

---

## Partie II - Electricité

---

L'électricité est la branche de la physique qui traite de l'ensemble des phénomènes associés à la présence et au mouvement de charges électriques.

Le mot électricité vient du grec *elektron*, ce qui signifie ambre (« Bernstein »). En effet, cette matière a la propriété d'attirer des objets légers après avoir été frottée – ce qui témoigne de la présence de charges électriques.





## Table des matières

### Partie II - Electricité

1	La charge électrique .....	1
2	Interactions électriques.....	1
3	L'énergie électrique.....	2
4	La tension électrique .....	2
5	Le courant électrique .....	4
6	L'intensité du courant électrique .....	5
7	Étude expérimentale d'un circuit électrique simple .....	5
8	Générateurs et récepteurs .....	7
9	La puissance électrique .....	7
10	La résistance électrique.....	9
10.1	Interprétation microscopique de la résistance électrique.....	9
10.2	Conducteurs ohmiques .....	11
10.3	La caractéristique courant-tension d'un récepteur électrique .....	12
10.4	La lampe à incandescence.....	12
11	Lois des circuits simples .....	14
11.1	Circuit série.....	14
11.2	Circuit parallèle .....	15
11.3	Synthèse .....	16
12	La résistance équivalente .....	17
12.1	Résistances en série .....	17
12.2	Résistances en parallèle .....	18
12.3	Application.....	18

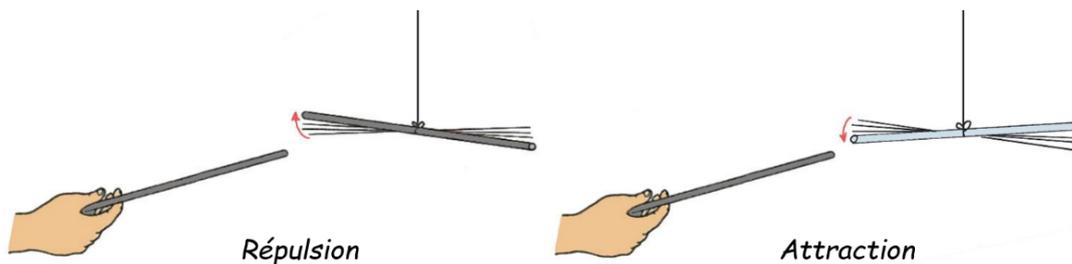
## 1 La charge électrique

La **charge électrique** (Symbole  $q$  ou  $Q$ ) est une caractéristique fondamentale des particules élémentaires. La charge électrique est mesurable et son unité SI est le **coulomb<sup>1</sup> (C)**.

Les **protons**, confinés dans le noyau atomique, portent une charge électrique **positive** de valeur  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , dite la **charge élémentaire**.

Les **électrons**, beaucoup plus légers et mobiles autour du noyau atomique, portent une charge électrique **négative** de même valeur absolue :  $-e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

## 2 Interactions électriques

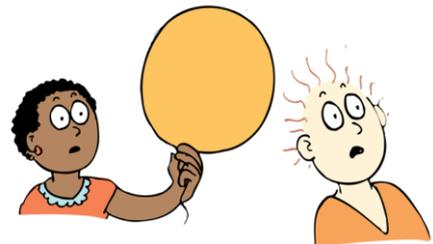


Les phénomènes électriques reposent sur l'**interaction électrique** entre particules chargées : **des charges de même signe se repoussent ; des charges de signe opposé s'attirent.**



### ■ As-tu compris?

1. Un ballon en plastique est frotté contre tes cheveux. Le ballon se charge négativement. Que se passe-t-il lors de ce phénomène au niveau microscopique ?
2. Déterminer le nombre d'électrons que le ballon a arraché à tes cheveux si sa charge électrique vaut  $Q = -0,32 \text{ mC}$ .
3. Pourquoi n'est-il pas possible de transférer des protons d'un corps à un autre ?
4. Un bâton en verre contient  $8 \cdot 10^{18}$  protons. Combien d'électrons contient-il si sa charge électrique vaut  $6,4 \text{ mC}$  ?



