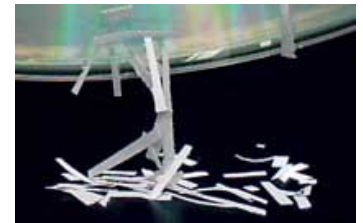


## 2. Notions et lois de base de l'électricité

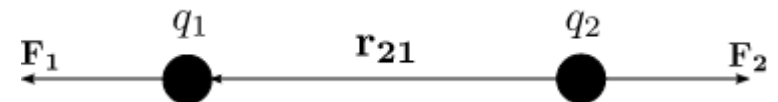
Charge, courant, tension, résistance, puissance  
Les lois de Coulomb, de Kirchhoff, d'Ohm et de Joule

# Charge électrique

- La **charge électrique** est une **propriété de la matière**
  - ♦ Chaque électron possède une charge négative de  $1,602 \cdot 10^{-19}$  C
    - ▶ appelée **charge élémentaire** notée  $e$  (aussi  $q, q_e$ )
    - ▶ toute autre charge étant une multiple de  $e$  (y compris  $\frac{1}{3}e$  et  $\frac{2}{3}e$ )
  - ♦ **symbole** :  $q$
  - ♦ **unité** : coulomb (C)
- Découverte : Grèce ancienne
  - ♦ Après que l'ambre est frotté avec la fourrure, elle attire des objets et même une étincelle peut être produite
  - ♦ ambre = ηλεκτρον (ēlektron)  $\Rightarrow$  électron  $\Rightarrow$  électricité
- **Une force physique est liée à la charge électrique**
  - ♦ Deux électrons (et chaque pair de charges du même signe) vont se repousser
  - ♦ Deux charges de signes opposés vont s'attirer
- **Loi de Coulomb**



$$|\vec{F}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$



Source : Wikimedia Commons (Hannes Grobe, PediaDeep)

# Champ électrique

- Une charge produit un **champ électrique**

- ♦ Toute autre charge présente dans son entourage subit une force

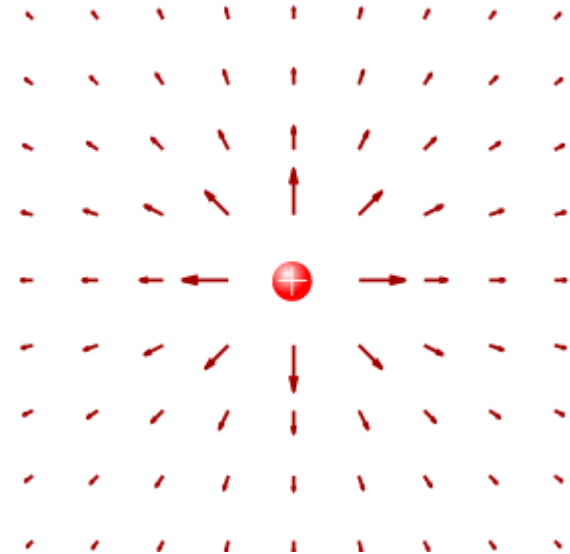
- **Force de Lorentz**

$$\vec{F} = q_2 \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r^2} \vec{e}_r \right) = q_2 \vec{E}$$

- ♦ Sens (par convention) : tel que posséderait la force subie par une charge positive

- Champ électrique comme quantité physique

- ♦ aussi appelée « intensité du champ électrique »
- ♦ **symbole** :  $E$
- ♦ **unité** : V/m

