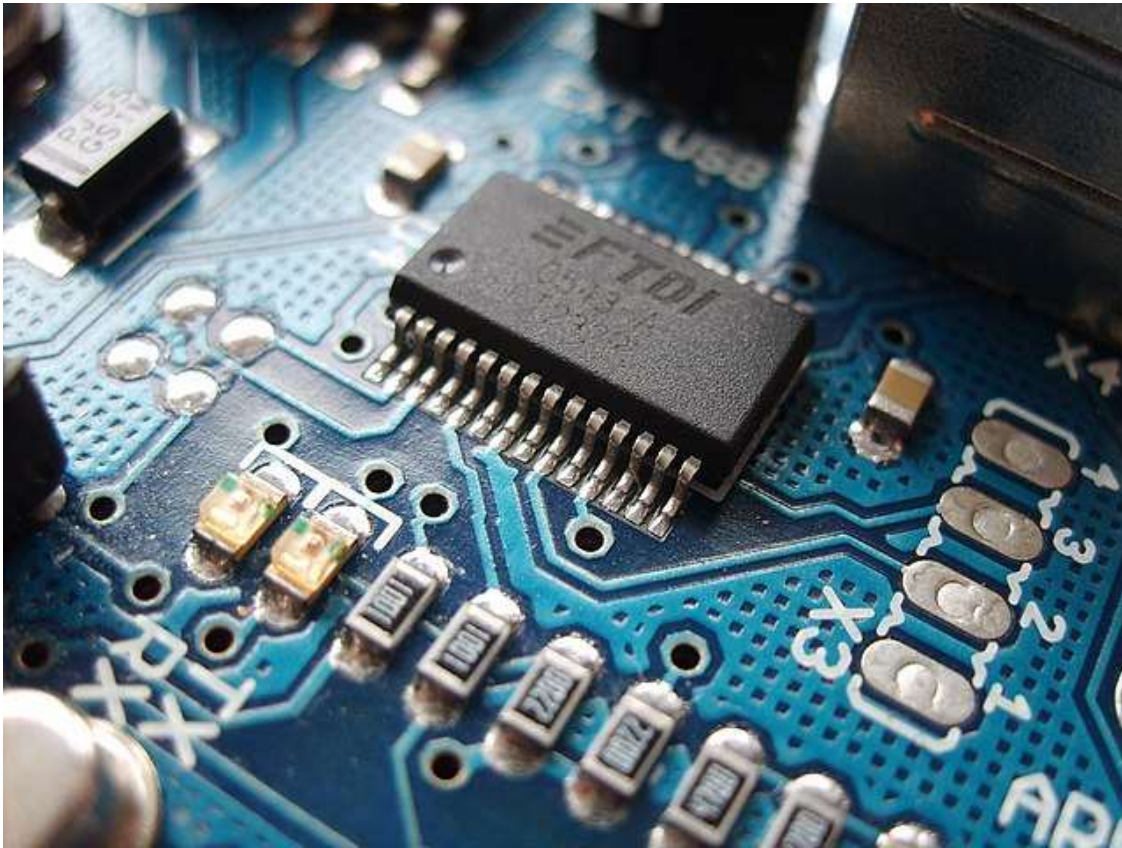


# Circuits électriques dans l'ARQS

Pourquoi s'y intéresser?

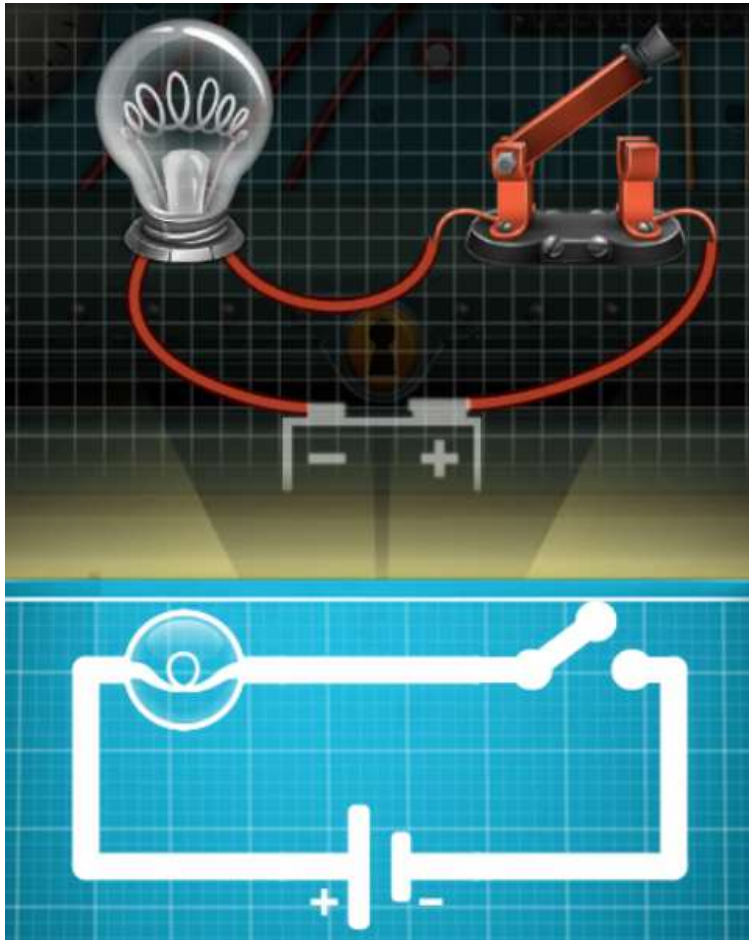


# Pourquoi s'y intéresser?

## L'univers de l'électronique automobile



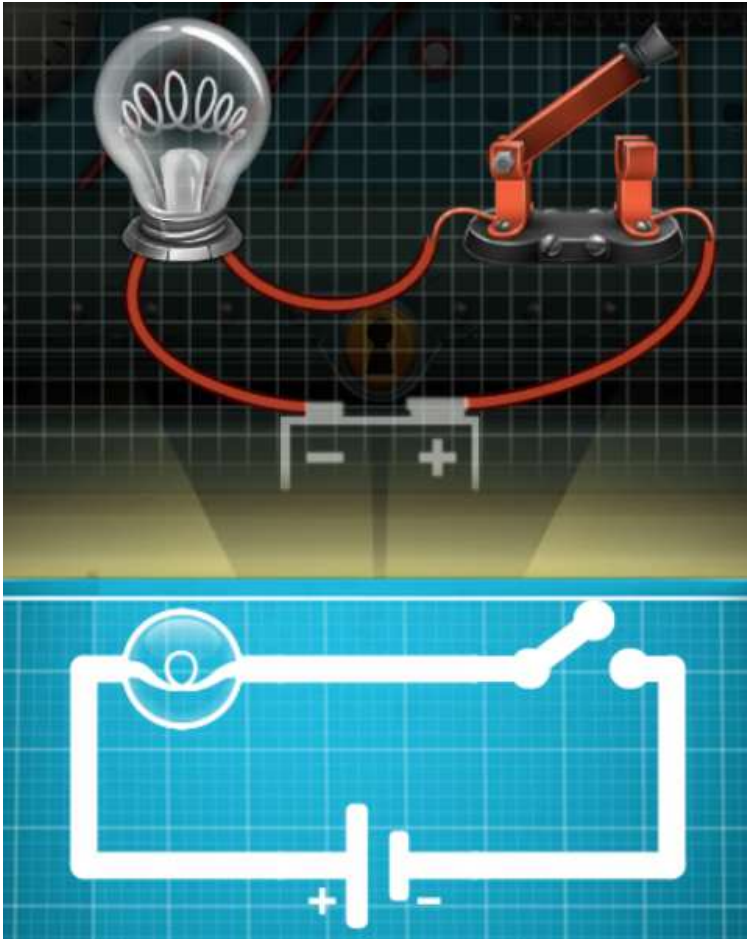
# C'est quoi un circuit électrique ?



← En vrai

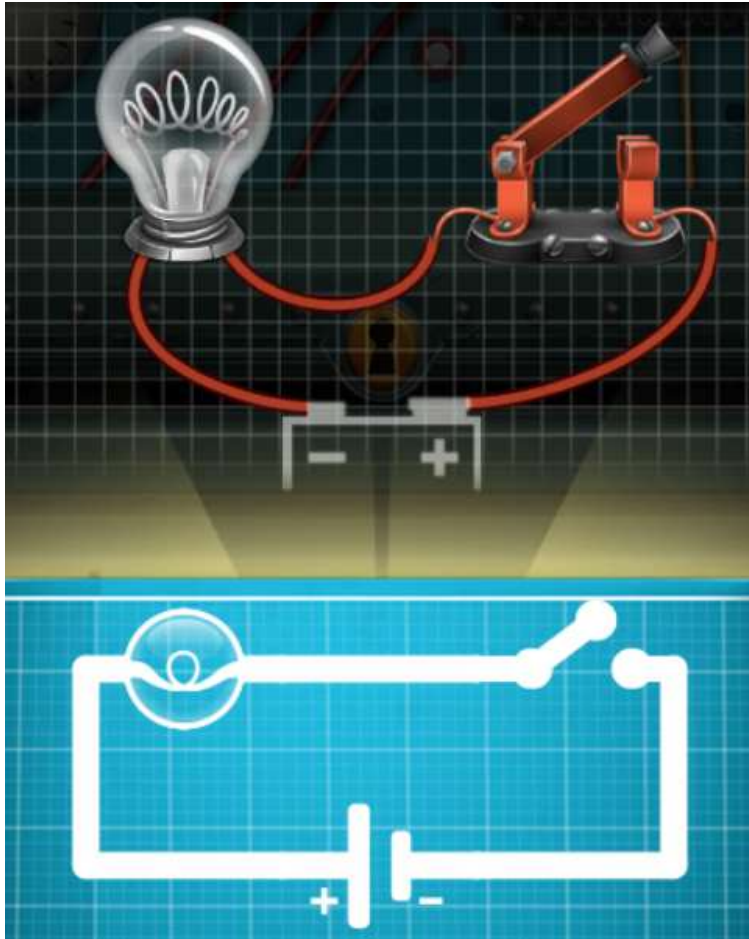
← Sur un schéma

C'est quoi un circuit électrique ?



Comment le caractériser ?

# Comment le caractériser ?

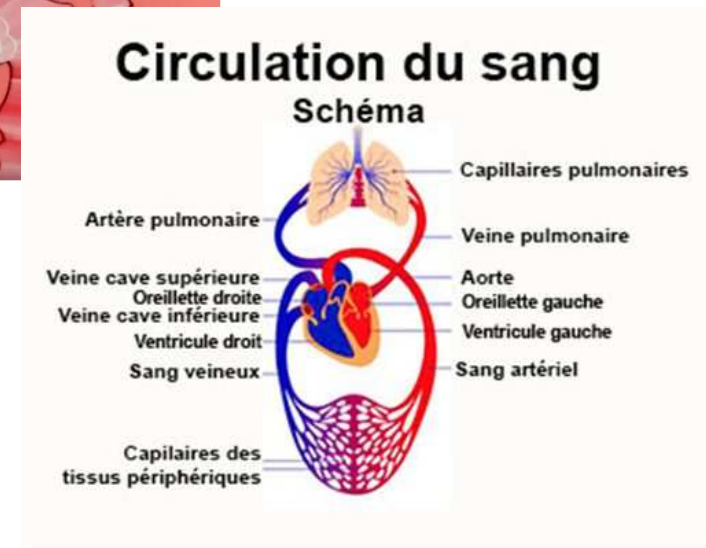
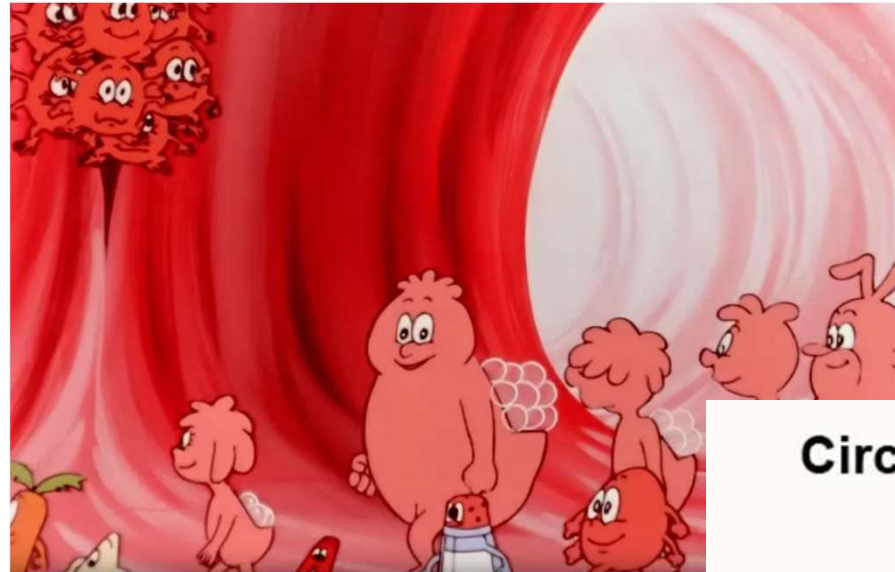
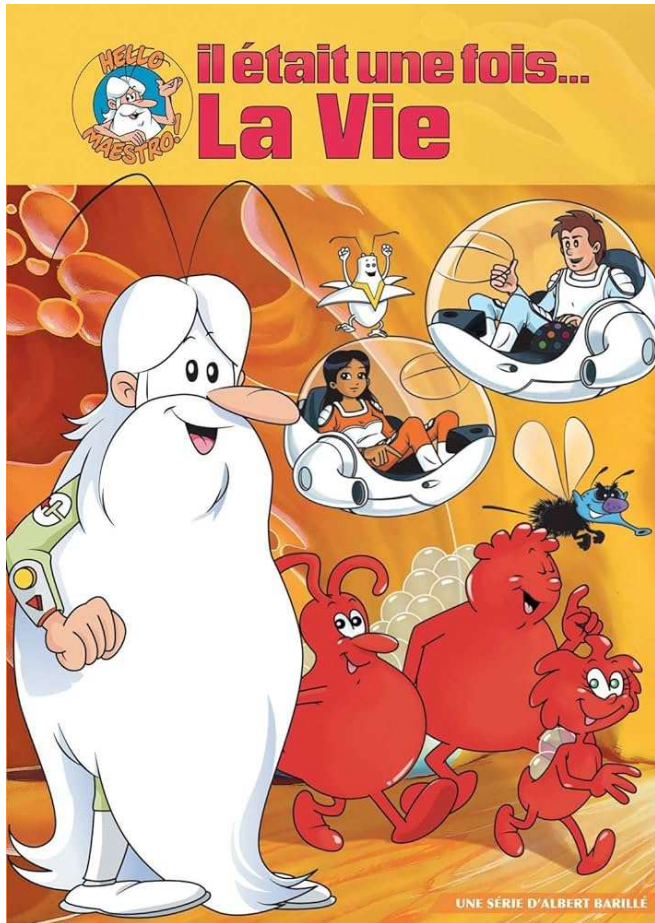