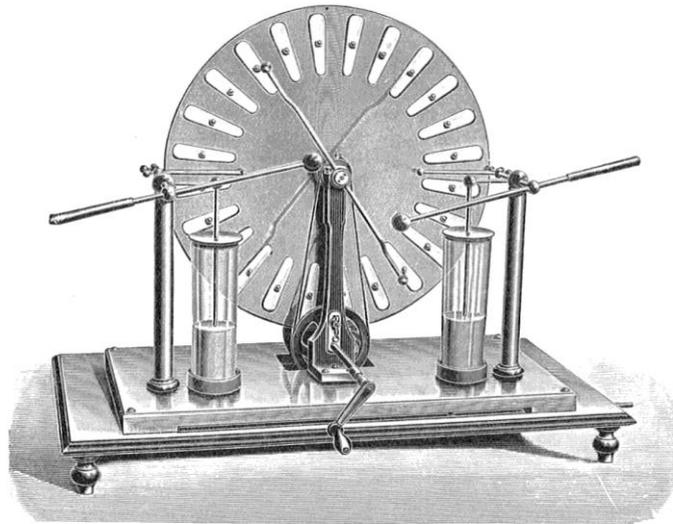
<sup>1</sup> En l'honneur de Charles Augustin de Coulomb, physicien français du 18<sup>e</sup> siècle et père fondateur de l'électrostatique.

### 3 L'énergie électrique

**L'énergie** désigne la capacité de provoquer un changement. Autrement dit : sans énergie, il ne se passe rien !

L'énergie est mesurable et son unité SI est le **joule (J)**.

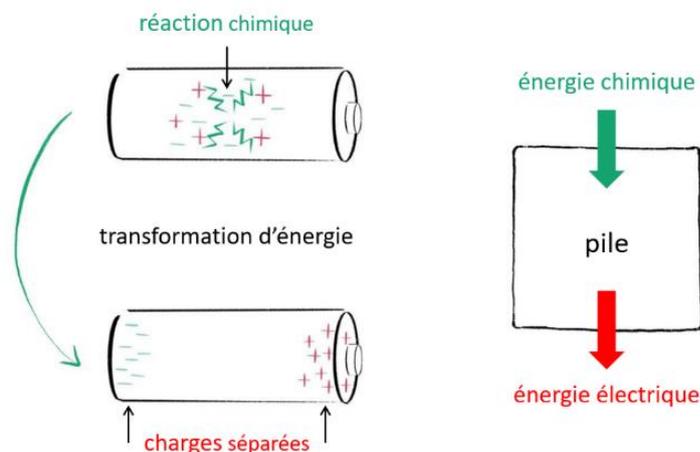
En actionnant la manivelle de la machine de Wimshurst, on provoque une séparation de charges électriques : le bras gauche de la machine se charge positivement (manque d'électrons) et le bras droit négativement (excès d'électrons). Au bilan, de l'énergie mécanique (mouvement de la manivelle et du disque) est transformée en énergie électrique (séparation de charges électriques). En effet, une fois les charges séparées, la machine possède la capacité de créer un changement à son tour, puisqu'elle peut se décharger de manière quelque peu spectaculaire en produisant un petit éclair.



**L'énergie électrique** est la forme d'énergie liée à aux charges électriques. Elle se manifeste lors de la séparation et lors du mouvement de charges électriques.

### 4 La tension électrique

Une pile (« Batterie ») est une source d'énergie électrique. Les réactions chimiques entre les substances contenues dans la pile provoquent une séparation de charges électriques.



**Conséquence** : le pôle + d'une pile est chargé positivement (manque d'électrons) ; le pôle - est chargé négativement (excès d'électrons).

Sur différentes piles on peut lire différentes inscriptions, p.ex. 1,5 V ou 9 V. Ces nombres, exprimés en **volt**<sup>2</sup> (V), indiquent la **tension électrique** entre les pôles de la pile.