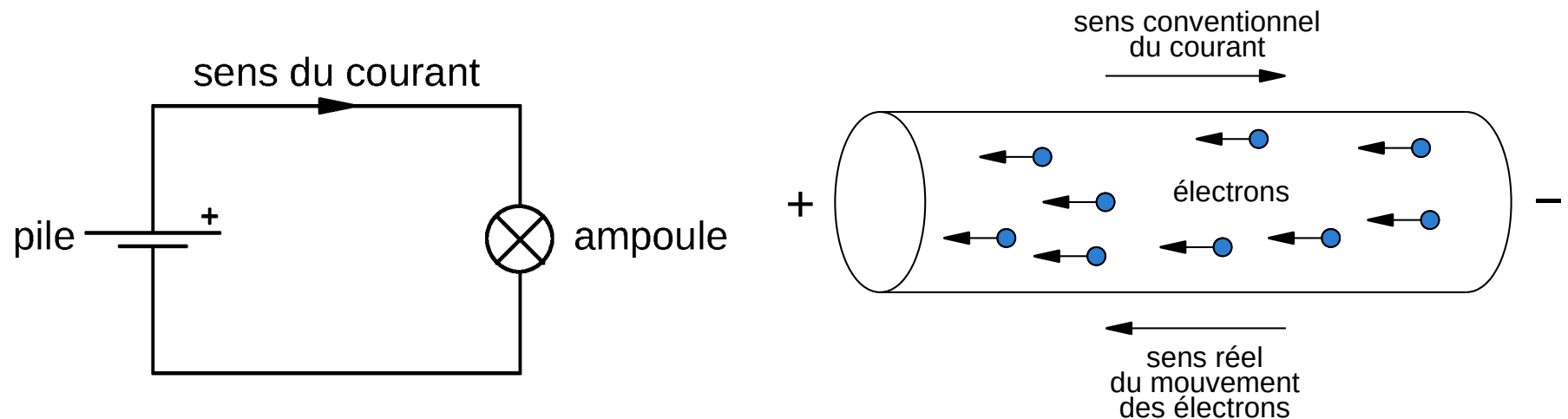


Source : Wikimedia Commons (Mfrosz)



# Courant électrique comme phénomène

- Si on place une charge dans un champ électrique (suscitée de n'importe quelle manière), la force de Lorentz la fera mouvoir
- Le **courant électrique** est le **mouvement ordonné de l'ensemble de porteurs de charge** électrique
  - ♦ Un **porteur de charge** est une **particule possédant une charge électrique et capable de se déplacer** : électron, ion (électrolyte), trou (semiconducteur)...
- **Sens** : tel que posséderait la **vitesse** de porteurs de **charge positive**
  - ♦ C'est donc l'inverse du sens du mouvement des électrons (charge négative)
  - ♦ Ce n'est qu'une convention, pourtant universellement acceptée

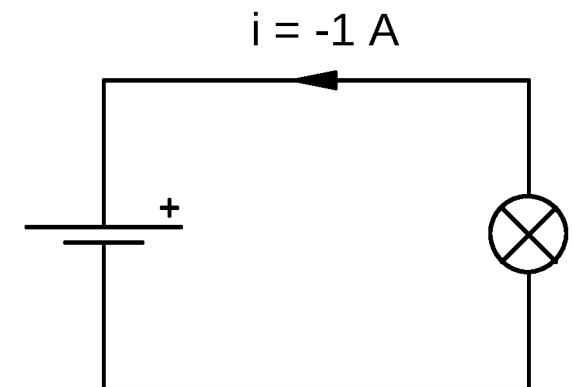
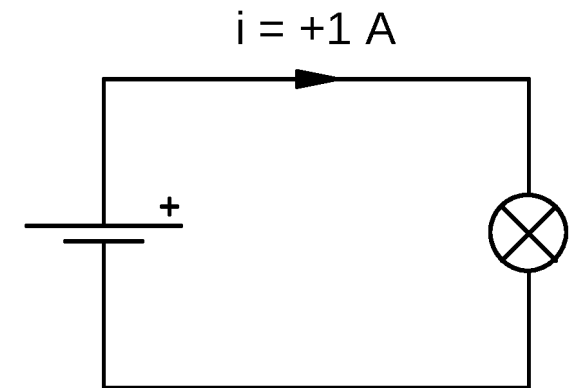


# Courant électrique comme quantité

- **Courant électrique** (ou : intensité du courant) est la **quantité de charge transportée par unité de temps**

