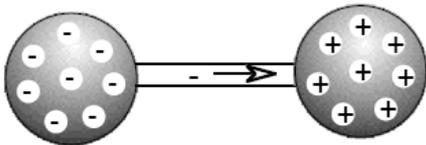


# Électrocinétique

## 1. Introduction

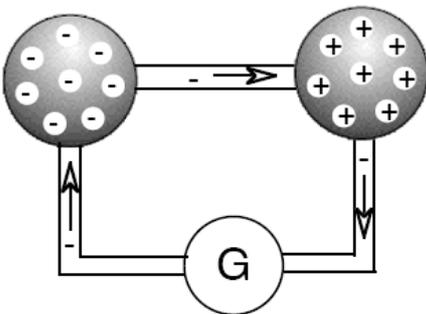
### Déplacement des charges

Nous avons vu en électricité statique que des charges de signes opposés s'attirent. Si deux sphères chargées sont reliées par un fil conducteur, des électrons vont se déplacer.



Le **déplacement de charges** crée un **courant électrique** qui dure une fraction de seconde jusqu'à l'équilibre (étincelle dans les expériences d'électricité statique).

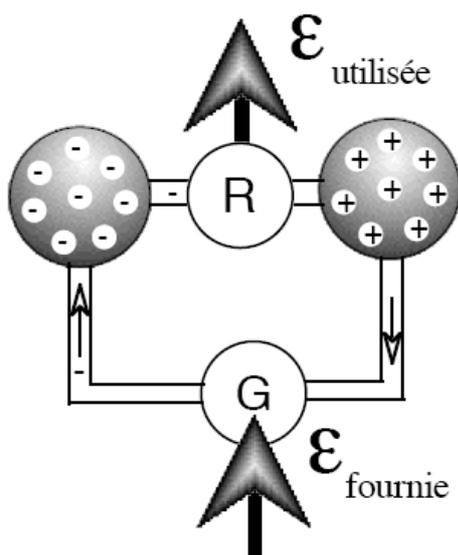
Que faut-il faire pour créer un courant durable dans le conducteur ?



Il faut **maintenir le déséquilibre de charge** entre les deux sphères. C'est le rôle du **générateur**.

Ce circuit n'a pas d'utilité. Il faut fournir de l'énergie au générateur et cette énergie ne sert qu'à faire circuler les électrons !

Un circuit élémentaire possède donc, au minimum, un **générateur** (qui **fournit de l'énergie au circuit électrique**) et un **récepteur** (qui **utilise l'énergie électrique du circuit**). Ces éléments sont reliés par des fils conducteurs.



Exemples de générateurs :

- pile,
- alternateur (dynamo) de vélo,
- alternateur d'une centrale électrique,
- cellule photovoltaïque,
- pile à combustible.

Exemples de récepteurs :

- ampoule électrique,
- tube fluorescent,
- moteur,
- radiateur,
- plaque chauffante,
- cuve à électrolyse.

## Conservation de la charge

Dans un système isolé, c'est-à-dire sans échange de matière avec un autre système, la somme des charges électriques avec leur signe, ne change pas. On ne peut pas créer ou détruire des charges positives ni des charges négatives.

Dans un système isolé : la charge électrique se conserve

La constance de la charge est un autre principe fondamental de la physique indépendamment du principe de conservation de l'énergie.

## Rappel de la conservation de l'énergie

Dans un système isolé, c'est-à-dire sans aucun échange avec un autre système, la somme de toutes les énergies ne change pas. Dans le système, l'énergie totale ne peut changer que si l'on transfère de l'énergie avec un autre système.

Dans un système isolé : l'énergie est constante

## Principes de conservation appliqués à un circuit électrique

- Conservation de la charge appliquée au circuit électrique :

Un circuit électrique, composé d'un générateur, de fils conducteurs et d'un récepteur, **est un système isolé pour la charge électrique : la charge est conservée** (aucune charge ne peut quitter le circuit ou s'insérer dans celui-ci).

- Conservation de l'énergie et circuit électrique :

Pour l'**énergie**, le **circuit électrique n'est pas un système isolé** : le générateur fournit de l'énergie au circuit (il en reçoit lui-même de l'extérieur) et le récepteur transforme l'énergie électrique du circuit en d'autres formes d'énergie. De plus, une partie de l'énergie est transformée en chaleur dans les fils conducteurs. En revanche, **le circuit ne stocke aucune énergie** et toute l'énergie fournie au circuit se retrouve transformée en d'autres formes d'énergies.

Ainsi on peut établir le bilan et définir le rendement :

$$\text{énergie fournie (générateur)} = \text{énergie utile (récepteur)} + \text{énergie perdue (récepteur, fils)}$$

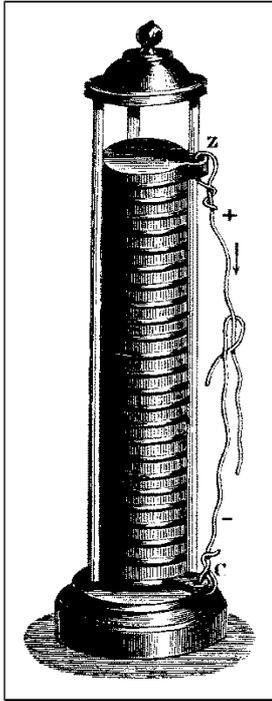
Rappel : dans le récepteur, toute l'énergie ne se retrouve pas sous une forme « utile » et l'on peut

définir le rendement de l'installation : **Rendement** =  $\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie fournie}}$  .