La **tension électrique** entre deux bornes (p.ex. entre les pôles d'une pile) est égale à l'énergie électrique fournie/reçue entre ces bornes par unité de charge électrique.

$$\text{tension électrique (en V)} = \frac{\text{énergie électrique (en J)}}{\text{charge électrique (en C)}} \quad \text{Formule : } U = \frac{\Delta E_{\text{el}}}{Q}$$

Concrètement, lorsqu'on mesure une tension de  $U = 9 \text{ V}$  entre les pôles d'une pile, cela signifie qu'une charge de  $Q = 1 \text{ C}$  acquiert une énergie électrique de  $\Delta E_{\text{el}} = Q \cdot U = 1 \text{ C} \cdot 9 \text{ V} = 9 \text{ J}$  en étant séparée par la pile.

Or, une fois séparées, les charges électriques ont tendance à vouloir retrouver un état de neutralité électrique. Plus la tension entre les pôles d'une pile est grande, plus les charges séparées possèdent de l'énergie qu'elles peuvent libérer en se déplaçant. Par conséquent, la valeur de la tension entre les pôles d'une pile caractérise cette pile en tant que **source d'énergie électrique**.

#### Remarques

- La tension électrique exprime une sorte de **différence de pression électrique** entre deux points. Plus la tension entre deux points est grande, plus forte sera la tendance des particules chargées à vouloir gagner un état plus équilibré d'un point de vue électrique.
- La tension électrique en un point est toujours nulle. En effet, il ne peut y avoir de différence électrique en un seul et même point.
- La tension joue un rôle extrêmement important en électricité parce qu'elle décrit comment l'énergie est transférée/transformée par un flux des charges électriques (cf. paragraphe 5).

Instrument de mesure : un **voltmètre branché en parallèle** permet de mesurer la tension électrique entre deux points (p.ex. entre les bornes d'un composant électrique) (cf. paragraphe 7).

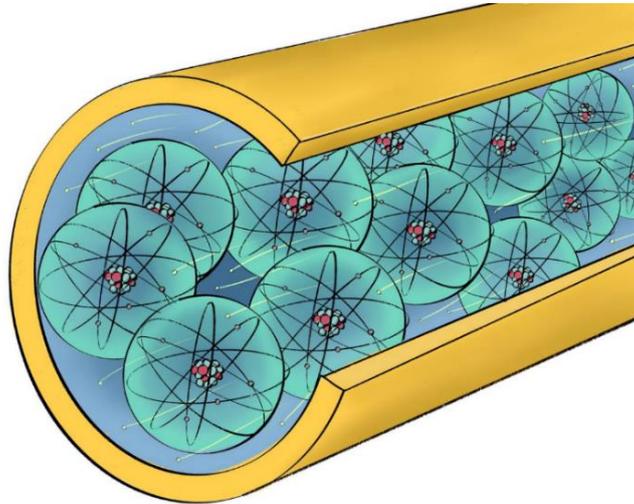
#### ■ As-tu compris?

5. Quel est le point commun entre la machine de Wimshurst et une pile ? En quoi sont-ils différents ? Expliquer !
6. Mesurer la tension en une seule borne n'a pas de sens. Pourquoi ?
7. Les tensions aux bornes d'une pile AAA (1,5 V) et d'une pile Mono (1,5 V) sont identiques. Pourtant, les piles sont différentes. Expliquer !
8. La tension entre les pôles d'une pile vaut 4,5 V.
  - a. Quel travail doit être effectué pour déplacer un électron du pôle + vers le pôle - de cette pile ?
  - b. En déduire ce qui s'est passé avec l'énergie de l'électron lors de ce transfert. Justifier à l'aide du lien entre les grandeurs travail et énergie.
9. Une pile de 9 V neuve peut fournir une énergie électrique totale de 19440 J. Que vaut la quantité de charge totale que cette pile peut séparer ?

<sup>2</sup> En l'honneur d'Alessandro Volta, physicien italien du 19<sup>e</sup> siècle à qui l'on doit la première pile électrique.

