, TRAVAIL, LOI DE JOULE

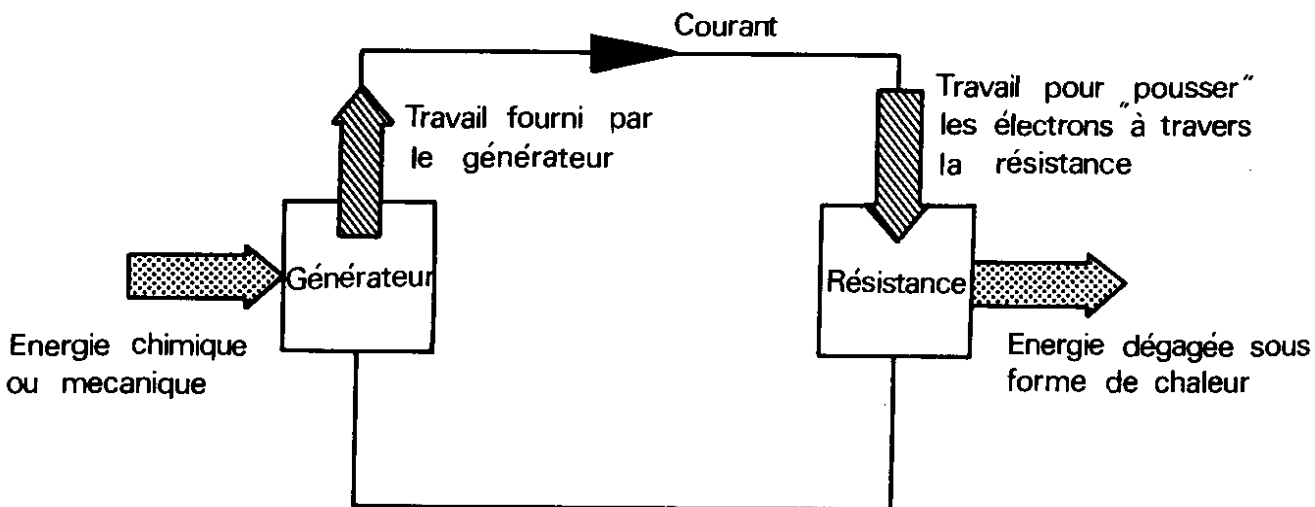
3.1 Introduction

Nous avons vu, au paragraphe 2.5, qu'il existe des appareils qui peuvent maintenir une différence de potentiel constante entre leurs bornes (Générateurs). En reliant les deux bornes d'un générateur par un fil électrique, un courant circule dans le fil. Au fur et à mesure que les électrons quittent la borne (-) l'appareil en fournit des nouveaux. Le générateur fournit donc un certain travail pour amener les charges sur la borne -

Le travail, par unité de charge, fourni pour déplacer une charge unité est aussi ce que l'on entend par tension électrique U . C'est une autre manière de définir la tension U à partir du travail et de la charge électrique.

Nous aurons une tension de un volt lorsqu'un travail de un joule sera fourni pour le déplacement d'une charge de un coulomb.

Ce travail fourni par le générateur n'est pas perdu mais se retrouve plus loin dans le circuit. Nous pouvons schématiser ce phénomène de la manière suivante:



Exemple:

Un dégagement de chaleur, plus ou moins important, accompagne toujours le passage du courant électrique dans un conducteur. Cet effet nous est familier puisque nous l'utilisons pour nous éclairer et, souvent pour nous chauffer: nous voyons le fil chauffant d'un radiateur devenir rouge.

3.2 Le travail électrique et la loi de Joule

Nous avons défini la tension électrique comme étant le travail par unité de charge, fourni par un générateur; ce que nous pouvons exprimer mathématiquement par

$$U = \frac{W}{q}$$

où U est la tension électrique

q est la charge

W est le travail

expression qui peut aussi s'écrire $W = U \cdot q$

Pour effectuer leur trajet dans le circuit électrique, les électrons ont besoin de posséder une certaine énergie. Cette énergie leur est fournie par le générateur et correspond au travail qu'il a effectué. Les électrons utilisent cette énergie pour vaincre la résistance électrique qui se trouve dans n'importe quel circuit.

