Leçon 24 – 22/05/2025

7. Électrostatique

- 7.3 Conducteurs

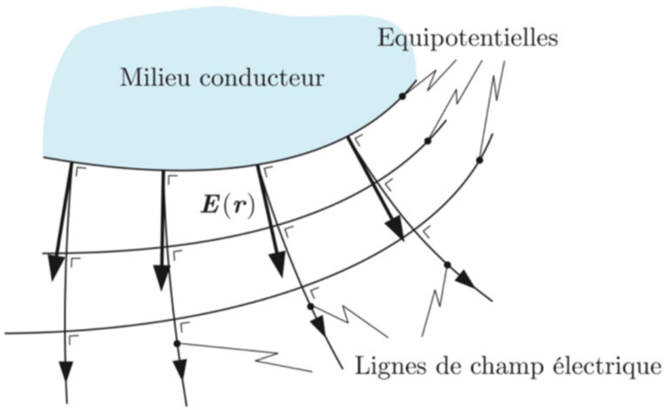
8. Circuits à courant continu

- 8.1 Courant électrique
- 8.2 Règles de Kirchhoff
- 8.3 Puissance électrique
- 8.4 Résistance d’un conducteur

7.3 Conducteurs

7.3 Conducteurs et 7.3.1 champ électrique dans un conducteur

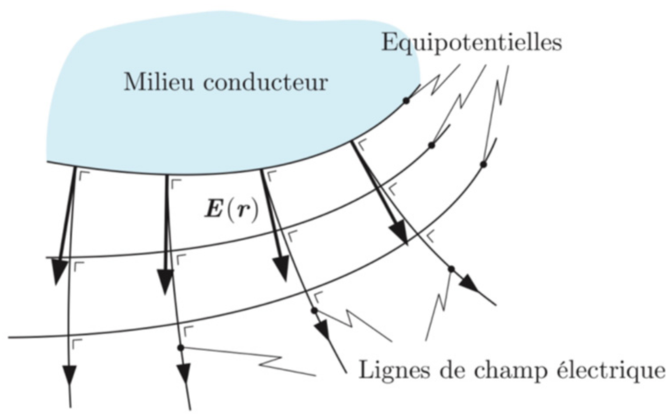
Champ électrique dans un conducteur



7.3 Conducteurs et 7.3.1 champ électrique dans un conducteur

- Un objet est un conducteur si les charges électriques peuvent se déplacer librement à sa surface. Dans le cas contraire, l'objet est un isolant.

Champ électrique dans un conducteur

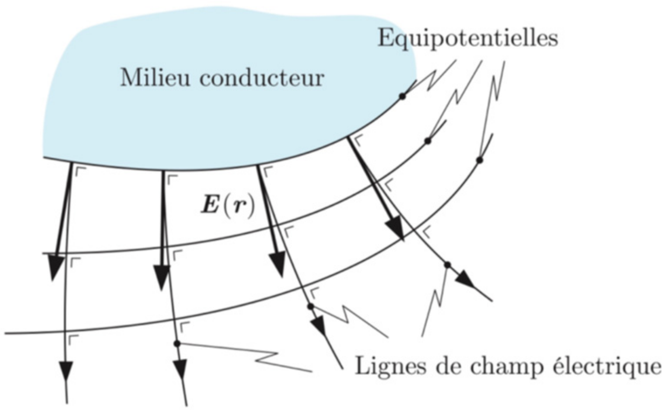


7.3 Conducteurs et 7.3.1 champ électrique dans un conducteur

- Un objet est un conducteur si les charges électriques peuvent se déplacer librement à sa surface. Dans le cas contraire, l'objet est un isolant.

Champ électrique dans un conducteur

- En électrostatique, le champ électrique est nul à l'intérieur d'un conducteur. Cela implique que le potentiel électrique Φ est constant à l'intérieur du conducteur. En l'absence d'un champ électrique extérieur, la surface du conducteur est une équipotentielle.

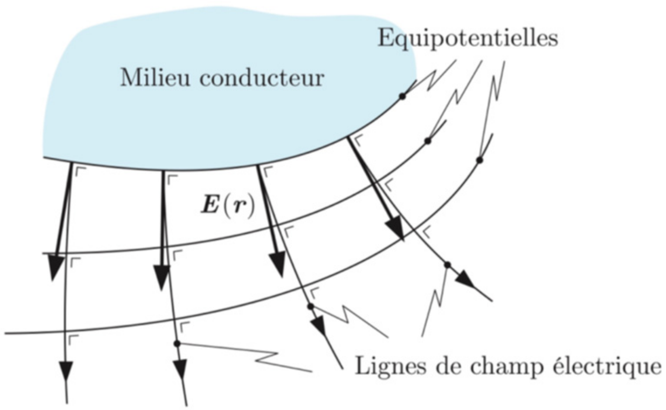


7.3 Conducteurs et 7.3.1 champ électrique dans un conducteur

- Un objet est un <u>conducteur</u> si les charges électriques peuvent se déplacer librement à sa surface. Dans le cas contraire, l'objet est un <u>isolant</u>.

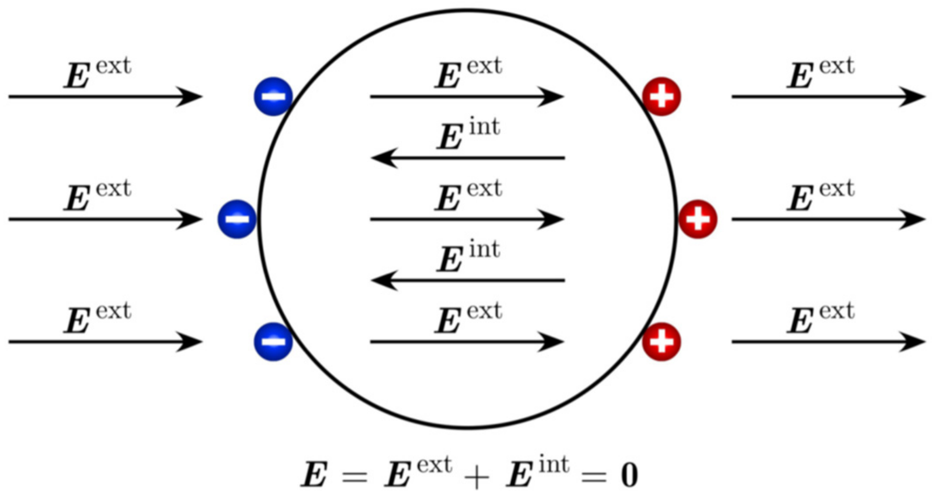
Champ électrique dans un conducteur

- En électrostatique, le champ électrique est nul à l'intérieur d'un conducteur. Cela implique que le potentiel électrique Φ est constant à l'intérieur du conducteur. En l'absence d'un champ électrique extérieur, la surface du conducteur est une équipotentielle.



- Le champ électrique **E** n'est pas défini à la surface (discontinuité) mais on peut prendre la limite extérieure.

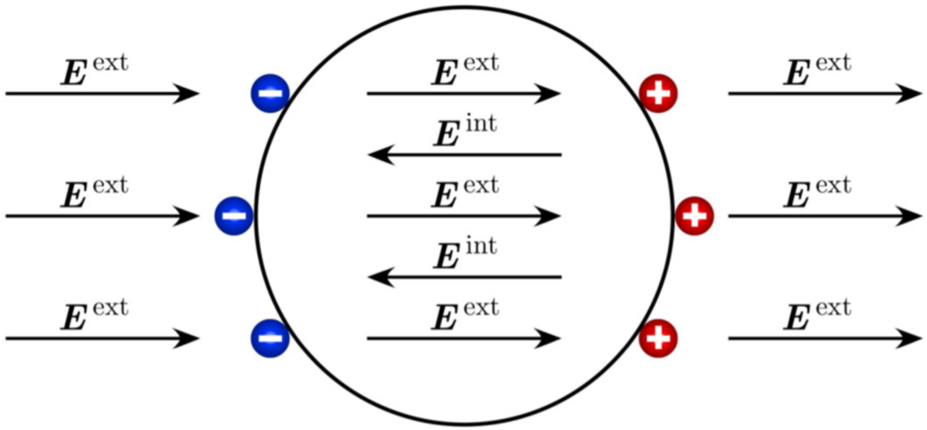
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)



7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

En présence d'un champ électrique extérieur $\mathbf{E}^{ext}$ supposé uniforme, les charges à la surface d'un conducteur se séparent afin de générer un champ électrique $\mathbf{E}^{int}$ qui compense exactement le champ électrique $\mathbf{E}^{ext}$ de sorte que le champ électrique résultant $\mathbf{E}$ à l'intérieur du conducteur (cavité) soit nul :

$$\boxed{\mathbf{E} = \mathbf{E}^{ext} + \mathbf{E}^{int} = \mathbf{0} \quad \text{(conducteur)} \quad (7.14)}$$

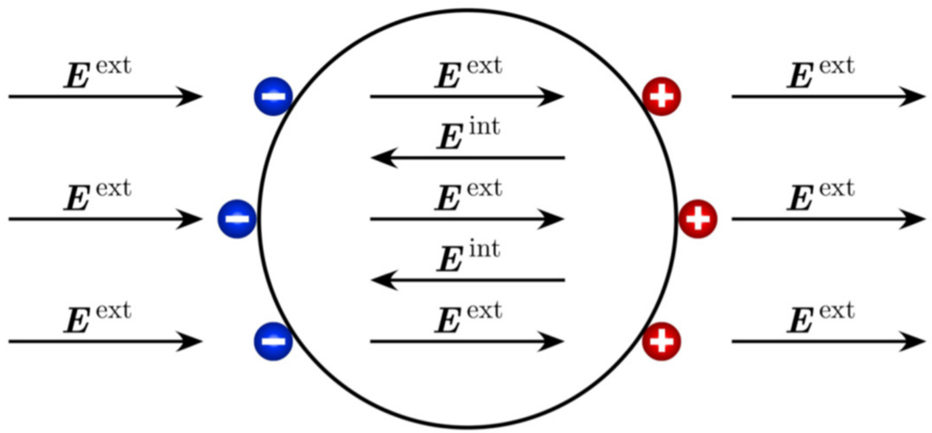


$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}^{ext} + \boldsymbol{E}^{int} = \mathbf{0}$$

7.3.2 *Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)*

En présence d'un champ électrique extérieur $\mathbf{E}^{\mathbf{ext}}$ supposé uniforme, les charges à la surface d'un conducteur se séparent afin de générer un champ électrique $\mathbf{E}^{\mathbf{int}}$ qui compense exactement le champ électrique $\mathbf{E}^{\mathbf{ext}}$ de sorte que le champ électrique résultant $\mathbf{E}$ à l'intérieur du conducteur (cavité) soit nul :

$$\boxed{\mathbf{E} = \mathbf{E}^{\mathbf{ext}} + \mathbf{E}^{\mathbf{int}} = \mathbf{0} \quad \text{(conducteur)} \quad (7.14)}$$

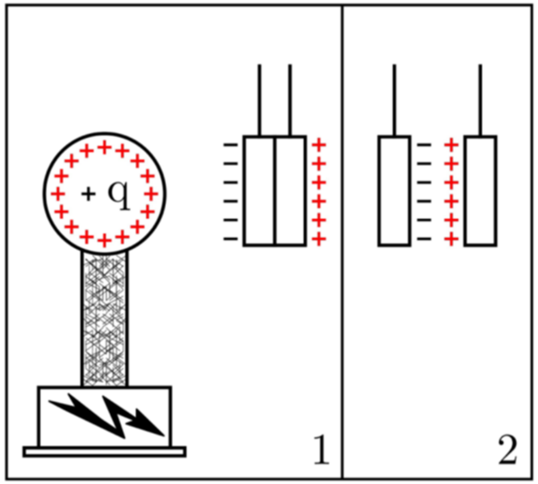


$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}^{\text{ext}} + \boldsymbol{E}^{\text{int}} = \mathbf{0}$$

- Le conducteur est initialement neutre.
- Dû à l'influence du champ électrique extérieur, la surface du conducteur n'est plus une équipotentielle.