## Grandeurs pertinentes :

- Intensité
- Tension (différence de potentiel)
- Résistance

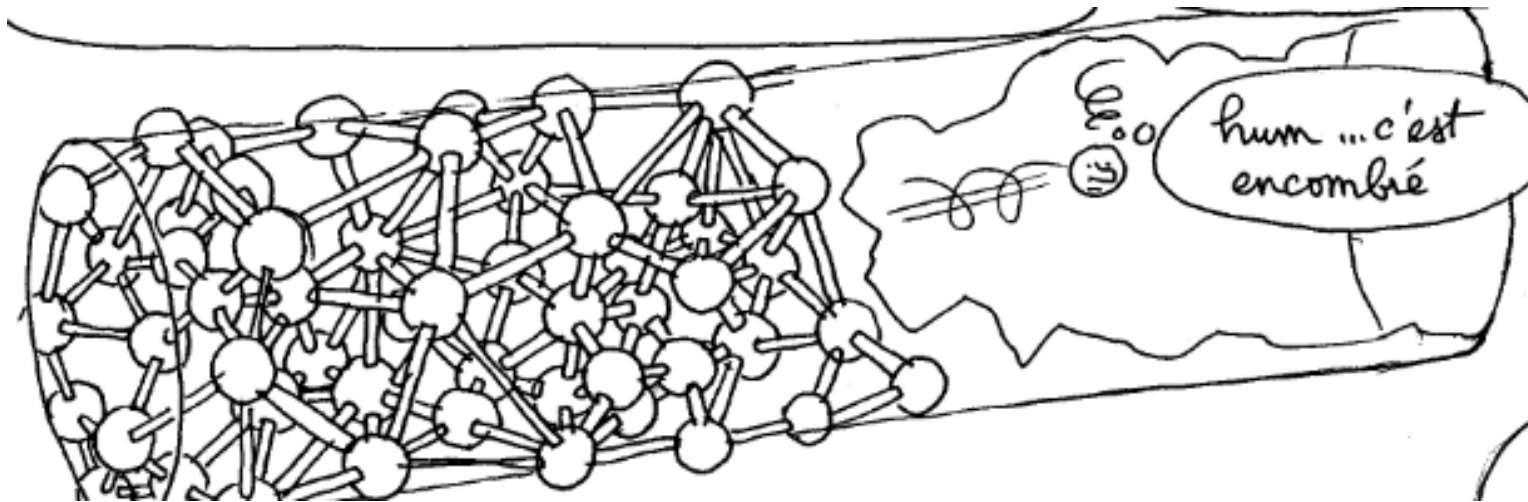
# 1. Les grandeurs électriques

# Donner du sens : la force de l'analogie ou des images





# Donner du sens : la force de l'analogie ou des images

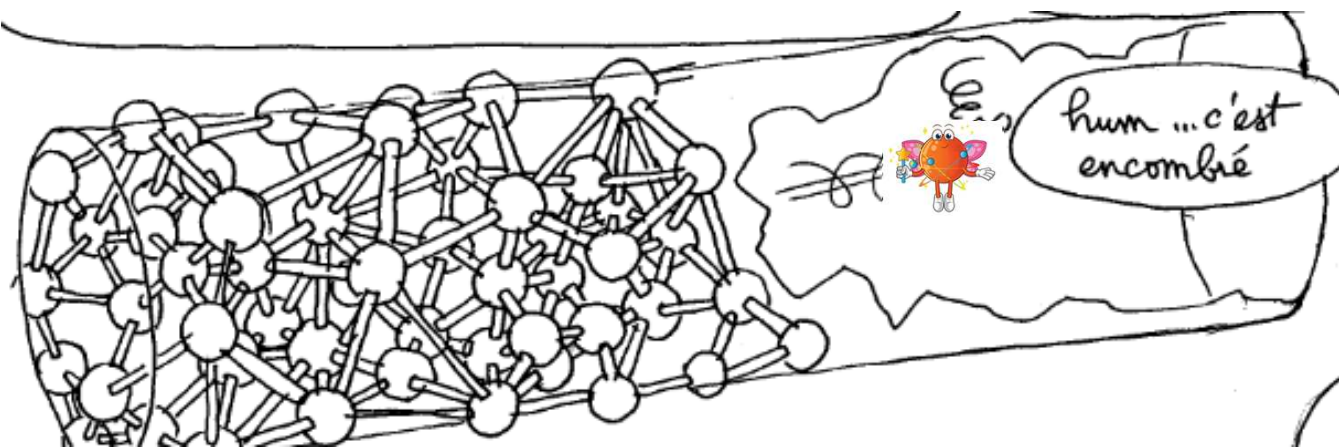


Donner du sens :  
la force de l'analogie ou des images



# Donner du sens : la force de l'analogie ou des images

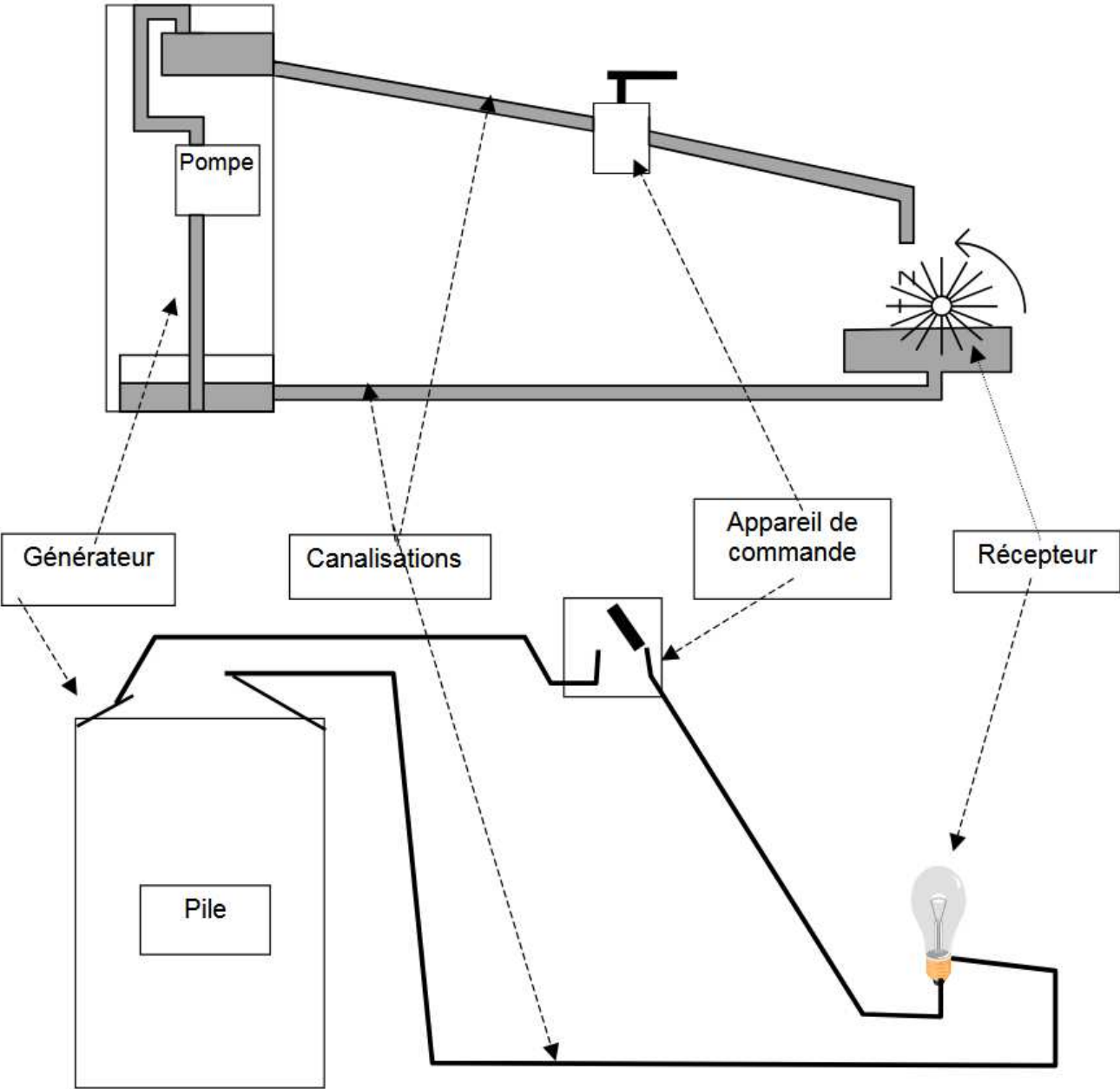
Vision au minimum  
incomplète  
(souvent erronée)  
mais très pratique  
pour comprendre et  
mémoriser !



Les images mentales que l'on se fait peuvent être améliorées au fil de son apprentissage...

# Donner du sens : l'analogie hydraulique

Grandeur électrique	Unité	Analogie hydraulique
Charge électrique	coulomb (C)	volume d'eau
Potentiel électrique	volt (V)	altitude
Tension (différence de potentiel électrique)	volt (V)	différence d'altitude entre deux points du circuit
Courant	ampère (A)	débit (volume d'eau qui traverse le tuyau par seconde)



# Intensité

## Définition : Courant et Intensité du courant

Le ***courant électrique*** représente le déplacement d'ensemble de particules chargées.

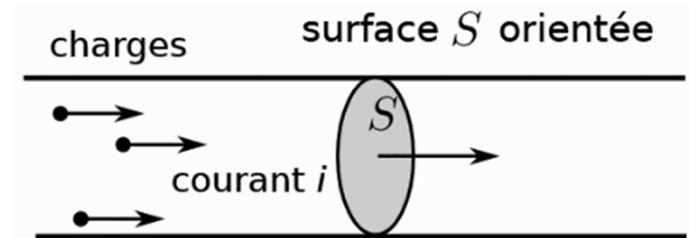
L'***intensité  $i$***  du courant électrique est définie comme le ***débit de charges*** à travers une section ( $S$ ) du conducteur.

C'est la charge algébrique  $dq$  qui traverse la section pendant l'intervalle de temps  $dt$  :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Elle s'exprime en ampère ( $A$ ), qui correspondent à des coulombs par seconde ( $C \cdot s^{-1}$ ).

Elle est mesurée par un ampèremètre placé en série dans le circuit.



# Intensité

## Définition : Courant et Intensité du courant

Le **courant électrique** représente le déplacement d'ensemble de particules chargées.

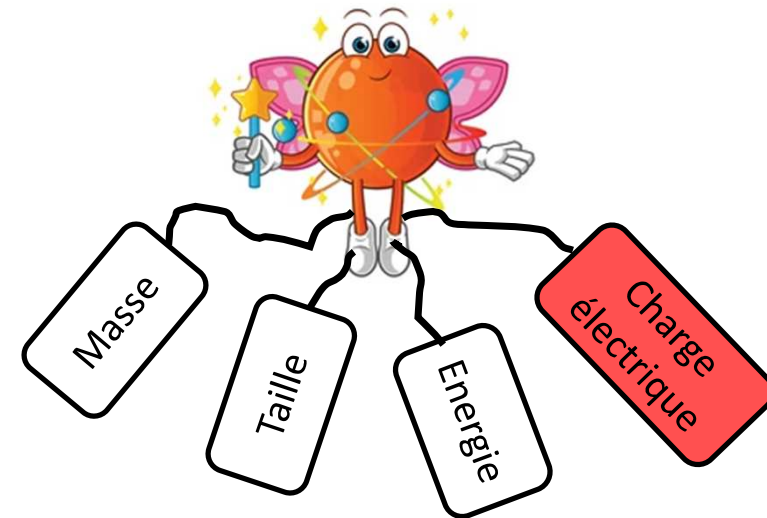
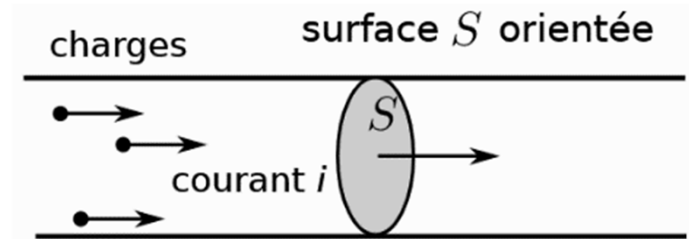
L'**intensité**  $i$  du courant électrique est définie comme le **débit de charges** à travers une section ( $S$ ) du conducteur.

C'est la charge algébrique  $dq$  qui traverse la section pendant l'intervalle de temps  $dt$  :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Elle s'exprime en ampère ( $A$ ), qui correspondent à des coulombs par seconde ( $C \cdot s^{-1}$ ).

Elle est mesurée par un ampèremètre placé en série dans le circuit.



# Intensité



## Définition : Courant et Intensité du courant

Le **courant électrique** représente le déplacement d'ensemble de particules chargées.

L'**intensité  $i$**  du courant électrique est définie comme le **débit de charges** à travers une section ( $S$ ) du conducteur.