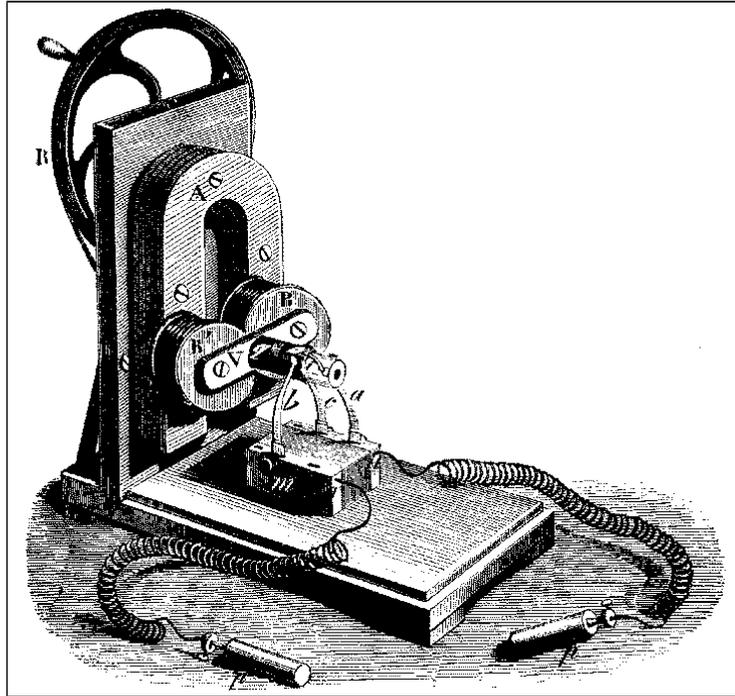
Remarque :

Dans les générateurs, **diverses formes d'énergie** sont transformées en **énergie électrique**. Alors que dans les récepteurs c'est **l'énergie électrique** qui est transformée en **d'autres formes d'énergie**.

L'empilement des éléments de cuivre et de zinc de la pile de Volta inventée vers 1800 nous permet de comprendre pour quelle raison nous parlons encore aujourd'hui de "pile électrique".



Vers 1832 la première machine produisant de l'électricité par induction fut construite par Pixii. Elle combinait un aimant en fer à cheval (A) fixe et deux bobines (B et B') qui tournaient autour d'un axe horizontal entraînée par la manivelle à l'arrière-plan. C'est l'ancêtre de nos alternateurs.



## 2. Courant électrique : mesure

Un **courant électrique**  $I$  est un déplacement de charges électriques. Ce déplacement peut se produire dans un solide conducteur, un liquide ou un gaz.



Il se mesure par son débit de charges électriques, c'est-à-dire par la charge  $\Delta q$  qui passe pendant un intervalle de temps  $\Delta t$  au travers d'une surface.

L'**intensité du courant électrique** est défini par :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{Unité : l'Ampère avec } 1[A] = 1\left[\frac{C}{s}\right].$$

La surface au travers de laquelle cette charge passe est généralement la section d'un fil conducteur, mais pas forcément, citons comme contre-exemple, l'éclair, où la charge passe à travers l'air.

### Limiter le courant électrique

Pour protéger les lignes électriques, on installe des limiteurs de courant : coupe-circuit ou fusible, à l'entrée des installations.

L'armoire électrique d'un appartement comporte trois coupe-circuits magnétiques et trois fusibles.

Les coupe-circuits limitent le courant à 10 [A] pour les pièces : éclairage, appareils ménagers, télévision, etc.

Les fusibles limitent le courant pour la cuisinière 3 x 15 [A].



Un fusible est constitué d'un cylindre en porcelaine traversé par un fil conducteur qui relie les extrémités métalliques.

Lorsque le courant dépasse la valeur prévue (6 A) le fil fond et le courant est interrompu.

Attention :

Les fusibles et coupe-circuits ci-dessus protègent l'installation mais pas les personnes !



Actuellement, on installe dans les pièces d'eau (salles de bain) des coupe-circuits à courant de défaut (ou différentiel). Ceux-ci détectent les courants de fuite (différence de courant entre l'entrée et la sortie d'un récepteur) et les limite à des valeurs comprises entre 10 à 30 [mA]. Les personnes sont ainsi efficacement protégées.

### 3. Puissance, énergie et tension électrique

#### Puissance et énergie

Nous avons l'habitude de lire la puissance électrique des récepteurs ménagers, par exemple des ampoules économiques (destinées au réseau 230 [V]) sont marquées entre 6 W et 23 W et un radiateur peut avoir deux positions 600 W et 1200 W. Nous savons que l'ampoule de **23 W éclaire plus** que celle de **6 W** et que le radiateur **chauffe davantage** sur **1200 W** que sur **600 W**.

Mais nous savons également que l'énergie consommée par un récepteur (pour un temps donné) dépend de la puissance du récepteur : pour le même temps l'ampoule de 23 W consommera plus d'énergie que celle de 6 W et le radiateur consommera plus d'énergie si on place l'interrupteur sur 1200 W.

Ainsi le lien entre la puissance et l'énergie électrique est :

$$\Delta \mathcal{E} = P \cdot \Delta t$$

$\Delta \mathcal{E}$  : Joule [J]  
 P : Watt [W]  
 $\Delta t$  : [s]

#### Puissance, énergie électrique, courant et tension

La puissance électrique d'un récepteur (ou d'un générateur) ne dépend pas seulement de l'intensité du courant électrique.

Expérience :

Une ampoule de **23 [W]**  
 branchée sur le secteur (230 [V])  
 est traversée par un courant de **0,10 [A]**.

Une ampoule de **0,45 [W]**  
 branchée sur une pile plate de 4,5 [V]  
 est traversée par un courant de **0,10 [A]**.

