

## ***L'électricité- La découverte des phénomènes à travers l'histoire***

### **I Les jalons de l'histoire de la découverte de l'électricité**

**Antiquité** : Thalès s'intéresse aux propriétés de l'ambre jaune qui, frottée avec de la fourrure animale, attire de petits objets



C'est le nom de l'ambre en grec, **êlecktron**, qui donnera son nom au phénomène observé avec cette résine fossile, l'électricité.

**XVI<sup>e</sup> – XVII<sup>e</sup> -XVIII<sup>e</sup>** : Etude du phénomène d'**électricité statique**. Mise en évidence de deux types d'électricités :

- **Electricité résineuse** apparaissant sur l'ambre frottée (qualifiée par la suite de négative)
- **Electricité vitreuse** apparaissant sur le verre frotté (qualifiée par la suite de positive)

### **Lois observées :**

**Deux corps chargés du même type d'électricité se repoussent et deux corps chargés d'électricités de nature différentes se repoussent.**

**L'électricité statique apparaît sur les isolants** (ambre, verre à l'époque, caoutchouc, plastiques plus tard) car il n'y a que les isolants pouvant, sous l'action du frottement avec un autre corps, conserver une charge localisée à l'endroit du frottement sans être instantanément déchargé.

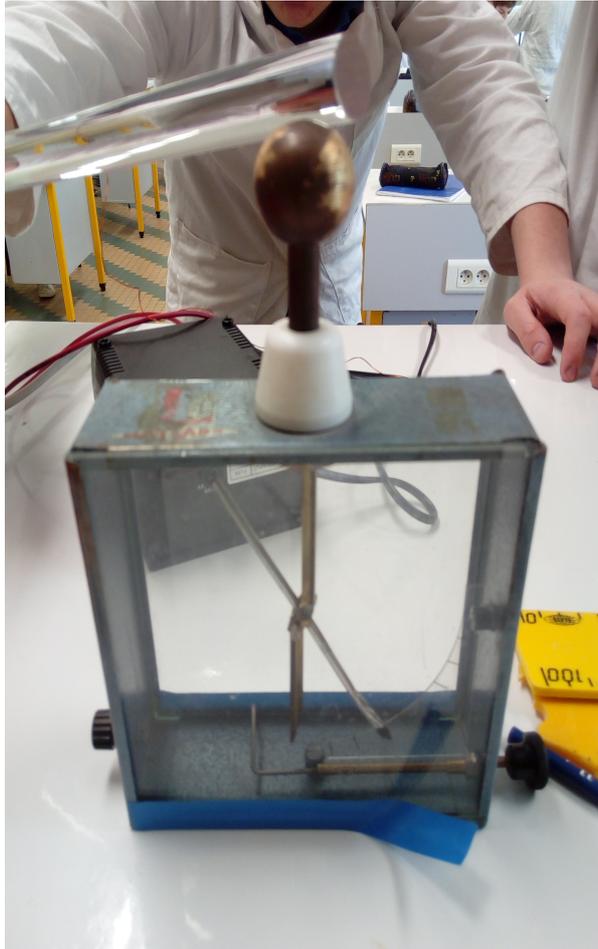
### **Expérience faite en classe :**

On frotte un bâton d'ébonite (analogue à l'ambre jaune) avec de la fourrure et on le met en contact avec la sphère en laiton d'un électroscope. L'aiguille de ce dernier dévie et reste déviée au retrait du bâton, preuve que l'électroscope s'est chargé.

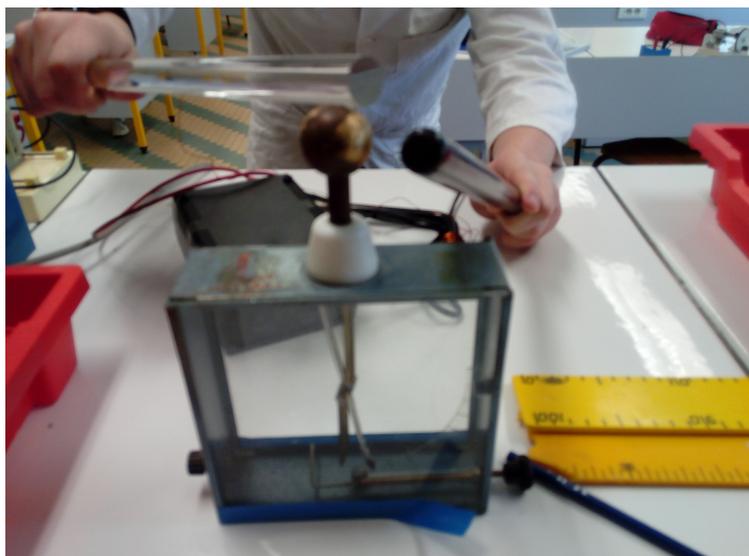
On met la main sur la sphère de l'électroscope pour le décharger et on recommence l'expérience en remplaçant le bâton d'ébonite par un bâton de verre. Le même phénomène apparaît.

