

5 La résistance électrique

5.1 La nature de la résistance électrique

Expérience :

Appliquons une tension U à un *fil de cuivre* de longueur et de diamètre connus et mesurons l'intensité du courant I .

Ensuite, appliquons la *même tension* U un *fil de fer* de *mêmes dimensions*.

On constate qu'à même tension, l'intensité du courant est bien supérieure dans le fil de cuivre que dans le fil de fer.

Conclusion :

Le fil de fer conduit moins bien le courant électrique que le fil de cuivre.

Explication :

Dans un métal (comme dans tout autre solide), les atomes sont disposés régulièrement et ne peuvent quitter leur place fixe. Ces atomes perdent facilement un ou deux de leurs électrons périphériques ; de cette façon, ils se transforment en *ions chargés positivement*. Chaque ion continue à occuper la même place que l'atome dont il provient. Au contraire, les *électrons* libérés peuvent se déplacer dans le métal.

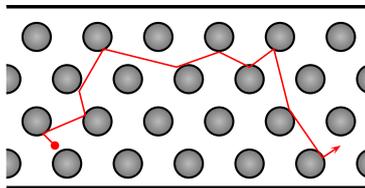


FIGURE III.7 – Trajet d'un électron dans un fil métallique sous tension

Lorsqu'on applique une *tension* aux bornes du fil métallique, ces *électrons libres* se mettent en mouvement, mais **ils se heurtent continuellement contre les ions** qui se trouvent sur leur chemin. Lors de chaque choc, l'électron est **freiné**, mais les autres électrons qui suivent le font récupérer sa vitesse perdue.

Lors d'un choc, l'électron cède une partie de son énergie à l'ion heurté. Il en résulte une plus forte *agitation de l'ion* autour de sa position d'équilibre, ce qui se manifeste par une *élévation de la température* du métal. Ceci explique l'**effet calorifique** du courant électrique.

La résistance électrique est la propriété des conducteurs électriques de s'opposer au passage des électrons.

La résistance électrique dépend de la nature et des dimensions du conducteur. La résistance d'un conducteur de matériau donné est d'autant plus élevée que la longueur du conducteur est élevée et que son diamètre est petit.

5.2 Variation de la résistance avec la température

Si la température d'un conducteur *augmente*, ses ions vont s'agiter plus fortement. La conséquence en est que les électrons passent encore moins bien à travers le conducteur : la résistance *augmente*.

Ceci est valable pour la plupart des conducteurs solides (cuivre, fer, ...). Cependant, il existe un certain nombre d'alliages pour lesquels la résistance est constante (dans un intervalle de température assez grand). Le **Constantan (CuNi)**, ainsi que le **Chrom-Nickel (CrNi)** sont des exemples de tels alliages.

5.3 La résistance électrique : une grandeur physique

Définition :

La résistance électrique d'un conducteur est le quotient de la tension appliquée à ses bornes par l'intensité du courant qui le traverse.

Symbole de la résistance électrique : R

Formule :

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

Unité SI de la résistance : Ω (Ohm)

Comme l'unité SI de la tension est le Volt (V), celle de l'intensité du courant l'Ampère (A), on a :

$$1\Omega = 1\frac{V}{A}$$

Si un courant de 1 Ampère circule à travers un conducteur lorsqu'on applique une tension de 1 Volt à ses bornes, la résistance de ce conducteur vaut 1Ω .

Pour une tension donnée, la résistance est d'autant plus élevée que l'intensité du courant est faible.

5.4 Résistivité

A une température donnée, la résistance R d'un conducteur (un fil p.ex.) est :

- inversement proportionnelle à l'aire S de la section du conducteur (si l'aire de la section est grande, les électrons peuvent plus facilement passer à travers les obstacles formés par les noyaux atomiques)
- proportionnelle à la longueur l du conducteur (si le conducteur est plus long, les électrons rencontreront plus d'obstacles sur leur chemin)

En résumé :

$$\begin{aligned} R &\sim l \\ R &\sim \frac{1}{S} \end{aligned}$$

On a donc que :

$$R \sim \frac{l}{S}$$

ou encore :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

La constante de proportionnalité ρ est la *résistivité*. Elle est une *caractéristique du matériau* du conducteur.