C'est la charge algébrique  $dq$  qui traverse la section pendant l'intervalle de temps  $dt$  :

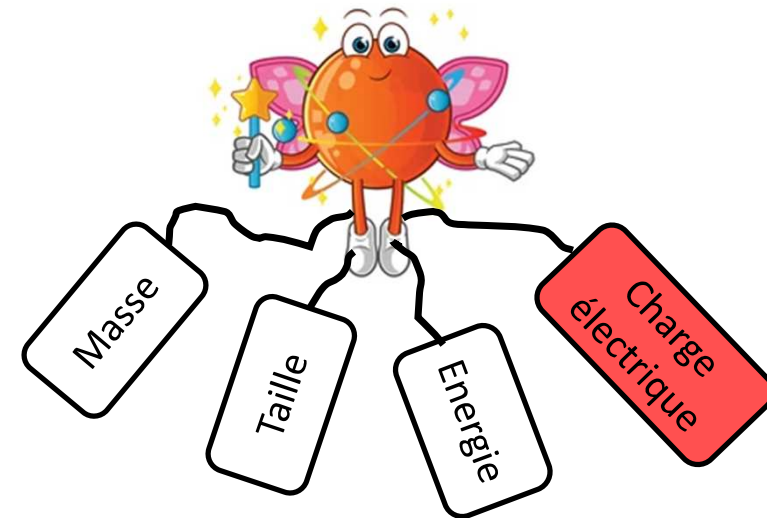
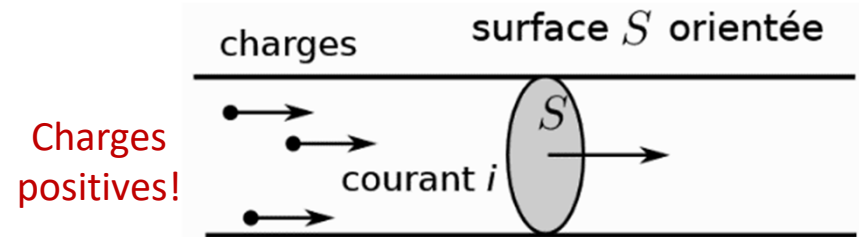
$$i = \frac{dq}{dt}$$

Elle s'exprime en ampère ( $A$ ), qui correspondent à des coulombs par seconde ( $C \cdot s^{-1}$ ).

## Convention : Sens du courant électrique

Par convention, le **sens réel** du courant est le sens de **déplacement des charges positives**.

Dans un conducteur métallique, le courant électrique correspond seulement à un déplacement d'électrons. Le sens de déplacement des électrons est alors opposé au sens du courant électrique.



# Intensité

## Définition : Courant et Intensité du courant

Le **courant électrique** représente le déplacement d'ensemble de particules chargées.

L'**intensité  $i$**  du courant électrique est définie comme le **débit de charges** à travers une section ( $S$ ) du conducteur.

C'est la charge algébrique  $dq$  qui traverse la section pendant l'intervalle de temps  $dt$  :

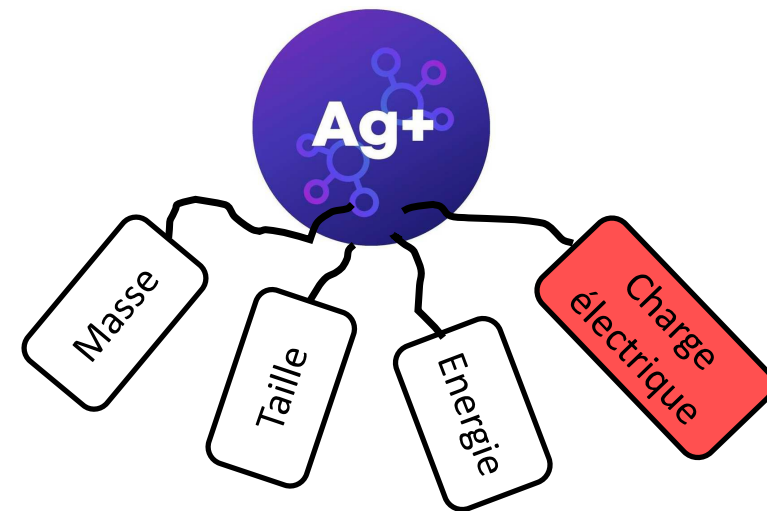
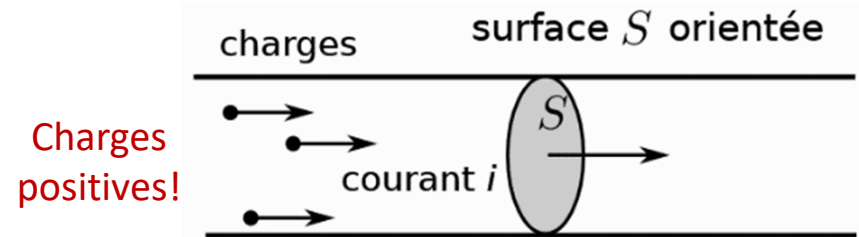
$$i = \frac{dq}{dt}$$

Elle s'exprime en ampère ( $A$ ), qui correspondent à des coulombs par seconde ( $C \cdot s^{-1}$ ).

## Convention : Sens du courant électrique

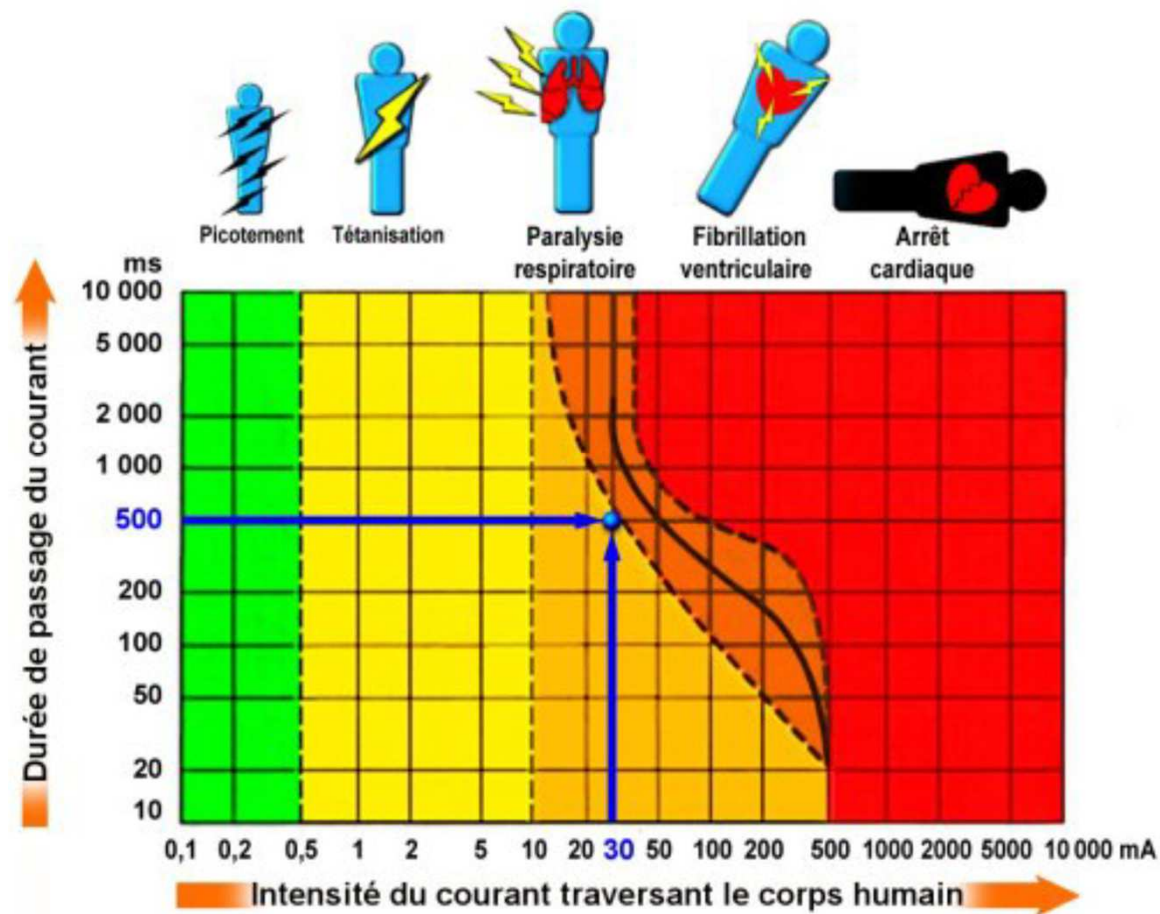
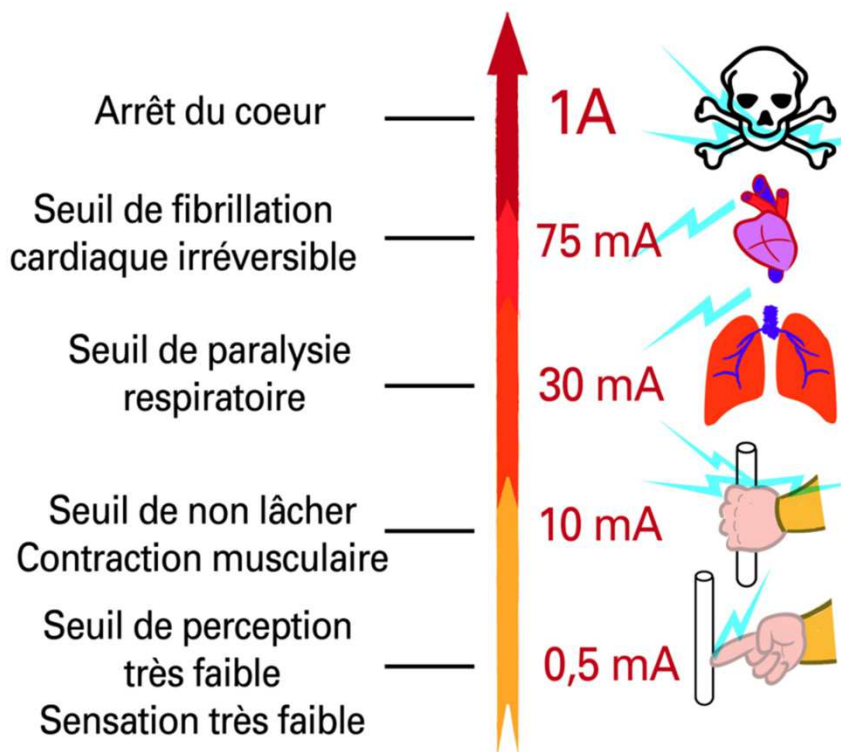
Par convention, le **sens réel** du courant est le sens de **déplacement des charges positives**.

Dans un conducteur métallique, le courant électrique correspond seulement à un déplacement d'électrons. Le sens de déplacement des électrons est alors opposé au sens du courant électrique.





# Intensité (OdG)



# La tension

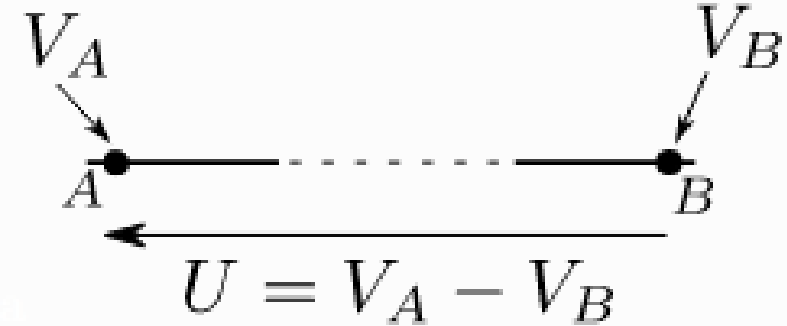
## Définition : Tension

La *tension*  $U$  est définie entre deux points A et B comme la différence de potentiel entre ces deux points :

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

Elle s'exprime en volt (V).

Elle est mesurée par un voltmètre placé en parallèle.



# La tension

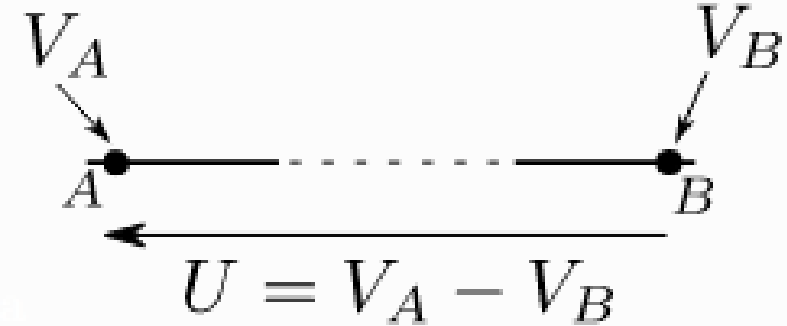
## Définition : Tension

La **tension**  $U$  est définie entre deux points A et B comme la différence de potentiel entre ces deux points :

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

Elle s'exprime en volt (V).

Elle est mesurée par un voltmètre placé en parallèle.



# Le potentiel électrique

## Définition : Potentiel électrique

On associe au mouvement des charges, sous l'action des forces électrostatiques, une énergie potentielle électrique :

$$\mathcal{E}_{p_{elec}}(M) = q \cdot V(M)$$

où  $q$  est la charge et  $V(M)$  est appelé **potentiel électrique** au point  $M$ .

- Le potentiel  $V$  est défini en chaque point d'un circuit.
- Il s'exprime en volt ( $V$ ).
- Il est défini à une constante additive près. Par convention, la **masse** est l'endroit où  $V = 0$ .

Plus le potentiel électrique est élevé plus les charges électriques négligées « ont envie » de venir.

Importance d'avoir une référence: la **masse** !



