











# Thème 3 : Ondes et signaux

## Chapitre 4 : Signaux et capteurs électriques

### I - Les circuits électriques

#### 1) Symboles de quelques dipôles

Afin que chaque utilisateur puisse comprendre l'architecture d'un circuit électrique, les différents dipôles sont représentés par des **symboles normalisés** valables dans tous les pays.

Dipôle	Symbole normalisé
pile	
générateur	
lampe	
interrupteur ouvert	
interrupteur fermé	
diode	
diode électroluminescente (DEL)	
moteur	
résistance	
fil de connexion	

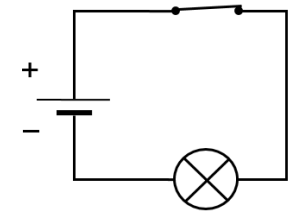
#### 2) Schéma du circuit électrique

On schématise un circuit électrique en reliant les **symboles des dipôles** utilisés par des traits qui représentent les fils de connexion. Ces traits doivent être des segments de droite formant des angles droits entre eux.

Exemple :

Prenons le circuit ci-dessous.

A l'aide des symboles, on peut le schématiser de la manière suivante :

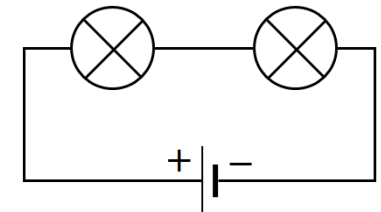


#### 3) Le montage électrique en série

##### a) Le circuit en série

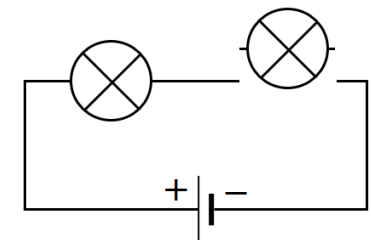
##### i) Comment réaliser un circuit en boucle simple ?

Afin de relier un générateur et deux lampes avec le minimum de fil de connexion pour que les deux lampes brillent, il faut brancher les dipôles **les uns à la suite des autres** : on dit que les deux lampes et le générateur (pile) sont montés **en série**.



##### ii) Qu'advient-il si une lampe est dévissée ?

Dévissons une des deux lampes.



On remarque que les deux lampes s'éteignent.  
Le circuit qu'elles forment avec le générateur est **ouvert** : le courant ne peut plus circuler, les lampes sont éteintes.

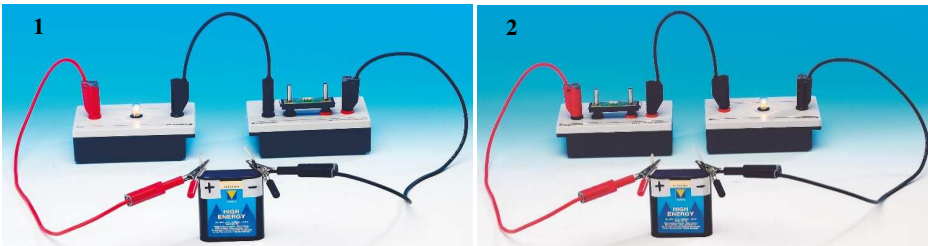
iii) **Récapitulatif**  
**Les dipôles qui constituent un circuit électrique en série ne forment qu'une seule boucle.**

**Lorsqu'un dipôle tombe en panne, les autres cessent de fonctionner.**

b) **L'ordre des dipôles est-il important ?**

i) **Influence de l'ordre des dipôles**

Réalisons un circuit électrique en série comprenant une lampe et une résistance : la lampe brille d'un certain éclat (*doc 1*).  
Invertions la lampe et la résistance dans le circuit électrique : **l'éclat de la lampe reste le même** (*doc 2*).



ii) **Influence du nombre des dipôles**

Reprenons le circuit précédent et ajoutons une diode électroluminescente (DEL) en série avec la lampe et la résistance : la DEL brille mais la lampe brille moins fort.



iii) **Récapitulatif**

**Lorsque l'on inverse l'ordre des dipôles dans un circuit en série, leur fonctionnement reste identique.**

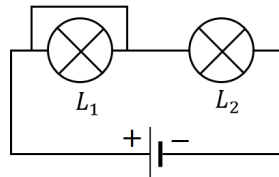
**Lorsque l'on change le nombre des dipôles dans un circuit en série, leur fonctionnement varie.**

c) **Court-circuit d'un dipôle dans un circuit en série**

i) **Mise en évidence expérimentale**

Prenons un circuit électrique en série avec deux lampes et ajoutons un fil de connexion aux bornes de la lampe  $L_1$ .

La lampe  $L_1$  s'éteint, la lampe  $L_2$  brille davantage.



Le courant électrique circule dans le fil de connexion plutôt que de passer par la lampe  $L_1$  : on dit que la lampe  $L_1$  est mise en court-circuit.