Mais, si après avoir chargé l'électroscope avec un bâton d'ébonite frotté, on approche le bâton de verre frotté, la déviation tend à s'annuler et il se produit le même phénomène si on charge l'électroscope avec un bâton de verre frotté et qu'on approche un bâton d'ambre frotté.

On note également qu'en ayant les mains moites, on parvient difficilement à faire dévier l'aiguille de l'électroscope. Il convient donc pour cela de tenir le bâton que l'on frotte avec un chiffon afin qu'il reste bien sec.



On approche un bâton de verre préalablement frotté de la sphère en laiton d'un électroscope, l'aiguille dévie, l'électroscope est chargé



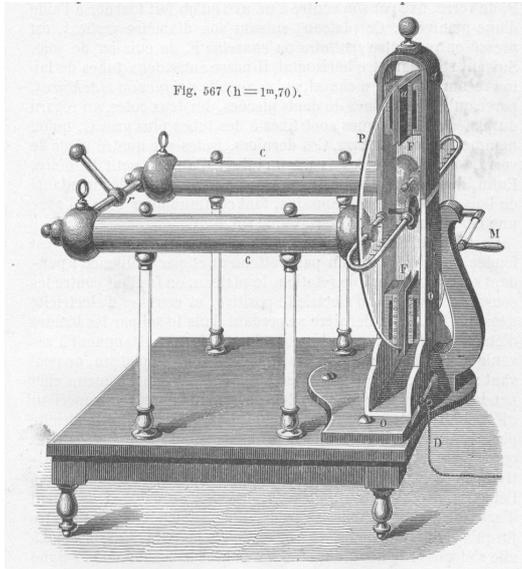
On approche un bâton d'ébonite préalablement frotté de l'électroscope précédent, l'aiguille revient vers sa position d'équilibre, l'électroscope se décharge

**Benjamin Franklin** donne une interprétation erronée du phénomène en postulant que **l'électricité statique** est due à l'existence d'un fluide unique invisible et que tous les corps non électrisés en possèdent une quantité donnée. Mais, quand on frotte deux corps, l'un d'eux en prend sur l'autre ce qui fait qu'il en a en plus et l'autre en moins.

**Coulomb** mesure la force d'interaction entre deux boules électrisées grâce à une balance spéciale (balance de Coulomb) et énonce sa loi d'attraction électrostatique de deux particules électrisées



Des **machines électrostatiques** sont mises au point pour créer par friction d'un disque mobile (en verre) sur des coussinets un type d'électricité (la plus) comme la machine de Ramsden ci dessous-à gauche, ou les deux types d'électricités comme la machine de Wimshurst, à droite.



machine de Ramsden

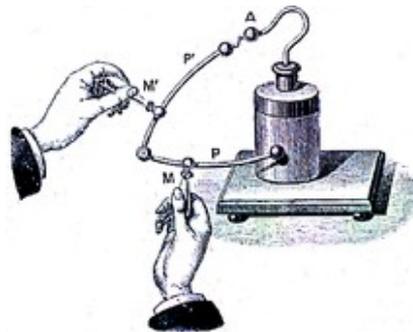


machine de Wimshurst

Grâce aux machines électrostatiques, on peut produire de grandes quantités d'électricités statiques et les conserver dans des condensateurs comme la **bouteille de Leyde**.