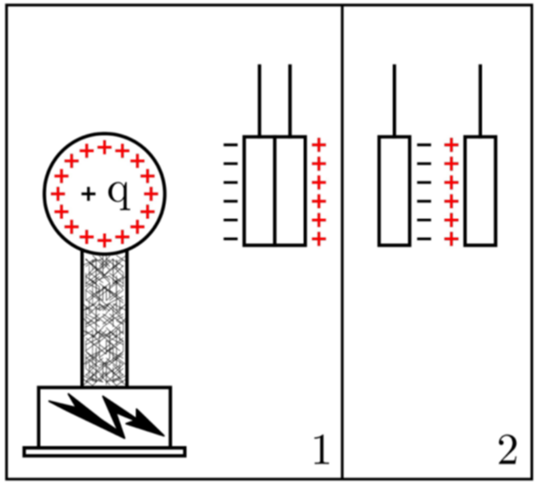
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience :



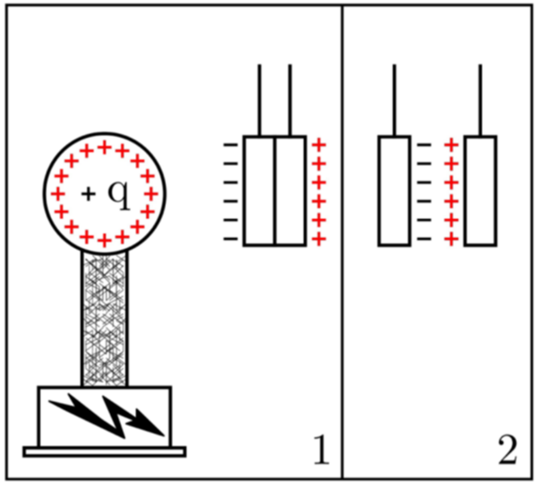
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 1. Séparation de charges par influence



7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 1. Séparation de charges par influence



Deux plaques métalliques neutres en contact sont placées au voisinage d'une sphère chargée (positivement par exemple). Les charges négatives mobiles (électrons) contenues dans les plaques sont attirées par les charges positives de la sphère. Il en résulte un manque d'électrons sur la plaque de droite. En séparant les plaques, on vérifie qu'elles possèdent une charge égale de signe opposé.

7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience :

7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 2. Cage de Faraday

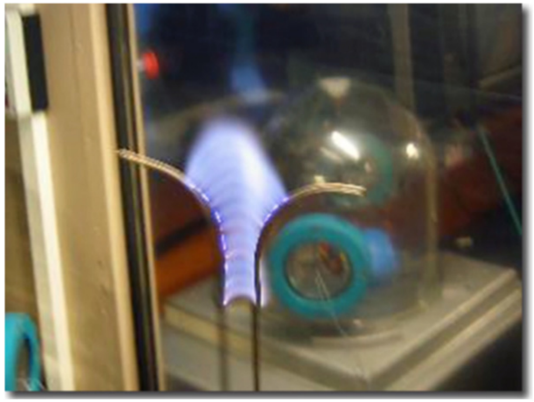
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 2. Cage de Faraday

Une cage de Faraday est une enceinte conductrice maintenue à un potentiel constant. La personne qui se trouve dans la cage ne peut pas être atteinte par un arc électrique puisque le champ électrique à l'intérieur de la cage doit rester nul.

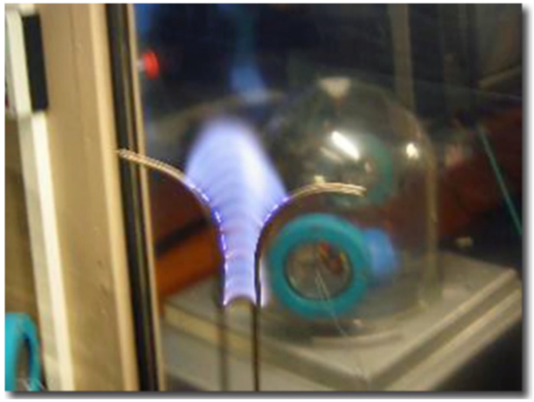
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience :



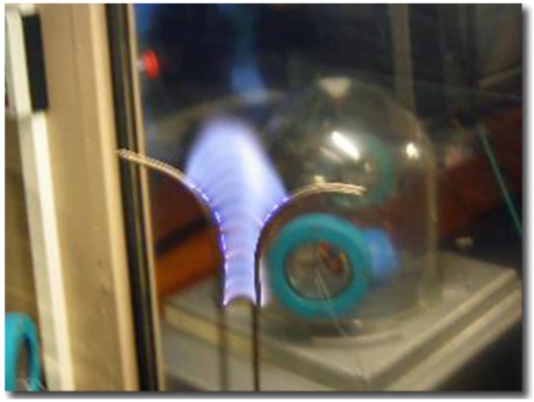
7.3.2 Phénomène d’influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 3. Arc électrique glissant



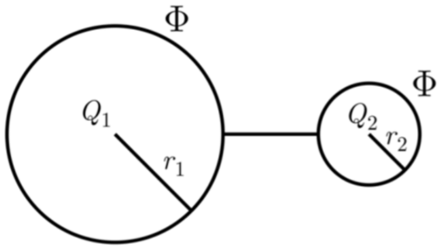
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

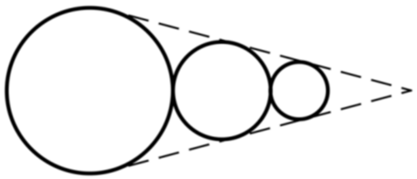
Expérience : 3. Arc électrique glissant



- À l'endroit où les électrodes métalliques sont les plus proches, le champ électrique est suffisamment intense pour ioniser l'air.
- Un arc électrique apparaît au bas des électrodes et se déplace vers le haut des tiges.
- Ce dispositif est utilisé comme protection contre la surtension.

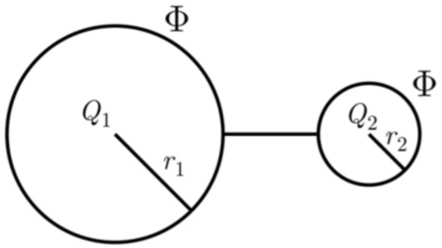
7.3.3 Effet de pointe

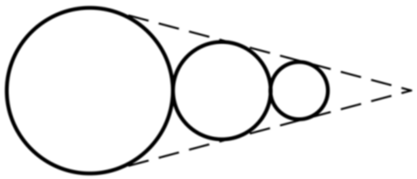




7.3.3 *Effet de pointe*

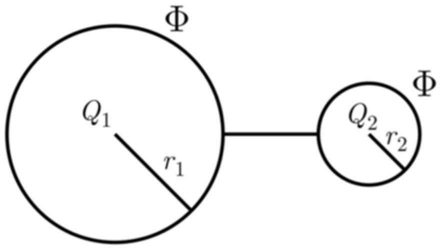
- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure r est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :





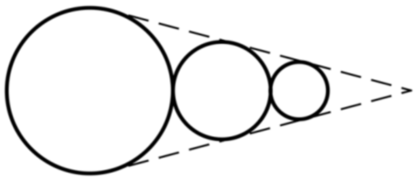
7.3.3 *Effet de pointe*

- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :



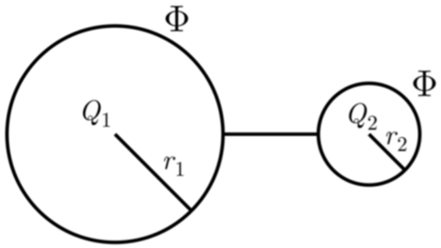
- Potentiel uniforme Φ :

$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} > 1 \quad (7.15)}$$



7.3.3 Effet de pointe

- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :



- Potentiel uniforme Φ :

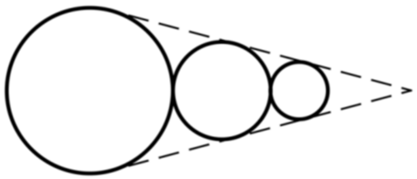
$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} > 1 \quad (7.15)}$$

- Champ électrique à la surface des deux sphères :

$$\boxed{\|\mathbf{E_1}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} \quad \text{et} \quad \|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} \quad (7.16)}$$

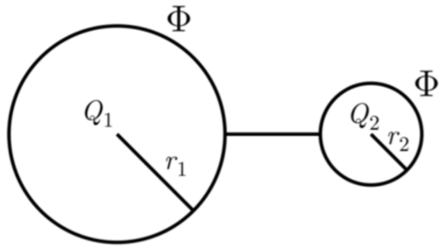
$$\|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2}\frac{r_1}{r_2} > \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} = \|\mathbf{E_1}\| \Rightarrow \|\mathbf{E_2}\| > \|\mathbf{E_1}\|$$

Si $r_2 < r_1$



7.3.3 Effet de pointe

- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :



- Potentiel uniforme Φ :

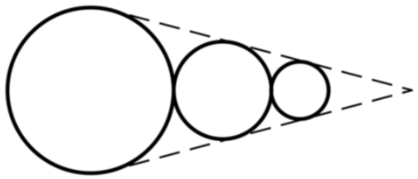
$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2} \quad \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} > 1 \quad (7.15)}$$

- Champ électrique à la surface des deux sphères :

$$\boxed{\left\|\mathbf{E_1}\right\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} \quad \text{et} \quad \left\|\mathbf{E_2}\right\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} \quad (7.16)} \quad \left\|\mathbf{E_2}\right\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2}\frac{r_1}{r_2} > \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} = \left\|\mathbf{E_1}\right\| \Rightarrow \left\|\mathbf{E_2}\right\| > \left\|\mathbf{E_1}\right\|$$

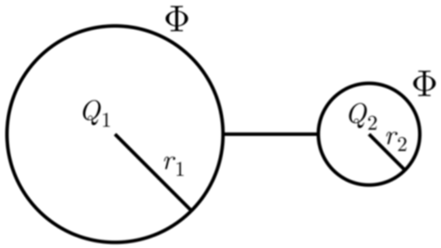
Si $r_2 < r_1$

- On peut modéliser une pointe comme une succession de sphères de rayon *r* décroissant :



7.3.3 Effet de pointe

- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :



- Potentiel uniforme Φ :

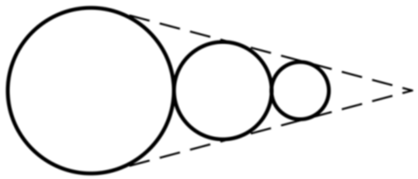
$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} > 1 \quad (7.15)}$$

- Champ électrique à la surface des deux sphères :

$$\boxed{\|\mathbf{E_1}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} \quad \text{et} \quad \|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} \quad (7.16)} \quad \|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2}\frac{r_1}{r_2} > \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} = \|\mathbf{E_1}\| \Rightarrow \|\mathbf{E_2}\| > \|\mathbf{E_1}\|$$

Si $r_2 < r_1$

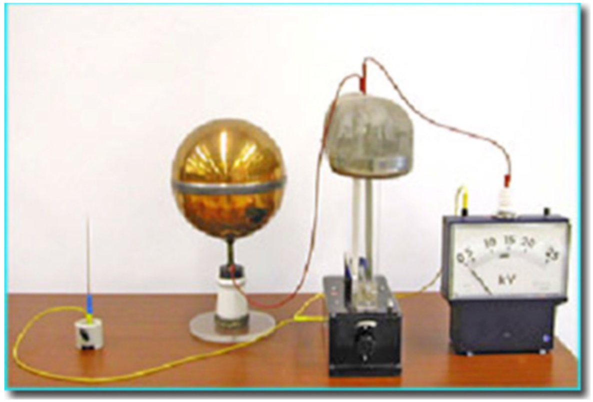
- On peut modéliser une pointe comme une succession de sphères de rayon *r* décroissant :



- Le champ électrique **E** est beaucoup plus intense à la pointe!