La lampe  $L_2$  brille plus fort comme si elle était toute seule dans le circuit électrique : le courant est plus intense.

ii) **Récapitulatif**

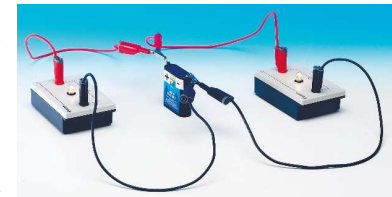
**Un fil de connexion branché aux bornes d'un dipôle met celui-ci en court-circuit.**

#### 4) Le montage électrique en dérivation

a) **Le circuit en dérivation**

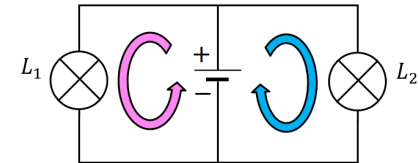
i) **Comment réaliser deux boucles dans un circuit électrique ?**

Prenons deux lampes  $L_1$ ,  $L_2$ , et réalisons un montage dans lequel chaque lampe est reliée directement aux bornes de la pile par des fils de connexion : on dit que les deux lampes sont montées en dérivation.



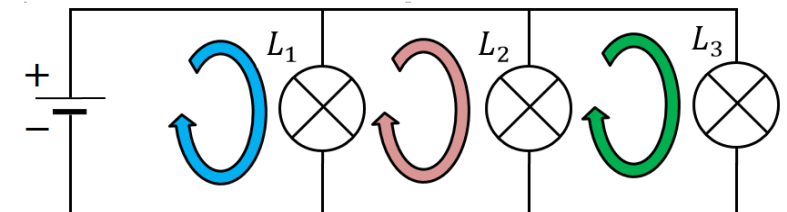
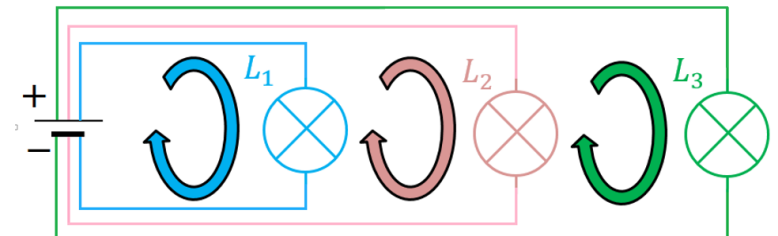
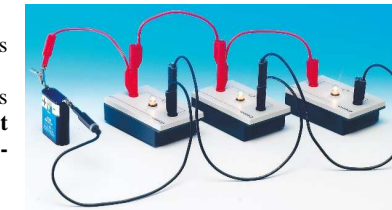
On remarque que les deux lampes brillent normalement.

Le circuit comporte deux boucles de courant comprenant chacune le générateur.



ii) **Est-il possible de réaliser trois boucles ?**

Alimentons séparément trois lampes par la pile.  
Le courant circule par trois chemins possibles : **il y a trois boucles de courant comprenant chacune le même générateur.**

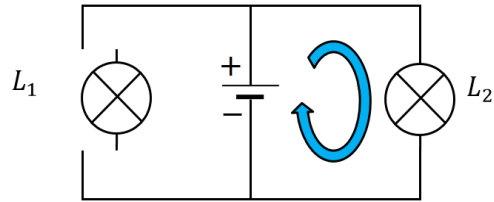


iii) **Que se passe-t-il si une lampe est dévissée ?**

Reprenons le circuit précédent et dévissons l'une des deux lampes : **elle s'éteint ( $L_1$ )**.

La boucle que cette lampe formait avec le générateur est ouverte : le courant ne peut plus circuler.

**L'autre lampe ( $L_2$ ) conserve elle son éclat normal** car la boucle qu'elle forme avec le générateur reste fermée.



iv) **Récapitulatif**

**Une association de dipôles montée en dérivation comporte plusieurs boucles de courant comprenant chacune le générateur.**

**Lorsqu'un dipôle tombe en panne, l'autre continue de fonctionner normalement.**

b) **Quel est l'intérêt du branchement en dérivation ?**

i) **Les installations domestiques**

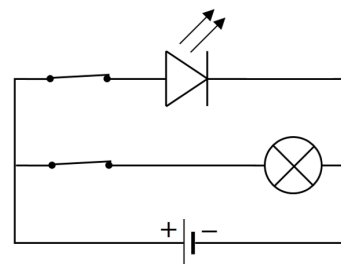
Une installation domestique classique est constituée d'appareils montés en dérivation, ce qui permet d'ouvrir les différentes boucles de courant de manière autonome.

On peut ainsi allumer indépendamment la lumière dans la cuisine, le couloir, le séjour, etc. tout comme il est possible de faire fonctionner seul ou non le téléviseur, l'ordinateur, un radiateur électrique, etc.

ii) **Un interrupteur par boucle**

La lampe est branchée en dérivation avec une DEL.