## 5 Le courant électrique

On parle d'un courant électrique lorsque des charges électriques se déplacent de manière collective au sein de la matière.



Les métaux (or, cuivre, aluminium, ...) possèdent des électrons - porteurs d'une charge élémentaire négative - très peu liés aux noyaux atomiques. Ces **électrons libres** peuvent se déplacer d'un atome à l'autre dès qu'une légère force les y contraint.

Lorsque les électrons libres se déplacent de manière collective à travers un fil métallique, on dit que le fil est parcouru par un **courant électrique**.

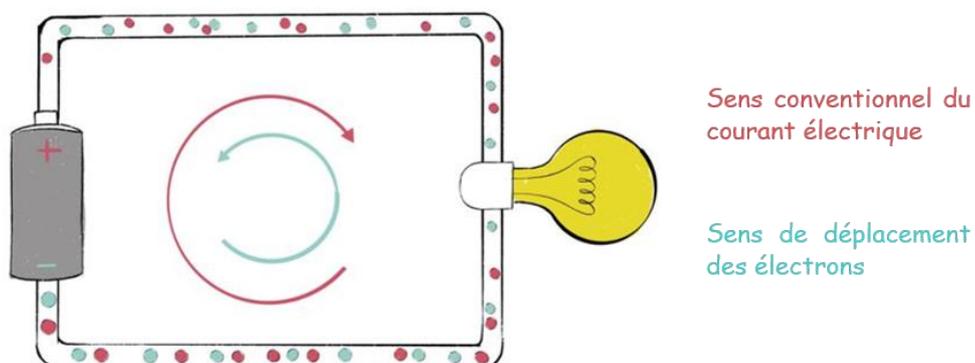
De manière générale, un courant électrique est un flux de charges électriques.

Les matériaux qui ont la propriété de permettre le passage du courant électrique sont appelés des **conducteurs électriques** ; les matériaux qui ont la propriété inverse d'empêcher le passage du courant électrique sont appelés des **isolants**.

Pour obtenir un courant électrique, il suffit de relier les pôles d'une source électrique (p.ex. d'une pile) à l'aide d'un matériau conducteur. Les porteurs de charge libres sont alors mis en mouvement en raison de la tension électrique (différence de pression électrique) qui existe entre les pôles de la source d'énergie électrique. La **tension** électrique est la **cause** du **courant** électrique.

### Sens du courant électrique

Par convention<sup>3</sup>, le courant électrique circule du pôle + vers le pôle - de la source d'énergie électrique. En raison de leur charge négative, les électrons libres se déplacent en sens inverse, c.à.d. du pôle - vers le pôle + de la source. Les protons, confinés dans les noyaux atomiques, ne se déplacent pas.



Sens conventionnel du courant électrique

Sens de déplacement des électrons

<sup>3</sup> Le sens (positif) du courant électrique a été fixé de cette façon par la communauté scientifique.

## 6 L'intensité du courant électrique

L'intensité du courant électrique (« Stromstärke »), mesurée en **ampère**<sup>4</sup> (**A**), indique si le flux de charge électrique est fort ou faible.

L'**intensité** du courant électrique est égale à la charge électrique transportée à travers une section du conducteur par unité de temps.

$$\text{intensité du courant (en A)} = \frac{\text{charge électrique (en C)}}{\text{intervalle de temps (en s)}} \quad \text{Formule : } I = \frac{Q}{\Delta t}$$

Instrument de mesure : un **ampèremètre branché en série** permet de mesurer l'intensité du courant dans un conducteur électrique (cf. paragraphe 7).

## 7 Étude expérimentale d'un circuit électrique simple

Considérons un circuit électrique où une pile alimente une petite lampe à incandescence (« Glühlampe »). Les mesures de la tension électrique  $U$  et de l'intensité du courant électrique  $I$  sont faciles à faire et nous renseignent sur le fonctionnement du circuit électrique.