Les 2 récepteurs, traversés par le **même courant**, ne consomment **pas la même puissance !**

La puissance (et donc l'énergie) doit tenir compte de la tension :

$$P = U \cdot I$$

I : intensité du courant électrique. I : [A]  
 U : tension électrique. U : [V]  
 P : [W]

$$\Delta \mathcal{E} = U \cdot I \cdot \Delta t$$

I : intensité du courant électrique. I : [A]  
 U : tension électrique. U : [V]  
 $\Delta t$  : temps de fonctionnement.  $\Delta t$  : [s]  
 $\Delta \mathcal{E}$  : énergie électrique.  $\Delta \mathcal{E}$  : [J]

Reprenons la dernière expression et remplaçons I par sa définition :

$$\Delta \mathcal{E} = U \cdot \frac{\Delta q}{\Delta t} \cdot \Delta t = U \cdot \Delta q \quad \text{on en tire} \quad U = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta q}$$

Ainsi la tension est l'énergie électrique divisée par la charge écoulee ou ce qui revient au même :

tension électrique = énergie par unité de charge.

Cette énergie est dépensée dans un récepteur ou fournie au circuit par un générateur.

## 4. Résistance électrique, résistivité

La **résistance électrique** est une "mesure" de l'**opposition au passage d'un courant électrique**, d'un élément quelconque d'un circuit (récepteur, fil conducteur, générateur...).

La résistance électrique de symbole  $R$  est définie par le rapport :

L'unité de la résistance est l'**Ohm** de symbole  $[\Omega]$  :

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

$$1[\Omega] = 1\left[\frac{V}{A}\right]$$

Que se passe-t-il au niveau microscopique ?

Avant de comprendre ce qui "freine" le passage des charges, il est nécessaire de savoir quelles sont les charges qui se déplacent et créent le courant.

Quelles sont les charges qui peuvent se déplacer dans un solide, un liquide et un gaz ?

Dans un solide	Les atomes d'un solide ne peuvent se déplacer, ils sont liés par l'intermédiaire de leurs électrons (liaisons chimiques). Les protons, contenus dans le noyau de l'atome, ne peuvent ainsi en aucun cas participer à un courant électrique.	Les électrons des couches profondes ne peuvent pas non plus se déplacer. En revanche, les <b>électrons des couches externes</b> peuvent, dans certains cas, se déplacer et créer un courant électrique.
Dans l'eau	Les molécules d'eau peuvent se déplacer, mais elles sont neutres et ne créent ainsi pas de courant électrique. (Pas de courant possible dans l'eau distillée).	Pour observer un courant électrique, il faut des charges électriques et ces charges sont les <b>ions présents dans l'eau</b> . (Dissolution de sel : dissociation en ions)
Dans un gaz	Les atomes ou molécules peuvent se déplacer, mais ils sont neutres et ne créent ainsi pas de courant électrique.	Pour observer un courant électrique, il faut <b>ioniser le gaz</b> , c'est-à-dire arracher un (des) électron aux atomes. Les <b>ions ainsi créés</b> permettront le passage d'un courant électrique (éclair, tubes fluorescents).

## Résistance d'un solide

Dans les solides, le comportement des électrons est donc de deux types :

- L'électron est sur une couche externe (faiblement lié à l'atome) et peut se déplacer dans le réseau cristallin (d'un atome à l'autre) même en l'absence de tension électrique : c'est un électron libre (électron « collectif »).
- L'électron est lié à l'atome et ne peut se déplacer (électron « privé »).

La résistance du solide dépend donc du comportement des électrons.

<b>conducteurs</b> (métaux) cuivre, argent, aluminium...	résistance <b>faible</b> (augmente avec une élévation de température)	Présence d' <b>électrons libres</b> (même à température très basse) qui, en se déplaçant, créent un courant.
<b>isolants</b> porcelaine, plastique, papier...	résistance <b>élevée</b>	<b>Pas d'électrons libres.</b>
<b>semi-conducteurs</b> carbone, silicium, germanium...	résistance <b>moyenne</b> (diminue avec une élévation de température)	Pas d'électrons libres à basse température. A température ambiante, l'agitation thermique libère des électrons qui, en se déplaçant, créent un courant.

Remarque :

L'agitation thermique joue un rôle important. Si la température s'élève, les mouvements des atomes augmentent et freinent de plus en plus le passage des électrons (la résistance des conducteurs augmente pour une élévation de température). Pour les semi-conducteurs, ce phénomène est masqué par l'augmentation du nombre d'électrons qui se déplacent (la résistance diminue pour une élévation de température).

## Résistance d'un fil, résistivité, loi de Pouillet

Beaucoup de récepteurs sont constitués par des fils résistants : filament d'une ampoule, fil chauffant dans un radiateur, fil enrobé de porcelaine dans un corps de chauffe, fil bobiné dans un moteur, etc. D'autre part le transport du courant se fait dans divers câbles et fils.

La résistance est alors définie par la loi de Pouillet :

$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$	$\rho$ : résistivité (coefficient qui dépend de la matière)	$\rho$ : [ $\Omega \cdot m$ ]
	$L$ : longueur du fil	$L$ : [m]
	$S$ : section (surface)	$S$ : [ $m^2$ ]

Pour une matière, la résistivité est la résistance d'un fil de longueur unité et de section unité.

## 5. Loi de Joule

Lorsqu'une résistance électrique est traversée par un courant, l'énergie électrique est transformée principalement en énergie thermique (ou chaleur).