Un interrupteur placé dans chaque boucle commande l'ouverture ou la fermeture de la boucle dans laquelle il se trouve.



iii) **Récapitulatif**

**Dans un circuit électrique comportant des dérivations, telles les installations domestiques, chaque boucle de courant peut être commandée séparément par un interrupteur.**

c) **Le court-circuit**

i) **Mise en court-circuit d'une lampe**

Dans un circuit où deux lampes sont montées en dérivation, intercalons de la paille de fer à la sortie du générateur, puis ajoutons un fil de connexion aux bornes d'une des deux lampes : **le fil de connexion crée un court-circuit.**



Le courant passe par le fil de connexion et les deux lampes s'éteignent : **elles sont toutes les deux en court-circuit.**



ii) **Danger et protection**

La borne de la pile précédente se trouve directement reliées par des fils de connexion et de la paille de fer : **la pile est mise en court-circuit.**

**Le courant devient très intense.**

La paille de fer brûle et ouvre le circuit : elle joue le rôle de coupe-circuit c'est-à-dire de **fusible** ou de **disjoncteur**.



iii) **Récapitulatif**

**La mise en court-circuit d'une des deux boucles d'un circuit électrique avec dérivation entraîne la mise en court-circuit de l'autre boucle qui cesse de fonctionner et celle du générateur.**

**Ceci provoque l'échauffement des conducteurs et du générateur qui peut être détruit et il y a un risque d'incendie.**

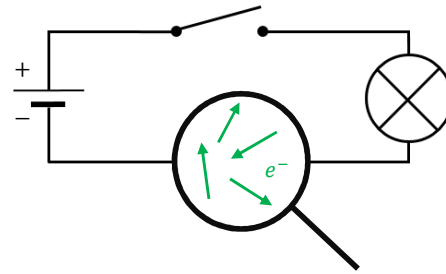
## 5) L'intensité du courant électrique

### a) Quelle est la nature du courant électrique dans les métaux ?

Un métal est composé d'atomes, et donc de noyaux et d'électrons.

Toutefois, dans un atome il est possible de distinguer les électrons de cœur situés le plus proche du noyau et les électrons libres.

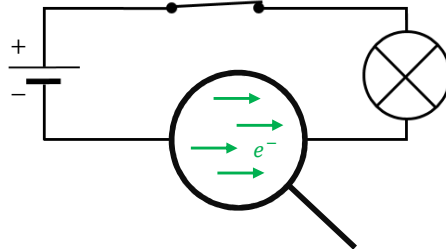
Les **électrons libres** se déplacent de façon **désordonnée** dans l'ensemble du métal dans un **circuit électrique ouvert**.



Lorsque l'on **ferme l'interrupteur**, le déplacement des **électrons libres** devient **ordonné** : leur mouvement d'ensemble constitue le courant électrique.

C'est le générateur qui provoque cet ordre et donc la circulation de ces électrons libres dès que le circuit est fermé.

Dans un circuit électrique, la vitesse des électrons libres en mouvement est de l'ordre du  $mm.s^{-1}$ .



Comme tous les électrons sont identiques et portent une charge négative  $-e$ , on les représente par le **symbole  $e^-$** .

*Remarque :*

Un matériau isolant comme une matière plastique possède aussi des électrons, mais ces derniers ne sont pas libres.

De ce fait, un isolant ne peut pas conduire le courant électrique.

### b) Quel est le sens de déplacement des électrons libres ?

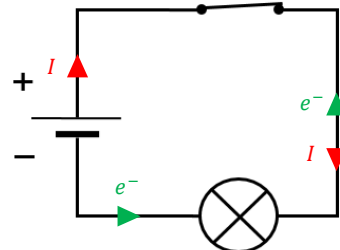
Pour rappel, dans un circuit électrique fermé, le courant électrique a un sens : **par convention, le courant électrique circule de la borne + du générateur vers la borne -, à l'extérieur de ce dernier.**

Ce sens a été décidé arbitrairement en 1820 par André Marie Ampère, physicien français, qui étudia le courant électrique bien avant la découverte de l'électron.

Depuis, on sait que ce sont les **électrons libres** qui participent à la **conduction du courant électrique** dans un circuit électrique fermé.

Ils se déplacent à l'extérieur du générateur, **de la borne - de celui-ci vers la borne +.**

Autrement dit, dans le sens opposé au sens conventionnel du courant électrique.



Le générateur joue donc le rôle d'une « pompe à électrons » : il attire les électrons vers sa borne +, et les refoule par sa borne -.

*Remarque :*

On mesure l'intensité  $I$  d'un courant électrique avec un ampèremètre, toujours branché en série avec la portion de circuit concernée.



### c) Récapitulatif

**Dans un conducteur métallique, le courant électrique est dû au déplacement d'ensemble des électrons libres représenté par le symbole  $e^-$ .**

**Dans un circuit électrique fermé, le sens de déplacement des électrons libres assurant la circulation du courant électrique est opposé au sens conventionnel du courant électrique exprimé en ampère (A).**

## 6) La tension électrique

### a) Notion

Mesurons le potentiel électrique sur les pôles de différents générateurs :

Bien que les mesures des potentiels de ces trois générateurs soient différentes, leur différence de potentiel est la même.

Générateur	a	b	c
pôle +	2,0	4,3	1,7
pôle -	0	2,3	-0,3
différence de potentiel (ddp)	2,0	2,0	2,0

On dira alors que ces générateurs ont la même tension électrique.

### b) Ecriture d'une tension électrique

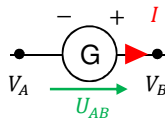
La tension est une grandeur caractérisant une différence d'état électrique entre deux points d'un circuit.

On a choisi de la représenter par une flèche.