bouteille de Leyde



Décharge d'une bouteille de Leyde

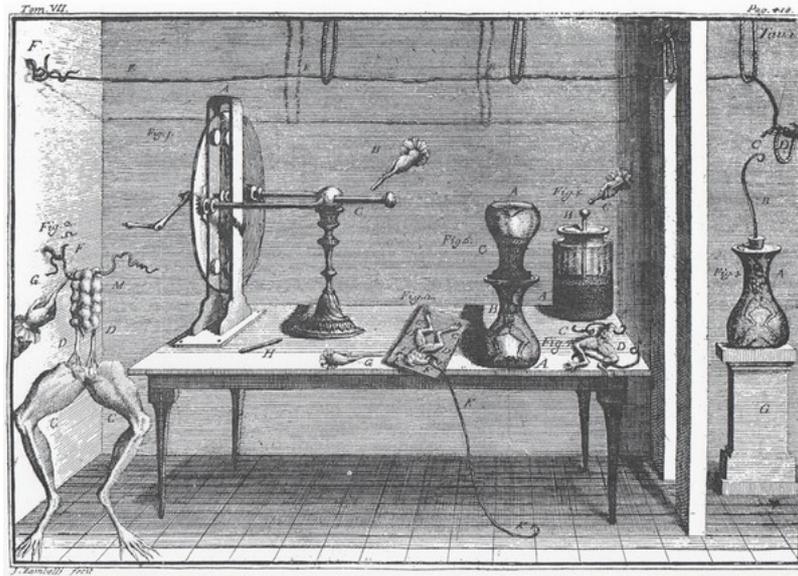


bouteilles de Leyde en batterie

à l'aide d'un éclateur

Mais on ne sait toujours pas produire de courant électrique continu, seulement des décharges électrostatiques, qui, lorsqu'elles se produisent à travers des humains conduisent à des contractions musculaires douloureuses, le coma, voire la mort.

**Luigi Galvani** étudie fin XVIII<sup>e</sup> l'effet de décharges électrique dans le nerf crural d'une cuisse de grenouille et observe un phénomène inattendu de contraction qu'il interprète mal.



Le comte italien **Alessandro Volta** reprend ses expériences et découvre par hasard qu'un morceau de cuivre accroché au nerf crural et entrant sous l'effet du vent au contact du métal d'une ballustrade (en zinc) provoque la contraction. Il a l'idée de pincer sa langue entre une pièce de cuivre et une de zinc en les mettant en contact et ressent des picotements, puis crée un empilement de sandwiches, pièce de cuivre, feutre imbibé d'acide, pièce de zinc et empile ainsi plusieurs dizaines de sandwiches appelés éléments galvaniques, jusqu'à ressentir des chocs insupportables. La **pile** est née.



### Expérience faite en classe :

On crée un sandwich à la Volta avec une pièce de monnaie jaune, du papier essuie-tout imbibé de vinaigre et une rondelle de zinc. On relie le cuivre et le zinc aux bornes d'un galvanomètre à cadre mobile. L'aiguille dévie et conserve sa déviation, ce qui prouve que la pile débite dans l'instrument un courant continu d'intensité constante. Utilisé en mode voltmètre, on peut lire une tension de l'ordre de 0,5 V environ

On rajoute un sandwich et on connecte la pièce jaune supérieure et la pièce de zinc inférieure au galvanomètre. On constate que la déviation de l'aiguille double. La pile génère produit alors une tension double.

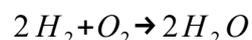
### Précaution expérimentale.

Le zinc s'oxyde au contact du vinaigre mais aussi au contact de l'air, donc bien décaper les pièces avec du papier de verre avant de faire l'expérience.

Si on charge un condensateur plan avec une pile de forte tension à vide (force électromotrice) et qu'on intercale un pendule avec une boule électrisée négativement entre les deux plaques, on observe que la boule est attirée par la plaque reliée à la pièce de cuivre. La plaque est donc chargée positivement. La pièce de cuivre, qui lui a donc communiqué cette charge positive, est donc le pôle positif de la pile, et la pièce de zinc, le pôle négatif

La pile est le premier générateur électrochimique, ce qui signifie que l'électricité qu'elle génère est due à des réactions chimiques. On observe en effet au niveau de l'interface entre la pièce de cuivre et le milieu acidifié un dégagement d'hydrogène.