En partant de l'expression de l'énergie électrique :  $\Delta \mathcal{E} = U \cdot I \cdot \Delta t$

Nous pouvons remplacer  $U$  par le produit  $R \cdot I$  et nous obtenons une expression qui fait intervenir directement la résistance et l'intensité du courant :

$$\Delta \mathcal{E} = R \cdot I \cdot I \cdot \Delta t \quad \Rightarrow$$

$$\Delta \mathcal{E} = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

Nous pouvons également remplacer  $I$  dans l'expression initiale et obtenir une expression qui fait intervenir la résistance et la tension :

$$\Delta \mathcal{E} = U \cdot \frac{U}{R} \cdot \Delta t \quad \Rightarrow$$

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t$$

### Appareils électriques, effet Joule et rendement

<ul style="list-style-type: none"> <li>Le radiateur électrique transforme la plus grande partie de l'énergie électrique en énergie thermique (effet Joule) et une part infime en énergie de rayonnement. Mais ce rayonnement sert également à chauffer la pièce.</li> </ul>	$\eta = 100\%$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Le pot thermique, munit d'un corps de chauffe en forme de serpentin (résistance isolée et protégée par une tube en acier) a un très bon rendement. Le rayonnement est négligeable dans ce cas et l'énergie sert principalement à chauffer l'eau (effet Joule). Les pertes thermiques (récipient) sont faibles.</li> </ul>	$\eta > 90\%$
<ul style="list-style-type: none"> <li>La plaque électrique de la cuisinière a un rendement bien plus faible puisqu'une part importante de l'énergie ne sert pas à chauffer l'eau mais la plaque et la casserole (effet Joule).</li> </ul>	$\eta < 60\%$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Une ampoule électrique économique a un rendement faible, qui ne se définit pas en %, mais en lumens par Watt. c.f. : <a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/Rendement_lumineux">https://fr.wikipedia.org/wiki/Rendement_lumineux</a></li> </ul>	$\eta < 90 \frac{lm}{W}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Les moteurs électriques peuvent avoir d'excellents rendements pour les meilleurs. La plus grande partie de l'énergie électrique se transforme en énergie de mouvement (mécanique) et le reste en chaleur (effet Joule).</li> </ul>	$\eta > 95\%$

Remarque :

On voit que l'effet Joule est toujours présent. Dans certain cas il est la cause de la transformation de l'énergie électrique en énergie utile (appareils qui chauffent l'air ou l'eau), dans les autres cas il est « responsable » des pertes (ampoules, moteurs).

## 6. Circuits électriques

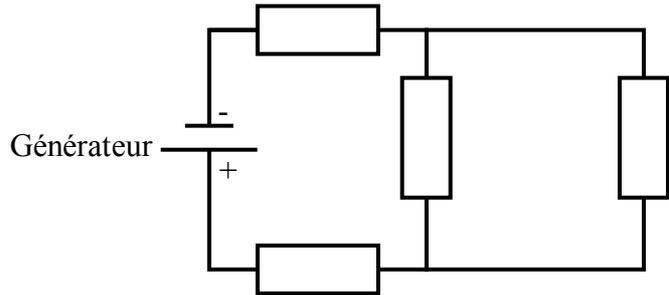
Un **circuit électrique** est un assemblage de divers éléments, parmi les suivants :

- Un générateur, qui fournit une tension.
- Des fils électriques, de résistances nulles.
- Des résistances.
- Des condensateurs.
- Des selfs.

Remarques :

- Nous ne verrons pas ce que sont les condensateurs, ni les selfs.
- Un **circuit électronique** contient en plus des transistors et/ou des circuits intégrés. Nous ne verrons pas de circuit électronique.

Voici un exemple de circuit électrique.  
Il y a un générateur, des fils électriques et quatre résistances.



Deux branchements particulièrement importants de résistances :

résistances branchées <b>en série</b>	résistances branchées <b>en parallèle</b>
L'expérience nous montre :	L'expérience nous montre :
$I_1 = I_2 = I$	$I_1 + I_2 = I$
$U_1 + U_2 = U$	$U_1 = U_2 = U$

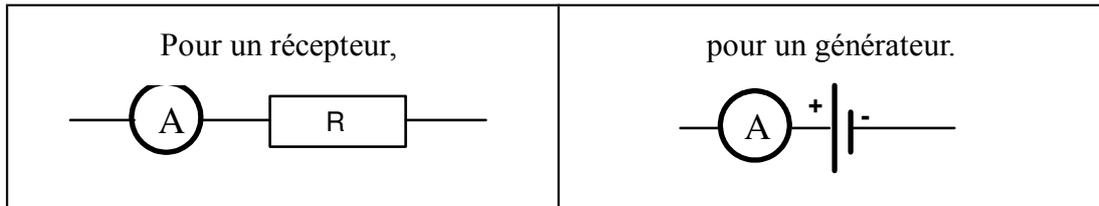
## 7. Appareils de mesure

Remarque :

La représentation des circuits électriques par des dessins se réalise avec des notations symboliques, voir l'annexe « symboles pour les schémas électriques » à la fin du cours d'électricité.