MISE À LA TERRE

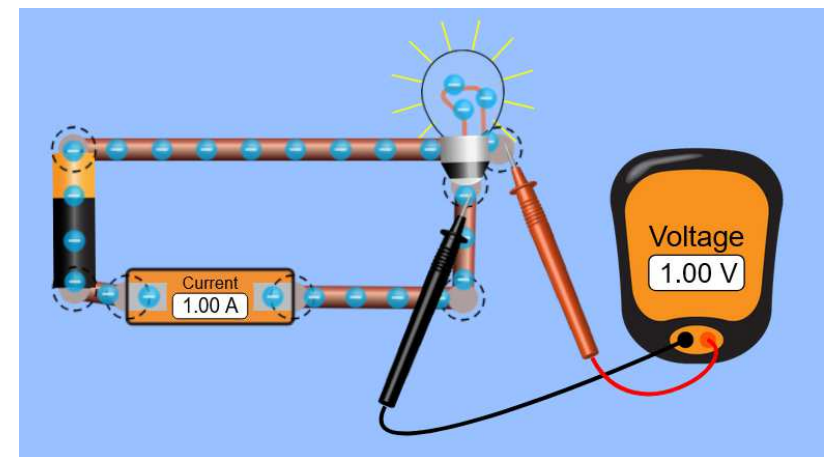
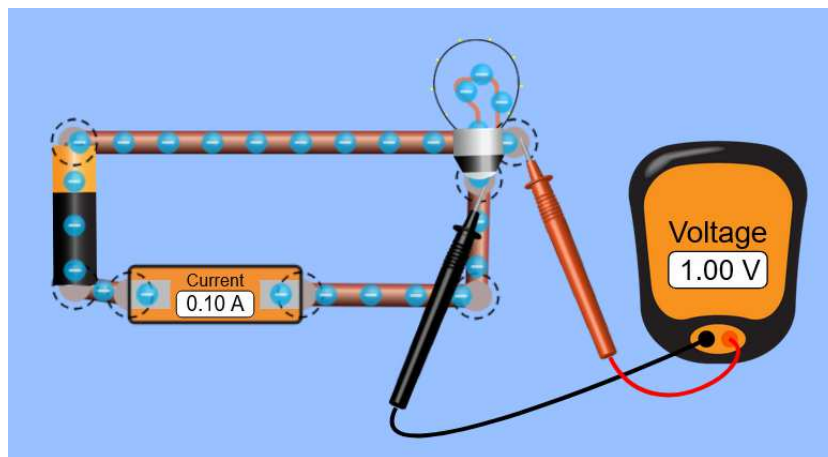
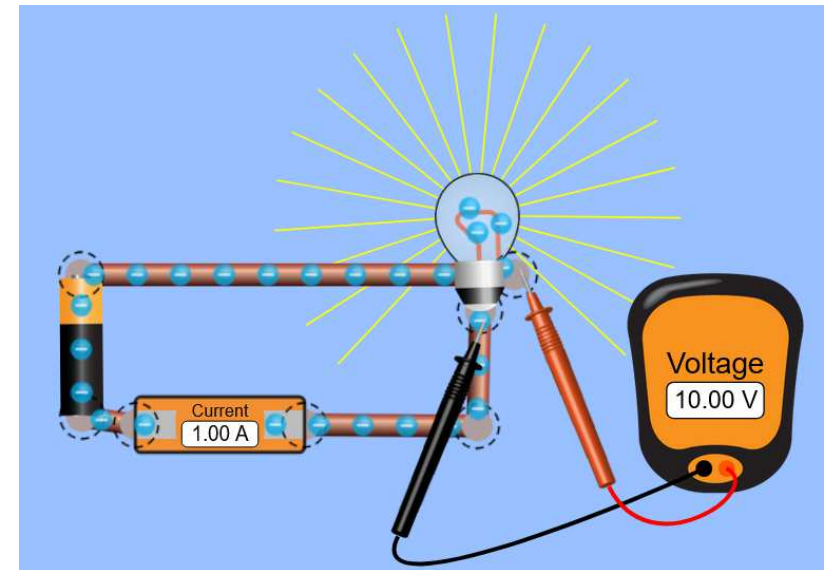
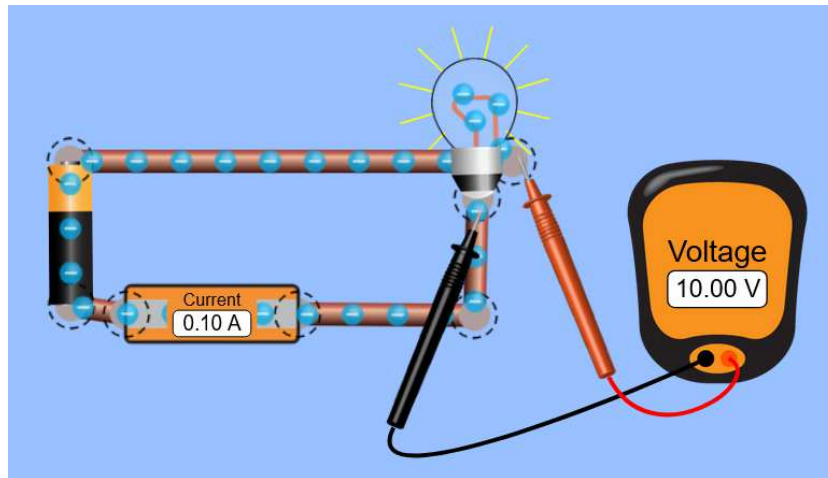


MISE À LA MASSE  
SIGNAUX



MISE À LA MASSE  
CHASSIS

# Puissance électrique



# Puissance électrique

## Définition : Puissance électrique

La **puissance électrique**  $\mathcal{P}_{elec}$  est le taux, par unité de temps, auquel l'énergie électrique  $\mathcal{E}_{elec}$  est transférée par un circuit électrique :  $\mathcal{P}_{elec} = \frac{d\mathcal{E}_{elec}}{dt}$ .

Elle s'exprime en watt (W), équivalent à des J.s<sup>-1</sup>.

Elle dépend de la tension  $u$  et de l'intensité du courant électrique selon la relation suivante  $i$  :

$$\mathcal{P}_{elec} = u \cdot i$$

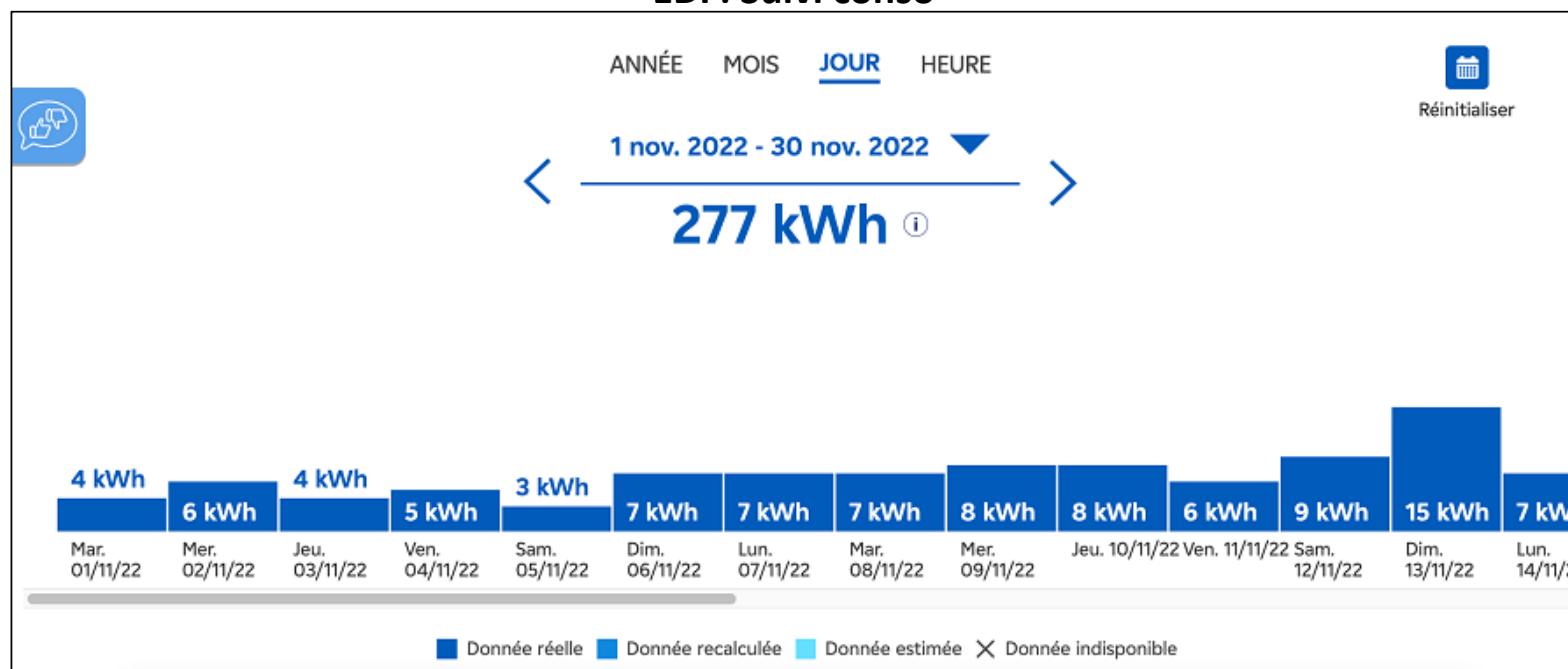
Le signe de la puissance donne le sens de transfert de l'énergie (voir convention récepteur et générateur).

L'énergie électrique transférée vaut  $\mathcal{E}_{elec} = \int_0^t \mathcal{P}_{elec} \cdot dt$  qui pour une puissance constante se simplifie en

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

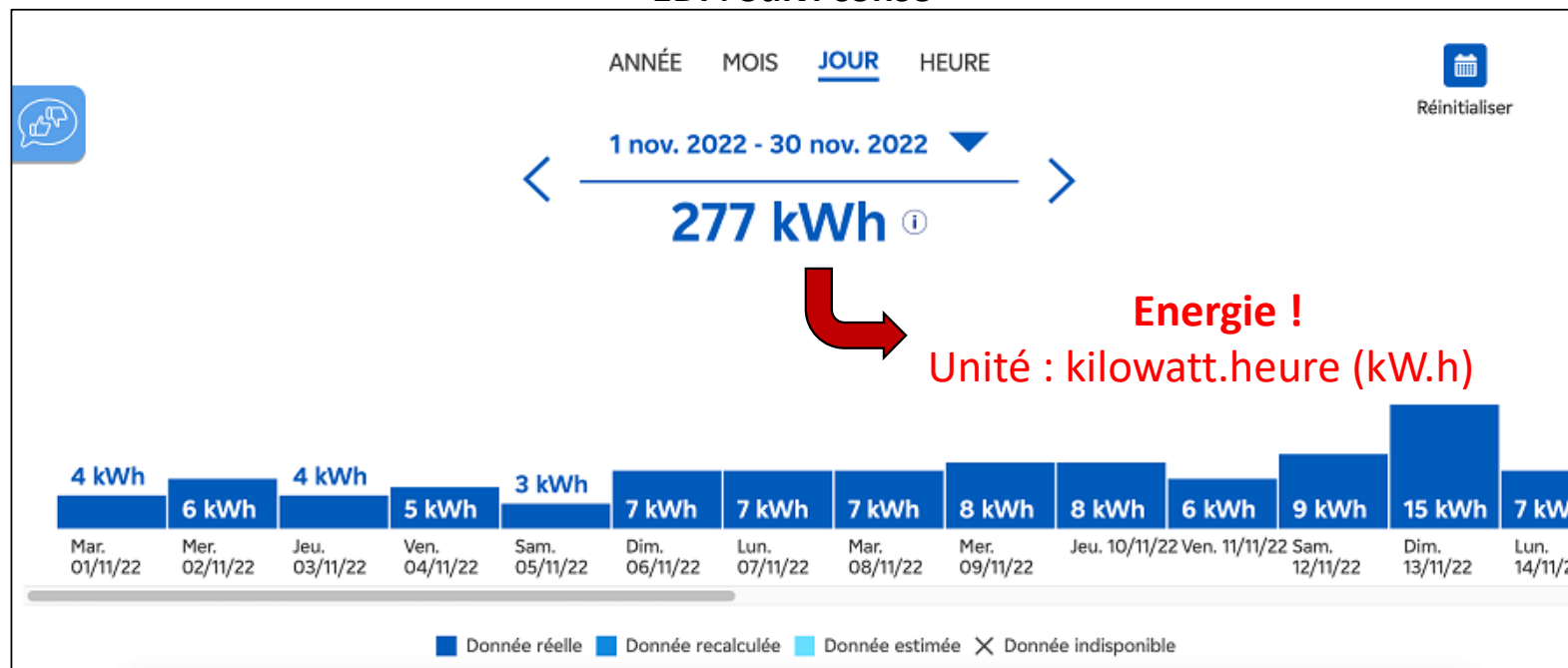
# Puissance électrique

## EDF: Suivi conso



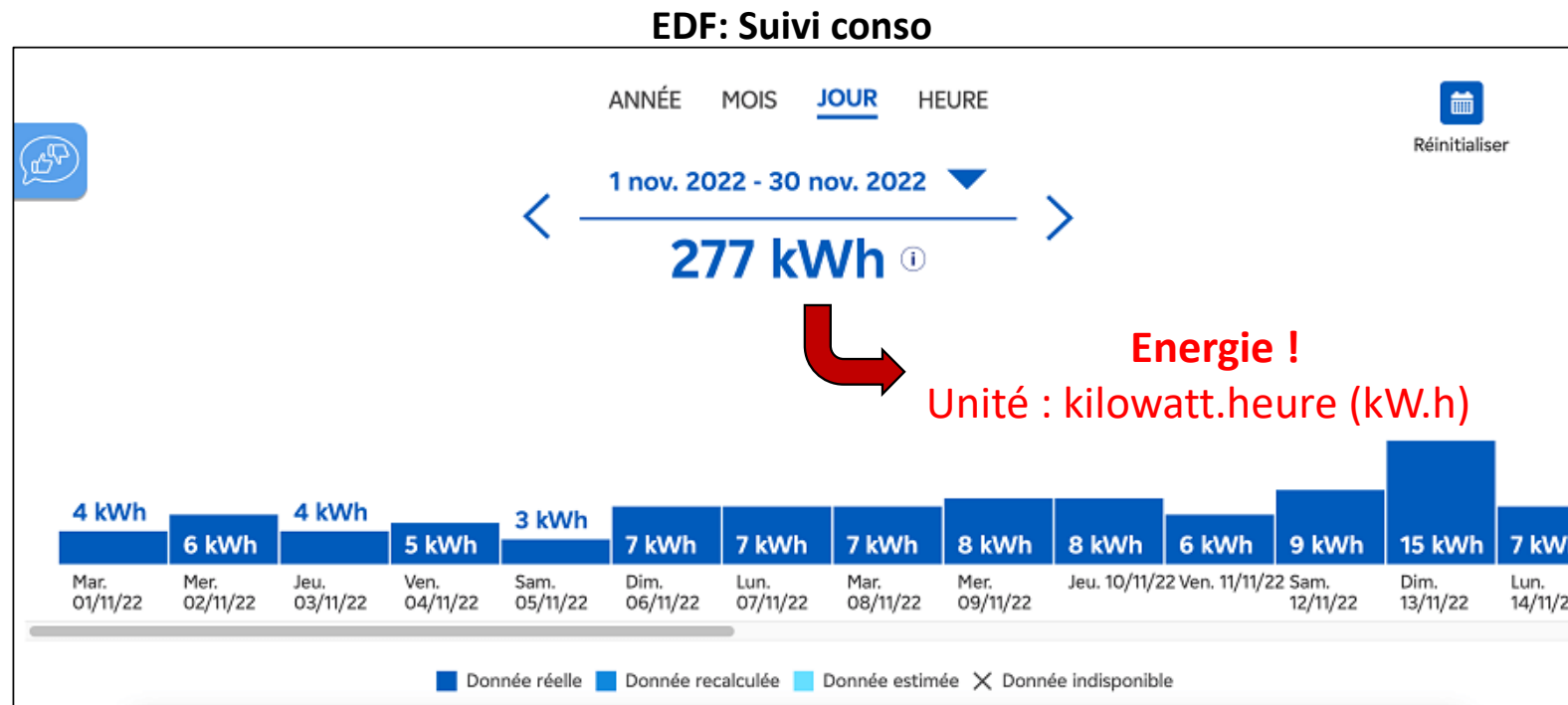
Puissance électrique → Unité : watt (W)