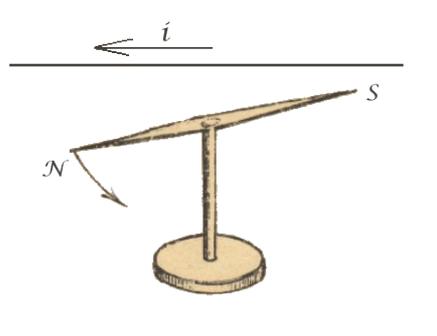
Dès 1800 la pile est mise en connexion avec deux électrodes plongées dans de l'eau et on voit se former des gaz dans des proportions remarquables dont les propriétés avaient été observées par **Lavoisier** quelques années auparavant, l'hydrogène et l'oxygène. Deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxygène apparaissent et si on les remélange en les portant à 100°C, ils produisent deux volumes de vapeur d'eau. Cette observation des proportions remarquables en volume ou en masse viendra conforter l'idée de l'existence des atomes et donner des formules simples comme :



Napoléon Bonaparte offre à l'Ecole Polytechnique qu'il a fondé une pile formée de 200 éléments (soit une tension de l'ordre de la centaine de volts et Sir Humphry Davy emploie une pile de 3000 éléments pour isoler le sodium par électrolyse d'une solution 'hydroxyde de sodium fondue NaOH

La première moitié du XIX met en évidence le lien entre courant électrique continu et magnétisme, la seconde moitié, développera le courant alternatif avec la découverte de l'**induction magnétique**

1820 : **Örsted** découvre par hasard qu'une aiguille aimantée placée sous un fil conducteur parcouru par un courant est déviée



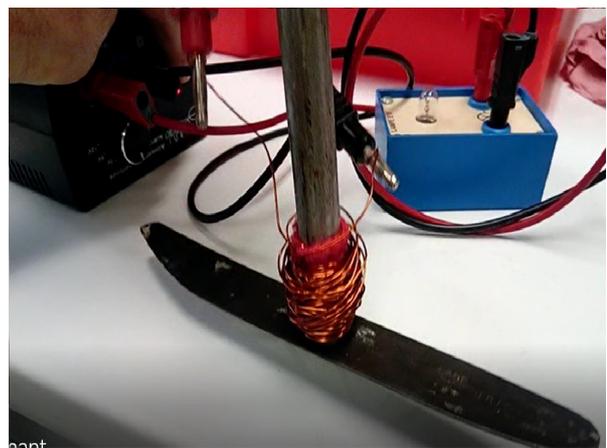
1830 : Les premiers **électroaimants** sont fabriqués. Ils permettent d'obtenir des aimants plus puissants que les aimants naturels.

**Expérience** : Avec une manivelle entourée de fil de cuivre gainé alimenté sous une tension de quelques volts.



Circuit ouvert :

la manivelle n'attire pas la lame d'acier



Circuit fermé :

la manivelle attire la lame d'acier

**Faraday** observe par hasard qu'en faisant varier l'intensité du courant circulant dans un électroaimant placé devant une bobine fermée sur un circuit (voltmètre par exemple) un courant passe dans cette dernière :

Il énonce une loi : La tension apparaissant aux bornes de la bobine dépend de la variation du flux du champ magnétique à travers les spires de la bobine

En conséquence : Plus il y a de spires, plus la tension est élevée

### Expérience avec un aimant et un électroaimant :

On dispose d'une bobine faite de fil de cuivre enroulé un grand nombre de fois autour d'un cylindre et relié aux deux bornes d'un galvanomètre à cadre mobile utilisé en ampèremètre.

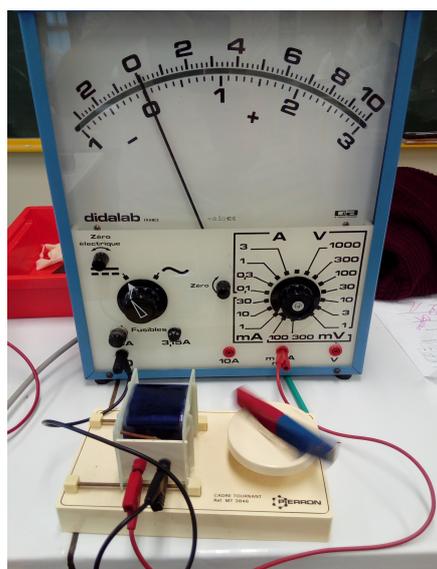
On approche le pôle Nord d'un aimant, l'aiguille dévie prouvant qu'un courant passe dans la bobine. Le mouvement de l'aimant a donc induit un courant



On retire l'aimant, l'aiguille dévie mais dans l'autre sens, donc un courant apparait aussi mais dans le sens contraire.