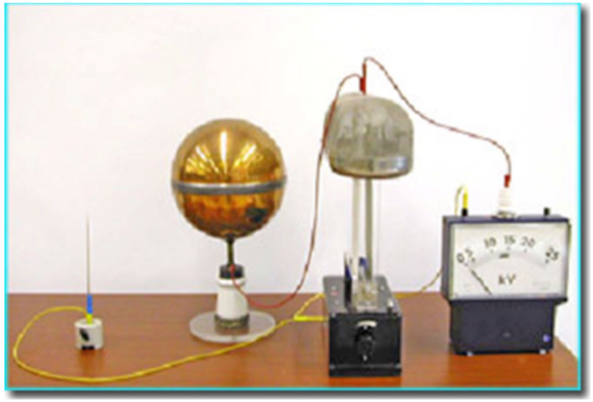
7.3.3 Effet de pointe

Expérience :



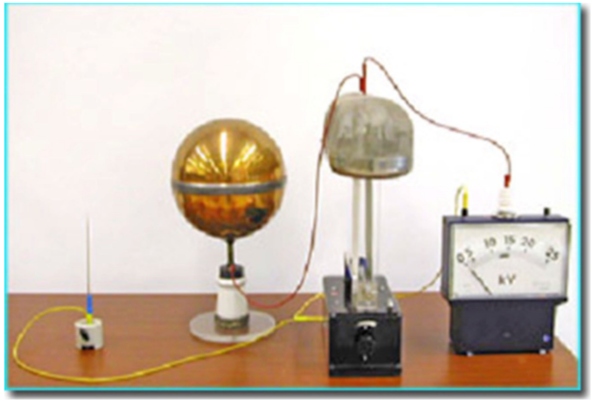
7.3.3 Effet de pointe

Expérience : Décharge par effet de pointe



7.3.3 Effet de pointe

Expérience : Décharge par effet de pointe



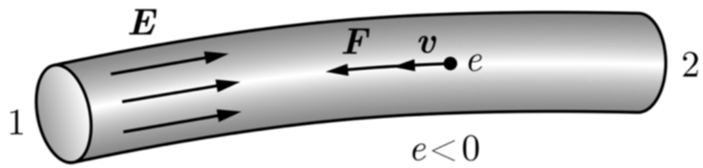
- On charge une sphère jusqu'à ce que sa différence de potentiel avec la terre soit de 20 kV. Dès qu'on approche la pointe de la sphère, la sphère se décharge (effet paratonnerre).

- Par effet de pointe, une structure pointue comme la tour Eiffel se fait plus facilement foudroyer.

8. Circuits à courant continu

8.1 Courant électrique

8.1 Courant électrique

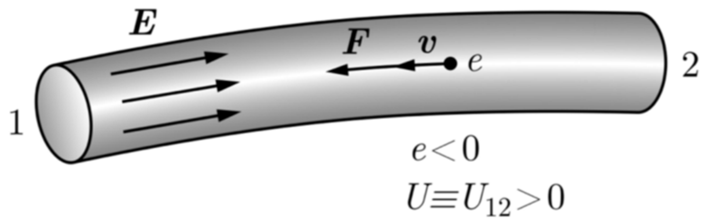


$e<0$

$U \equiv U_{12} > 0$

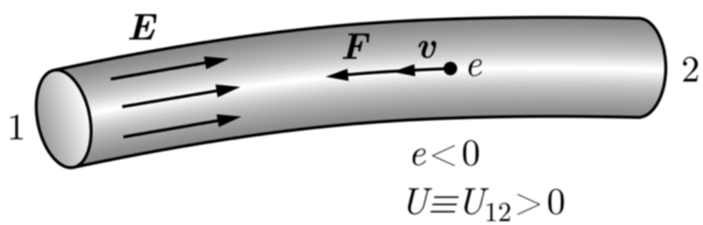
8.1 Courant électrique

- Lorsqu'une tension $U \equiv U_{12}$ est imposée entre les bornes 1 et 2 d'un conducteur, un champ électrique **E** s'établit à travers le conducteur. La présence de ce champ électrique génère une force électrique **F** sur les charges électriques libres (i.e., les électrons) qui se déplacent collectivement à la vitesse **v** à travers le conducteur. L'interaction entre les électrons libres et les atomes d'un conducteur génère une force de frottement « visqueux » qui s'oppose à leur mouvement (i.e., une résistance). Le flux d'électrons atteint une vitesse limite constante **v** à l'échelle macroscopique.



8.1 Courant électrique

- Lorsqu’une tension $U \equiv U_{12}$ est imposée entre les bornes 1 et 2 d’un conducteur, un champ électrique **E** s’établit à travers le conducteur. La présence de ce champ électrique génère une force électrique **F** sur les charges électriques libres (i.e., les électrons) qui se déplacent collectivement à la vitesse **v** à travers le conducteur. L’interaction entre les électrons libres et les atomes d’un conducteur génère une force de frottement « visqueux » qui s’oppose à leur mouvement (i.e., une résistance). Le flux d’électrons atteint une vitesse limite constante **v** à l’échelle macroscopique.



1. Les lignes de champ suivent la surface du conducteur.
2. Le conducteur reste neutre.
3. Les électrons subissent une force de frottement.

8.1 Courant électrique


André-Marie Ampère

8.1 Courant électrique

- Le <u>courant électrique</u> *I* est défini comme la dérivée temporelle de la charge électrique, c'est-à-dire la quantité de charges électriques qui traversent la section d'un conducteur par unité de temps :

$$\boxed{I = \frac{dq}{dt} \quad (8.1)}$$

André-Marie Ampère

8.1 Courant électrique

- Le <u>courant électrique</u> *I* est défini comme la dérivée temporelle de la charge électrique, c'est-à-dire la quantité de charges électriques qui traversent la section d'un conducteur par unité de temps :

$$\boxed{I = \frac{dq}{dt} \quad (8.1)}$$

- Unité physique (SI) : l'Ampère [A] = [C. s $^{-1}$]

André-Marie Ampère

8.1 Courant électrique

- Le <u>courant électrique</u> *I* est défini comme la dérivée temporelle de la charge électrique, c'est-à-dire la quantité de charges électriques qui traversent la section d'un conducteur par unité de temps :

$$\boxed{I = \frac{dq}{dt} \quad (8.1)}$$

- Unité physique (SI) : l'Ampère [A] = [C. s $^{-1}$]

- <u>Convention</u> : l'orientation du courant est définie positive dans la direction de déplacement des charges positives.

- On appelle <u>courant continu</u>, un courant électrique *I* stationnaire, i.e., un courant qui est indépendant du temps :

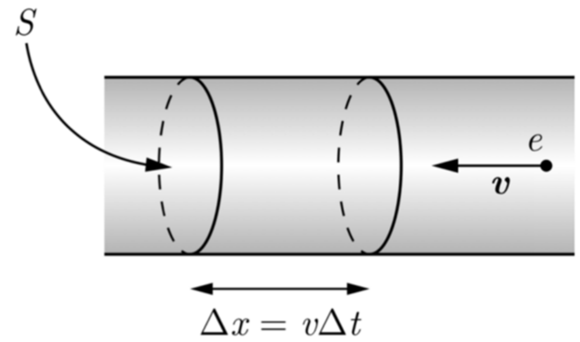
$$\boxed{\frac{dI}{dt} = 0 \quad (8.2)}$$

(Courant stationnaire)

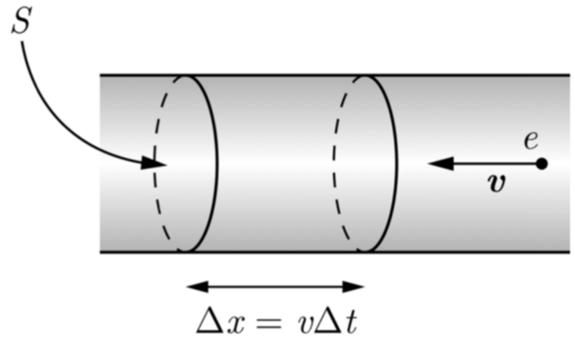
- Par la suite, on ne considérera que des courants continus.

André-Marie Ampère

8.1.1 Courant électrique traversant un fil



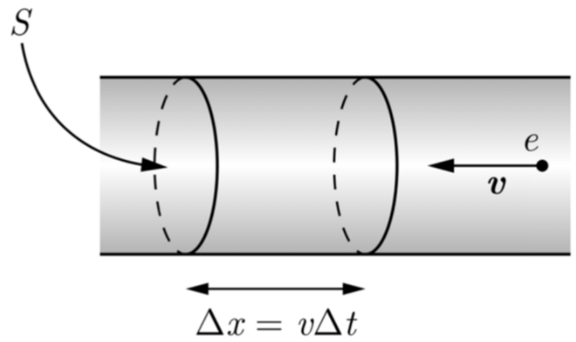
8.1.1 Courant électrique traversant un fil



- Les électrons de conduction ont une vitesse **v**.

- Chaque matériau a une densité électronique *n* qui correspond au nombre d'électrons de conduction par unité de volume.

8.1.1 Courant électrique traversant un fil



- Les électrons de conduction ont une vitesse **v**.

- Chaque matériau a une densité électronique *n* qui correspond au nombre d'électrons de conduction par unité de volume.