En transformant l'équation précédente, on obtient $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$. Comme l'unité SI de la résistance est Ω , celle de la section le m^2 et celle d'une longueur le m , on trouve pour l'unité SI de la résistivité :

$$[\rho] = \frac{\Omega \cdot m^2}{m} = \Omega \cdot m$$

Comme les sections des fils sont le plus souvent exprimées en mm^2 , une *unité courante* de la résistivité est $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$. Comme $1 mm^2 = 10^{-6} m^2$:

$$1 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} = 10^{-6} \frac{\Omega \cdot m^2}{m} = 10^{-6} \Omega \cdot m$$

substance	$\rho \left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right)$
argent	$15 \cdot 10^{-3}$
cuiivre	$17 \cdot 10^{-3}$
or	$22 \cdot 10^{-3}$
aluminium	$26 \cdot 10^{-3}$
fer	$104 \cdot 10^{-3}$
constantan	$500 \cdot 10^{-3}$

TABLE III.2 – Résistivité de quelques matériaux courants à 27°C

Exemple :

Calculons la résistance d'un fil de cuivre de section $2,5 mm^2$ et d'une longueur de 80 m :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 17 \cdot 10^{-3} \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \frac{80 m}{2,5 mm^2} = 0,544 \Omega.$$

5.5 Applications pratiques

5.5.1 Résistance de fils conducteurs

Pour éviter une perte importante d'énergie électrique (en chaleur) dans les fils conducteurs, on a intérêt à choisir des conducteurs à faible résistance électrique.

Si on veut cependant utiliser l'effet électrique du courant (dans les chauffages électriques, les sèche-cheveux, ...), il faut utiliser des fils à résistance élevée.

5.5.2 Résistances techniques

Dans les circuits électriques et électroniques, il faut parfois **limiter l'intensité du courant** afin d'éviter l'endommagement de certaines composantes. On utilise à ces fins des «**résistances techniques**⁶» : ce sont des composantes électriques/électroniques dont la résistance a une valeur bien déterminée. Usuellement, elles sont de forme cylindrique et sont constituées d'un support en porcelaine, autour duquel on a enroulé une couche hélicoïdale en carbone. L'ensemble est recouvert d'une couche de vernis protecteur.

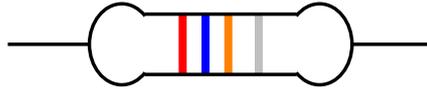


FIGURE III.8 – Une résistance technique

Code de couleurs :

0		noir	$\pm 5\%$		or
1		marron	$\pm 10\%$		argent
2		rouge			
3		orange			
4		jaune			
5		vert			
6		bleu			
7		violet			
8		gris			
9		blanc			

TABLE III.3 – Code couleurs

On peut voir sur une résistance des *anneaux de couleur*. Chaque couleur correspond à un chiffre (v. tableau III.3). La correspondance entre les chiffres et les couleurs des anneaux constitue ce qu'on appelle le **code des couleurs** et permet de déterminer la valeur en Ohm d'une résistance. Pour lire cette valeur, il faut d'abord placer la résistance dans le bon sens. En général, la résistance a un anneau doré ou argenté, qu'il faut placer à droite. Dans d'autres cas, c'est l'anneau le plus large qu'il faut placer à droite.