### EDF: Suivi conso





Puissance électrique  Unité : watt (W)



 **Energie !**  
Unité : kilowatt.heure (kW.h)

$$\mathcal{E}_{\text{elec}} = \mathcal{P}_{\text{elec}} \cdot \Delta t$$

$$1 \text{ kW.h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

## 2. Circuit électrique dans l'ARQS

# Circuit électrique ...

## Définitions :

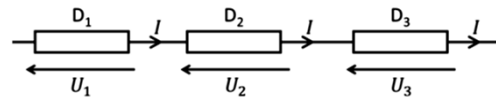
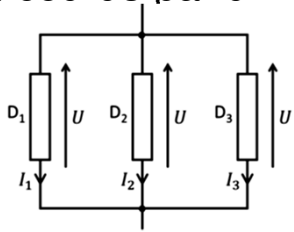
**Dipôle** : Composant électrique connecté au reste du circuit par deux bornes.

**Nœud** : Un nœud est un point commun à plus de deux dipôles.

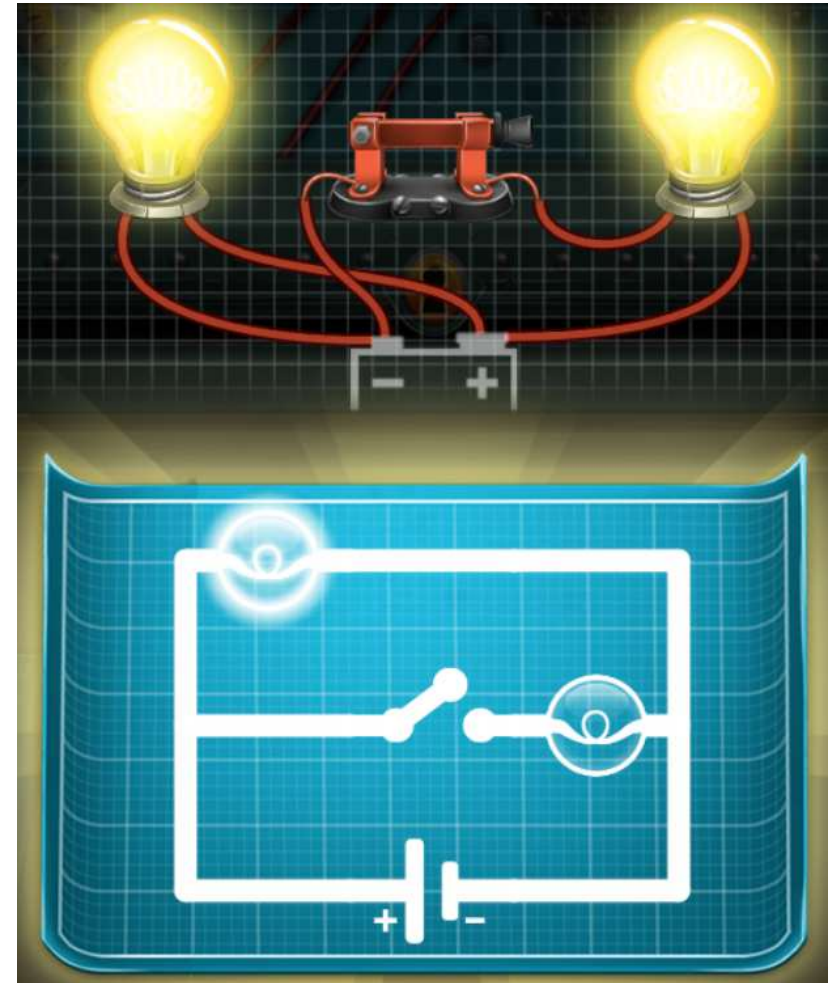
**Branche** : Une branche est une portion de circuit électrique située entre deux nœuds consécutifs

**Maille** : Une maille est un chemin fermé, dans un circuit électrique, le long duquel toutes les tensions sont annotées.

**En série** : Plusieurs dipôles sont dits « en série » lorsqu'ils sont parcourus par un même courant.



**En parallèle** : Plusieurs dipôles sont dits « en parallèle » lorsqu'ils présentent la même tension à leurs bornes.



... dans l'ARQS

**Définition : Régime stationnaire**

On dit qu'un système physique est en ***régime stationnaire*** si les différentes grandeurs décrivant le système (tensions et courants dans le cas d'un circuit électrique) sont ***indépendantes du temps.***

... dans l'ARQS

**Définition : Régime stationnaire**

On dit qu'un système physique est en ***régime stationnaire*** si les différentes grandeurs décrivant le système (tensions et courants dans le cas d'un circuit électrique) sont ***indépendantes du temps***.



OK pour une pile.... Mais pour le secteur?

... dans l'ARQS



### **Théorème : ARQS : Approximation des régimes quasi-stationnaires**

Lorsque le temps caractéristique  $T$  d'évolution de l'intensité (par exemple la période du signal) et la dimension caractéristique  $d$  du circuit respectent la condition  $d \ll c.T$ , le temps de propagation des variations de courant est négligeable.

Le circuit fonctionne alors dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires, on considérera qu'à tout instant :

- l'intensité du courant  $i$  est la même en tout point d'un fil ;
- le potentiel électrique  $V$  est le même en tout point d'un fil.

***Savoir-faire 1 : Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence.***

1. Quelle est la fréquence du signal délivré par EDF ? Une ligne électrique de 300 km peut-elle être étudiée dans le cadre de l'ARQS ?
2. Même question pour une puce électronique de côté  $a = 1$  cm sachant que les signaux n'y dépassent pas une fréquence  $f_{max} \approx 10$  MHz.

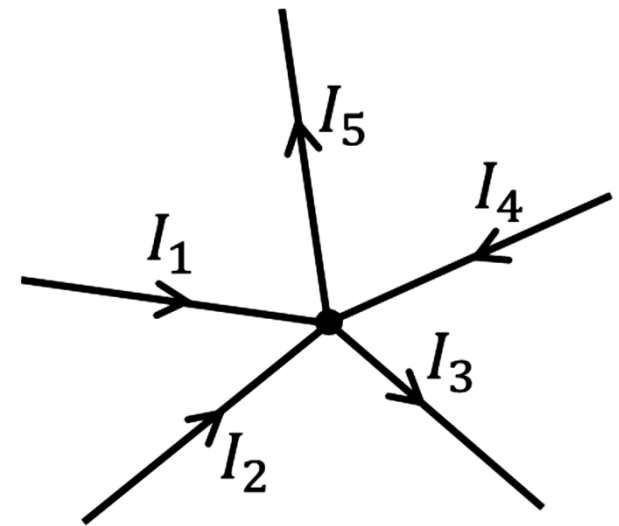
## Lois de Kirchoff (1845)



### **Théorème : Loi des nœuds**

La somme des courants arrivant à un nœud est égale à la somme des courants qui en partent.

Dans l'ARQS, il n'y a ni accumulation ni disparition de charge : il y a **conservation de la charge**. La **loi des nœuds** traduit la loi de conservation de la charge.



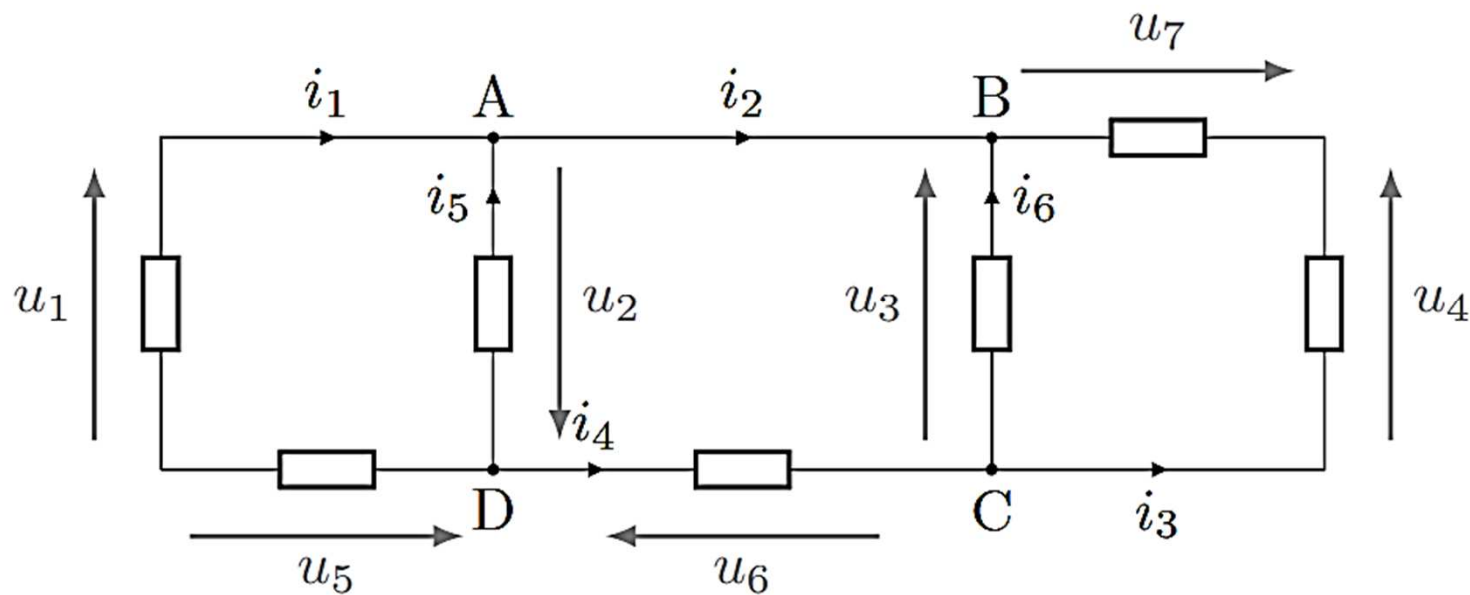


## ***Savoir-faire 2 : Utiliser la loi des nœuds***

Dans le circuit suivant, on donne :

$$i_1 = 1 \text{ A} ; i_2 = -1 \text{ A} ; i_3 = 1 \text{ A}.$$

1. Déterminer les valeurs des intensités  $i_4$ ,  $i_5$  et  $i_6$ .



# Lois de Kirchhoff (1845)

On choisit arbitrairement un sens de parcours (sens horaire ou anti-horaire).

La somme des tensions aux bornes des dipôles d'une maille est nulle :

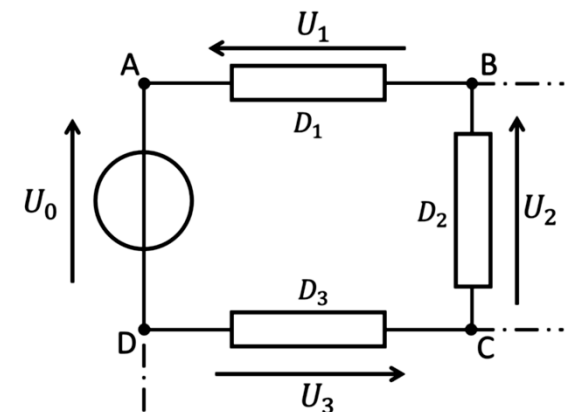
$$\sum_{\text{le long de la maille}} \epsilon_k \cdot U_k = 0$$

avec :

$\epsilon_k = +1$  si la tension est fléchée dans le sens défini positif pour la maille,

$\epsilon_k = -1$  si la tension est fléchée en sens opposé.

La loi des mailles peut être vue comme une relation de Chasles.