En traversant cette résistance électrique, les électrons effectuent un travail égal à l'énergie reçue. Cette énergie est transformée en chaleur lors de l'échauffement, plus ou moins grand, dû au passage du courant.

Mathématiquement, nous pouvons exprimer l'énergie cédée par les électrons à partir des expressions suivantes:

$$W = U \cdot q \quad U = RI \quad I = \frac{q}{t} \quad \text{ou} \quad I \cdot t = q$$

$$W = R \cdot I \cdot q = R \cdot I \cdot I \cdot t$$

$$W = R \cdot I^2 \cdot t \quad \text{ou} \quad \underline{W = U \cdot I \cdot t}$$

où, t est le temps de passage du courant dans le circuit.

L'expression encadrée s'appelle la loi de Joule. C'est en 1841 que Joule a trouvé expérimentalement cette loi en mesurant par des procédés thermiques, le dégagement de chaleur produit par le passage d'un courant électrique dans un conducteur.

L'unité de travail électrique est le joule J.

Le joule est le travail que doit fournir un courant de un ampère pour traverser une résistance de un ohm en une seconde.



Remarque:

D'une manière générale, nous pouvons dire que, l'énergie fournie par le générateur se transforme, selon les éléments qui constituent le circuit en

chaleur

dans une résistance électrique

travail mécanique
et en chaleur

dans un moteur

énergie chimique
et en chaleur

dans une électrolyse.

3.3 La puissance électrique

Nous venons de voir, au paragraphe précédent, que le travail fourni par un courant d'intensité I est

$$W = U.I.t$$

En mécanique, la notion de puissance a été introduite comme étant le travail par unité de temps.

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

On déduit immédiatement que la puissance d'un courant électrique est

$$P_{\text{élect}} = U.I \quad \text{ou} \quad P_{\text{élect}} = R.I^2$$

L'unité de puissance est le Watt W .

Exemple:

La puissance, dissipée par une résistance branchée aux bornes d'un générateur fournissant une tension de 10 V et traversée par un courant de 3 A, est de