On approche et on retire l'aimant alternativement, l'aiguille oscille alors à la même fréquence que notre mouvement, ce qui prouve qu'on crée un courant dans la bobine de même fréquence que le mouvement mécanique de l'aimant.

La même chose peut être obtenue en faisant tourner l'aimant devant une face de la bobine. On voit apparaître un courant alternatif de même fréquence que la fréquence de rotation de l'aimant (nombre de tours par seconde). Le principe de l'alternateur est né. L'aimant tournant est le rotor et la bobine fixe, le stator.



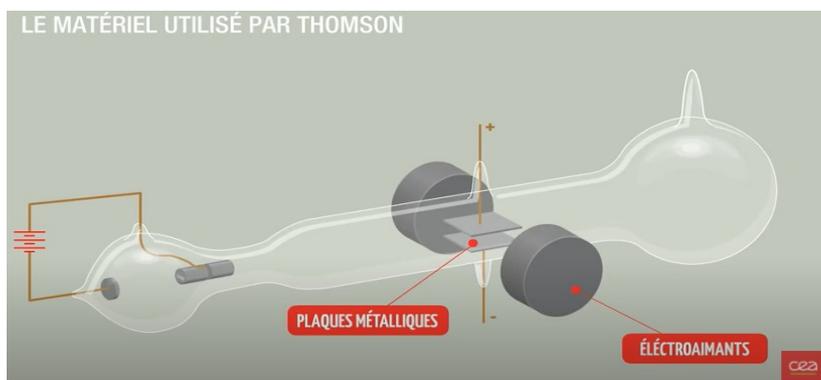
Fin XIXème, la controverse sur l'existence de deux types d'électricité contrairement à l'idée de Benjamin Franklin n'est pas encore réglée. C'est la découverte de corpuscules porteurs de ces deux types d'électricité qui va enterrer l'affaire.

On dispose de tube de verre dans lesquels on sait faire des vides poussés. Il reste alors soit de l'air, soit des gaz comme le dihydrogène ou le dioxyde de carbone. On insère alors deux électrodes à l'intérieur du tube et on établit une tension de plusieurs dizaines de milliers de Volts entre ces électrodes en employant une **bobine de Ruhmkorff** (expérience jugée trop dangereuse pour être réalisée au labo)



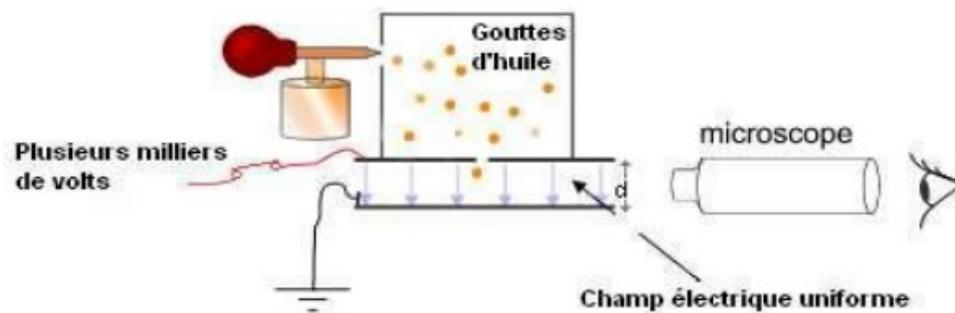
On observe alors dans un tel tube dit tube de Crookes des rayons de couleur vert fluo qui laissent un impact sur le verre, lequel se met à scintiller et renseigne sur le fait que ces rayons sont émis par l'électrode négative appelée cathode. Ces rayons sont appelés **rayons cathodiques**.

**Thomson** étudie les rayons cathodiques de 1895 à 1897 et observe qu'ils sont déviés vers la plaque positive d'un condensateur plan inséré dans le tube puis également par le champ magnétique créé par des bobines d'Helmutz, lesquelles produisent un champ magnétique constant dans l'espace les séparant.