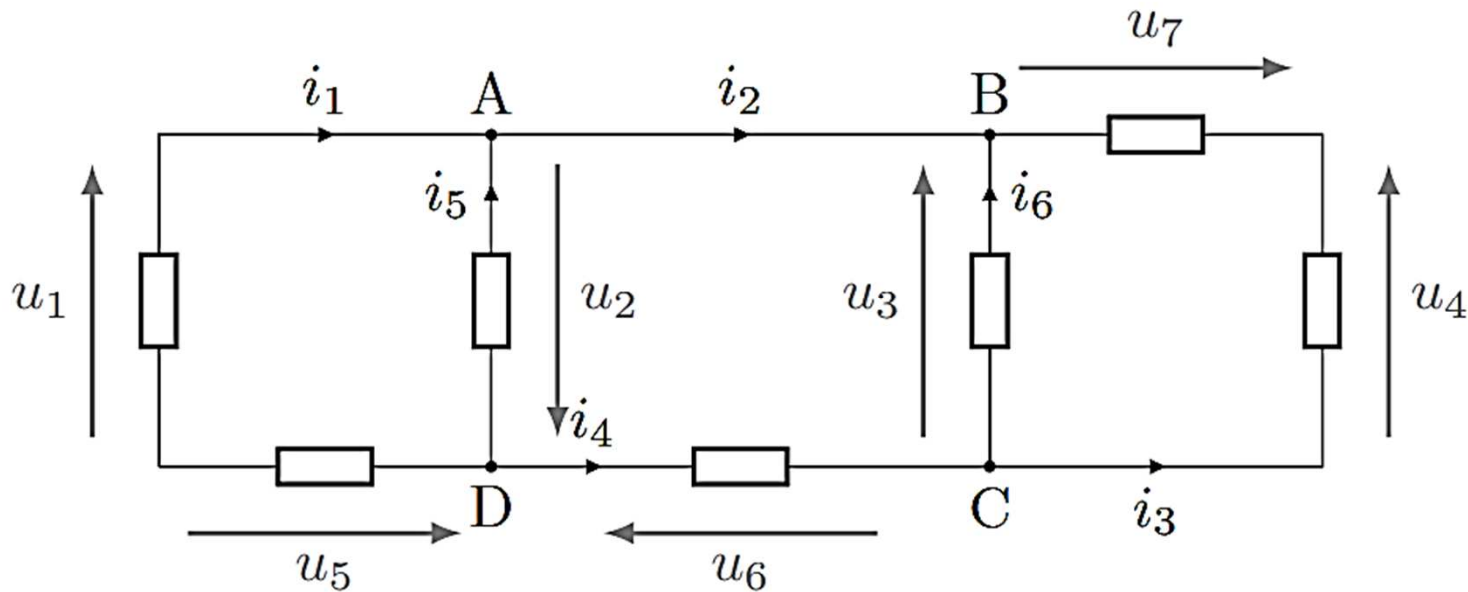


## ***Savoir-faire 3 : Utiliser la loi des mailles***

Dans le circuit de la question précédente, on donne :

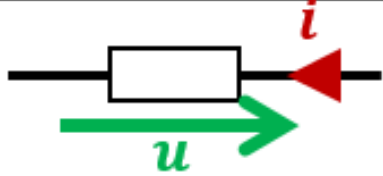
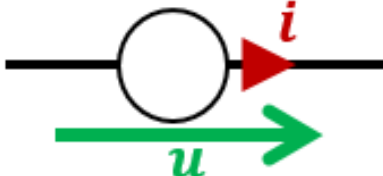
$$u_1 = 6 \text{ V} ; u_2 = -3 \text{ V} ; u_4 = 1 \text{ V} ; u_6 = 1 \text{ V}.$$

1. Déterminer les valeurs des tensions  $u_3$ ,  $u_5$  et  $u_7$ .



# 3. Dipôles

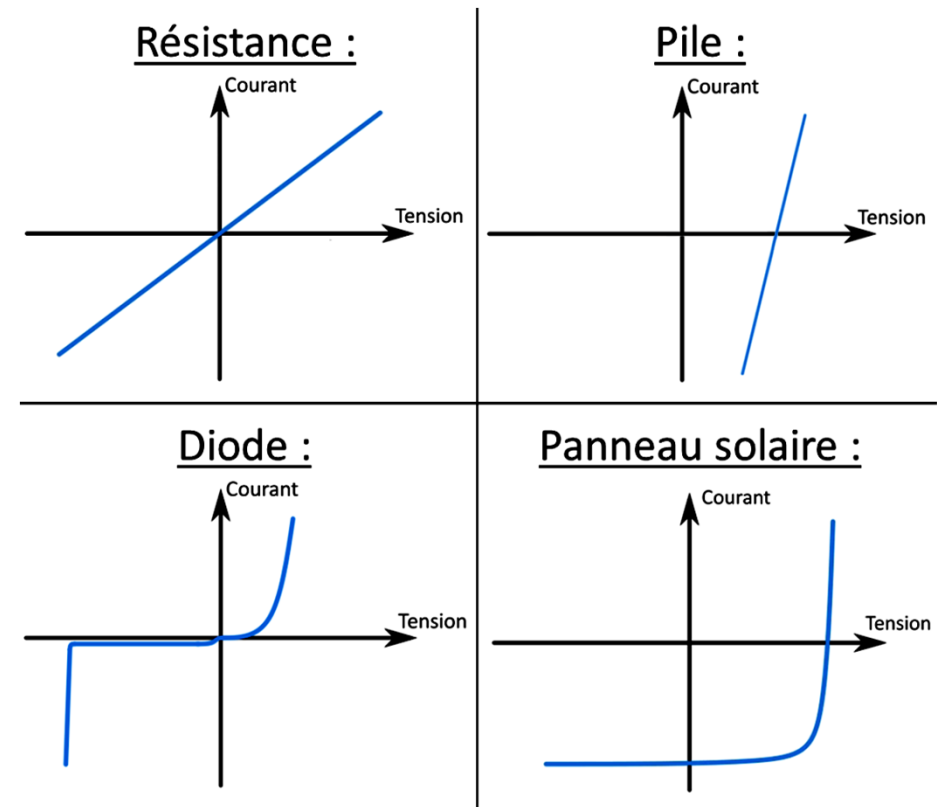
# Choix de convention

Convention récepteur	Convention générateur
 <p data-bbox="98 963 1097 1174">Avec cette convention, la tension <math>u</math> et le courant <math>i</math> sont supposés de sens opposés : si ces deux grandeurs sont positives alors <b>la puissance électrique est reçue</b> par le composant.</p>	 <p data-bbox="1133 963 2132 1174">Avec cette convention, la tension <math>u</math> et le courant <math>i</math> sont supposés de même sens : si ces deux grandeurs sont positives alors <b>la puissance électrique est fournie</b> par le composant.</p>

# Caractéristique statique d'un dipôle

## **Définition : Caractéristique statique d'un dipôle**

La caractéristique statique tension-courant d'un dipôle s'obtient en relevant l'**ensemble des points** ( $U ; I$ ) de fonctionnement statique. Pour la tracer, on fait varier « très lentement » la valeur de la tension aux bornes du dipôle et on relève les valeurs du courant le traversant.



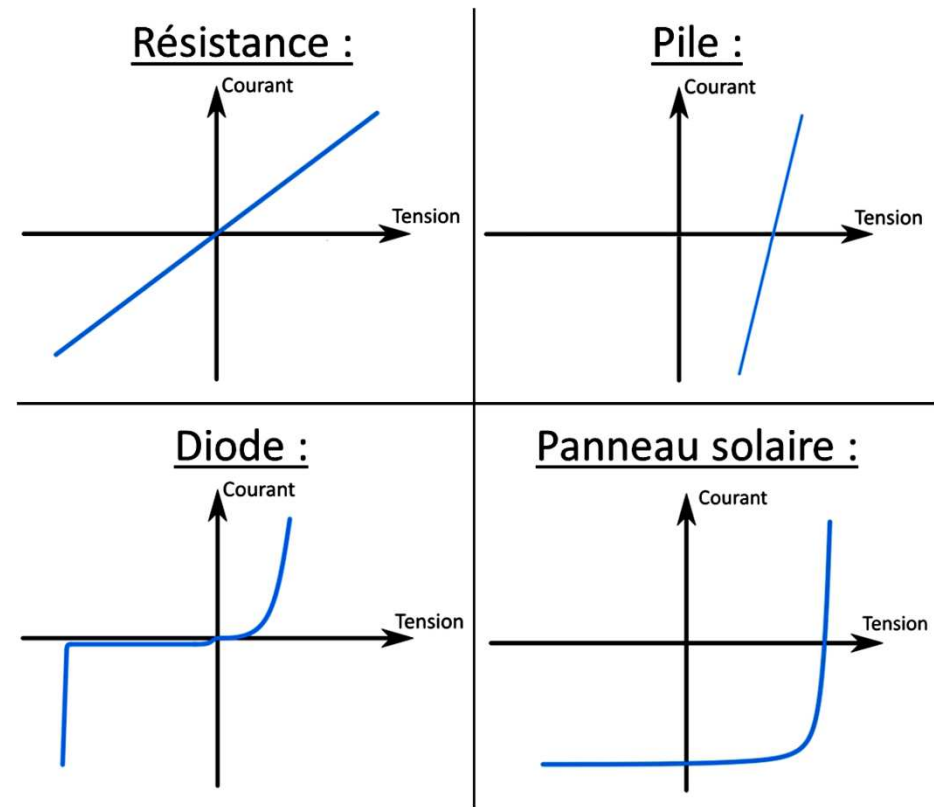
# Classification des dipôles

## Définitions : Classification des dipôles

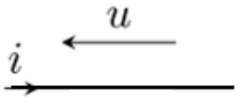
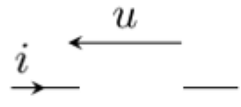
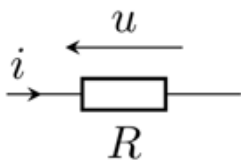
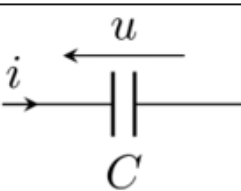
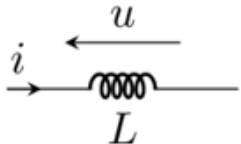
- Les **dipôles passifs** sont tels que leur caractéristique courant-tension passe par l'origine : la tension à leurs bornes est nulle lorsqu'aucun courant ne les traverse.

Dans le cas contraire ils sont dits « **actifs** ».

- Les caractéristiques courant-tension des **dipôles linéaires** sont des droites. Les autres dipôles sont dits « **non-linéaires** ».



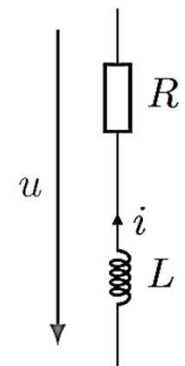
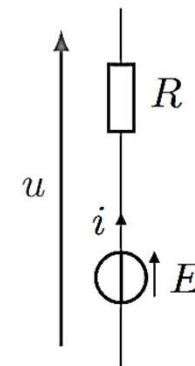
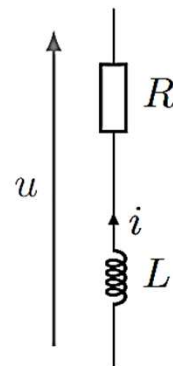
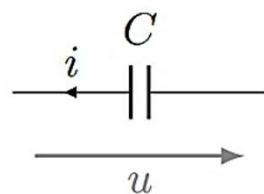
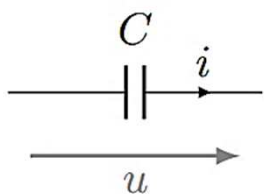
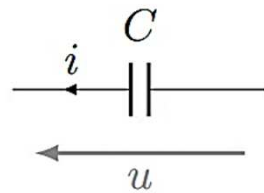
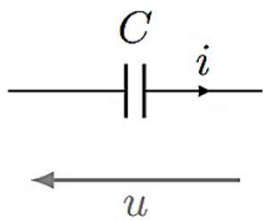
# Récepteurs usuels

Dipôle	Schéma	Loi de comportement	Grandeur associée (et unité)	Ordre de grandeur en TP
Fil		$u = 0$	Résistance nulle $R = 0 \Omega$	
Circuit ouvert		$i = 0$	Résistance infinie $R = \infty \Omega$	
Conducteur ohmique		<b>Loi d'Ohm</b> $u = R \cdot i$	Résistance $R$ en ohm ( $\Omega$ )	1 $\Omega$ à plusieurs $M\Omega$
Condensateur		$i = C \cdot \frac{du}{dt}$ Soit $Q$ la charge électrique stockée sur l'armature : $Q = C \cdot u$	Capacité $C$ en farad ( $F$ )	100 nF à 100 mF
Bobine		$u = L \cdot \frac{di}{dt}$	(auto-)inductance $L$ en henry ( $H$ )	1 mH à 1 H



## Savoir-faire 4 : Utiliser les conventions récepteur et générateur

Pour chacun des dipôles ci-dessous, préciser si le courant  $i$  le traversant et la tension  $u$  à ses bornes sont orientés en convention générateur et récepteur, puis donner sa loi de comportement entre  $u$  et  $i$ , impliquant éventuellement leurs dérivées.



# Générateurs usuels

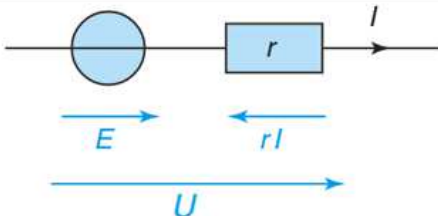
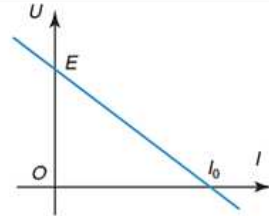
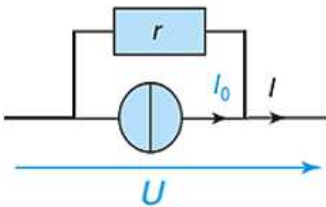
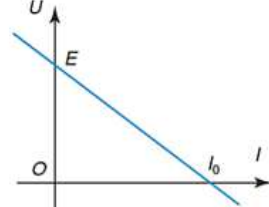
Type de générateur	Schéma	Caractéristique
Source idéale de tension		
Source idéale de courant		
Source réelle ( <i>modèle de Thévenin</i> )		
Source réelle ( <i>modèle de Norton</i> )		

# Générateurs usuels

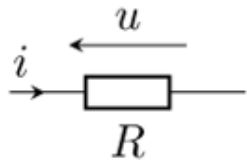
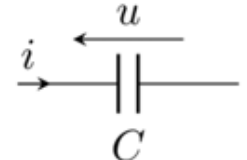
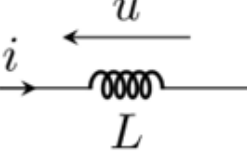
## Modèle : Modèle de Thévenin

Tout réseau électrique linéaire (constitué de générateurs parfaits et de résistances) compris entre 2 points peut être remplacé par une **source idéale de tension** associée à une **résistance câblée en série**. Ce montage est appelé « **Modèle de Thévenin** ».

- La force électromotrice de la source idéale est égale à la différence de potentiels à vide (pas de charge) entre les deux points considérés,
- La résistance de Thévenin est égale à celle que l'on mesure entre les deux points lorsque les générateurs indépendants compris dans le circuit sont rendus passifs (source de tension → fil et source de courant → circuit ouvert).