*Exemple 1 : convention générateur*

Dans le cas d'un générateur, la tension  $U_{AB} = V_A - V_B$  est représentée dans le sens du courant électrique.

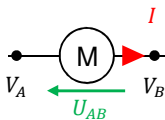
Cela s'applique à tout dipôle fonctionnant en générateur comme une pile, une photopile, etc.



*Exemple 2 : convention récepteur*

Dans le cas d'un récepteur, la tension  $U_{AB} = V_A - V_B$  est représentée dans le sens opposé au sens du courant électrique.

Cela s'applique à tout dipôle fonctionnant en récepteur comme une lampe, un moteur, etc.



*Remarque :*

On mesure la tension électrique  $U$  avec un voltmètre, toujours branché en dérivation avec la portion de circuit concernée.



### c) Récapitulatif

**La tension électrique est une grandeur physique déterminée par la différence de potentiel entre deux points d'un circuit électrique exprimée en volt (V).**

## II - Les lois des circuits électriques

### 1) Préambule

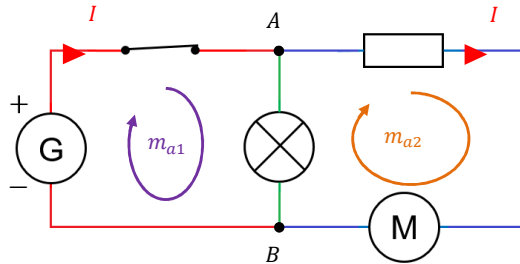
Dans un circuit électrique, on peut identifier :

- un **nœud** est un point de connexion entre trois fils de connexion ;
- une **branche** est une portion de circuit située entre deux nœuds consécutifs ;
- une **maille** est constituée d'un ensemble de branches qui forment un circuit fermé ne comprenant pas forcément un générateur.

Exemple :

Dans le circuit ci-contre, on a :

- la **branche principale** comprenant le générateur, l'interrupteur fermé ;
- une **branche dérivée n°1** comprenant la lampe ;
- une **branche dérivée n°2** comprenant la résistance et le moteur ;
- deux nœuds aux points A et B ;
- trois mailles :  $m_{a1}$ ,  $m_{a2}$  et maille comportant la branche principale et la branche dérivée n°2.



Remarque :

Une maille est orientée dans le sens du courant électrique qui y circule.

### 2) Loi des nœuds

Le courant électrique représente la quantité d'électrons libres circulant à travers une section de conducteur par unité de temps.

Or, la quantité d'électrons qui circulent dans le circuit se conserve.

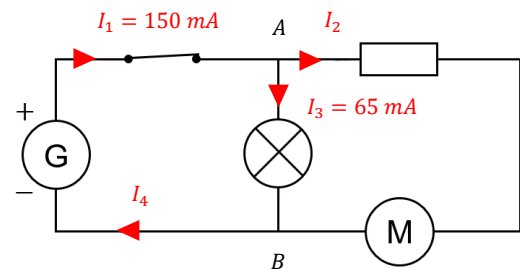
La loi des nœuds traduit cette conservation.

**La somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en repartent.**

Exemple :

A l'aide de la loi des nœuds, on peut déterminer les intensités  $I_2$  et  $I_4$ .  
 Au nœud A, on a :  $I_1 = I_2 + I_3$ ,  
 soit  $I_2 = I_1 - I_3 = 150 - 65 = 85 \text{ mA}$ .  
 Au nœud B, on a :  $I_2 + I_3 = I_4$ ,  
 soit  $I_4 = I_2 + I_3 = 65 + 85 = 150 \text{ mA}$ .  
 Il est également possible de déterminer  $I_4$  sans avoir calculé  $I_2$ .

D'après les relations établies, on a  $I_4 = I_1 = 150 \text{ mA}$ .



Remarque :

Dans un circuit en série, il n'y a pas de nœud électrique.

Par conséquent, le courant a la même valeur dans tout le circuit : c'est la loi d'unicité de l'intensité dans un circuit en série.

### 3) Loi des mailles

La loi des mailles ne s'applique que dans une maille orientée.

Le plus souvent, on oriente la maille concernée dans le sens du courant qui y circule.

Pour additionner les tensions de la maille orientée, on affecte :

- une signe « + » à une tension si sa flèche est dans le même sens que celui du parcours ;
- une signe « - » à une tension si sa flèche est dans le sens opposé que celui du parcours.

**Dans une maille orientée, la somme des tensions le long du parcours de la maille est nulle.**

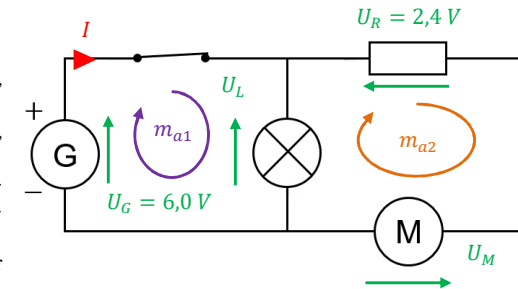
Exemple :

A l'aide de la loi des mailles, on peut déterminer les tensions  $U_L$  et  $U_M$ .  
 Dans la maille  $m_{a1}$ , on a :  $U_G - U_L = 0$ ,  
 soit  $U_L = U_G = 6,0 \text{ V}$ .  
 Dans la maille  $m_{a2}$ , on a :  $U_L - U_R - U_M = 0$ ,  
 soit  $U_M = U_L - U_R = 6,0 - 2,4 = 3,6 \text{ V}$ .