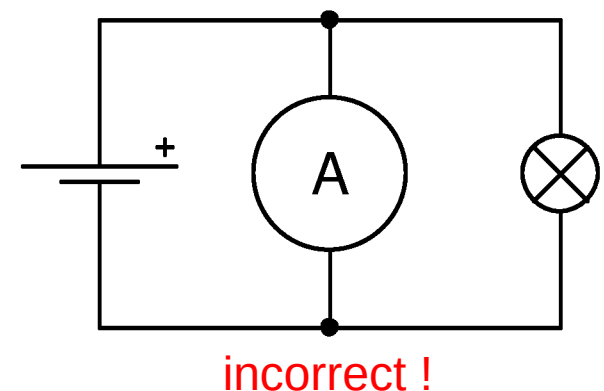
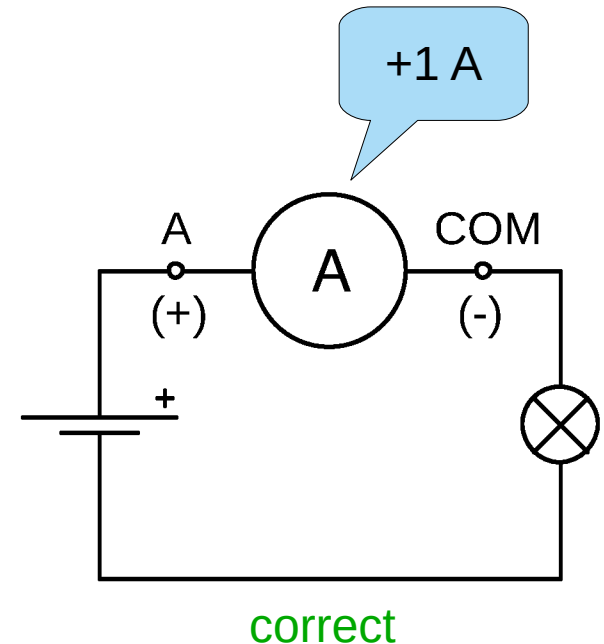
$$i = \frac{dq}{dt}$$

- ♦ **Symbole** :  $i$
- ♦ **Unité** : ampère [A]
- Symbole sur les schémas : **flèche sur un conducteur**
  - ♦ Si le sens de la flèche est cohérent avec le sens conventionnel du courant réel, alors la valeur du courant symbolisé est positive
- Valeurs type
  - ♦ 1 mA seuil de perception par l'humain
  - ♦ 30 mA peut être mortel
  - ♦ 0,5 A ordinateur portable alimenté à 230 V
  - ♦ 500 A un moteur TGV



# Mesure du courant

- Un **ampèremètre** mesure **le courant qui le traverse**
- Branché **en série**
- Le signe est positif quand les bornes de l'ampèremètre correspondent au sens réel (conventionnel) du courant
  - ♦ La borne négative est normalement désignée « COM », « 0 » ou « - »
- Résistance très basse afin de ne pas influencer le résultat de la mesure
- Se comporte comme un **court-circuit**
- Attention à ne pas brancher **en dérivation (en parallèle) !**



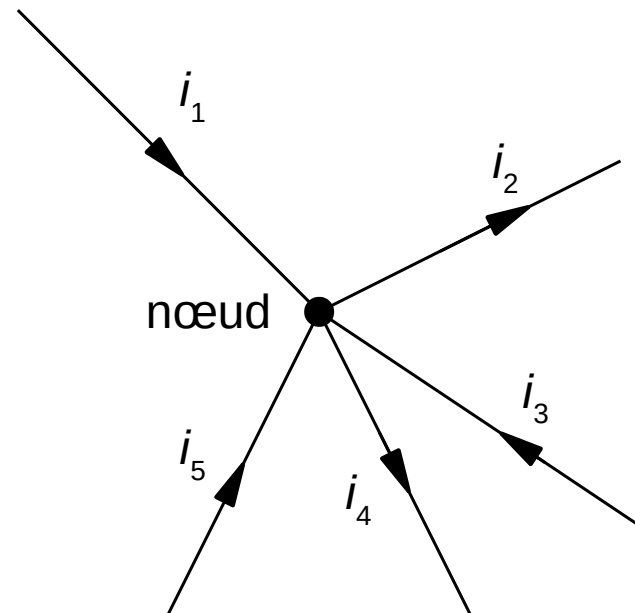
# Loi des nœuds (1<sup>ère</sup> loi de Kirchhoff)