Thomson en déduit que le faisceau est composé de particules chargées négativement qu'il appelle **électrons** en référence à l'ambre chargée par convention de cette forme d'électricité. Il mesure également le rapport charge sur masse de l'électron

1911 : L'américain **Millikan**, réalise une expérience dans laquelle il pulvérise des gouttes d'huile qui se chargent d'électricité négative par friction avant de retomber en chute libre dans l'espace formé par deux plaques de condensateur.



Le savant applique une tension entre ces plaques, ce qui lui permet de maintenir la goutte en lévitation sous l'action d'une force électrostatique s'opposant à son poids. Il règle la tension pour que la goutte descende à vitesse constante et la fait remonter à vitesse constante. En mesurant ces deux vitesses, il en déduit la charge de la goutte.

Réalisant une série de mesures avec des gouttes différentes, il constate que leur charge est multiple d'une charge élémentaire dont il donne une valeur erronée à cause d'un mauvais paramètre fourni par son assistant concernant la viscosité de l'air. La valeur corrigée depuis est :

$$-e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

L'expérience de Thomson permet alors d'obtenir la masse et on obtient :

$$m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

Il faut attendre encore quelques années pour mettre en évidence la particule porteuse de l'électricité positive, le **proton**, par **Rutherford** en 1919. Sa charge étant opposée à celle de l'électron, on trouvera pour sa masse :

$$m = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

La preuve est alors faite qu'il y a deux types d'électricité, en tout cas deux particules qui les portent : l'électron et le proton.

### Nature du courant électrique :

Le courant électrique a été identifié comme étant un **déplacement d'électrons libres** dans les conducteurs que sont les métaux et comme un **déplacement d'ions** (atomes ayant perdu ou gagné un ou plusieurs électrons) dans les solutions (appelés électrolytes)

### Production du courant électrique :

Pour produire un courant électrique, il faut un **générateur de courant électrique**. Celui-ci peut être de plusieurs types :

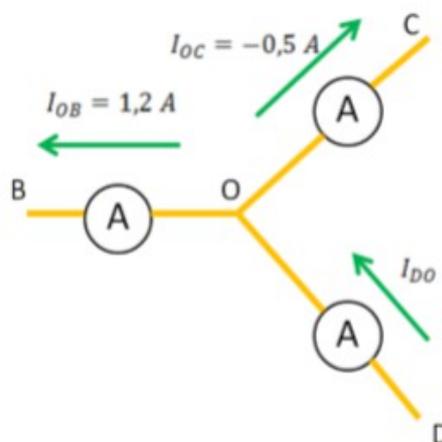
- **Electrochimique** (pile de Volta, accumulateurs, batteries ) : fondé sur des réactions chimiques
- **Electromagnétique** (alternateur, dynamo) fondé sur le phénomène d'**induction magnétique** à savoir faire varier le champ magnétique devant une bobine.

### Lois de l'électricité :

**Loi d'invariance de l'intensité :** En promenant une aiguille aimantée sous les fils conducteurs d'un circuit n'ayant qu'une seule maille ou bien d'une même branche d'un circuit en comportant plusieurs, on constate qu'elle dévie de la même façon. On en déduit que **l'intensité du courant est la même en tout point d'une même branche**.

**Loi des nœuds.** Si plusieurs branches d'un circuit arrivent en un même point appelé nœud et repartent dans plusieurs branches, **la somme des intensités parvenant au nœud est égale à la somme des intensités qui en repartent**. Attention qu'on entend par intensité qui arrive à un nœud, l'intensité qui est lue en direction de ce nœud, ce qui signifie que l'ampermètre qui la lit est branché avec sa borne COM reliée au nœud, et que cette intensité peut être positive ou négative, comme l'illustre le problème suivant :

Déterminer l'intensité  $I_{DO}$  du courant affichée par l'ampèremètre du bas :