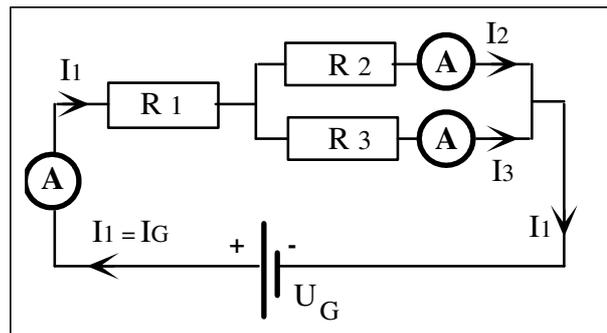
### L'ampèremètre

Cet appareil doit être placé sur le trajet des électrons. On le branche **en série** de l'élément traversé par le courant à mesurer :



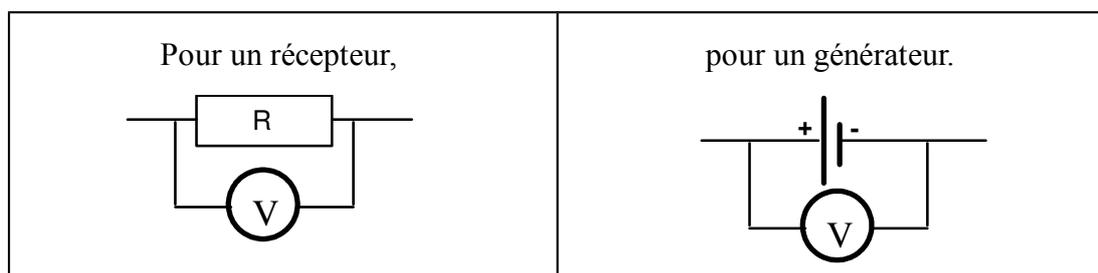
Il faut "couper" un fil pour placer l'ampèremètre ! Dans un circuit en fonctionnement, il faut débrancher un fil (le courant électrique est provisoirement interrompu), intercaler l'ampèremètre, et ainsi forcer le courant passant dans ce fil à traverser également l'ampèremètre.

Quelques positions de l'ampèremètre (avec les courants mesurés) dans un circuit.



### Le voltmètre

Il mesure la tension entre deux points du circuit. On le branche en **parallèle** (ou **dérivation**) :

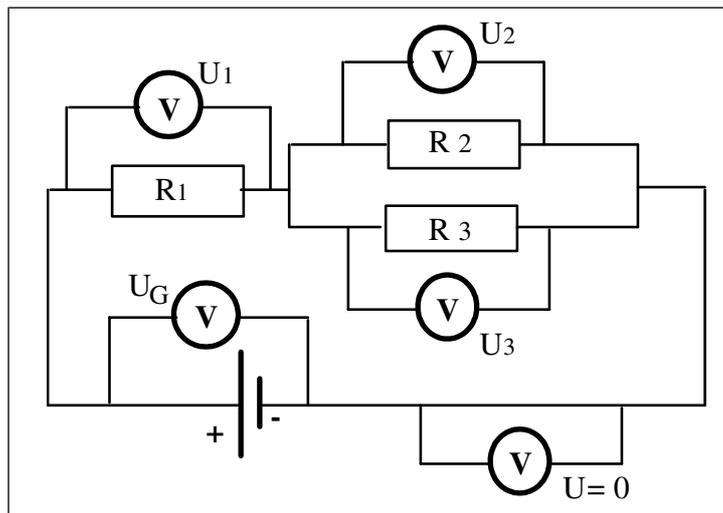


Pour un générateur ou un récepteur, on le place entre l'entrée et la sortie du courant dans cet élément : **aux bornes**. Il permet ainsi de mesurer l'énergie par unité de charge fournie au circuit par un générateur et dépensée dans le récepteur.

Le circuit n'a pas à être interrompu pour les mesures de tension.

Quelques positions du voltmètre (avec les tensions mesurées) dans un circuit.

La tension mesurée entre deux points d'un fil conducteur est évidemment nulle.



## Le multimètre

Le multimètre possède plusieurs fonctions et échelles. On peut l'utiliser en **voltmètre** ou en **ampèremètre** en positionnant correctement le commutateur (sélecteur). Il ne faut pas tourner le sélecteur lorsque l'appareil est branché !

Il est crucial de bien le placer dans le circuit, en série pour le courant (ampèremètre) et en parallèle pour la tension (voltmètre).

## L'ohmmètre (une des fonctions des multimètres)

Les multimètres sont alimentés par une pile et peuvent ainsi mesurer le courant qui traverse une résistance pour une tension de référence donnée. L'échelle adaptée permet de lire directement la valeur de la résistance : c'est l'**ohmmètre**.

Attention, cette résistance est calculée avec une tension de quelques volts et est souvent éloignée de la résistance de l'appareil lors de son fonctionnement !

## Résistance du voltmètre et de l'ampèremètre

L'**ampèremètre** est monté en **série** :

L'ampèremètre est traversé par le courant mesuré. Sa résistance doit être aussi **faible** que possible pour ne pas "modifier" le circuit (en pratique :  $R \leq 1 [\Omega]$ ).

Il est donc essentiel de ne pas se tromper dans le branchement de l'ampèremètre car, en cas d'erreur (branchement parallèle), sa faible résistance laisse passer un énorme courant qui risque de détériorer l'appareil.

Le **voltmètre** est monté en **parallèle** :

Le voltmètre dévie une infime partie du courant pour mesurer la tension aux bornes d'un élément. Sa résistance doit être aussi **grande** que possible pour ne pas "modifier" le circuit (en pratique :  $R \geq 50'000 [\Omega]$ ).