Il est également possible de déterminer  $U_M$  sans avoir calculé  $U_L$ .

En considérant la maille comprenant le générateur, la résistance et le moteur, on a :

$U_G - U_R - U_M = 0$ , soit  $U_M = U_G - U_R = 6,0 - 2,4 = 3,6 \text{ V}$ .

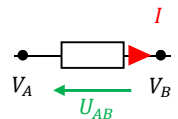


Remarque :

Comme la tension d'un fil de connexion, la tension aux bornes d'un interrupteur fermé est nulle.

### 4) Loi d'Ohm

Si la tension  $U_{AB}$  aux bornes d'un dipôle est proportionnelle à l'intensité  $I$  du courant qui le traverse, alors ce dipôle, appelé résistance ou dipôle ohmique, est caractérisé par sa résistance  $R$  et il suit la loi d'Ohm :



$U_{AB} = R \times I$	$U_{AB}$ en volts (V)
	$R$ en ohms ( $\Omega$ )
	$I$ en ampères (A)

Exemple 1 :

Une résistance  $R = 10 \text{ k}\Omega$  ayant une tension à ses bornes  $U_{AB} = 12,0 \text{ V}$ , est traversée par un courant  $I$  de valeur :  $I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{12,0}{10 \times 10^3} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ A} = 1,2 \text{ mA}$ .

Exemple 2 :

Une résistance traversée par un courant  $I = 150 \text{ mA}$  ayant une tension à ses bornes  $U_{AB} = 3,0 \text{ V}$ , a pour valeur :  $R = \frac{U_{AB}}{I} = \frac{3,0}{150 \times 10^{-3}} = 200 \Omega$ .

Remarque :

On mesure une résistance électrique  $R$  avec un ohmmètre, prise en dehors d'un circuit électrique.



### 5) Caractéristique d'un dipôle

La caractéristique d'un dipôle permet de connaître les conditions de fonctionnement d'un dipôle.

**A une valeur de tension  $U$  correspond une unique valeur de l'intensité  $I$  du courant, et réciproquement.**

Pour représenter une caractéristique, deux graphiques équivalents peuvent être réalisés :

- la **caractéristique tension-intensité** pour la variation d'une tension  $U$  aux bornes d'un dipôle en fonction de l'intensité  $I$  du courant qui le traverse :  $U = f(I)$  ;
- la **caractéristique intensité-tension** pour la variation d'une intensité  $I$  du courant qui le traverse en fonction de la tension  $U$  aux bornes du dipôle :  $I = f(U)$ .

#### Exemple 1 : caractéristique d'un conducteur ohmique

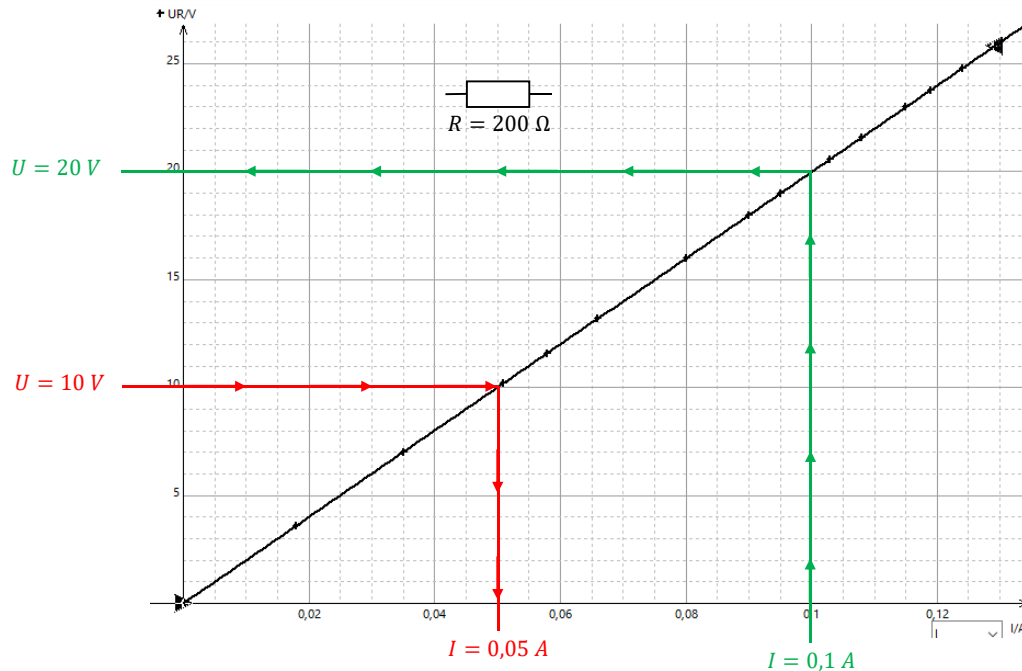
A température constante, la tension aux bornes d'un conducteur ohmique suit la loi d'Ohm.