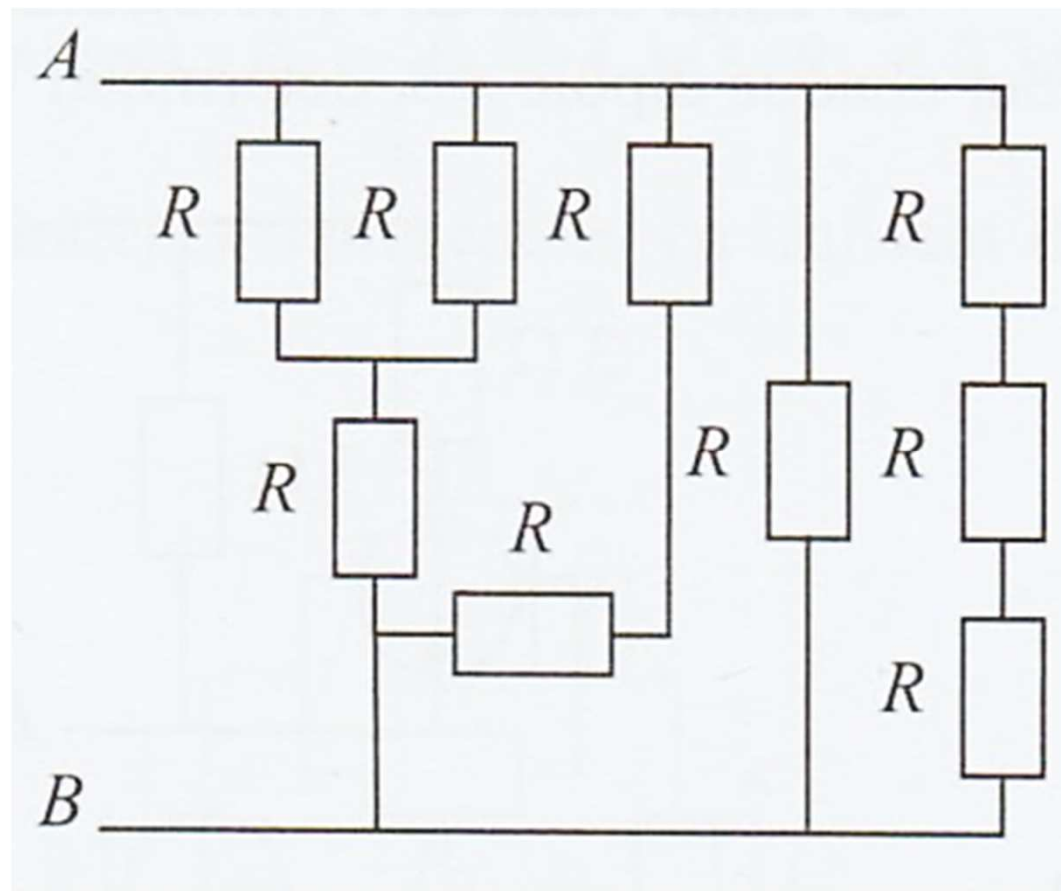
<b>Source réelle</b> ( <b>modèle de Thévenin</b> )		
<b>Source réelle</b> ( <b>modèle de Norton</b> )		

# Aspect énergétique

Dipôle	Schéma	Puissance consommée	Energie stockée
Conducteur ohmique		<u>Effet Joule</u> $\mathcal{P}_J = R \cdot i^2$	<u>Effet Joule</u> Dissipée sous forme de chaleur
Condensateur parfait		$\mathcal{P} = u \cdot i$	$\mathcal{E}_{\text{stockée}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$
Bobine parfaite		$\mathcal{P} = u \cdot i$	$\mathcal{E}_{\text{stockée}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$

## 4. Outils pour l'étude des circuits

# Réduction de complexité



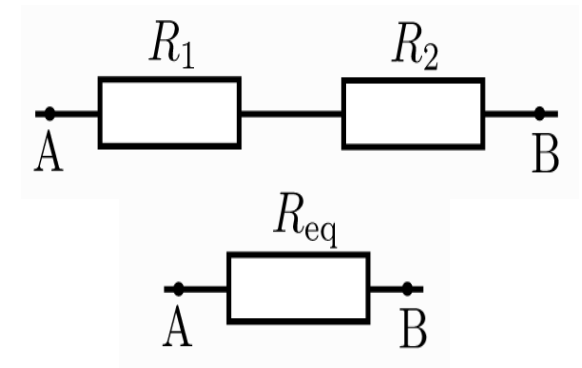
# Association de conducteurs ohmiques en série

## Propriété : Association en série de résistances

Deux conducteurs ohmiques de résistances  $R_1$  et  $R_2$  placés **en série** sont équivalents à un conducteur ohmique de résistance  $R_{eq}$  valant :

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Pour  $n$  résistances en série :  $R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$

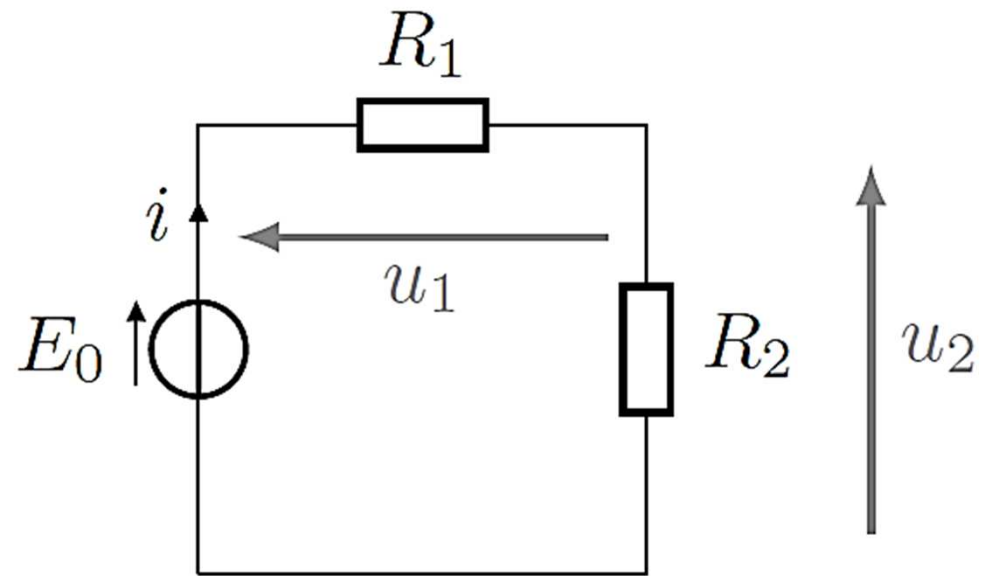


# Association de conducteurs ohmiques en série

## ***Savoir-faire 5 : Etablir la formule du diviseur de tension***

On considère le circuit ci-contre :

1. Etablir l'expression de la résistance équivalente à  $R_1$  et  $R_2$ .



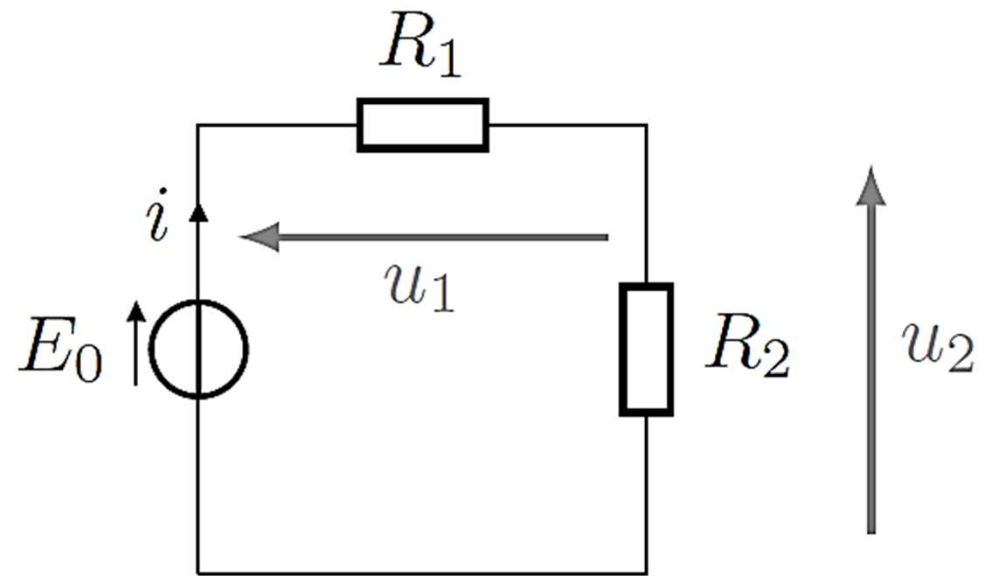


# Association de conducteurs ohmiques en série

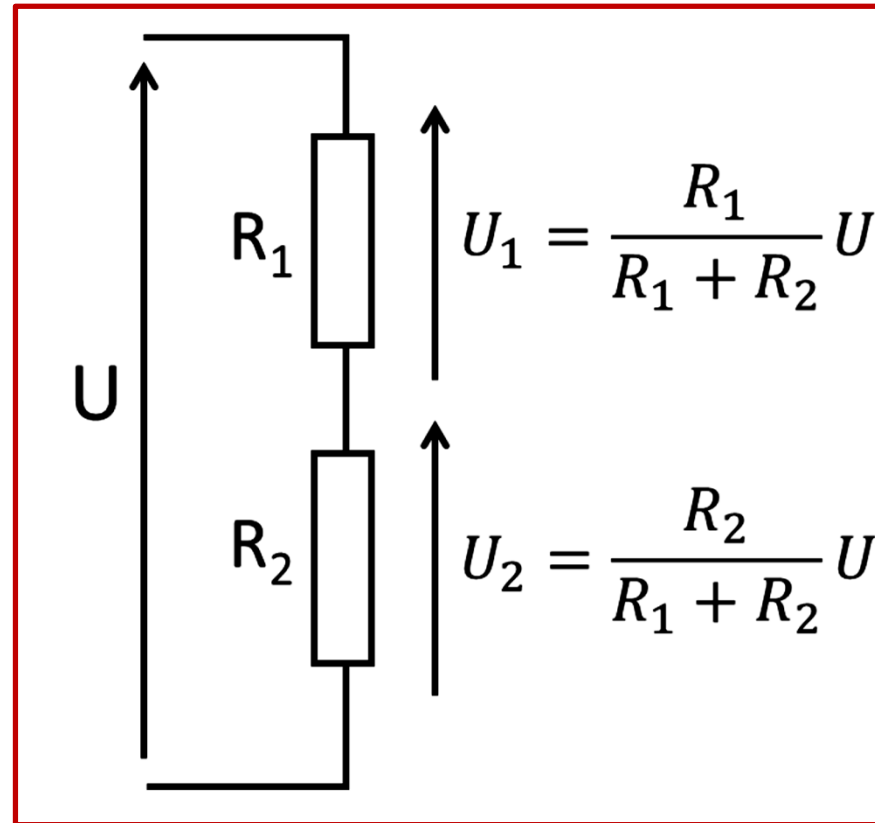
## ***Savoir-faire 5 : Etablir la formule du diviseur de tension***

On considère le circuit ci-contre :

1. Etablir l'expression de la résistance équivalente à  $R_1$  et  $R_2$ .
2. Etablir l'expression de  $u_2$  en fonction de  $E_0$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .



# Pont diviseur de tension



# Association de conducteurs ohmiques en parallèle

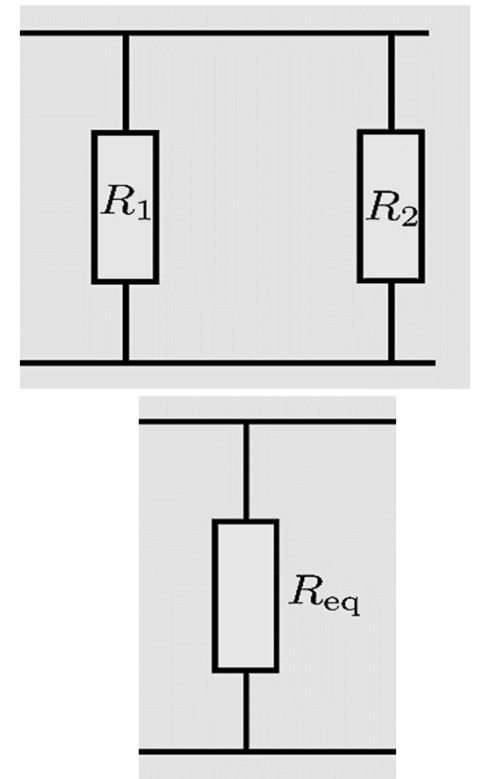
## Propriété : Association en parallèle de résistances

Deux conducteurs ohmiques de résistances  $R_1$  et  $R_2$  placés **en parallèle** (on dit également **en dérivation**) sont équivalents à un conducteur ohmique de résistance  $R_{eq}$  donnée par :

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Pour  $n$  résistances en série :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

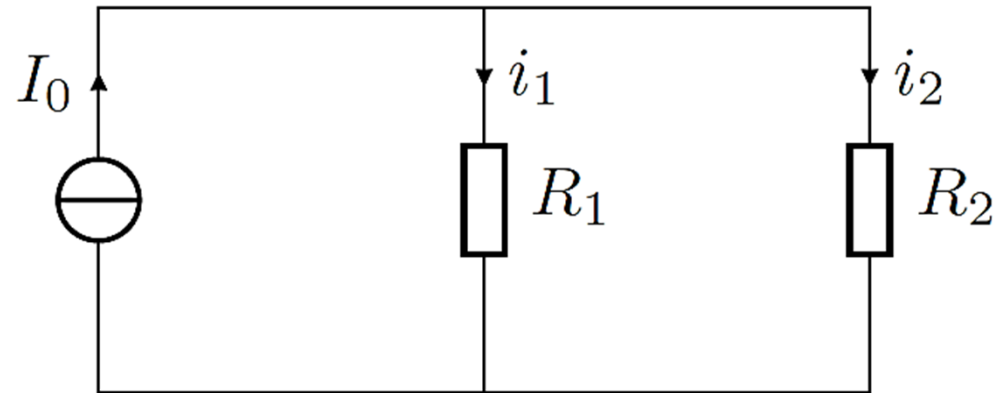


# Association de conducteurs ohmiques en parallèle

## ***Savoir-faire 6 : Etablir la formule du diviseur de courant***

On considère le circuit ci-contre :