Mesure et notation de la tension électrique

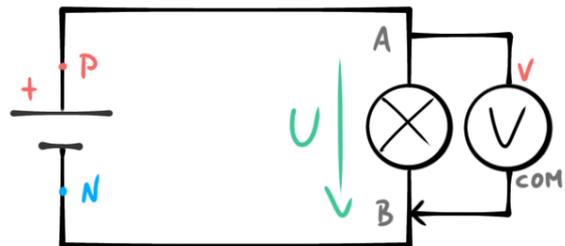
Le voltmètre indique une tension positive si la borne **V** de l'appareil est plus proche du pôle **+** que la borne **COM**. Dans le cas contraire, la mesure donne une tension négative de même valeur absolue.

**Notation** : La tension entre deux points est indiquée à l'aide d'une flèche qui pointe vers le pôle négatif de la source.

Aux bornes de la pile, c'est-à-dire entre les pôles P (positif) et N (négatif), on mesure  $U_{PN} = \text{---} \text{ V}$ .

Aux bornes d'un fil de connexion, entre les points P et A par exemple, on mesure  $U_{PA} = \text{---} \text{ V}$ .

Aux bornes de la lampe à incandescence, c'est-à-dire entre les points A et B, on mesure  $U_{AB} = \text{---} \text{ V}$ .



Mesure et notation de l'intensité du courant électrique

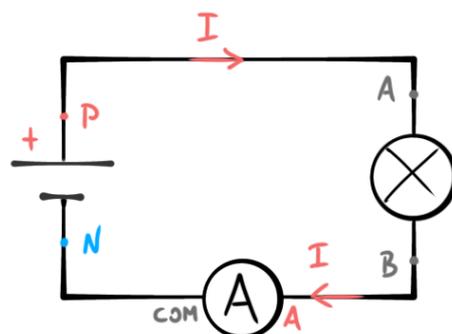
L'ampèremètre indique une intensité positive si la borne **A** de l'appareil est plus proche du pôle **+** que la borne **COM**. Dans le cas contraire, la mesure donne une intensité négative de même valeur absolue.

**Notation** : L'intensité du courant est indiquée à l'aide d'une flèche qui pointe vers le pôle négatif de la source (sens conventionnel du courant électrique).

Près du pôle **+** de la pile, c'est-à-dire au point P, on mesure  $I_P = \text{---} \text{ A} = \text{---} \text{ mA}$ .

« Avant » la lampe, c'est-à-dire au point A, on mesure  $I_A = \text{---} \text{ A} = \text{---} \text{ mA}$ .

« Après » la lampe, c'est-à-dire au point B, on mesure  $I_B = \text{---} \text{ A} = \text{---} \text{ mA}$ .



<sup>4</sup> En l'honneur de André-Marie Ampère, physicien français du 19<sup>e</sup> siècle et pionnier de l'électromagnétisme.

## Interprétation des mesures

On constate que l'intensité du courant dans le circuit est constante (aux erreurs expérimentales près). Peu importe où l'on mesure, une même quantité de charge électrique  $Q$  passe à travers la section du circuit pendant une même durée  $\Delta t$ . En particulier, on constate que le courant électrique n'est pas « consommé » par la lampe. Rien ne se crée et rien ne se perd en termes de charge électrique.

Or, le courant électrique transporte l'énergie électrique que possèdent les charges jusqu'à la lampe. En traversant la lampe, l'énergie électrique portée par les charges est transformée puis libérée sous forme de chaleur et de lumière.

Par exemple, pendant  $\Delta t = 1 \text{ min}$ , une quantité de charge :

$$Q = I \cdot \Delta t = \underline{\hspace{4cm}}$$

a traversé la lampe à incandescence. Lors de la traversée, cette quantité de charge a perdu une quantité d'énergie électrique :

$$\Delta E_{\text{el}} = Q \cdot U = \underline{\hspace{4cm}}$$

En vertu du principe de conservation de l'énergie, cette même quantité d'énergie est libérée pendant ce temps  $\Delta t = 1 \text{ min}$  sous forme d'énergie thermique et d'énergie lumineuse.