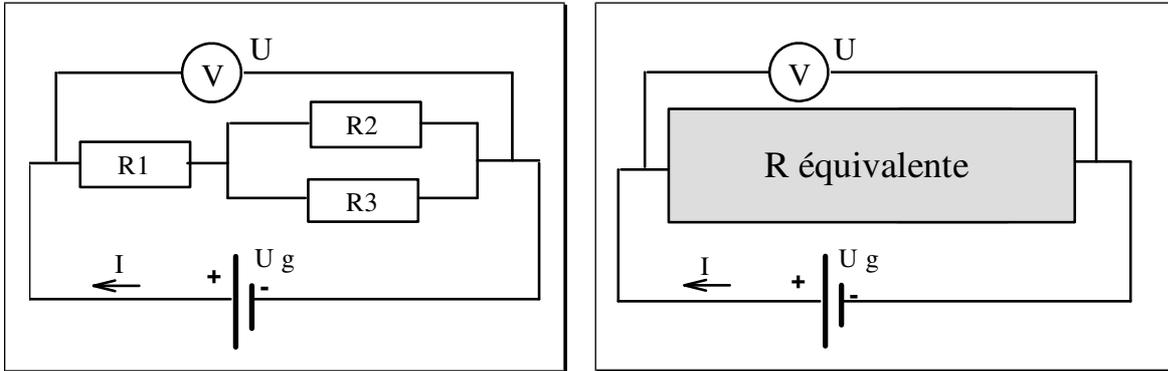
En cas d'erreur, le branchement du voltmètre en série dans le circuit va faire diminuer le courant sans risque pour l'appareil.

## 8. Résistances équivalentes

Définition : on appelle **résistance équivalente**, de deux ou plusieurs résistances, la résistance qui **remplacerait** les résistances considérées sans modifier le reste du circuit.

Exemple :

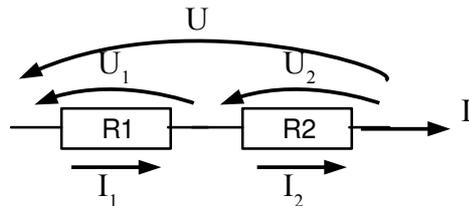
La résistance équivalente aux résistances  $R_1$  à  $R_3$  doit remplacer celles-ci sans modifier  $I$  ni  $U$ .



### Calcul de la résistance équivalente

1er cas : **résistances en série**

Rappel :  $I_1 = I_2 = I$  et  $U_1 + U_2 = U$

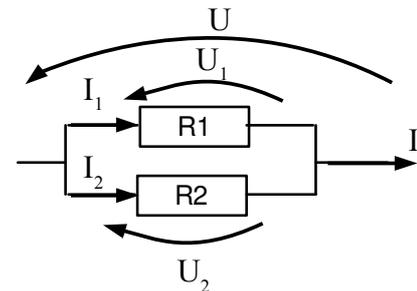


$$R_{\text{équivalente}} = \frac{U}{I} = \frac{U_1 + U_2}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} = R_1 + R_2$$

Branchement <b>série</b> :	$R_{\text{équivalente}} = R_1 + R_2$
----------------------------	--------------------------------------

2e cas : **résistances en parallèle**

Rappel :  $I_1 + I_2 = I$  et  $U_1 = U_2 = U$



$$R_{\text{équivalente}} = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_1 + I_2} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{R_{\text{équivalente}}} = \frac{I_1 + I_2}{U} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Branchement <b>parallèle</b> :	$\frac{1}{R_{\text{équivalente}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
--------------------------------	--

Remarque :

La calculette permet un calcul rapide à l'aide de la touche  $x^{-1}$  :

Calculer la résistance équivalente de 6,0 [Ω] et 9,0 [Ω]

$$\frac{1}{R_{\text{équivalente}}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{9}$$

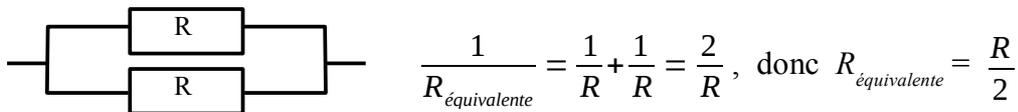
Sur la calculette, nous "tapons" :

$$6 \ x^{-1} + 9 \ x^{-1} = x^{-1} =$$

qui nous donne directement :  $R_{\text{équ}} = 3,6 \text{ [}\Omega\text{]}$

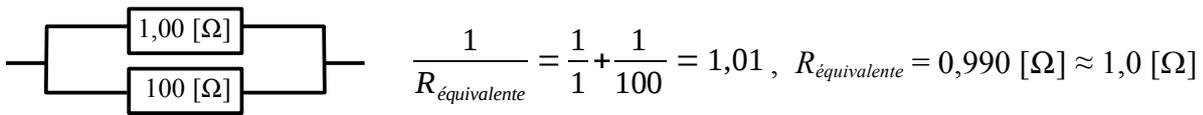
Quelques exemples intéressants :

a) Deux résistances de même valeur branchées en parallèle.



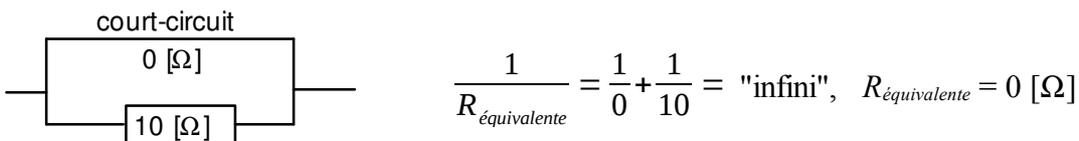
La résistance équivalente est égale à la moitié d'une des résistances branchée en parallèle.

b) Une petite résistance branchée en parallèle d'une grande résistance.



La résistance équivalente est presque égale à la petite résistance.

c) Une résistance nulle (court-circuit) branchée en parallèle d'une autre résistance.



La résistance équivalente est nulle.