Réponse : Il n'y a qu'une intensité algébrique qui arrive au nœud O à savoir  $I_{DO}$

et deux autres qui en partent (sans considérer leur signe), à savoir  $I_{OB}$  et  $I_{OC}$ . La loi s'écrit alors :

$$I_{DO} = I_{OB} + I_{OC}$$

Soit numériquement :

$$I_{DO} = 1,2 + (-0,5) = 0,7 \text{ A}$$

### Loi d'additivité des tensions

Si on considère trois points A, B, C d'un circuit électrique et si on mesure les tensions  $U_{AB}$ ,  $U_{AC}$  et  $U_{BC}$ , on constatera :

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$

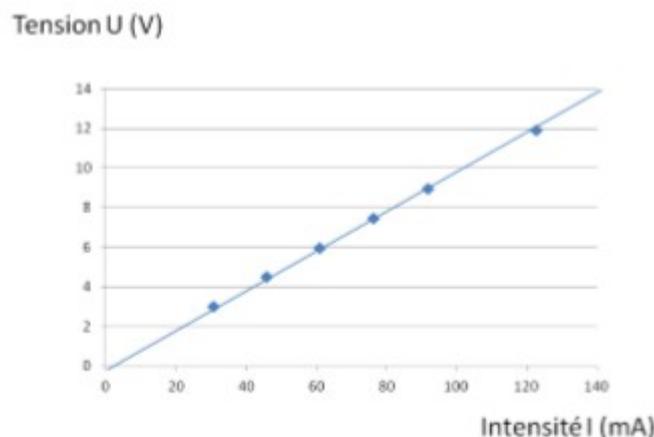
### Exemple d'application

Un générateur de tension continue 6 V débite dans deux lampes mises en séries. On mesure avec un voltmètre la tension aux bornes du générateur et aux bornes des lampes. On observe alors que la somme des tensions aux bornes des lampes lues dans le sens de parcours du courant n'est pas tout à fait égale à la tension aux bornes du générateur. La différence est due aux fils de connexion qui prennent un peu de tension 0,05 V environ, ce qui est très faible par rapport aux 6 V du générateur.

On retiendra : Si on a pas de grandes longueurs de fils de connexion on peut négliger les tension aux bornes de ces fils, ce qui ne sera pas le cas pour le transport de l'électricité sur de grandes distances, pour lequel la perte de tension le long de la ligne est inévitable et se traduira en perte de puissance.

### Loi d'Ohm :

Nombreux conducteurs métalliques présentent une loi tension intensité qui graphiquement est représentée par une droite passant par l'origine, comme cet exemple :



On en déduit, pour ces conducteurs, une relation mathématique de la forme :

$$U = RI$$

On dit qu'ils obéissent à la **loi d'Ohm**.  $R$  Est appelé **résistance**. Elle s'interprète physiquement comme la tension qu'il faut appliquer au conducteur pour obtenir une intensité de 1 Ampère.

Remarque : Une telle relation ne reste valide que si on ne dépasse pas une certaine tension, ce qui est généralement le cas dans le domaine d'usage du conducteur.

### **Énergie et puissance électrique**

**Joule** a été le premier à établir le **principe d'équivalence travail chaleur**. Or un courant traversant un conducteur l'échauffe, ce qu'on appelle **effet Joule**. Cette énergie peut être mesurée par calorimétrie sur une durée donnée. Il faut 4 kJ environ pour élever la température d'un litre d'eau pure de 1 degré.

Si on fait chauffer cette eau à l'aide d'un conducteur métallique (principe du chauffe eau) mis sous tension  $U$  et parcouru par une intensité  $I$  pendant une durée  $\Delta t$ , on peut observer que l'énergie dégagée (ayant servi à chauffer l'eau) est reliée à  $U$ ,  $I$ , par  $\Delta t$  par une formule simple :

$$E = UI \Delta t$$

La puissance étant l'énergie produit par unité de temps (la seconde), elle est donc :

$$P = UI$$

### **Cas particulier d'un conducteur ohmique :**

Si  $U = RI$  alors

$$P = RI^2$$

Donc,  $R$  étant fixé, plus  $I$  est faible, plus l'énergie dissipée par effet Joule dans le conducteur sera faible. C'est ce principe qui sera utilisé pour le transport de l'électricité et nous verrons que cela passera par un transport à très haute tension afin de minimiser ces pertes, chose qui sera permise par un transformateur qui élèvera la tension d'un facteur donné et réduira l'intensité du même facteur tout en conservant la puissance transportée.