1. Etablir l'expression de la résistance équivalente à  $R_1$  et  $R_2$ .

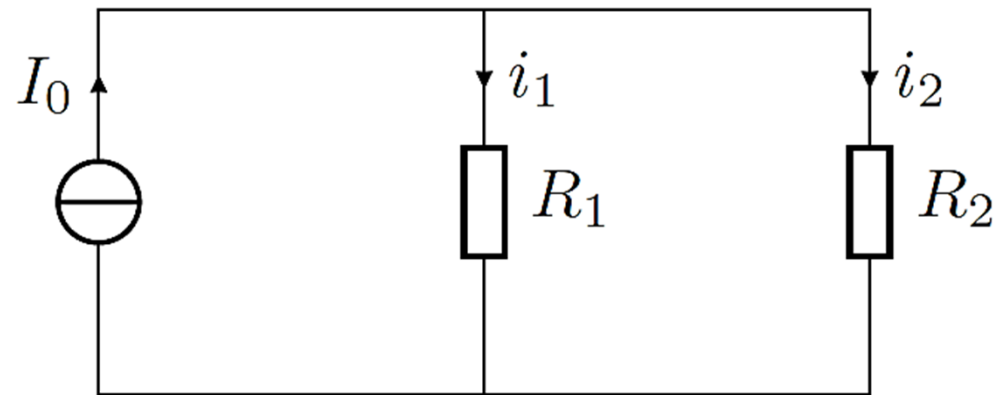


# Association de conducteurs ohmiques en parallèle

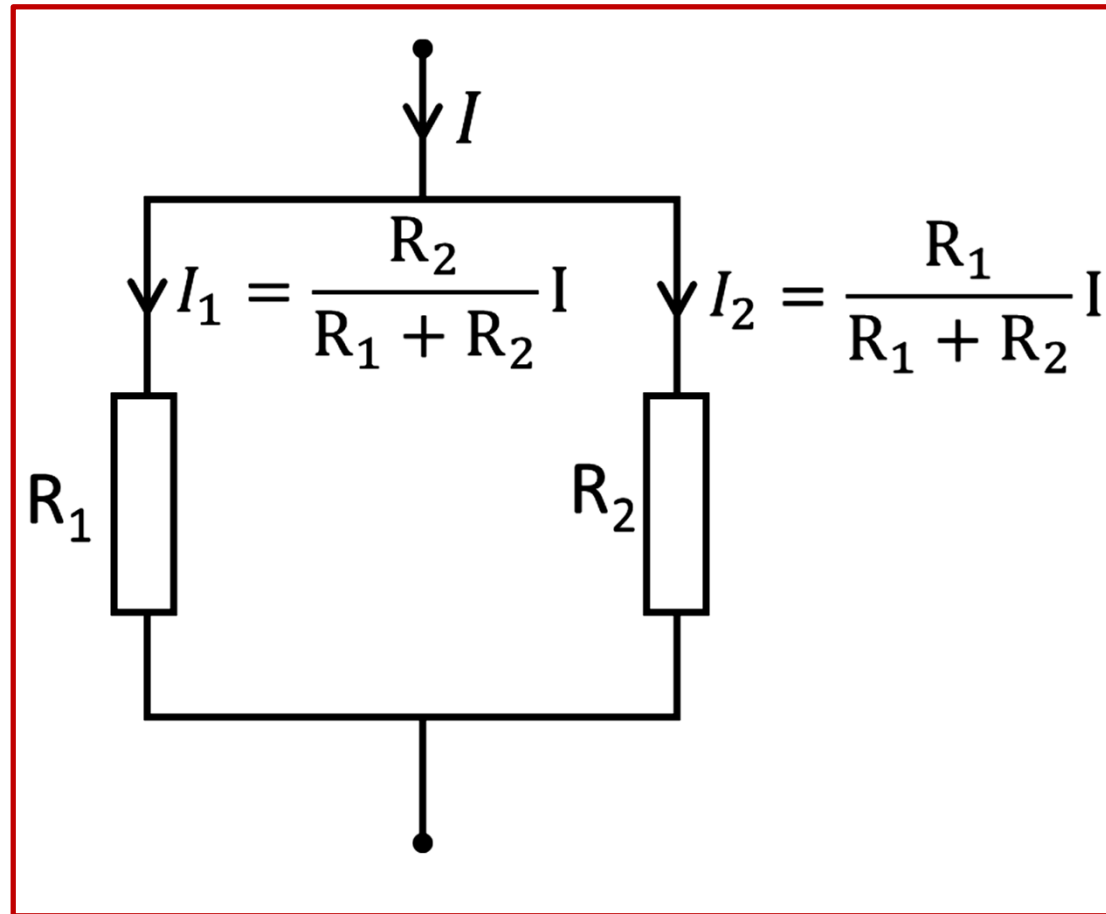
## ***Savoir-faire 6 : Etablir la formule du diviseur de courant***

On considère le circuit ci-contre :

1. Etablir l'expression de la résistance équivalente à  $R_1$  et  $R_2$ .
2. Etablir l'expression de  $i_2$  en fonction de  $I_0$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .



# Pont diviseur de courant

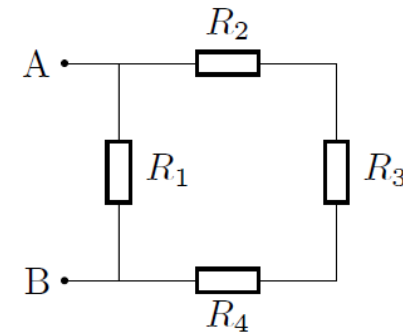
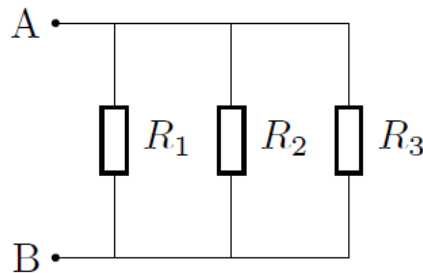
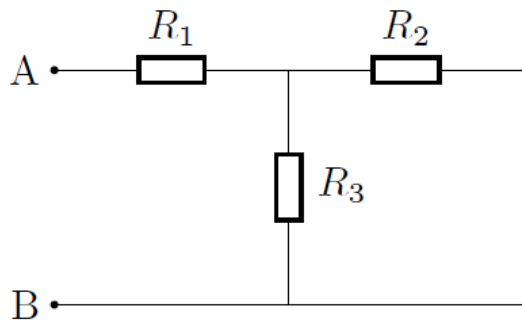


# Résistance équivalente d'un circuit

## Méthode : Déterminer la résistance équivalente d'un circuit

1. Déterminer la résistance équivalente **de chaque branche** du circuit à l'aide de la règle concernant l'association **en série** de résistances.
2. Regrouper alors les branches en parallèles grâce à la règle concernant l'association **en parallèle** de résistances.
3. Si le circuit ne se réduit pas à une seule résistance équivalente, recommencer à l'étape 1 en utilisant le circuit simplifié.

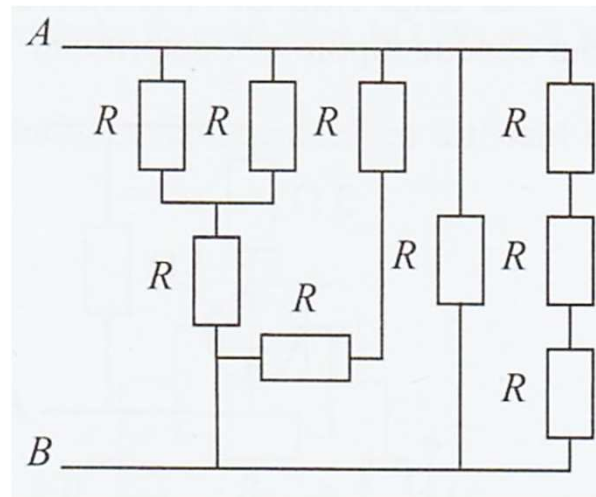
## Savoir-faire 7 : Déterminer la résistance équivalente d'une association de résistances



# Résistance équivalente d'un circuit

## Méthode : Déterminer la résistance équivalente d'un circuit

1. Déterminer la résistance équivalente **de chaque branche** du circuit à l'aide de la règle concernant l'association **en série** de résistances.
2. Regrouper alors les branches en parallèles grâce à la règle concernant l'association **en parallèle** de résistances.
3. Si le circuit ne se réduit pas à une seule résistance équivalente, recommencer à l'étape 1 en utilisant le circuit simplifié.



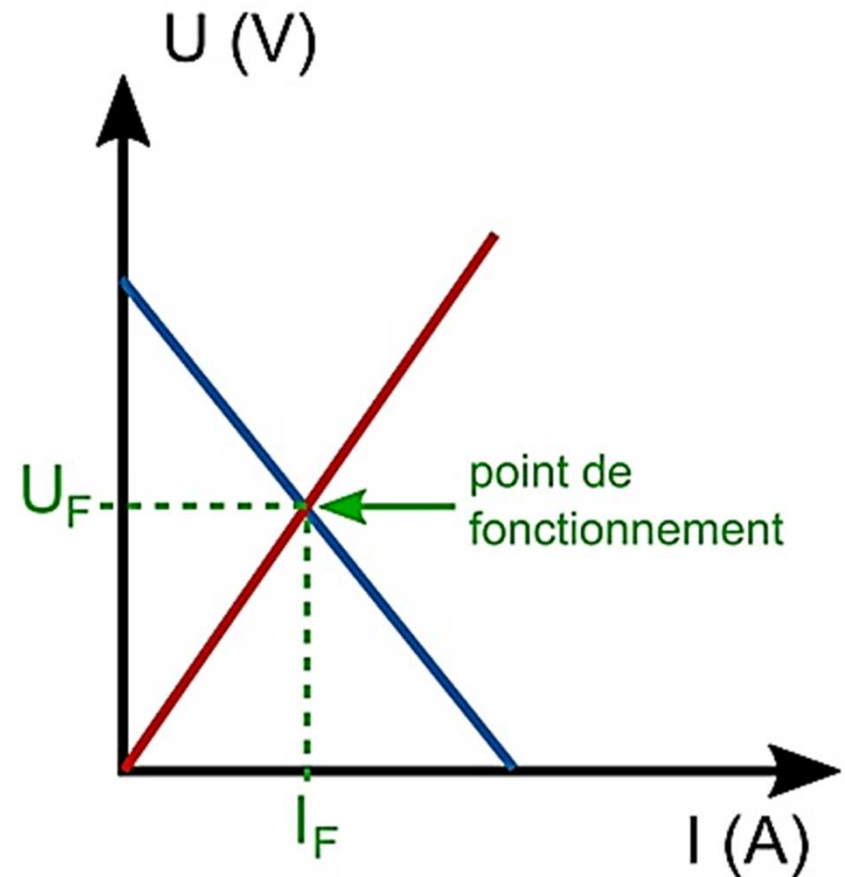


# Point de fonctionnement d'un circuit

## **Définition :** Point de fonctionnement

Le **point de fonctionnement** d'un circuit contenant un générateur et un récepteur correspond à la tension  $U_F$  et à l'intensité  $I_F$  aux bornes de chacun des deux dipôles.

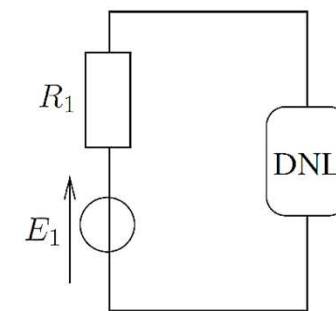
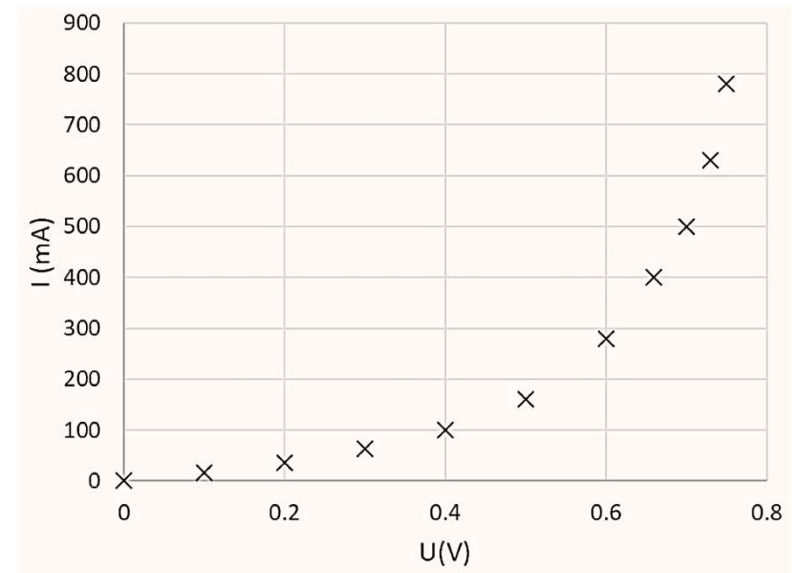
Il s'agit des coordonnées du point d'intersection des caractéristiques statiques de ces dipôles.



## Savoir-faire 8 : Déterminer un point de fonctionnement

On considère le circuit ci-contre comportant entre autres un dipôle non linéaire (DNL). On dispose de la caractéristique de ce dipôle,  $U$  représentant la tension à ses bornes et  $I$  l'intensité le traversant en conventions récepteur.

1. Déterminer l'intensité traversant ce dipôle, sachant que  $E_1 = 0,8 \text{ V}$  et  $R_1 = 2 \Omega$ .



# Pour finir : retour sur Thévenin (HP?)

## **Savoir-faire 9 : Déterminer un modèle de Thévenin équivalent**

Donner le modèle de Thévenin des 2 dipôles suivants (entre A et B) :

### **Modèle : Modèle de Thévenin**

Tout réseau électrique linéaire (constitué de générateurs parfaits et de résistances) compris entre 2 points peut être remplacé par une **source idéale de tension** associée à une **résistance câblée en série**. Ce montage est appelé « **Modèle de Thévenin** ».

- La force électromotrice de la source idéale est égale à la différence de potentiels à vide (pas de charge) entre les deux points considérés,
- La résistance de Thévenin est égale à celle que l'on mesure entre les deux points lorsque les générateurs indépendants compris dans le circuit sont rendus passifs (source de tension → fil et source de courant → circuit ouvert).