$$P = U.I$$

$$P = 10.3 = 30 \text{ W}$$



Chapitre 4

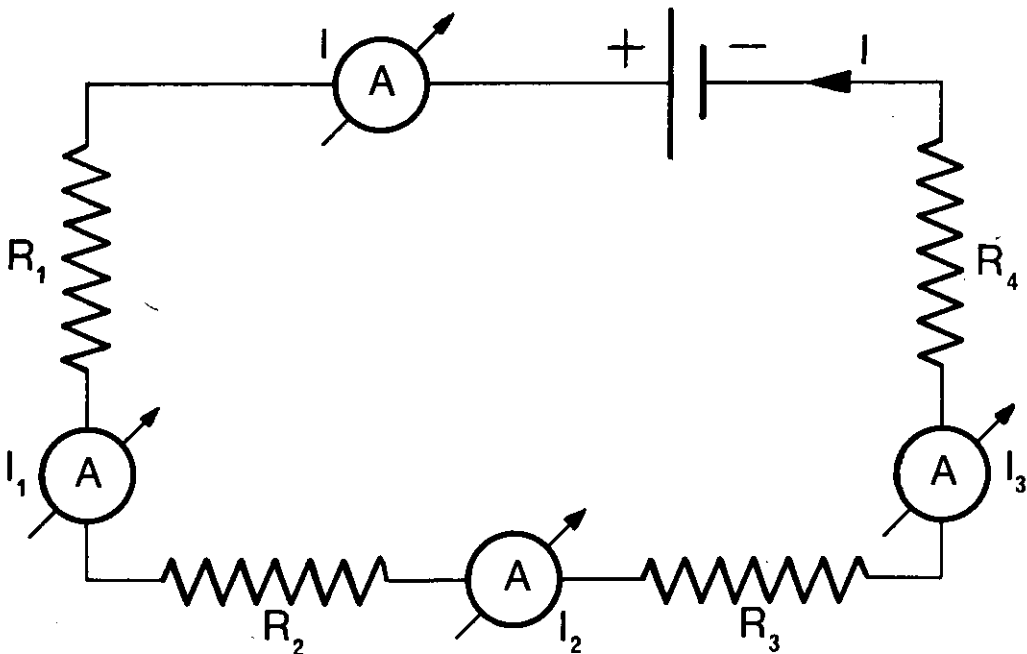
CIRCUITS ELECTRIQUES

4.1 Circuit série

Il existe deux manières simples de connecter les éléments constituant un circuit électrique. Dans ce paragraphe, nous étudierons celle où tous les éléments sont disposés les uns à la suite des autres et reliés par des fils de connexion en cuivre.

L'ensemble constitue un circuit série.

Expérience:



Rappel:
Le sens du courant est opposé au déplacement des électrons.

Réalisons le montage ci-dessus et mesurons les courants I , I_1 , I_2 , I_3 .

I	I_1	I_2	I_3

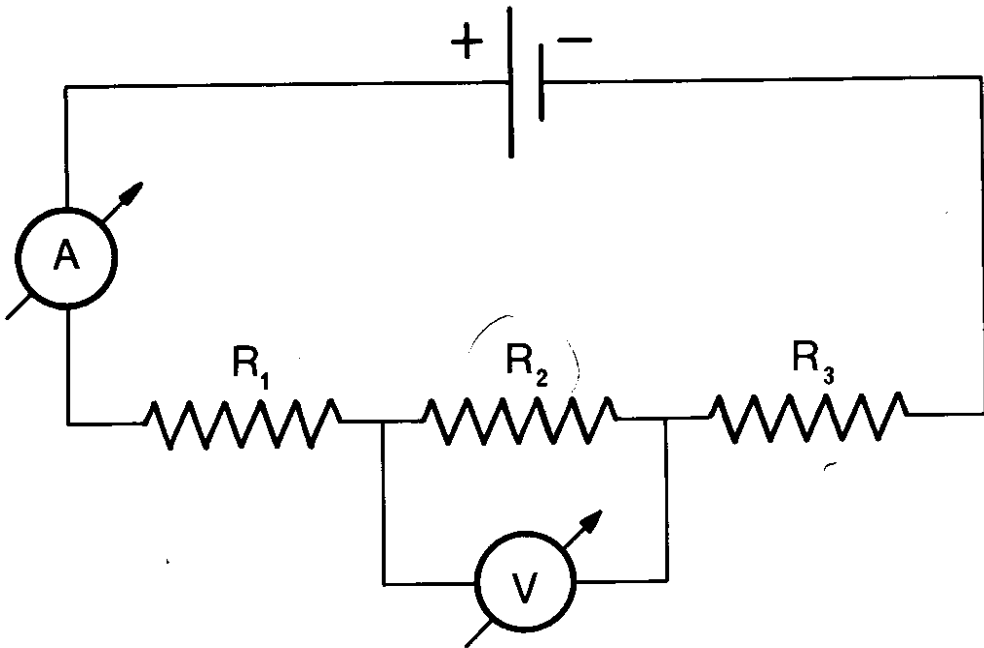
Nous constatons que les courants I , I_1 , I_2 , I_3 sont égaux

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

Chaque élément du circuit, dans notre cas chaque résistance, est traversé par un même courant I quelle que soit la résistance de chacun des éléments.

Résistance équivalente

Trois résistances électriques, de valeurs différentes R_1 , R_2 et R_3 , sont connectées en série avec un générateur de tension.



Mesurons, successivement, les tensions aux bornes de chaque résistance ainsi que le courant I .