- Dans un circuit électrique, un **nœud** est un point de jonction de plusieurs conducteurs
  - ♦ Définition stricte : point de connexion d'au moins deux bornes de deux composants différents
  - ♦ Sur les schémas, symbolisé avec un cercle rempli
- La somme des courants entrant dans un nœud est égale à la somme des courants sortant de ce nœud

$$i_1 + i_3 + i_5 = i_2 + i_4$$

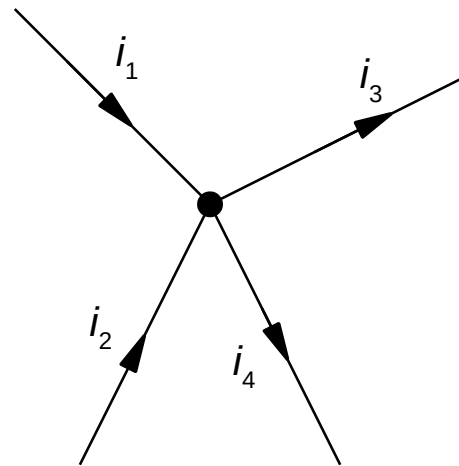
ou

$$+i_1 - i_2 + i_3 - i_4 + i_5 = 0$$



# Exercices

- 2.1.1. Combien d'électrons passent par les bornes d'un fil dans une seconde si l'intensité du courant est de 1 A ?
- 2.1.2. Si  $i_1 = 0,5$  A,  $i_2 = 4$  A et  $i_4 = 6$  A, quel est  $i_3$  ? Est-ce qu'il alimente ce nœud ou il en est alimenté ?



- 2.1.3. Un générateur photovoltaïque produit un courant de 5 A. Il alimente un système d'éclairage et un accumulateur branchés en dérivation. Si l'éclairage consomme 3,5 A, quel est le courant de charge de l'accumulateur ?



# Tension et potentiel électrique

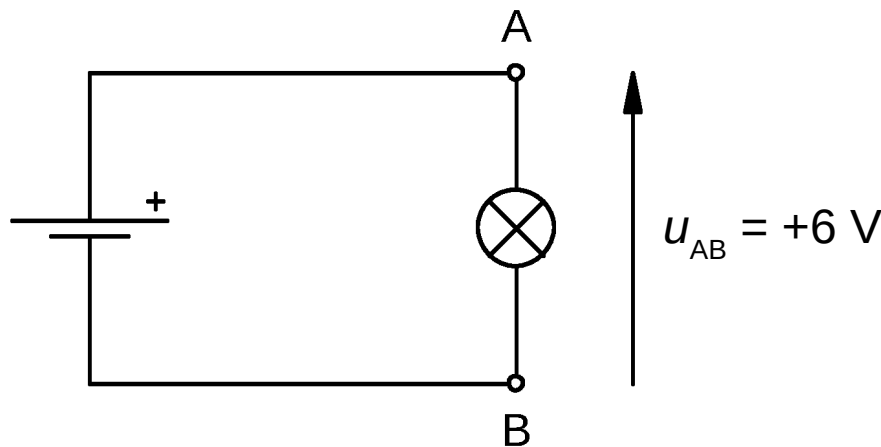
- La **tension électrique** est la **différence de potentiel électrique entre deux points** dans l'espace