La caractéristique tension-intensité est une droite passant par l'origine.

Par modélisation, on obtient :  $R = 200 \Omega$ .

Par lecture graphique, on lit :

- si  $U = 10 \text{ V}$ , alors  $I = 0,05 \text{ A} = 50 \text{ mA}$  (cf graphe) ;
- si  $I = 0,1 \text{ A}$ , alors  $U = 20 \text{ V}$  (cf graphe).



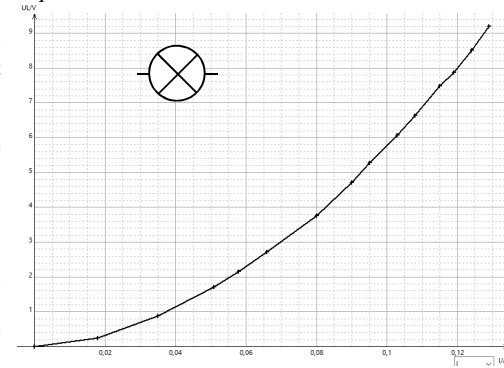
#### Exemple 2 : caractéristique d'une lampe à incandescence

Le filament d'une lampe à incandescence que l'on trouve dans le commerce est en tungstène.

La caractéristique  $U = f(I)$  d'une lampe à incandescence n'est pas une droite passant par l'origine comme celle d'une résistance. Cela s'explique par la différence de température du filament entre la valeur initiale (0 V) et la valeur finale (9,2 V) qui est très importante.

Le filament ne se comporte pas comme un conducteur ohmique.

Tous les fils métalliques ont une telle caractéristique si leur température varie : **leur résistance électrique augmente avec la température.**



Par contre, si la température ne varie pas de manière importante, les métaux et les alliages métalliques sont des conducteurs ohmiques.

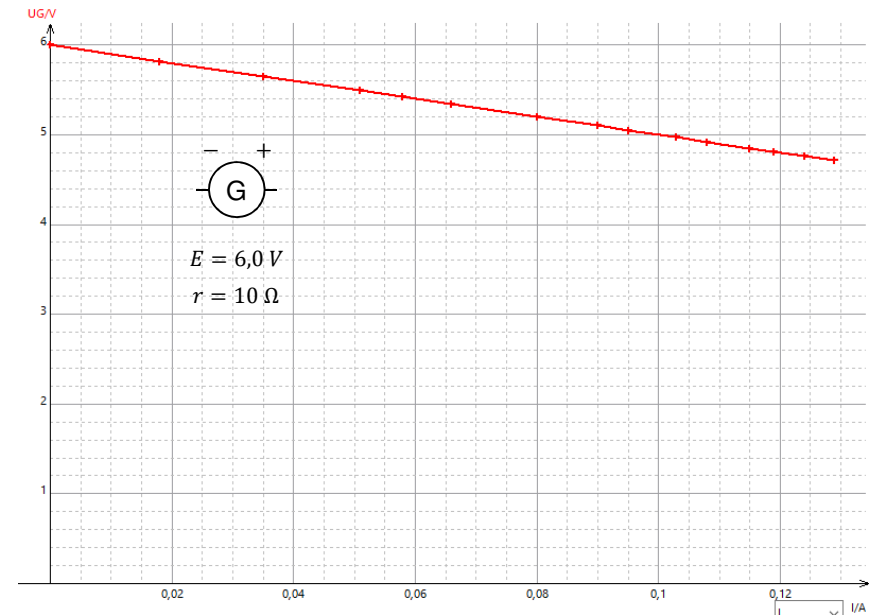
#### Exemple 3 : caractéristique d'un générateur de tension

On reconnaît un générateur de tension à sa particularité de posséder une tension à ses bornes lorsqu'il est isolé, sans circuit extérieur, c'est-à-dire en l'absence de courant. Cette tension constitue sa force électromotrice ou fém notée  $E$ .

Lorsque le générateur débite du courant, la tension à ses bornes diminue progressivement.

La caractéristique est pratiquement une droite d'équation :  $U = E - r \times I$  où  $r$  est la résistance interne de la pile.

Plus cette résistance est importante, et plus la chute de tension est grande lorsque l'intensité augmente.

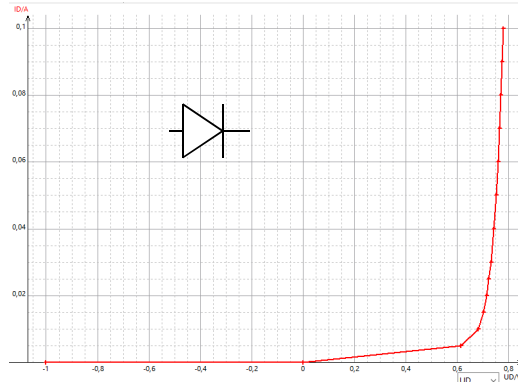


**Exemple 4 : caractéristique d'une diode**  
 Pour certains dipôles comme les diodes, il est usage de tracer la caractéristique courant-tension.

A partir de la caractéristique, on remarque que la diode n'est passant que lorsque la tension dépasse un seuil, 0,6 V pour une diode au silicium.