Le fait que l'on mesure une tension quasi nulle aux bornes des fils de connexion (entre P et A par exemple) indique que les charges électriques ne perdent pratiquement aucune énergie en parcourant les fils de connexion. En effet :

$$\Delta E_{\text{el}} = Q \cdot U_{PA} \cong 0$$

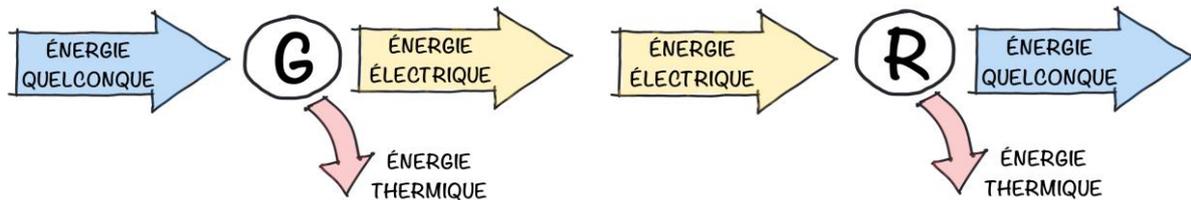
### ■ As-tu compris?

10. Que vaut l'intensité du courant lorsqu'une charge de 590 mC traverse la section d'un circuit électrique en 2 secondes ? Quelle charge électrique traverse alors la section en une minute ?
11. L'accumulateur d'un téléphone portable porte l'indication « 1000 mAh ». Lorsque l'écran est réglé sur une luminosité moyenne, le téléphone est alimenté par un courant électrique d'une intensité de 200 mA.
  - a. Montrer que le « mAh » est une unité pour exprimer la charge électrique et exprimer la valeur indiquée sur l'accumulateur en unité SI.
  - b. Quelle est l'autonomie du téléphone lorsqu'on l'utilise en luminosité moyenne ?
12. Ton grand frère dit qu'il faut brancher l'ampèremètre avant la lampe à incandescence parce que sinon la mesure est faussée, étant donné que la lampe consomme le courant électrique. A-t-il raison ? Expliquer à l'aide de la notion d'énergie.
13. On charge un accumulateur de smartphone sous une tension de 10 V en lui fournissant une énergie totale de 15 kJ.
  - a. Déterminer la charge totale de l'accumulateur si 90% de cette énergie sont réutilisables sous forme électrique (on parle d'un rendement de 90%).
  - b. Combien de temps l'accumulateur pleinement chargé peut-il débiter un courant constant d'une intensité de 250 mA ?

## 8 Générateurs et récepteurs

On distingue entre deux types de composants électriques : les générateurs et les récepteurs.

Les **générateurs** électriques (ou sources d'énergie électrique) sont des dipôles qui transforment une forme d'énergie quelconque en énergie électrique.



Les **récepteurs** électriques sont des dipôles qui transforment l'énergie électrique en une autre forme d'énergie.

### Exemples

- Une cellule photovoltaïque est un générateur : elle transforme l'énergie lumineuse qu'elle reçoit en énergie électrique. La majeure partie est toutefois perdue sous forme d'énergie thermique.
- Un moteur électrique est un récepteur : il transforme l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie cinétique et en énergie thermique.
- Un accumulateur de téléphone portable joue les deux rôles : c'est un générateur lors d'une utilisation sans fil du téléphone et un récepteur lors de la recharge du téléphone.

## 9 La puissance électrique

La puissance électrique nous renseigne sur la « vitesse » des transformations énergétiques qui ont lieu dans un circuit électrique.