$$u_{AB} = v_A - v_B$$

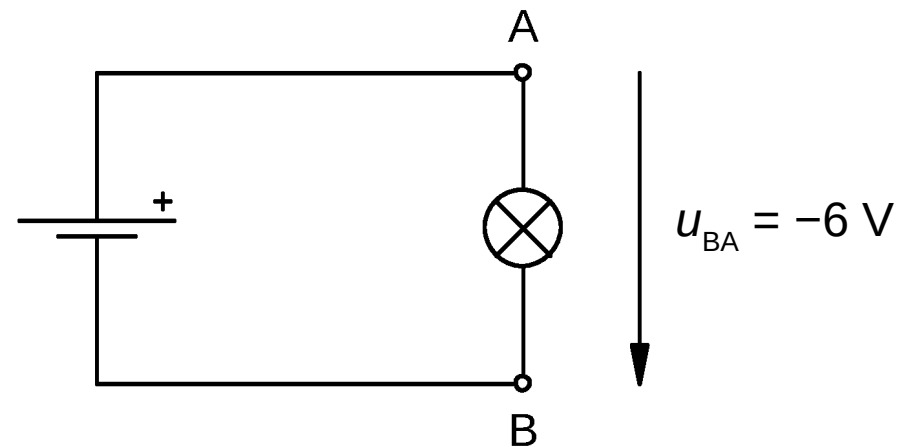
- ♦ **Symbole** :  $u$  (États-Unis :  $v$ )
- ♦ **Unité** : volt [V]
- Le **potentiel électrique** décrit les champs électriques : il exprime l'énergie potentielle que posséderait une charge électrique unitaire (de 1 C) placée à un point donné
  - ♦ **Symbole** :  $v$
  - ♦ **Unité** : volt [V]
- Le potentiel électrique est **relatif** : on peut attribuer la valeur de  $v = 0$  V à n'importe quel point (dans l'espace ou d'un circuit)
  - ♦ Ce point est appelé **masse** (un terme abstrait) – symboles :  $\perp$   $\perp$ 
    - ▶ Souvent : le point au potentiel le plus bas, le point commun de la source
    - ▶ Analogie : attribution de l'altitude de 0 m au niveau de la mer
  - ♦ C'est différent de **terre** : potentiel de la terre physique (le sol) – symbole :  $\perp$

# Signe et flèche d'une tension

- Symbole de la tension sur les schémas : **flèche à côté** d'un ou plusieurs composants (ne touchant pas les connexions)
- La pointe de la flèche symbolisant une tension  $u_{AB} = v_A - v_B$  montre **vers le point A** (par convention)
  - ♦ Si le potentiel du point A est supérieur à celui du point B, alors la valeur de la tension symbolisée par cette flèche est positive
  - ♦ Sinon, elle est négative



$$u_{AB} = v_A - v_B$$



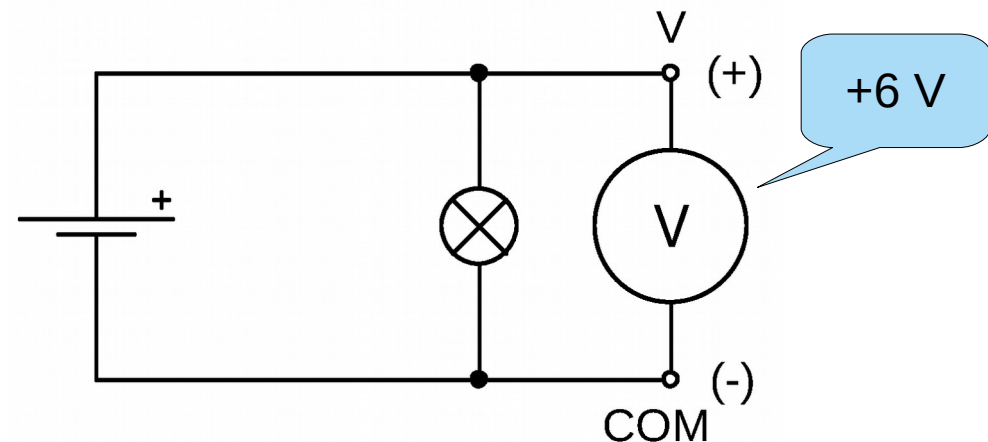
$$u_{BA} = v_B - v_A = -u_{AB}$$

# Mesure de la tension

- Un **voltmètre** mesure la **tension** (la différence de potentiel électrique) **présente entre ses bornes**
- Branché en dérivation
- Résistance très haute afin de ne pas influencer le résultat de la mesure
- Se comporte comme un **circuit ouvert**
- S'il est branché en série, ce n'est pas dangereux mais aucun courant ne pourra circuler