La tension aux bornes de la diode passante varie très peu en fonction de l'intensité.

L'étude approximative semble montrer que la diode se comporte comme un fil de résistance négligeable quand elle est passante, et comme un interrupteur ouvert quand elle est bloquante.



**Remarque :**

Cette courbe est spécifique du dipôle, elle en constitue une sorte de carte d'identité, d'où son nom de caractéristique.

Par exemple, si la caractéristique d'un dipôle inconnu est une droite passant par l'origine, alors on sait que ce dipôle est un dipôle ohmique.

### 6) Point de fonctionnement

Lorsqu'un dipôle récepteur est branché aux bornes d'un générateur, un courant de même intensité  $I_f$  traverse les deux dipôles.

La tension  $U_f$  à leurs bornes est également la même.

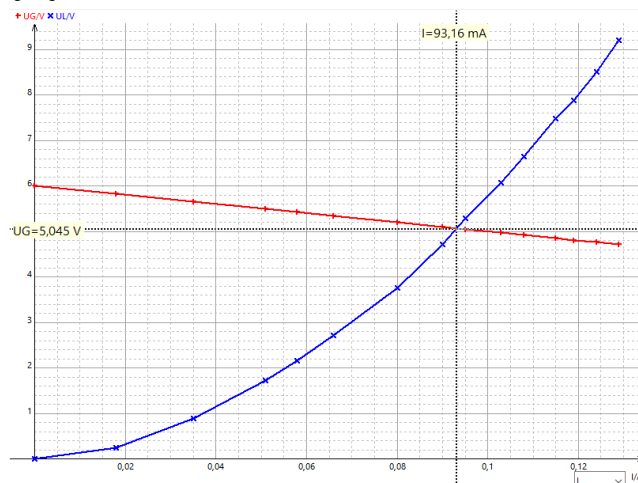
Ces deux conditions sont réalisées simultanément à l'intersection des caractéristiques des deux dipôles.

**Le point de fonctionnement d'un circuit, noté  $(I_f ; U_f)$  est le point d'intersection des caractéristiques du générateur et du dipôle récepteur branché en série.**

**Exemple :**

En superposant les caractéristiques du générateur et de la lampe étudiés précédemment, on lit graphiquement :

- $I_f = 93,16 \text{ mA}$  ;
- $U_f = 5,045 \text{ V}$ .



Les caractéristiques des dipôles sont des courbes limitées.

**Les valeurs minimales et maximales définissent le domaine de fonctionnement du dipôle.**

Il est impératif de ne pas dépasser ces limites pour éviter d'endommager le dipôle. La limite maximale de fonctionnement est couramment représentée par un petit trait hachuré.



### 7) Récapitulatif

**Dans un circuit électrique, les différentes grandeurs mises en jeu comme l'intensité du courant électrique ou la tension électrique suivent des lois :**

- la loi des nœuds pour l'intensité du courant électrique ;
- la loi des mailles pour la tension électrique ;
- la loi d'Ohm qui les relie pour des dipôles ohmiques.

**La caractéristique d'un dipôle est l'ensemble des couples de valeurs  $(U ; I)$  possibles pour ce dipôle.**

**Le point de fonctionnement est le point d'intersection des caractéristiques de deux dipôles en série.**

## III - Les capteurs électriques

### 1) Définition et étalonnage d'un capteur

Les capteurs sont présents dans un grand nombre d'objets du quotidien.

Ils mesurent des grandeurs liées à l'environnement pour aider la prise de décision et simplifier la vie quotidienne :

- un **gyroscope** donne l'orientation d'appareils tels qu'un avion ou un drone ;
- un **détecteur de mouvement** alerte ou pilote un éclairage pour économiser l'énergie ;
- un **télémetre laser** mesure une distance. On en trouve dans les robots aspirateurs, les robots tondeuses, le « radar de recul » d'une voiture ou encore les radars routiers ;
- un **thermomètre** pilote un chauffage ;
- un **anémomètre** mesure la vitesse du vent pour détecter un vent trop fort et mettre alors en sécurité une éolienne ou des volets roulants.

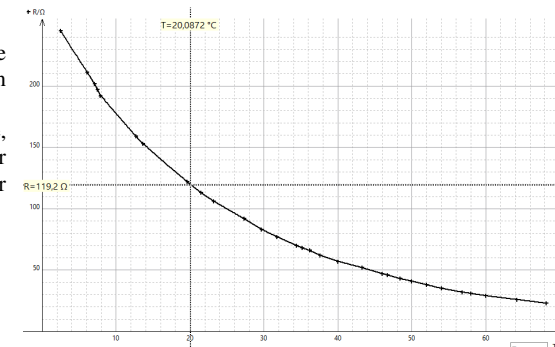
**Un capteur électrique permet de convertir une grandeur physique en signal électrique.**

**La courbe d'étalonnage du capteur est la courbe donnant l'évolution de la grandeur électrique caractéristique du capteur en fonction de la grandeur physique à laquelle le capteur est sensible.**

**Exemple :**

Une thermistance est une résistance dont la valeur varie en fonction de la température.