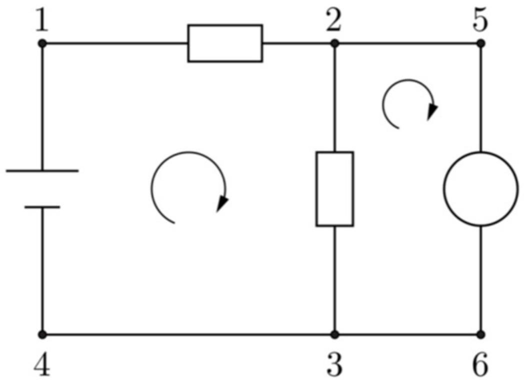
- Durant un intervalle de temps Δt, les électrons de conduction dans le volume $\Delta V = S\Delta x = Sv\Delta t$ traversent la section S, donnant une charge :

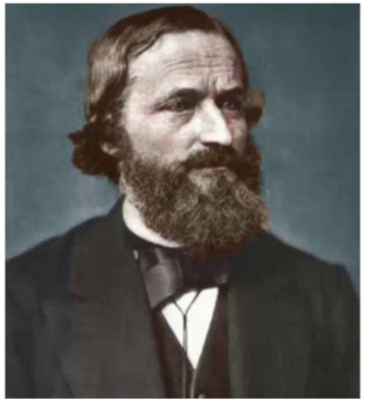
$$\Delta Q = ne\Delta V = neSv\Delta t \quad \Rightarrow \quad \boxed{I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = neSv \quad (8.3)}$$

8.2 Règles de Kirchhoff

8.2 Règles de Kirchhoff et 8.2.1 règle des mailles

Règle des mailles



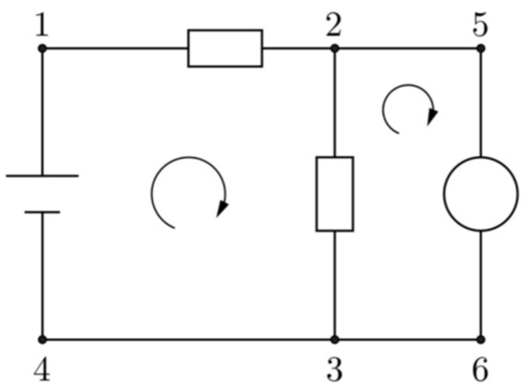


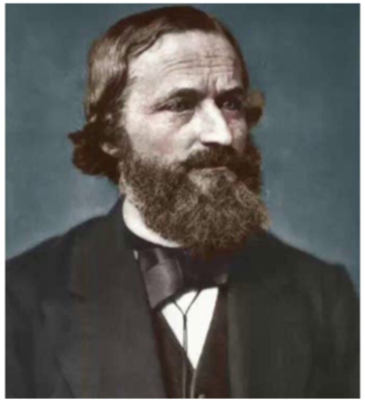
Gustav Kirchhoff

8.2 Règles de Kirchhoff et 8.2.1 règle des mailles

- Comme la variation de potentiel électrique Φ le long d'un chemin fermé est nulle, et que la tension U est définie comme la variation de potentiel électrique, on obtient la <u>règle des mailles</u>.

Règle des mailles





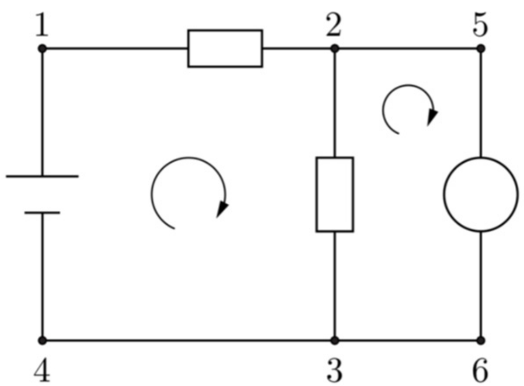
Gustav Kirchhoff

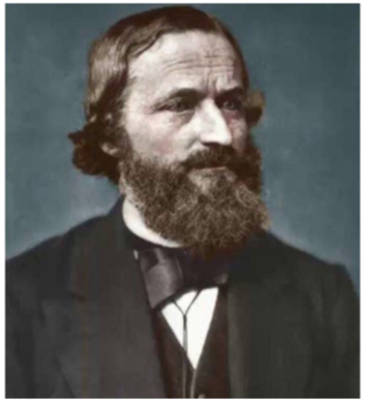
8.2 Règles de Kirchhoff et 8.2.1 règle des mailles

- Comme la variation de potentiel électrique Φ le long d'un chemin fermé est nulle, et que la tension U est définie comme la variation de potentiel électrique, on obtient la règle des mailles.

Règle des mailles

Le long de tout chemin fermé (maille) d'un circuit, la somme des tensions est nulle.





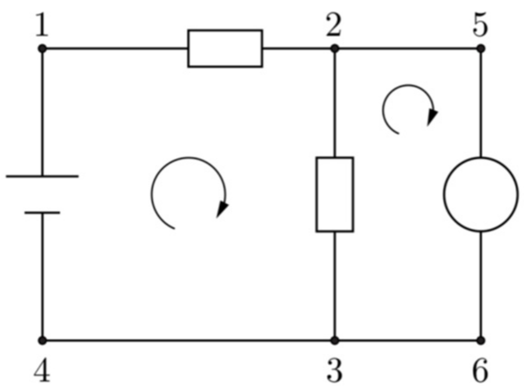
Gustav Kirchhoff

8.2 Règles de Kirchhoff et 8.2.1 règle des mailles

- Comme la variation de potentiel électrique Φ le long d'un chemin fermé est nulle, et que la tension U est définie comme la variation de potentiel électrique, on obtient la <u>règle des mailles</u>.

Règle des mailles

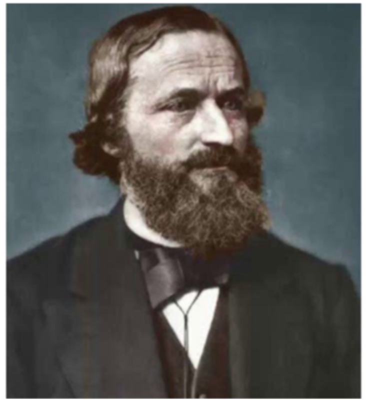
Le long de tout chemin fermé (maille) d'un circuit, la somme des tensions est nulle.



<u>3 chemins fermés</u>

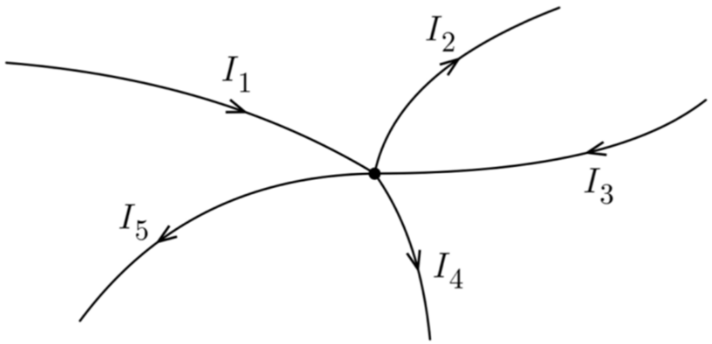
1. $U_{12} + U_{23} + U_{34} + U_{41} = 0$
2. $U_{25} + U_{56} + U_{63} + U_{32} = 0$ (8.4)
3. $U_{15} + U_{56} + U_{64} + U_{41} = 0$

- Ces trois équations sont linéairement dépendantes.



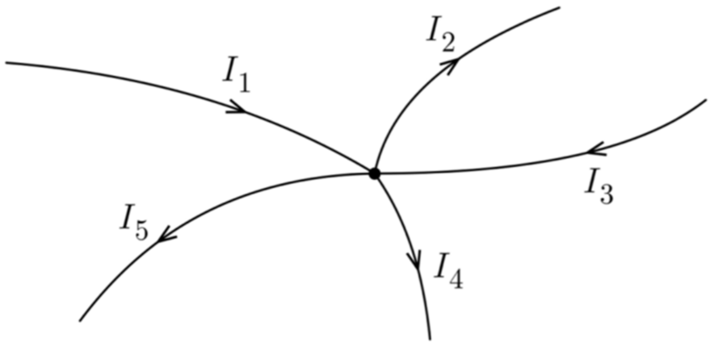
Gustav Kirchhoff

8.2.2 Règle des noeuds



8.2.2 Règle des noeuds

- Les charges électriques ne sont ni créées ni détruites dans un circuit. Par conséquent, les charges qui entrent dans un nœud par une branche doivent en ressortir par une autre (conservation de la charge électrique). On obtient ainsi la règle des nœuds :

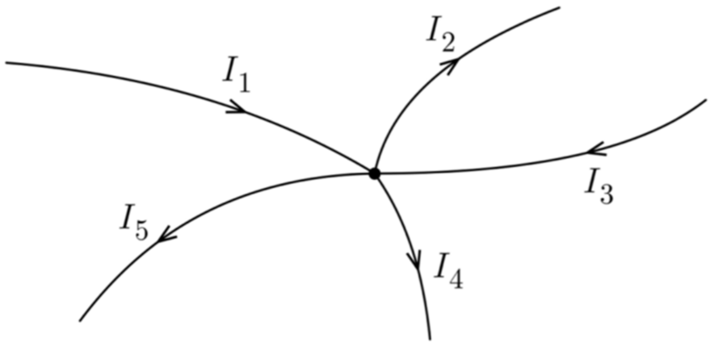


8.2.2 Règle des noeuds

- Les charges électriques ne sont ni créées ni détruites dans un circuit. Par conséquent, les charges qui entrent dans un nœud par une branche doivent en ressortir par une autre (conservation de la charge électrique). On obtient ainsi la règle des nœuds :

La somme des courants entrants dans un nœud est égale à la somme des courants sortants.

$$\boxed{I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5 \quad (8.5)}$$



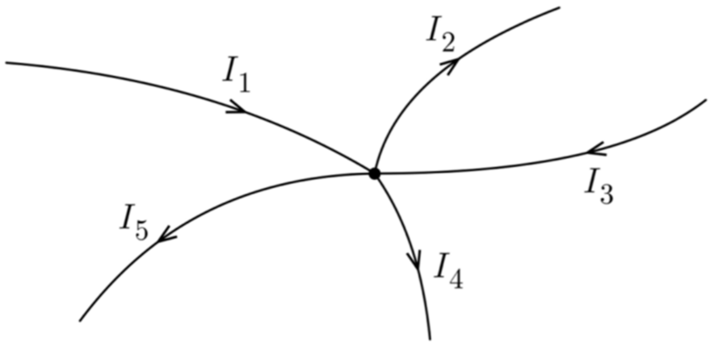
8.2.2 Règle des noeuds

- Les charges électriques ne sont ni créées ni détruites dans un circuit. Par conséquent, les charges qui entrent dans un nœud par une branche doivent en ressortir par une autre (conservation de la charge électrique). On obtient ainsi la <u>règle des nœuds</u> :

La somme des courants entrants dans un nœud est égale à la somme des courants sortants.

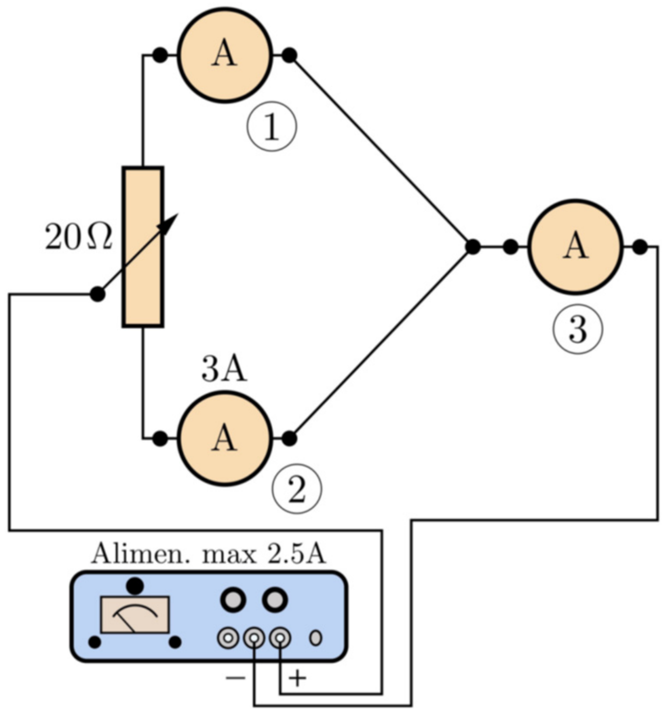
$$\boxed{I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5 \quad (8.5)}$$

- Si on ne connaît pas a priori le sens d'un courant, on choisit un sens positif et la grandeur *I* est alors positive ou négative.