- Valeurs type

- ◆ 1,5 V pile alcaline
- ◆ 12 V accumulateur
- 24 V automobile
- ◆ 230 V réseau électrique bureau
- 400 V ou résidentiel
- ◆ 25 kV alimentation TGV
- ◆ 100 MV éclair



# Loi des branches (2<sup>e</sup> loi de Kirchhoff)

- Un chemin par lequel sont connectés deux nœuds voisins du circuit électrique est appelé **branche**
- La tension entre deux points d'un circuit électrique est égale à la somme des tensions intermédiaires

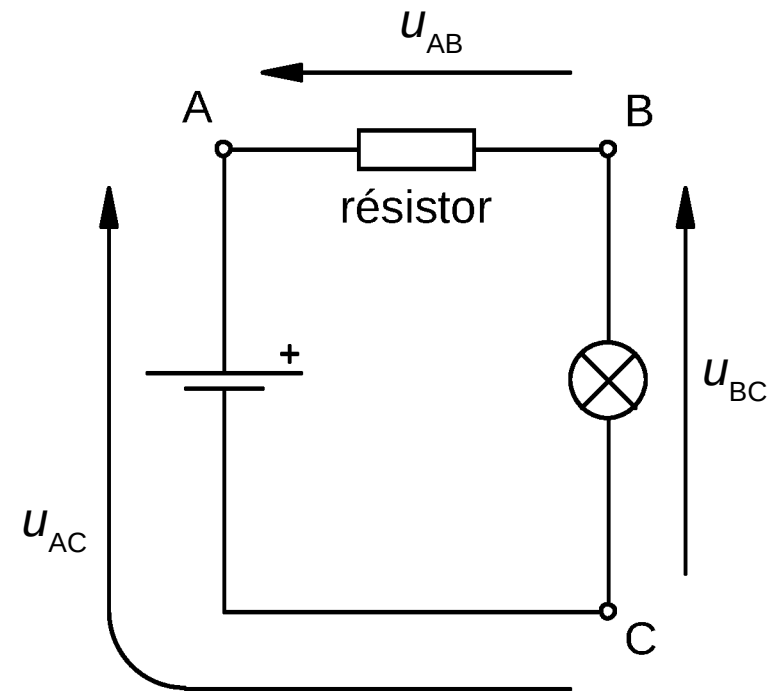
- ♦ Le choix d'un chemin particulier n'influence pas le résultat : cela résulte de la définition même de la tension

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

$$\begin{aligned} u_{AB} + u_{BC} &= (v_A - v_B) + (v_B - v_C) = \\ &= v_A - v_C = u_{AC} \end{aligned}$$

- On considère que les  **fils sont des conducteurs parfaits** , c'est-à-dire les tensions entre leurs extrémités sont de 0 V

- ♦ Justifié pour la plupart des problèmes en circuits électriques à moins que l'imperfection des conducteurs affecte le circuit d'une manière importante



# Loi des mailles (variante de la 2<sup>e</sup> loi de Kirchhoff)

- Un chemin fermé composé d'un certain nombre des branches du circuit électrique est appelé **maille**
- La somme des tensions au long d'une maille parcourue dans un sens choisi est nulle
  - ♦ Si le sens d'une tension est opposé au sens du parcours, cette tension est incluse avec le signe « - »