La **puissance électrique** d'un dipôle est égale à l'énergie électrique qu'il fournit/reçoit par unité de temps :

$$\text{puissance électrique (en W)} = \frac{\text{énergie électrique (en J)}}{\text{intervalle de temps (en s)}} \quad \text{Formule : } \mathcal{P}_{\text{el}} = \frac{\Delta E_{\text{el}}}{\Delta t}$$

Puissance électrique en fonction de  $U$  et  $I$

Les définitions de la tension  $U$  et de l'intensité  $I$  donnent :

$$U = \frac{\Delta E_{\text{el}}}{Q} \Rightarrow \Delta E_{\text{el}} = U \cdot Q \quad I = \frac{Q}{\Delta t}$$

En remplaçant ces expressions dans la définition de  $\mathcal{P}_{\text{el}}$  on obtient :

$$\mathcal{P}_{\text{el}} = \frac{\Delta E_{\text{el}}}{\Delta t} = \frac{U \cdot Q}{\Delta t} = U \cdot \frac{Q}{\Delta t} = U \cdot I \quad \rightarrow \quad \mathcal{P}_{\text{el}} = U \cdot I$$

■ **As-tu compris?**

14. Etablir la relation  $\mathcal{P}_{el} = U \cdot I$  à partir des définitions de la tension et de l'intensité du courant.
15. Une pile alimente le moteur électrique d'un petit ventilateur.
- Décrire les transformations d'énergie qui ont lieu au niveau de la pile et au niveau du moteur électrique.
- On mesure la tension aux bornes de la pile et l'intensité du courant dans le moteur.
- Faire un schéma du montage en indiquant les instruments de mesure et les grandeurs mesurées.
- Le voltmètre indique 9V et le ventilateur porte l'inscription (9V ; 1W).
- Que vaut l'intensité du courant dans le moteur ?
  - Combien d'énergie électrique est fournie par la pile en 5 minutes ?
  - Combien d'électrons ont traversé le moteur pendant ce temps ?
16. Un sèche-cheveux porte l'inscription (2300 W ; 230 V).
- Que vaut l'intensité du courant électrique lorsqu'il fonctionne en pleine puissance ?
  - Combien d'énergie électrique est transformée lorsqu'une fille sèche ses cheveux (durée typique de 6 min) ? Donner le résultat en J et en Wh.
17. La centrale nucléaire de Cattenom comprend 4 réacteurs dont chacun fournit une puissance électrique de 1300 MW. Evaluer la production annuelle d'énergie électrique sachant qu'un réacteur nucléaire tourne 24h/24 et 7j/7. Donner le résultat en unité SI et en TWh.
18. La consommation électrique d'un ménage s'élève en moyenne à 300 kWh par mois.
- Evaluer les frais annuels sachant que le prix de l'électricité est de 0,12 €/kWh.
  - Estimer le nombre de ménages qui peuvent être alimentés par la centrale de Cattenom.
19. Une pile de 4,5 V alimente une petite lampe qui porte l'inscription (4,5 V ; 1 W).
- Décrire les transformations d'énergie qui ont lieu dans ce circuit.
  - Que vaut l'intensité du courant dans la lampe ?
  - Combien d'énergie électrique est reçue par la lampe en 30 s ?
  - Combien d'électrons ont traversé la lampe pendant ce temps ?
20. Le moteur des nouvelles locomotives électriques de la CFL fonctionne sous 15 kV et reçoit une puissance électrique de 3MW lorsqu'il fonctionne à plein régime.
- Déterminer l'intensité du courant qui alimente le moteur à plein régime.
  - Quelle quantité de charge électrique traverse le moteur pendant une heure ?
  - Evaluer la quantité d'énergie électrique nécessaire pour un trajet Luxembourg - Paris qui dure environ 4 h.
  - Une fois arrivé à Paris, sous quelle forme retrouve-t-on toute l'énergie électrique reçue par le moteur ?

## 10 La résistance électrique

En appliquant une même tension électrique aux bornes de différents conducteurs, on mesure différentes intensités du courant. Les électrons circulent plus facilement à travers certains conducteurs que d'autres. On dit que les conducteurs se distinguent en termes de leur résistance électrique.

La **résistance électrique** d'un conducteur mesure sa capacité de s'opposer au passage du courant électrique. Numériquement, la résistance électrique est égale au rapport entre la tension électrique aux bornes du conducteur et l'intensité du courant électrique qui le traverse :

$$\text{résistance électrique (en } \Omega) = \frac{\text{tension électrique (en V)}}{\text{intensité du courant (en A)}} \quad \text{Formule : } R = \frac{U}{I}$$

Dans le système international (SI), la résistance électrique est exprimée en **ohm<sup>5</sup> ( $\Omega$ )**.