Remarques :

- La résistance équivalente de deux résistances branchées en parallèle est toujours comprise entre la valeur de la résistance la plus petite et sa moitié :

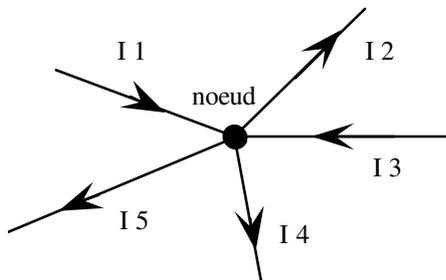
$$\text{si } R_1 < R_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{R_1}{2} < R_{\text{équivalente}} < R_1$$

- Lors d'un **court-circuit** (généralement accidentel), la résistance équivalente est pratiquement nulle et un très grand courant peut passer et détruire le circuit ou l'installation. Par précaution, on place sur l'appareil ou sur l'installation un **coupe-circuit** (ou fusible) dont le but est de **protéger l'installation ou l'appareil contre un courant trop intense**.

## 9. Lois de Kirchhoff

Dans un circuit électrique complexe, comportant des nœuds et des boucles, les intensités des courants qui circulent sont régies par les lois de Kirchhoff.

### 1ère loi de Kirchhoff, pour les **courants**



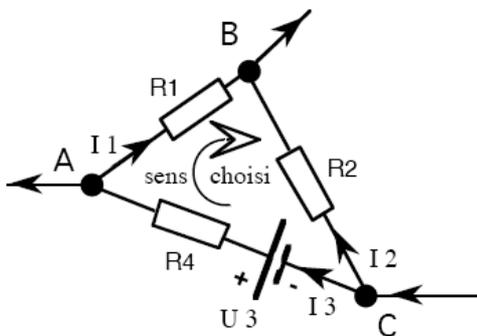
**La somme des intensités des courants qui arrivent au nœud est égale à la somme des intensités des courants qui quittent le nœud.**

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

Remarques :

- La 1<sup>ère</sup> loi de Kirchhoff est une conséquence directe de la conservation de la charge électrique appliquée à un nœud : aucune charge n'apparaît ni ne disparaît !
- On peut également définir le signe des courants. Ceux qui arrivent au nœud sont positifs et ceux qui quittent le nœud sont négatifs. Dans ce cas, la 1<sup>e</sup> loi de Kirchhoff s'énonce : la somme de tous courants qui interviennent dans un nœud est égale à zéro.

### 2e loi de Kirchhoff, pour les **tensions**



**La somme algébrique des tensions sur une boucle fermée est nulle.**

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 0$$

Le signe de chaque tension doit être défini (voir tableau à la page suivante).

Méthode :

On parcourt la boucle en partant de A et en respectant le sens choisi. On traverse en premier la résistance  $R_1$  (tension  $U_1$ ) puis la résistance  $R_2$  (tension  $U_2$ ), puis la pile (tension  $U_3$ ) et finalement la résistance  $R_4$  (tension  $U_4$ ) pour se retrouver en A et ainsi « fermer » la boucle.

Remarques :

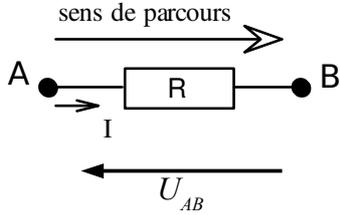
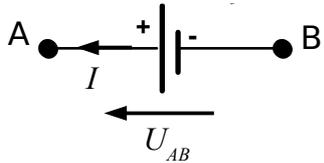
- La 2<sup>e</sup> loi de Kirchhoff est une conséquence directe de la conservation de l'énergie appliquée à une charge qui parcourt une boucle fermée.
- L'énergie reçue par la charge électrique est égale à l'énergie libérée par celle-ci lorsqu'elle revient à son point de départ : elle ne peut ni gagner, ni perdre de l'énergie lors du parcours de la boucle fermée.

## Choix du signe des tensions :

Généralement, on choisit un point  $O$  d'un circuit comme étant à 0 [V]. C'est souvent la borne négative d'un générateur (ou d'une pile).

On note  $U_A = U_{AO}$  la différence de potentielle entre le point  $A$  et le point  $O$ .

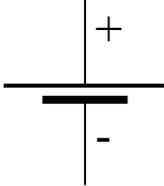
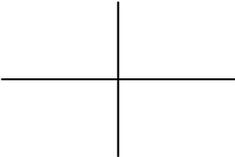
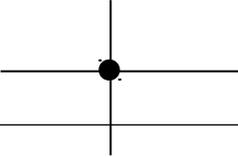
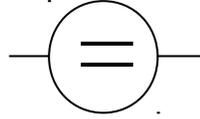
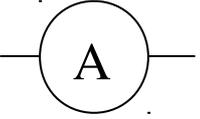
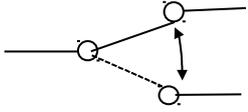
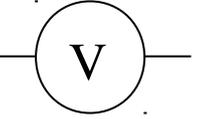
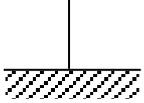
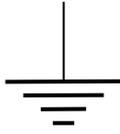
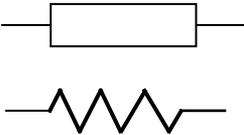
Convention de notation :  $U_{AB} = U_A - U_B$ .

	<p>sens du déplacement = sens du courant</p> <p>Chute de tension (énergie dissipée dans la résistance) en allant de <math>A</math> à <math>B</math></p> $U_{AB} > 0 \quad ( U_A > U_B )$
	<p>Le générateur retire de l'énergie (en opposition) aux charges (+) qui se déplaceraient dans le sens du parcours de la boucle.</p> $U_{AB} > 0 \quad ( U_A > U_B )$

## Remarques :

- Dans certaines parties de circuits, le sens du courant n'est évident. Dans ce cas, on choisit arbitrairement un sens du courant. Au final, s'il se révèle négatif, alors le sens choisi était l'opposé du sens réel du courant.
- Si, au départ, le choix du sens choisi du courant n'est pas correct, le résultat du courant sera négatif et ne perturbe aucunement la résolution des équations.
- Les lois de Kirchhoff permettent d'établir un système de  $2 \cdot n$  équations à  $2 \cdot n$  inconnues pour un circuit comportant  $n$  composants. Sa résolution, bien que sans difficultés, est souvent longue et ennuyeuse. L'ordinateur est très utile dès que le circuit comporte plus de quelques composants.