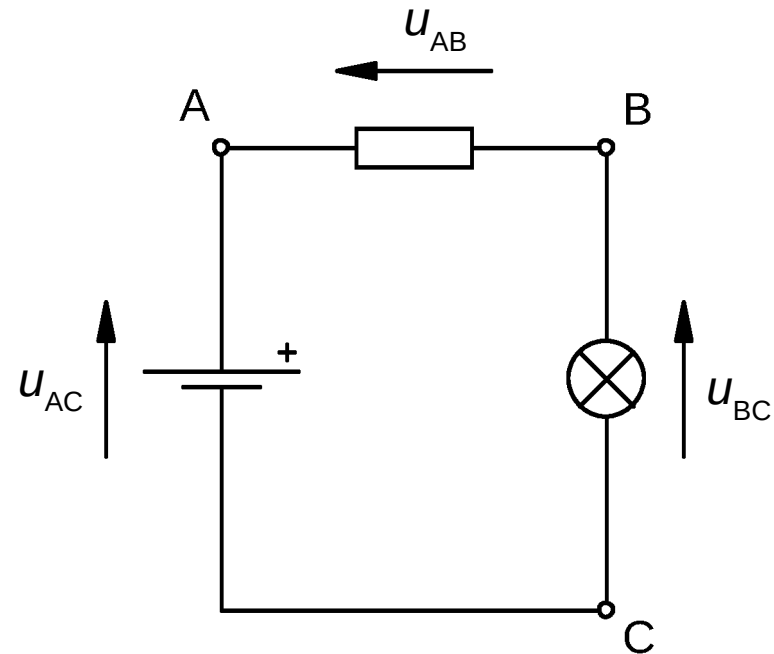
$$-u_{AC} + u_{BC} + u_{AB} = 0$$

puisque

$$u_{CA} + u_{BC} + u_{AB} = 0$$

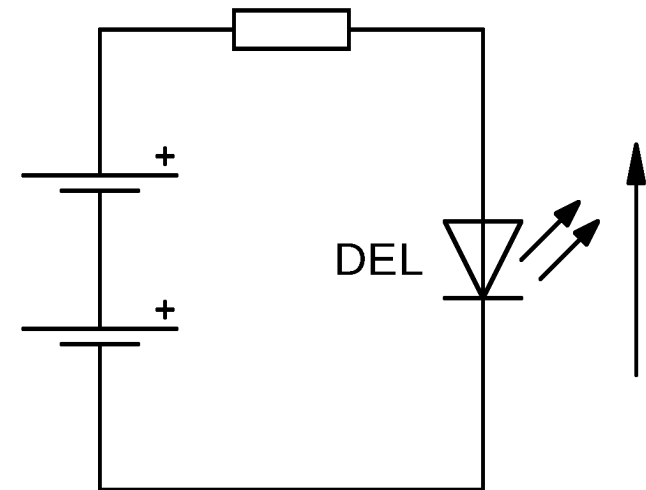
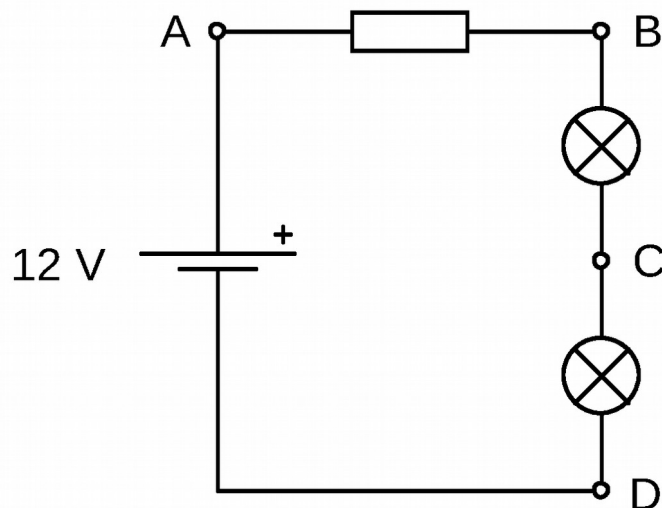
- ♦ Le choix d'un chemin du parcours particulier n'influence pas le résultat