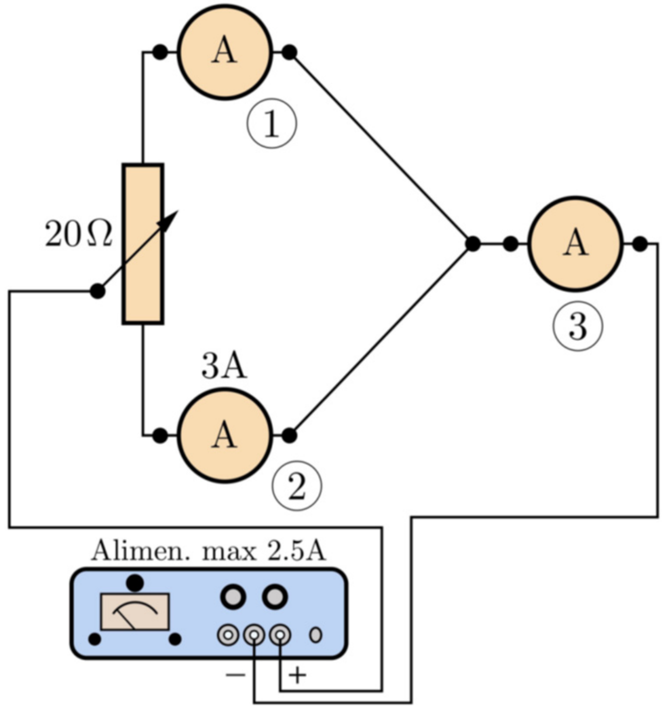
8.2.2 Règle des noeuds

Expérience :



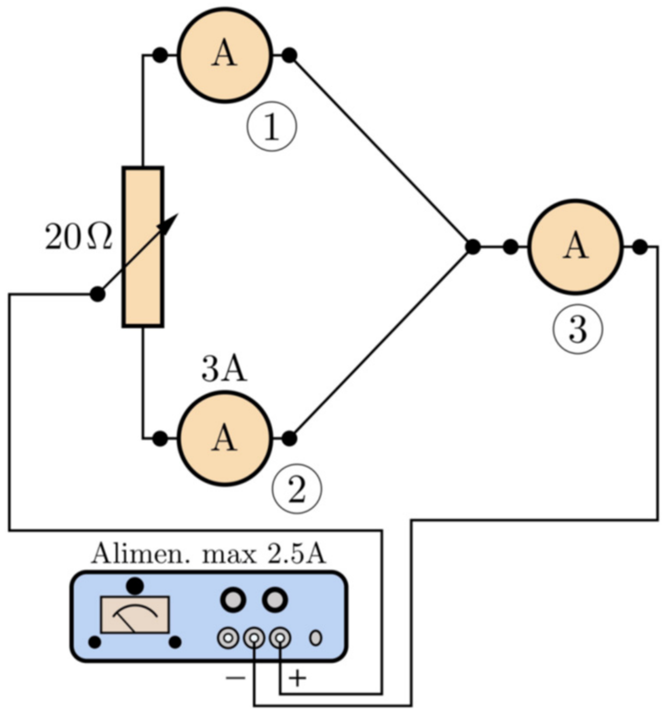
8.2.2 Règle des noeuds

Expérience : Règle des nœuds de Kirchhoff



8.2.2 Règle des noeuds

Expérience : Règle des nœuds de Kirchhoff



À l'aide de trois ampèremètres, on vérifie la règle des nœuds de Kirchhoff : la somme des courants mesurés en (1) et (2) doit être égale au courant mesuré en (3).

8.3 Puissance électrique

8.3 Puissance électrique

James Watt

8.3 Puissance électrique

- La puissance P est définie comme la dérivée temporelle de l'énergie électrique E :

$$\boxed{P = \frac{dE}{dt} = \frac{\delta W(\mathbf{F})}{dt} \quad (8.6)}$$

James Watt

8.3 Puissance électrique

James Watt

- La puissance P est définie comme la dérivée temporelle de l'énergie électrique E :

$$\boxed{P = \frac{dE}{dt} = \frac{\delta W(\mathbf{F})}{dt} \quad (8.6)}$$

- Le travail effectué sur une charge électrique q par une force électrique **F** de $\mathbf{r_1}$ à $\mathbf{r_2}$ s'écrit :

$$\boxed{W_{1\to 2}(\mathbf{F}) = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} \mathbf{F}(\mathbf{r})\cdot d\mathbf{r} = q\int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} \mathbf{E}(\mathbf{r})\cdot d\mathbf{r} = qU_{12} \quad (8.7)}$$

8.3 Puissance électrique

James Watt

- La puissance P est définie comme la dérivée temporelle de l'énergie électrique E :

$$\boxed{P = \frac{dE}{dt} = \frac{\delta W(\mathbf{F})}{dt} \quad (8.6)}$$

- Le travail effectué sur une charge électrique q par une force électrique **F** de $\mathbf{r_1}$ à $\mathbf{r_2}$ s'écrit :

$$\boxed{W_{1\to 2}(\mathbf{F}) = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} \mathbf{F}(\mathbf{r})\cdot d\mathbf{r} = q\int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} \mathbf{E}(\mathbf{r})\cdot d\mathbf{r} = qU_{12} \quad (8.7)}$$

- Le courant électrique s'exprime comme :

$$\boxed{I = \frac{dq}{dt} \quad (8.1)}$$

8.3 Puissance électrique

James Watt

- La puissance P est définie comme la dérivée temporelle de l'énergie électrique E :

$$\boxed{P = \frac{dE}{dt} = \frac{\delta W(\mathbf{F})}{dt} \quad (8.6)}$$

- Le travail effectué sur une charge électrique q par une force électrique **F** de $\mathbf{r_1}$ à $\mathbf{r_2}$ s'écrit :

$$\boxed{W_{1\to 2}(\mathbf{F}) = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} \mathbf{F}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{r} = q\int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} \mathbf{E}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{r} = qU_{12} \quad (8.7)}$$

- Le courant électrique s'exprime comme :

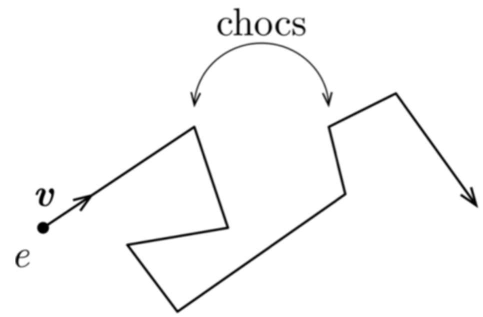
$$\boxed{I = \frac{dq}{dt} \quad (8.1)}$$

- La puissance électrique fournie aux charges électriques soumises à une tension $U \equiv U_{12}$ = cste s'écrit :

$$P = \frac{\delta W(\mathbf{F})}{dt} = \frac{dq}{dt} U \overset{(8.1)}{=} IU \quad \Rightarrow \quad \boxed{P = UI \quad (8.8)}$$

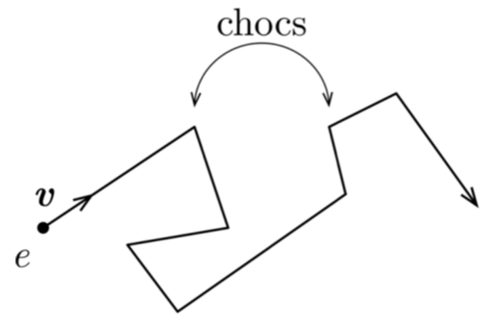
8.4 Résistance d'un conducteur

8.4 Résistance d’un conducteur



8.4 *Résistance d'un conducteur*

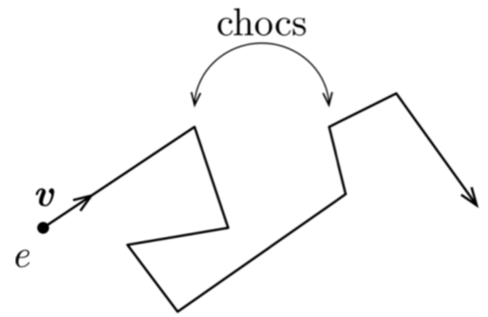
- Dans un conducteur, un électron accéléré par une force électrique **F** = *e***E** est aussi freiné par les chocs avec les atomes. Cela est modélisé par une force de frottement proportionnelle à la vitesse **F** = $-\lambda$**v** où $\lambda > 0$.



8.4 Résistance d'un conducteur

- Dans un conducteur, un électron accéléré par une force électrique **F** = e**E** est aussi freiné par les chocs avec les atomes. Cela est modélisé par une force de frottement proportionnelle à la vitesse **F** = -λ**v** où $\lambda > 0$.

- Les électrons atteignent rapidement une vitesse limite constante donnée par la 2ème loi de Newton :



$$\mathbf{F}^{\text{ext}} = e\mathbf{E} - \lambda\mathbf{v} = m\mathbf{a} = \mathbf{0}$$

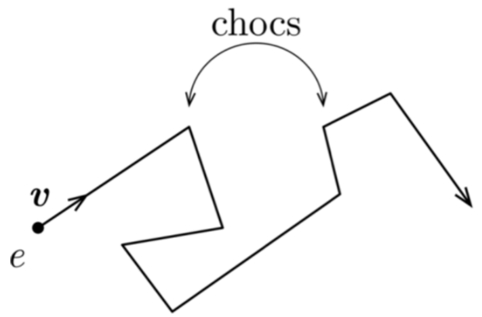
$$\Rightarrow \boxed{\mathbf{v} = \frac{e}{\lambda}\mathbf{E} \quad (8.9)} \quad \text{où } e < 0 \Rightarrow \frac{e}{\lambda} < 0$$

Les électrons se déplacent dans le sens opposé à **E**.

8.4 Résistance d'un conducteur

- Dans un conducteur, un électron accéléré par une force électrique **F** = e**E** est aussi freiné par les chocs avec les atomes. Cela est modélisé par une force de frottement proportionnelle à la vitesse **F** = -λ**v** où $\lambda > 0$.

- Les électrons atteignent rapidement une vitesse limite constante donnée par la 2ème loi de Newton :



$$\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = e\mathbf{E} - \lambda\mathbf{v} = m\mathbf{a} = \mathbf{0}$$

$$\Rightarrow \boxed{\mathbf{v} = \frac{e}{\lambda}\mathbf{E} \quad (8.9)} \quad \text{où } e < 0 \Rightarrow \frac{e}{\lambda} < 0$$

Les électrons se déplacent dans le sens opposé à **E**.