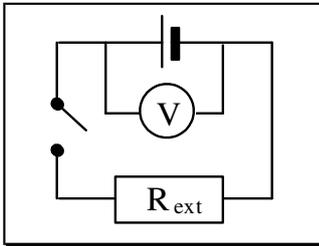
## Annexe 1 : Symboles pour les schémas électriques

NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Fil conducteur		Pile Le long trait fin est la borne +	
Fils conducteurs <b>sans</b> contact entre eux		Générateur électrique (symbole général)	
Fils conducteurs <b>avec</b> contact entre eux		Générateur de courant alternatif	
Interrupteur ouvert		Générateur de courant continu	
Interrupteur fermé		Ampèremètre	
Commutateur		Voltmètre	
Lampe		Masse	
Coupe-circuit (fusible)		Terre	
		Résistance	

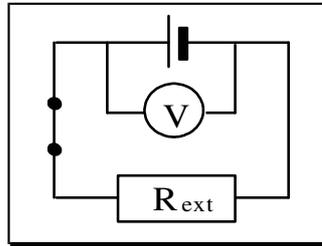
## Annexe 2 : Résistance interne d'un générateur

Si un générateur ne fournit pas de courant (circuit **ouvert** a)), la tension à ses bornes atteint une valeur maximale  $U_0$ , appelée **tension à vide** ou force électromotrice (f.e.m.).

a) circuit ouvert



b) circuit fermé



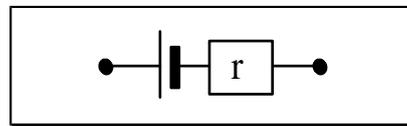
Si le générateur est connecté à une résistance extérieure  $R_{ext}$  (circuit fermé b)), un courant  $I$  s'établit. Quand on mesure la tension  $U$  aux bornes du générateur, on constate que  $U < U_0$ .

En effet, le générateur, comme tout conducteur, présente une résistance au passage du courant, résistance que l'on appelle résistance interne  $r$ , et l'on a :

$U =$	$U_0$	$- r \cdot I$
tension réelle disponible aux bornes du générateur sous un courant d'intensité $I$	tension à vide	chute de tension interne au générateur

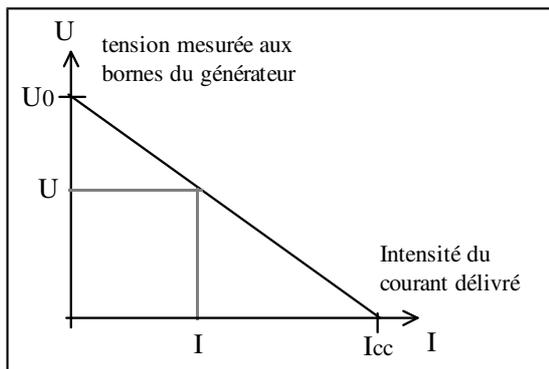
Remarque :

On peut utiliser comme symbole pour un générateur réel, le symbole du générateur complété par une résistance en série :



Toute source d'énergie électrique présente une résistance interne.

A titre d'exemple,  $r \approx 0,01 [\Omega]$  pour un accumulateur et  $r \approx 1 [\Omega]$  pour une pile sèche.



On a :

$$U = U_0 - r \cdot I$$

et ainsi  $r$  s'obtient par :

$$r = \frac{U_0 - U}{I}$$

**Un générateur réel se caractérise par une relation  $U = f(I)$**

Courant de court-circuit  $I_{cc}$  :

Si le circuit est fermé sans résistance ( $R_{ext} \approx 0$ ), le générateur est court-circuité. La tension  $U$  aux bornes du générateur est nulle, donc la chute de tension interne au générateur  $r \cdot I_{cc}$  est égale à la tension  $U_0$  !

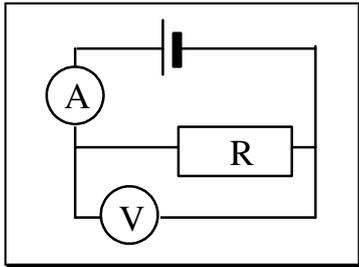
$$U_0 - r \cdot I_{cc} = U = 0 \Rightarrow I_{cc} = \frac{U_0}{r}$$

## Annexe 3 : montages particuliers des instruments de mesure

Pour ne pas trop modifier le circuit, et donc fausser les mesures, on peut choisir des positions différentes pour les instruments de mesure.

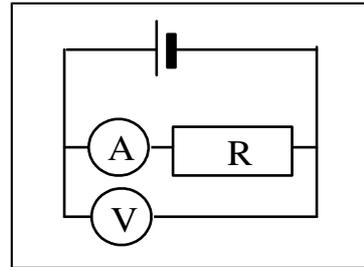
Mesure d'une résistance :

1) Si  $R$  est faible



Le voltmètre mesure bien  $U_R$   
 L'ampèremètre mesure  $I_R + I_V$ ,  
 mais comme  $R_V \gg R$ ,  
 $I_V \ll I_R$ ,  
 l'erreur est négligeable.

2) Si  $R$  est élevée



L'ampèremètre mesure bien  $I_R$   
 Le voltmètre mesure  $U_R + U_A$ ,  
 mais comme  $R_A \ll R$ ,  
 $U_A \ll U_R$ ,  
 l'erreur est négligeable.