$$u_{AC} - u_{BC} - u_{AB} = 0$$



# Exercices

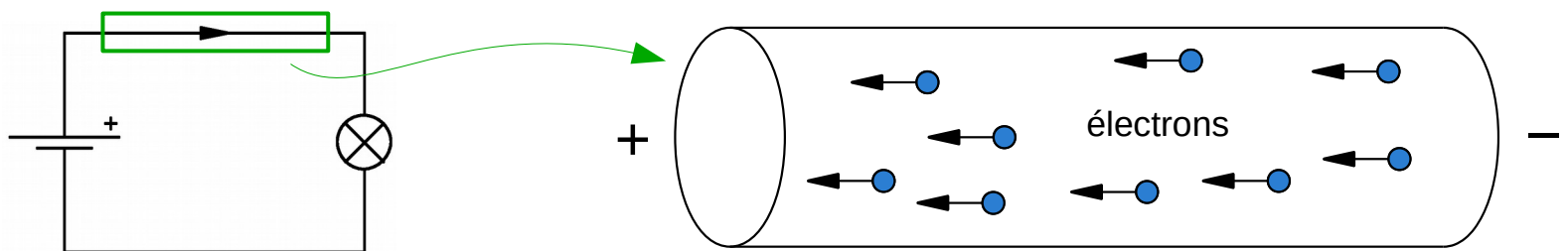
- 2.2.1. Si  $u_{AB} = 1 \text{ V}$  et  $u_{CD} = 6 \text{ V}$ , quelle est la tension  $u_{BC}$  ?
- 2.2.2. Quels sont les potentiels électriques aux points A, B, C et D si la masse est assignée : a) au point D ; b) au point A ?



- 2.2.3. Deux piles de 1,5 V chaque alimentent une diode électroluminescente (DEL) par un résistor branché en série. Quelle est la tension aux bornes du résistor si celle aux bornes de la diode est de 2,1 V ?

# Conducteurs électriques

- Dans les matériaux conducteurs, les liens entre certains électrons et atomes sont faibles, ainsi ces électrons peuvent se déplacer
- Si on applique un champ électrique, alors les **électrons libres** seront **accélérés par la force de Lorentz**
  - ♦ Notez que le champ électrique est caractérisé par le potentiel électrique, alors le champ peut être induit par l'application d'une **tension** entre les bornes du conducteur
- Pourtant, ils seront en même temps **décélérés par les atomes** qui se trouveront sur leur chemin et gêneront leur mouvement
- **Une vitesse moyenne s'établira** menant à un nombre particulier d'électrons traversant le conducteur dans un temps donné
  - ♦ C'est bien un **courant**



# Loi d'Ohm et résistance

- La tension aux bornes d'une résistance et le courant qui la traverse sont proportionnels, la **résistance** étant le **coefficient de proportionnalité**

$$u = R \cdot i \quad \Rightarrow \quad R = \frac{u}{i}$$

- ♦ **Symbole :  $R$  ; Unité : ohm  $[\Omega]$**
- La résistance définie comme ci-dessus est toujours **positive**
  - ♦ Il existe d'autres définitions qui peuvent donner des valeurs négatives
  - ♦ Exemple : résistance différentielle

$$R_d = \frac{d u}{d i}$$

- Valeurs type
  - ♦ bon conducteur : ordre de  $m\Omega$
  - ♦ bon isolateur : ordre de  $M\Omega$
- L'inverse de la résistance, c'est la **conductance**

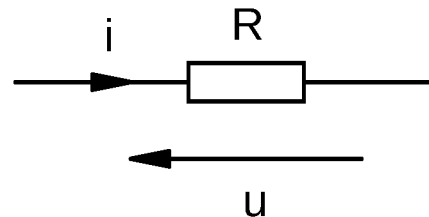
$$i = G \cdot u \quad G = R^{-1}$$

- ♦ **Symbole :  $G$  ; Unité : siemens  $[S]$**



# Résistor

- Un **résistor** est un **objet physique dessiné et produit de façon à suivre la loi d'Ohm**
  - ♦ Tandis qu'on appelle « résistance » un composant abstrait des circuits électriques
- Sur les schémas, il est symbolisé (en Europe) avec un rectangle vide



- Les **flèches** du courant et de la tension doivent **s'opposer**
  - ♦ Cela résulte :
    - ▶ de l'étude physique du phénomène de la conduction : les sens du champ électrique  $E$  et de la vitesse des électrons  $v$
    - ▶ de la définition du potentiel électrique (en fonction du champ électrique)
    - ▶ des conventions concernant les sens : du courant  $i$  par rapport à la vitesse des électrons  $v$  ainsi que de la flèche de la tension  $u$