- On définit la mobilité μ des électrons de la manière suivante :

$$\boxed{\mathbf{v} = \mu\mathbf{E} \quad \text{où} \quad \mu = \frac{e}{\lambda} \quad (8.10)}$$

8.4 Résistance d'un conducteur

Georg Ohm

8.4 Résistance d'un conducteur

- Dans un fil de section S et de longueur L, le courant électrique I uniforme dû au déplacement des électrons de conduction s'écrit :

$$I \overset{(8.3)}{=} enSv \overset{(8.10)}{=} enS\mu E \Rightarrow \boxed{E = \frac{1}{ne\mu}\frac{I}{S} \quad (8.11)}$$

Georg Ohm

8.4 Résistance d'un conducteur

- Dans un fil de section S et de longueur L, le courant électrique I uniforme dû au déplacement des électrons de conduction s'écrit :

$$I \overset{(8.3)}{=} enSv \overset{(8.10)}{=} enS\mu E \Rightarrow \boxed{E = \frac{1}{ne\mu}\frac{I}{S} \quad (8.11)}$$

- Comme le champ électrique est uniforme, la tension U entre les extrémités du fil s'écrit :

$$\boxed{U = \int_0^L E(r)\,dr = E\int_0^L dr = EL \quad (8.12)}$$

Georg Ohm

8.4 Résistance d'un conducteur

- Dans un fil de section S et de longueur L, le courant électrique I uniforme dû au déplacement des électrons de conduction s'écrit :

$$I \overset{(8.3)}{=} enSv \overset{(8.10)}{=} enS\mu E \Rightarrow \boxed{E = \frac{1}{ne\mu}\frac{I}{S} \quad (8.11)}$$

- Comme le champ électrique est uniforme, la tension U entre les extrémités du fil s'écrit :

$$\boxed{U = \int_0^L E(r)\,dr = E\int_0^L dr = EL \quad (8.12)}$$

- La tension U est donc liée au courant I par la loi d'Ohm :

$$\boxed{U = RI \text{ où } R = \frac{1}{ne\mu}\frac{L}{S} \quad (8.13)}$$

Georg Ohm

8.4 *Résistance d'un conducteur*

- Dans un fil de section S et de longueur L, le courant électrique I uniforme dû au déplacement des électrons de conduction s'écrit :

$$I \overset{(8.3)}{=} enSv \overset{(8.10)}{=} enS\mu E \Rightarrow \quad \boxed{E = \frac{1}{ne\mu}\frac{I}{S} \quad (8.11)}$$

- Comme le champ électrique est uniforme, la tension U entre les extrémités du fil s'écrit :

$$\boxed{U = \int_0^L E(r)\,dr = E\int_0^L dr = EL \quad (8.12)}$$

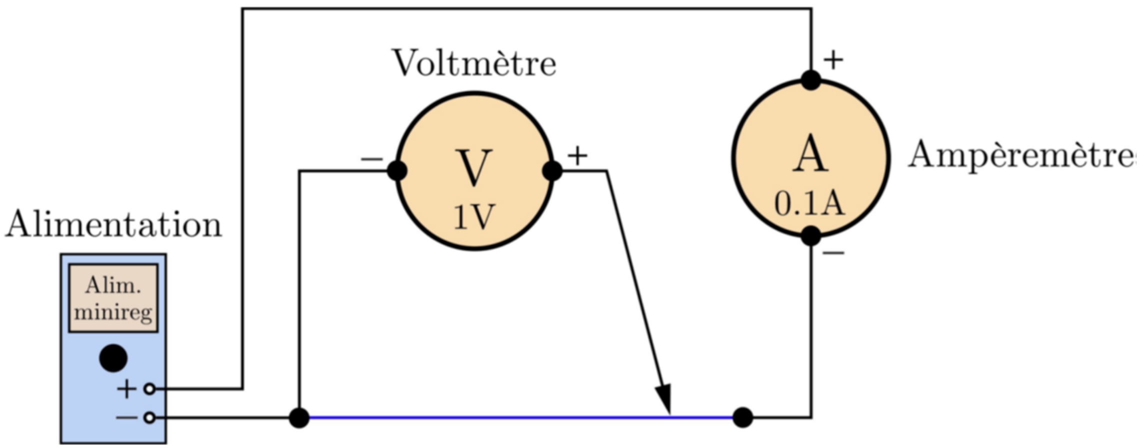
- La tension U est donc liée au courant I par la loi d'Ohm :

$$\boxed{U = RI \;\; \text{où} \;\; R = \frac{1}{ne\mu}\frac{L}{S} \quad (8.13)}$$

Georg Ohm

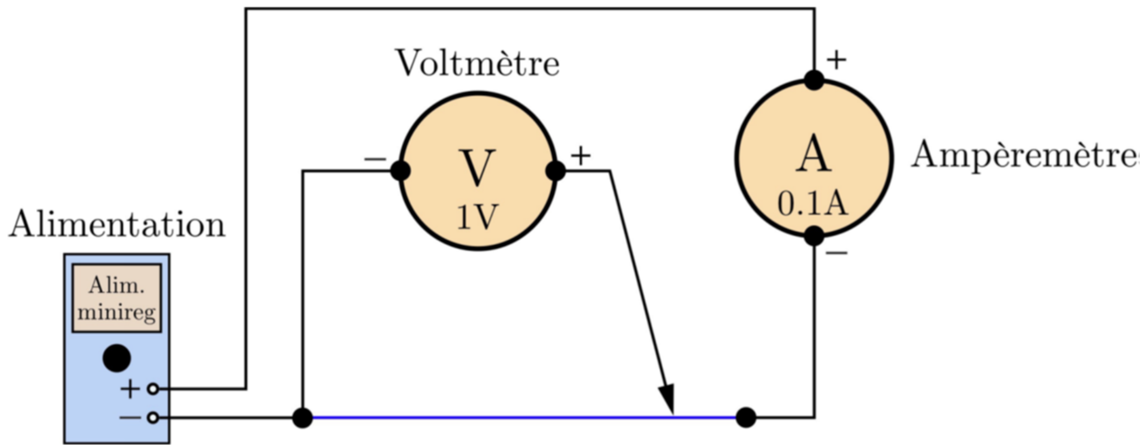
- La résistance R est proportionnelle à la longueur L du fil et inversement proportionnelle à sa section S.

Expérience :


Voltmètre
V
1V
A
0.1A
Ampèremètre
Alimentation
Alim.
minireg
+
−

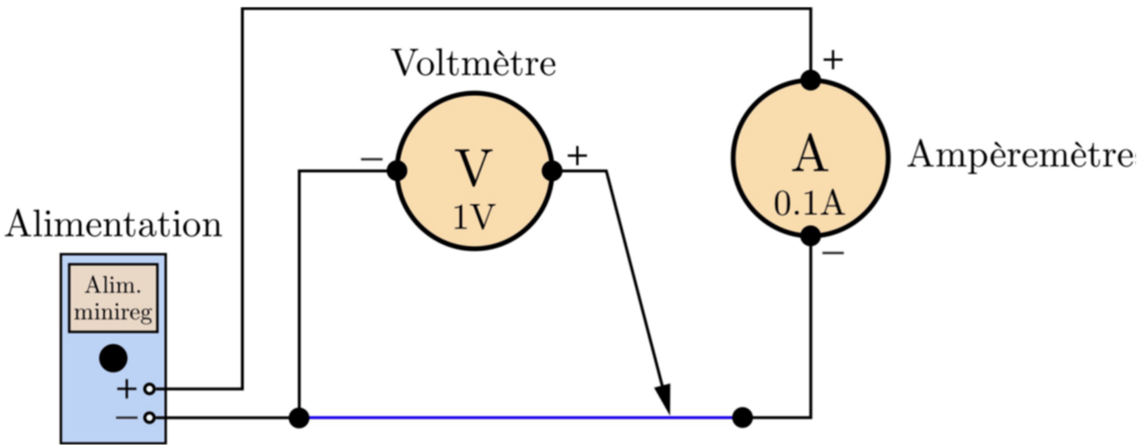
8.4 Résistance d'un conducteur

Expérience : Loi d'Ohm sur un fil



8.4 Résistance d'un conducteur

Expérience : Loi d'Ohm sur un fil



1. On mesure le courant *I* qui parcourt un fil à l'aide d'un ampèremètre.

2. On mesure la tension *U* aux bornes du même fil à l'aide d'un voltmètre.

3. On en déduit la résistance $R = U/I$ grâce à la loi d'Ohm.

8.4 Résistance d’un conducteur

8.4 Résistance d'un conducteur

- Unité (SI) de la résistance : l'Ohm [Ω] = [$V.A^{-1}$] = [$kg.m^{2}.s^{-3}.A^{-2}$]

8.4 Résistance d'un conducteur

- Unité (SI) de la résistance : l'Ohm [Ω] = [$V.A^{-1}$] = [$kg.m^{2}.s^{-3}.A^{-2}$]
- La résistance d'un matériau est caractérisée par sa <u>résistivité</u> ρ :

$$\boxed{R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{où} \quad \rho = \frac{1}{ne\mu} \qquad (8.14)}$$

8.4 Résistance d'un conducteur

- Unité (SI) de la résistance : l'Ohm [Ω] = [V.A^{-1}] = [kg.m^{2}.s^{-3}.A^{-2}]
- La résistance d'un matériau est caractérisée par sa <u>résistivité</u> ρ :

$$\boxed{R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{où} \quad \rho = \frac{1}{ne\mu} \quad (8.14)}$$

- La mobilité μ et la densité électronique n sont des grandeurs spécifiques au matériau qui sont indépendantes de sa géométrie.
- Unité physique (SI) de la résistivité : [Ω .m] = [kg.m^{3}.s^{-3}.A^{-2}]

8.4 Résistance d'un conducteur

- Unité (SI) de la résistance : l'Ohm [Ω] = [V.A^{-1}] = [kg.m^2.s^{-3}.A^{-2}]

- La résistance d'un matériau est caractérisée par sa <u>résistivité</u> ρ :

$$\boxed{R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{où} \quad \rho = \frac{1}{ne\mu} \quad (8.14)}$$

- La mobilité μ et la densité électronique n sont des grandeurs spécifiques au matériau qui sont indépendantes de sa géométrie.

- Unité physique (SI) de la résistivité : [Ω .m] = [kg.m^3.s^{-3}.A^{-2}]

<u>Exemples</u> : 1. cuivre, $\rho = 2 \times 10^{-8}\ \Omega$.m; 2. eau pure, $\rho = 2 \times 10^{5}\ \Omega$.m

8.4 Résistance d'un conducteur

- Unité (SI) de la résistance : l'Ohm $[\Omega] = [V.A^{-1}] = [kg.m^2.s^{-3}.A^{-2}]$

- La résistance d'un matériau est caractérisée par sa <u>résistivité</u> ρ :

$$\boxed{R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{où} \quad \rho = \frac{1}{ne\mu} \quad (8.14)}$$

- La mobilité μ et la densité électronique n sont des grandeurs spécifiques au matériau qui sont indépendantes de sa géométrie.