	Résistance 1	Résistance 2	Résistance 3	R _{éq}	
U				U _{gén}	
I				I	
U/I				U _{gén} /I	

Les trois résistances R_1 , R_2 , R_3 , connectées en série, sont traversées par le même courant I . Par contre, notre tableau de mesures nous permet de constater que les tensions, mesurées aux bornes de chacune d'entre elles, sont différentes. Nous pouvons également remarquer que la tension U fournie par le générateur est égale à la somme des trois tensions U_1 , U_2 , U_3 mesurées.

$$U_{\text{gén}} = U_1 + U_2 + U_3$$

Enfin, nous voyons que la somme des quotients $\frac{U}{I}$ des différentes résistances est égale à $\frac{U_{\text{gén}}}{I}$.

$$\frac{U_{\text{gén}}}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I}$$

Mais nous avons vu au paragraphe 3.1 que, d'une manière générale

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

Ce qui nous permet d'écrire

$$\frac{U_1}{I} = R_1; \quad \frac{U_2}{I} = R_2; \quad \frac{U_3}{I} = R_3 \quad \text{et} \quad \frac{U_{\text{gén}}}{I} = R_{\text{éq}}$$

Ce que nous pouvons vérifier aisément puisque nous connaissons les valeurs des différentes résistances.

En remplaçant, dans l'expression donnant $\frac{U_{gen}}{I}$,

$$\frac{U_1}{I} \text{ par } R_1,$$

$$\frac{U_2}{I} \text{ par } R_2 \text{ et}$$

$$\frac{U_3}{I} \text{ par } R_3$$

Nous obtenons

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2 + R_3$$

la valeur de R, constante

Nous pouvons donc remplacer les trois résistances connectées en série par une résistance R équivalente qui aura le même effet, elle sera traversée par le même courant I .

Pour trouver la valeur de la résistance équivalente, d'un circuit série, il suffit d'additionner la valeur de la résistance de chaque élément constituant ce circuit.

Exemple:

La résistance équivalente, d'un circuit série comprenant trois résistances dont les valeurs sont respectivement 100 ohms, 50 ohms et 30 ohms, sera

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2 + R_3$$

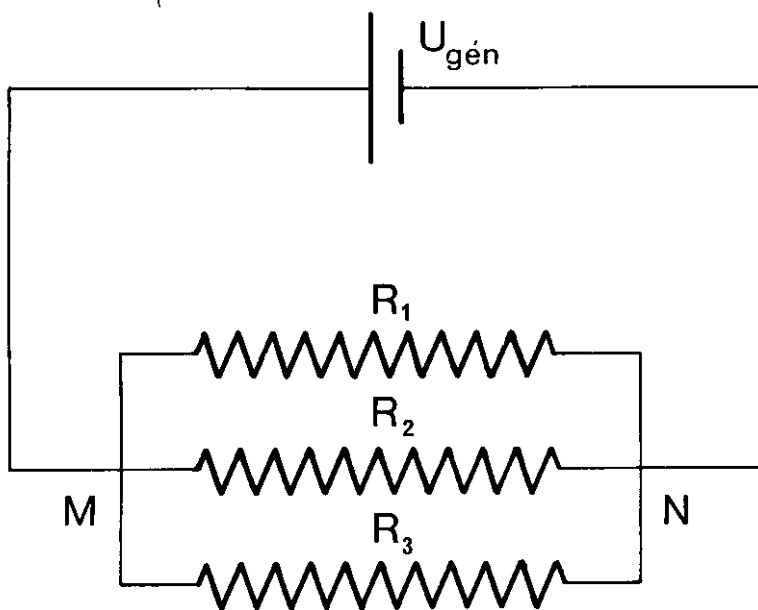
$$R_{\text{éq}} = 100 + 50 + 30$$

$$R_{\text{éq}} = 180 \Omega$$

4.2 Circuit parallèle

La deuxième manière simple de connecter les différents éléments d'un circuit est de les mettre en parallèle comme le montre la figure suivante