Les deux premiers anneaux sont les chiffres significatifs et le troisième est le multiplicateur (la puissance de 10 avec laquelle il faut multiplier les chiffres significatifs). Le 4^{ème} anneau correspond à la tolérance.

$$\text{Valeur de la résistance} = [\text{chiffre 1}^{\text{er}} \text{ anneau}][\text{chiffre 2}^{\text{ème}} \text{ anneau}] \cdot 10^{[\text{chiffre 3}^{\text{ème}} \text{ anneau}]}$$

6. Couramment, on appelle les résistances techniques simplement 'résistances', bien qu'il y ait une différence entre une résistance technique et la grandeur physique 'résistance'

Exemple :

La résistance de la figure III.8 est caractérisée par les anneaux

rouge bleu orange argent

On a donc : $R = 26 \cdot 10^3 \Omega \pm 10\%$

$$R = 26 \text{ k}\Omega = 26.000 \Omega$$

Symbole d'une résistance :

Dans les circuits électriques, on représente une résistance par son symbole normalisé :

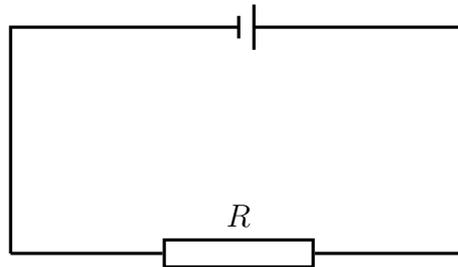


FIGURE III.9 – résistance dans un circuit électrique

5.6 La loi d'Ohm

5.6.1 Expérience

Appliquons différentes tensions aux bornes d'un **fil de constantan**. Pour chaque tension U , mesurons l'intensité I du courant électrique qui traverse le fil.

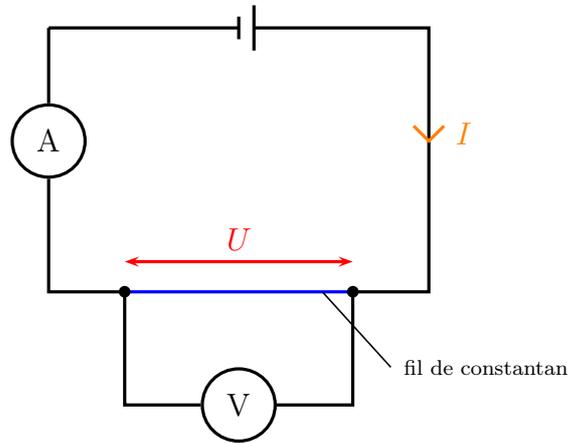


FIGURE III.10 – Circuit électrique

$U(V)$	$I(A)$	$\frac{U}{I} (\frac{V}{A})$

TABLE III.4 – Tableau de mesure

On constate (*aux erreurs expérimentales près*) :

- si la tension U est doublée, l'intensité du courant I est doublée.
- si la tension U est triplée, l'intensité du courant I est triplée.
- si la tension U est multipliée par n , l'intensité du courant I est multipliée par n .

Conclusion :

L'intensité I du courant qui traverse le fil de constantan est **proportionnelle** à la tension U appliquée à ses bornes.