- Unité physique (SI) de la résistivité : $[\Omega .m] = [kg.m^3.s^{-3}.A^{-2}]$

<u>Exemples</u> : 1. cuivre, $\rho = 2 \times 10^{-8}\ \Omega.m$; 2. eau pure, $\rho = 2 \times 10^{5}\ \Omega.m$

- La conductivité est l'inverse de la résistivité : $\boxed{\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (8.15)}$

8.4 Résistance d'un conducteur

- Unité (SI) de la résistance : l'Ohm [Ω] = [V.A^{-1}] = [kg.m^{2}.s^{-3}.A^{-2}]
- La résistance d'un matériau est caractérisée par sa <u>résistivité</u> ρ :

$$\boxed{R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{où} \quad \rho = \frac{1}{ne\mu} \qquad (8.14)}$$

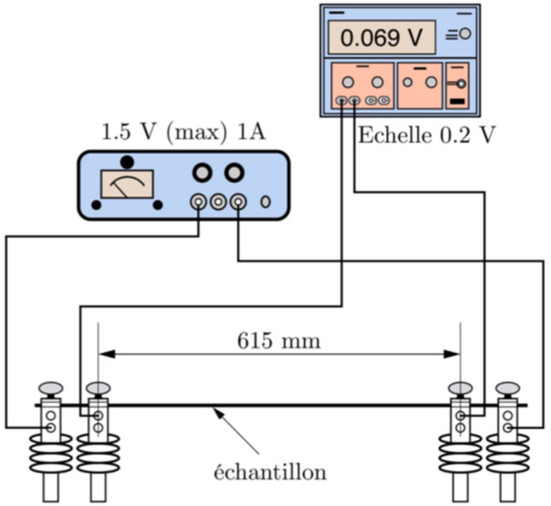
- La mobilité μ et la densité électronique n sont des grandeurs spécifiques au matériau qui sont indépendantes de sa géométrie.
- Unité physique (SI) de la résistivité : [Ω .m] = [kg.m^{3}.s^{-3}.A^{-2}]

<u>Exemples</u> : 1. cuivre, $\rho = 2 \times 10^{-8}$ Ω.m; 2. eau pure, $\rho = 2 \times 10^{5}$ Ω.m

- La conductivité est l'inverse de la résistivité : $\boxed{\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (8.15)}$
- Un conducteur a une faible résistivité et donc une grande conductivité alors qu'un isolant a une faible conductivité et donc une grande résistivité.

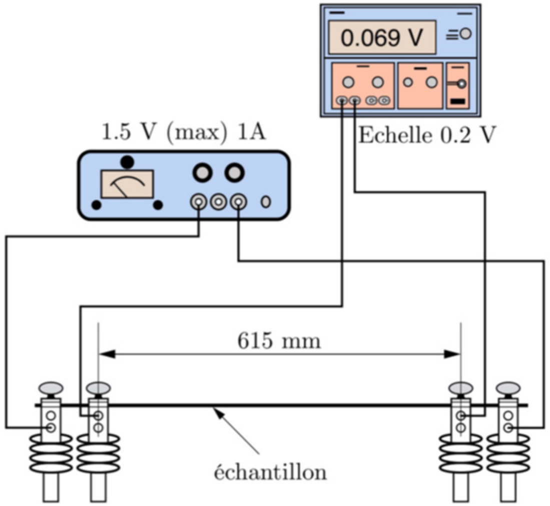
8.4 Résistance d'un conducteur

Expérience :



8.4 Résistance d’un conducteur

Expérience : Mesure de la résistivité de différents matériaux



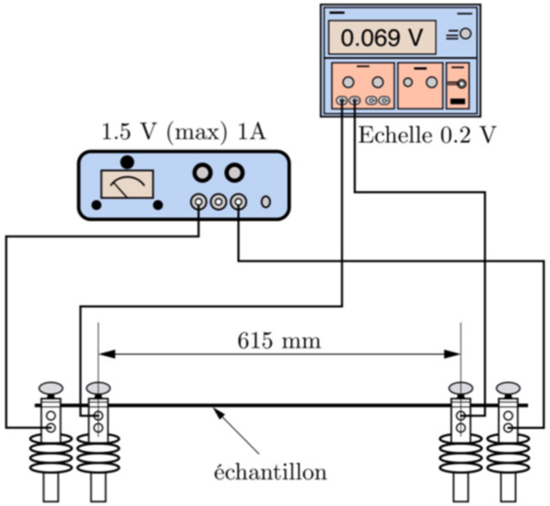
$\rho_{Al} = 28 \times 10^{-9}\ \Omega.m$

$\rho_{Cu} = 17 \times 10^{-9}\ \Omega.m$

$\rho_{acier} = 75 \times 10^{-8}\ \Omega.m$

8.4 Résistance d'un conducteur

Expérience : Mesure de la résistivité de différents matériaux



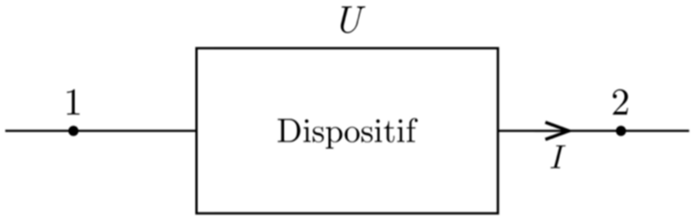
$\rho_{Al} = 28 \times 10^{-9}\ \Omega.m$
$\rho_{Cu} = 17 \times 10^{-9}\ \Omega.m$
$\rho_{acier} = 75 \times 10^{-8}\ \Omega.m$

1. On mesure le courant I et la tension U aux bornes d'un fil d'aluminium, d'acier inox et de cuivre.

2. Le rapport entre la tension U et le courant I donne la résistance R du fil.

3. En divisant la résistance par la longueur l du fil et en le multipliant par la section S, on trouve la résistivité ρ du fil.

8.4.1 Effet Joule

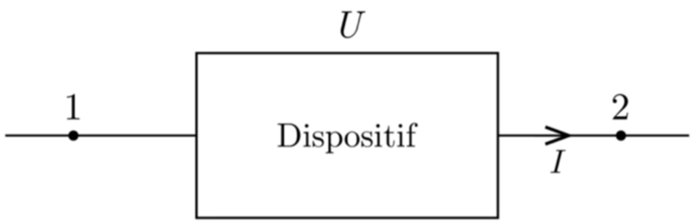


(chauffage électrique)

James Joule

8.4.1 Effet Joule

- Lorsqu'un courant circule dans un fil ou un dispositif de résistance R, la puissance électrique est convertie en puissance thermique.



(chauffage électrique)

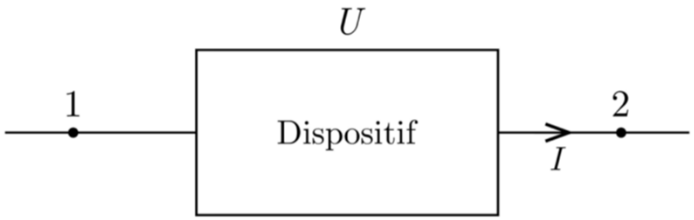
James Joule

8.4.1 Effet Joule

- Lorsqu'un courant circule dans un fil ou un dispositif de résistance *R*, la puissance électrique est convertie en puissance thermique.

- Soit *U* la tension aux bornes de la résistance, la puissance électrique s'écrit :

$$\boxed{P = UI \overset{(8.13)}{=} \frac{U^2}{R} = RI^2 \quad (8.16)}$$



(chauffage électrique)

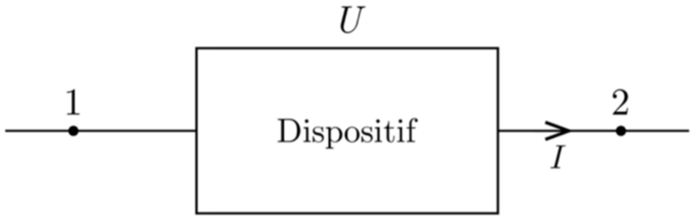
James Joule

8.4.1 Effet Joule

- Lorsqu'un courant circule dans un fil ou un dispositif de résistance *R*, la puissance électrique est convertie en puissance thermique.

- Soit *U* la tension aux bornes de la résistance, la puissance électrique s'écrit :

$$\boxed{P = UI \overset{(8.13)}{=} \frac{U^2}{R} = RI^2 \quad (8.16)}$$



(chauffage électrique)

- Si la puissance électrique *P* est constante durant un intervalle de temps Δt, le travail fournit au dispositif s'écrit :

$$\boxed{W = P\Delta t = \frac{U^2}{R}\Delta t = RI^2\Delta t \quad (8.17)}$$

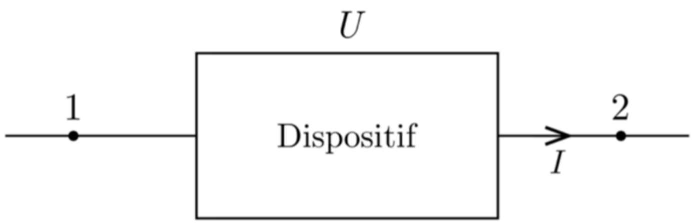
James Joule

8.4.1 Effet Joule

- Lorsqu'un courant circule dans un fil ou un dispositif de résistance R, la puissance électrique est convertie en puissance thermique.

- Soit U la tension aux bornes de la résistance, la puissance électrique s'écrit :

$$\boxed{P = UI \overset{(8.13)}{=} \frac{U^2}{R} = RI^2 \quad (8.16)}$$



(chauffage électrique)

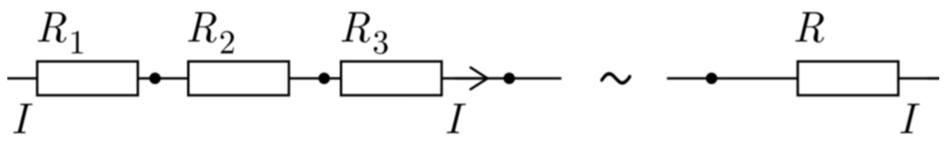
- Si la puissance électrique P est constante durant un intervalle de temps Δt, le travail fournit au dispositif s'écrit :

$$\boxed{W = P\Delta t = \frac{U^2}{R}\Delta t = RI^2\Delta t \quad (8.17)}$$

- Ce travail est converti en chaleur dans la résistance, c'est l'effet Joule.