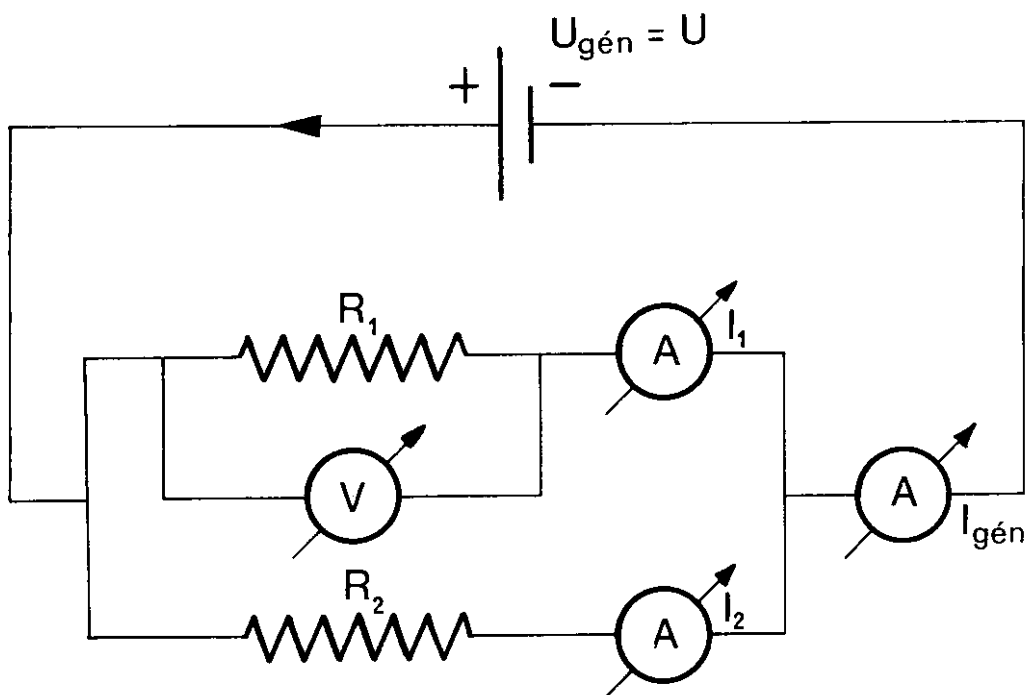
en série parallèle



Les résistances sont toutes connectées aux points M et N . Nous dirons qu'elles sont branchées en parallèle.

Est-il possible de trouver, dans ce cas, une résistance équivalente comme dans le circuit série?

Pour répondre à cette question, réalisons le montage suivant et mesurons les courants $I_{\text{gén}}$, I_1 et I_2 dans les différentes branches du circuit ainsi que les tensions U_1 et U_2 aux bornes des résistances R_1 et R_2 .



	Résistance 1	Résistance 2		
U			U	
I			I _{gén}	
I/U			I _{gén} /U	

Ce tableau de mesure nous montre que les tensions U_1 et U_2 sont égales à la tension U du générateur

$$U = U_1 = U_2$$

Nous pouvons également voir que la somme des courants I_1 et I_2 est égale au courant $I_{\text{gén}}$.

$$I_{\text{gén}} = I_1 + I_2$$

Et finalement que la somme des quotients $\frac{I_1}{U}$ et $\frac{I_2}{U}$ est égale à $\frac{I_{\text{gén}}}{U}$

$$\frac{I_{\text{gén}}}{U} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U}$$

Remarquons que la fraction $\frac{I}{U}$ est l'inverse de la fraction $\frac{U}{I} = R$.

Donc nous pouvons écrire $\frac{I}{U} = \frac{1}{R}$ que nous portons dans l'expression ci-dessus.

$$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

où $R_{\text{éq}}$ est la résistance équivalente.

Nous trouverons l'inverse de la résistance équivalente $\frac{1}{R_{\text{éq}}}$ en additionnant l'inverse de la valeur de chaque résistance connectée en parallèle.

Exemple:

La résistance équivalente, d'un circuit parallèle comprenant deux résistances dont les valeurs sont respectivement 100Ω et 25Ω , sera

$$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{25} = \frac{1}{100} + \frac{4}{100}$$

$$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{5}{100}$$

$$R_{\text{éq}} = \frac{100}{5} = 20\Omega$$