A l'aide la courbe d'étalonnage, on peut lire que la résistance a pour valeur  $R = 119,7 \Omega$  lorsque la valeur de la température  $T = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .



2) Cas des capteurs résistifs

De nombreux capteurs électriques sont basés sur la modification de la résistance des matériaux en fonction de paramètres extérieurs : ce sont des capteurs résistifs.

Afin d'utiliser un dipôle résistif comme capteur, il est nécessaire :

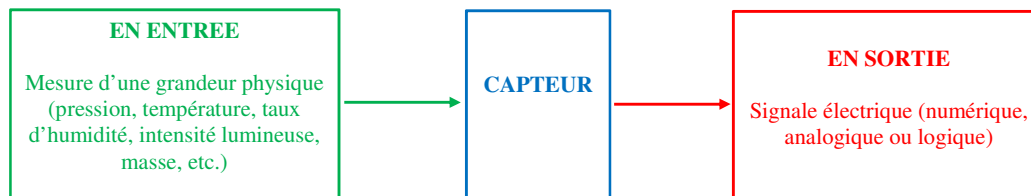
- de connaître la variation de sa résistance en fonction du paramètre mesuré en réalisant un étalonnage ;
- de réaliser un circuit permettant d'obtenir une tension qui dépendra de cette résistance.

Des capteurs résistifs sont largement utilisés dans la vie courante :

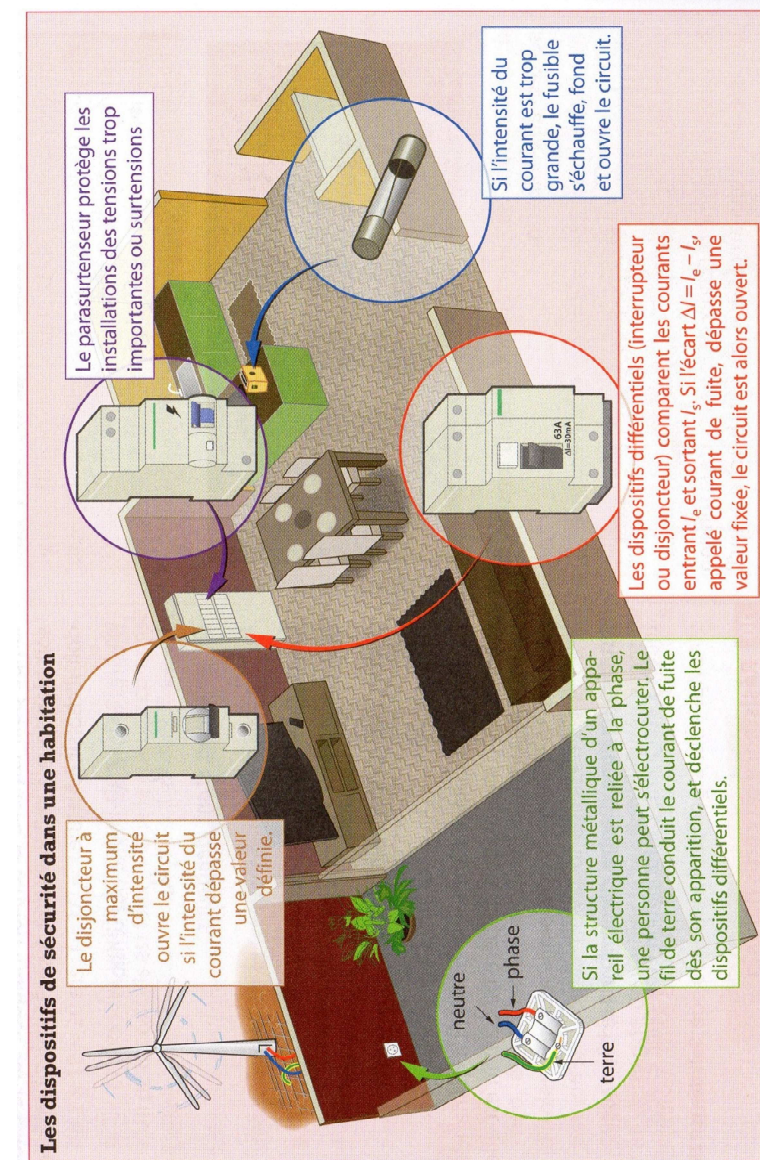
Exemple de dipôle	Thermistance CTN	Photorésistance	Jauge de contrainte
Paramètre d'influence	Température	Eclairage	Pression
Variation de la résistance	Diminue quand la température augmente	Augmente avec la luminosité	Augmente avec la pression subie
Applications technologiques	Thermomètre, thermostat d'ambiance, détecteur d'incendie, etc.	Allumage automatique de l'éclairage, ouverture automatique des portes, mise en route d'un système d'alarme, etc.	Balance électronique, capteur de déformation, mesure de pression, etc.

3) Récapitulatif

Un capteur électrique permet de traduire une grandeur d'entrée en une autre grandeur en sortie :



La courbe d'étalonnage d'un capteur électrique représente l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée.



## CODAGE DE LA VALEUR D'UNE RESISTANCE

Noir	Marron	Rouge	Orange	Jaune	Vert	Bleu	Violet	Gris	Blanc
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Exemple :