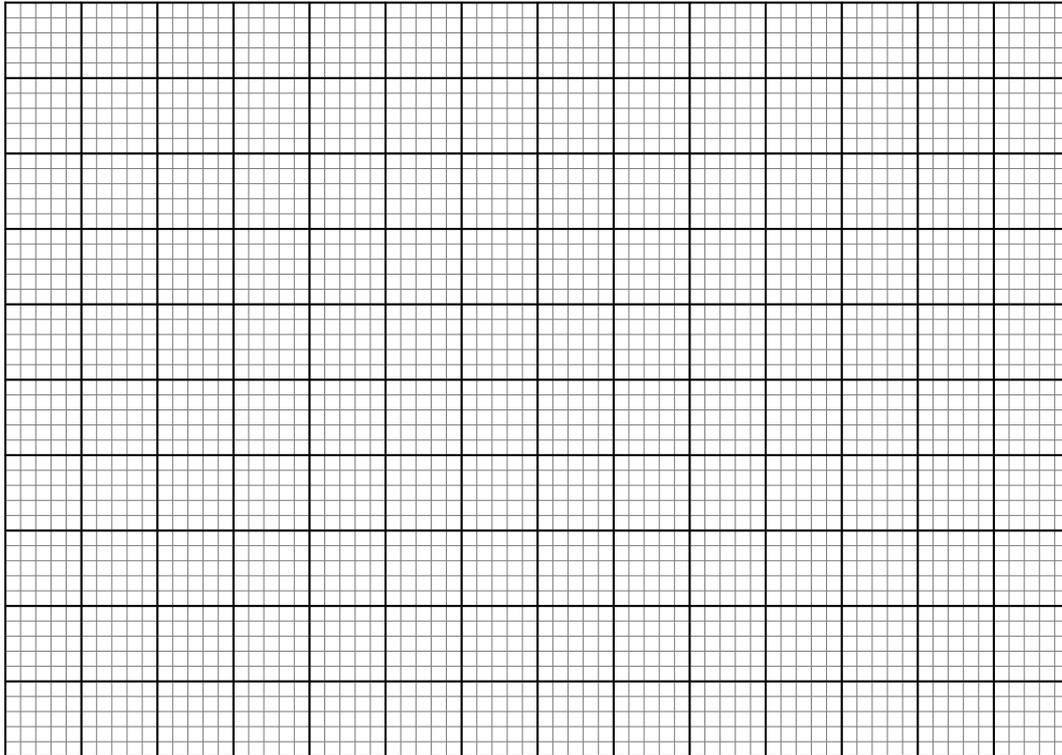
Calcul du rapport des couples de valeurs :

Pour chaque couple de valeurs, calculons le rapport $\frac{U}{I}$:

On constate qu'aux erreurs expérimentales près, ce rapport est une constante. Ceci confirme le fait que l'intensité I est proportionnelle à la tension U .

Représentation graphique :

Représentons les points de mesure sur un graphique (U en fonction du I) :



Aux erreurs expérimentales près, on constate que les points se trouvent sur une **droite passant par l'origine**.

Ajoutons cette droite au graphique et calculons sa **pente** :

Coordonnées de 2 points se trouvant sur la droite :

A(,) B(,)

$$\text{pente} = \frac{U_B - U_A}{I_B - I_A} =$$

Conclusion :

Comme la pente est le rapport entre la variation de la tension par la variation de l'intensité, la valeur de la pente correspond à la **résistance** R du fil de constantan (cette valeur correspond à peu près à la valeur moyenne du rapport calculé dans le tableau III.4.

Le fil de constantan de l'expérience a donc une résistance de :

$$R =$$

Remarque :

Si on répète l'expérience avec (p.ex.) un fil de fer, on constate que celui-ci n'obéit pas à la loi d'Ohm. En fait, lorsqu'on augmente la tension aux bornes d'un fil de fer, l'intensité du courant va aussi augmenter. Mais cette augmentation de l'intensité du courant entraîne en même temps une **augmentation de la température** du fil. Or plus la température augmente, plus la **résistance du fil augmente** aussi. La conséquence en est que l'intensité du courant n'est **pas proportionnelle** à la tension appliquée.

Pour qu'un fil de fer obéisse à la loi d'Ohm, il faudrait le maintenir à température constante (par exemple en le refroidissant dans un bain d'eau).

5.6.2 Enoncé de la loi d'Ohm

Quand l'intensité du courant à travers un conducteur est proportionnelle à la tension appliquée à ses bornes, on dit que le conducteur obéit à la loi d'Ohm.

La loi d'Ohm est valable pour des fils conducteurs maintenus à température constante⁷. Elle est aussi valable (indépendamment de la température) pour les résistances techniques ainsi que pour les fils faits de certains alliages (Constantan, CrNi, ...).

7. Souvent, le courant dans un fil métallique est tellement faible que le dégagement de chaleur y est négligeable : la loi d'Ohm est alors vérifiée