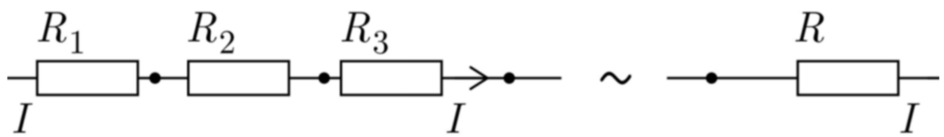
James Joule

8.4.2 Groupement de résistances



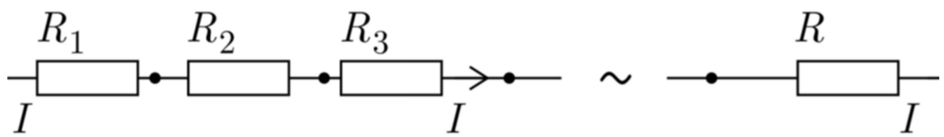
8.4.2 Groupement de résistances

1. Branchement de résistances en série :



8.4.2 Groupement de résistances

1. Branchement de résistances en série :

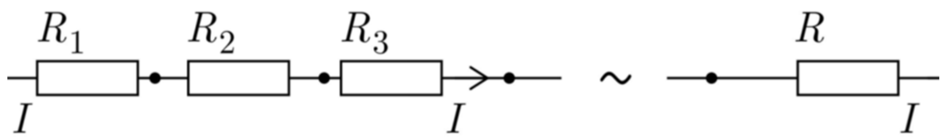


- Tension : $U = RI$; $U_1 = R_1 I$; $U_2 = R_2 I$; $U_3 = R_3 I$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = (R_1 + R_2 + R_3)I = RI$$

8.4.2 Groupement de résistances

1. Branchement de résistances en série :



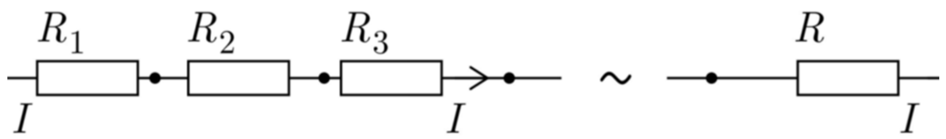
- Tension : $U = RI$; $U_1 = R_1 I$; $U_2 = R_2 I$; $U_3 = R_3 I$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = (R_1 + R_2 + R_3)I = RI$$

- Résistance : $\boxed{R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (8.18)}$

8.4.2 Groupement de résistances

1. Branchement de résistances en série :



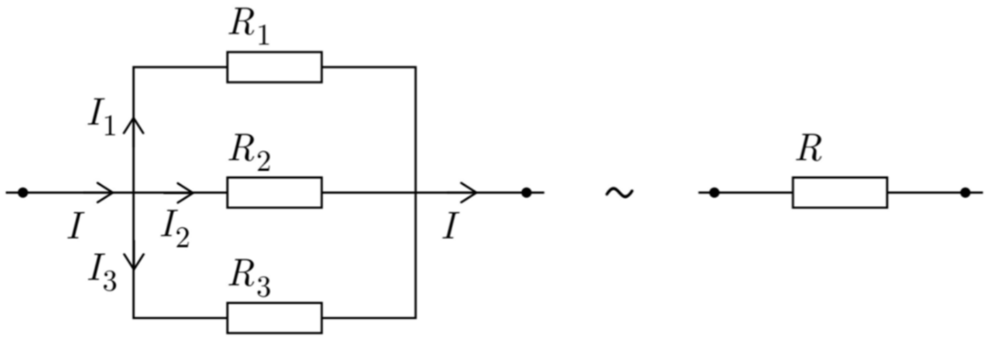
- Tension : $U = RI$; $U_1 = R_1I$; $U_2 = R_2I$; $U_3 = R_3I$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = (R_1 + R_2 + R_3)I = RI$$

- Résistance : $\boxed{R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (8.18)}$

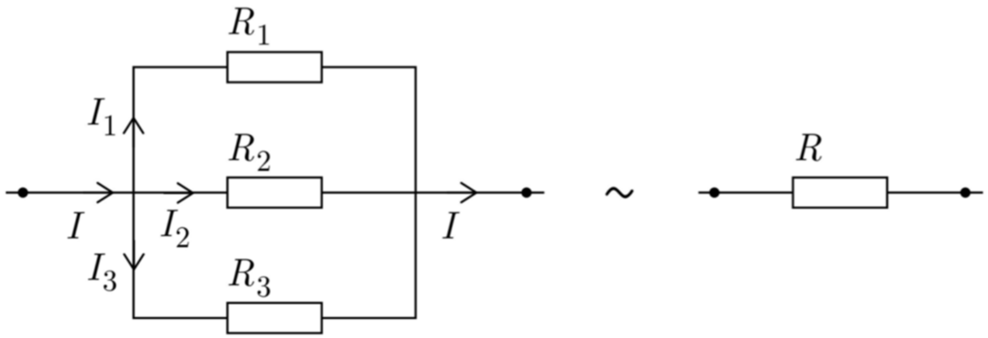
- En série, les résistances s'additionnent.

8.4.2 Groupement de résistances



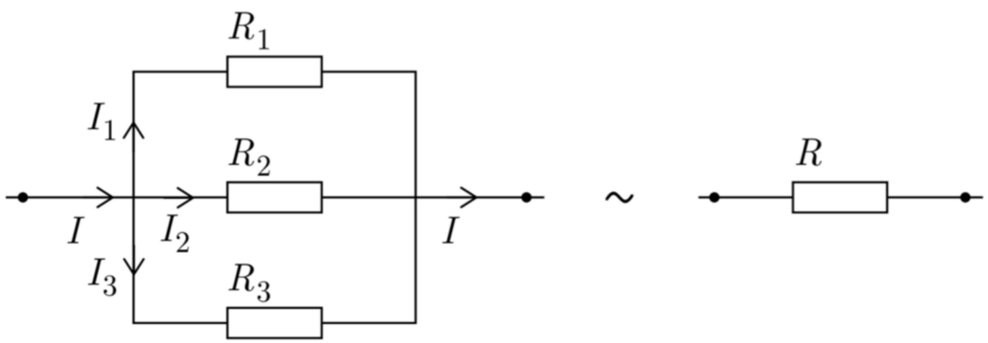
8.4.2 Groupement de résistances

2. Branchement de résistances en parallèle :



8.4.2 Groupement de résistances

2. Branchement de résistances en parallèle :

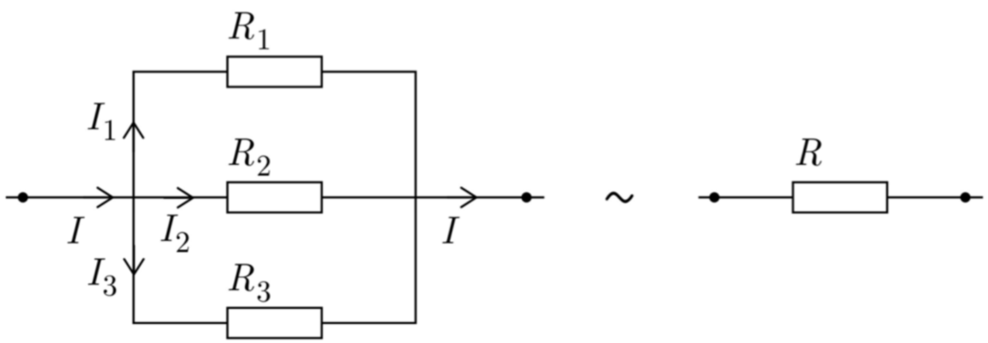


- Courants : $I = \frac{U}{R}; I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) U = \frac{U}{R}$$

8.4.2 Groupement de résistances

2. Branchement de résistances en parallèle :



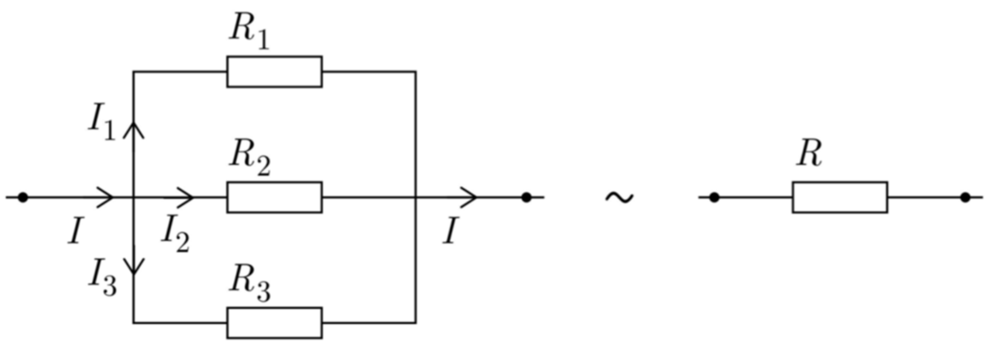
- Courants : $$I=\frac{U}{R};I_1=\frac{U}{R_1};I_2=\frac{U}{R_2};I_3=\frac{U}{R_3}$$

$$I=I_1+I_2+I_3=\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)U=\frac{U}{R}$$

- Résistance : $$\boxed{\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3} \quad (8.19)}$$

8.4.2 Groupement de résistances

2. Branchement de résistances en parallèle :



- Courants : $I = \frac{U}{R}; I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}$

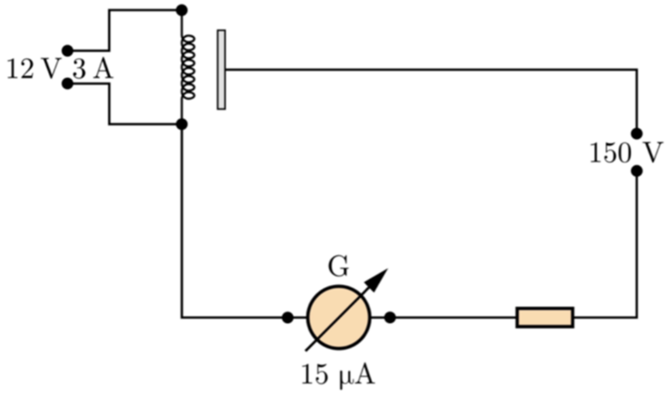
$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)U = \frac{U}{R}$$

- Résistance : $\boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (8.19)}$

- En parallèle, les inverses des résistances s'additionnent.

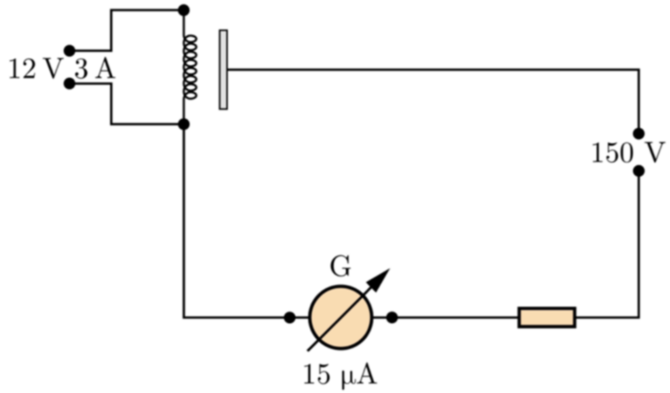
8.4.2 Groupement de résistances

Expérience :



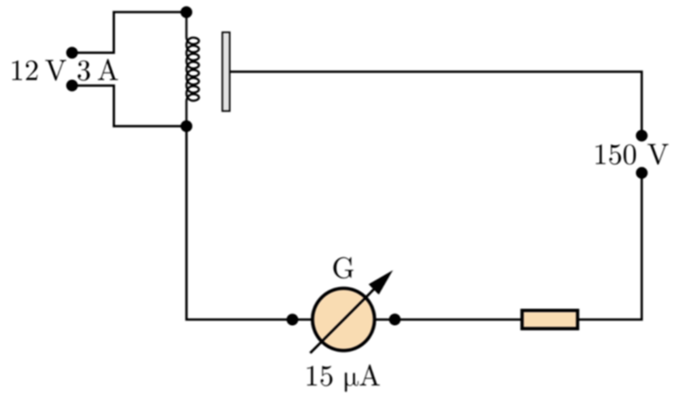
8.4.2 Groupement de résistances

Expérience : Détecteur de fumée



8.4.2 Groupement de résistances

Expérience : Détecteur de fumée



- Lorsque le filament est rouge en l'absence de fumée, il n'y a pas de courant qui circule dans le circuit.

- Lorsqu'on souffle de la fumée (i.e., CO) sur le capteur, un courant électrique s'établit à travers la fumée conductrice, ce qui génère un signal d'alarme.