En transformant la formule ci-dessus, on obtient que l'intensité du courant dans un conducteur

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

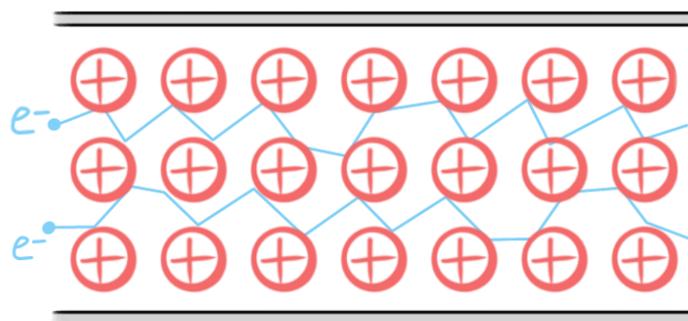
est d'autant plus grande que :

- la tension électrique aux bornes du conducteur est grande
- la résistance électrique du conducteur est faible.

La valeur de la résistance d'un conducteur électrique dépend de ses dimensions. Un fil électrique long et/ou fin a une résistance plus grande qu'un fil court et/ou épais. La résistance dépend également du matériau. Le cuivre étant meilleur conducteur que l'aluminium, la résistance d'un fil en cuivre est plus petite que celle d'un fil en aluminium de même dimension<sup>6</sup>. Enfin, la résistance d'un fil électrique dépend de sa température. Pour la plupart des métaux, la résistance augmente lorsque la température augmente.

### 10.1 Interprétation microscopique de la résistance électrique

Lorsque les électrons libres se déplacent à travers un conducteur, ils interagissent avec le réseau métallique<sup>7</sup>. Si l'interaction entre les électrons libres et les ions est importante, les électrons perdent beaucoup d'énergie électrique lors de leur déplacement et la résistance du conducteur est grande ; en revanche, si l'interaction avec le réseau métallique est très faible, les électrons libres se déplacent pratiquement sans perte d'énergie électrique et la résistance du conducteur est négligeable.



<sup>5</sup> En l'honneur de Georg S. Ohm, physicien du 19<sup>e</sup> siècle dont les travaux ont ouvert la voie à une description mathématique des circuits électriques.

<sup>6</sup> Pour certaines applications, on préfère toutefois l'aluminium en raison de sa plus faible masse volumique (câbles plus légers) et de son prix.

<sup>7</sup> Le réseau métallique est la structure tridimensionnelle formée par les ions du métal en question. Les électrons libres forment une espèce de « gaz » et peuvent se déplacer plus ou moins facilement à travers cette structure.

■ **As-tu compris ?**

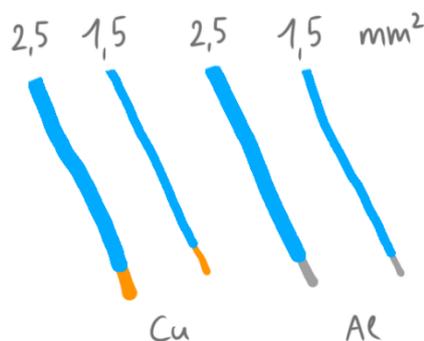
21. Vrai ou Faux ? Justifier !

- Lorsqu'on applique une tension de 10 V aux bornes d'une résistance de 20  $\Omega$ , on obtient une intensité du courant de 500 mA.
- Un isolant électrique a une résistance très faible.

22. On considère deux conducteurs électriques. Le premier a une résistance  $R_1 = 10 \Omega$  et le deuxième une résistance  $R_2 = 100 \Omega$ . Cocher les réponses correctes.

- Il est possible d'avoir la même tension aux bornes des deux conducteurs.
- Il est impossible d'avoir la même intensité de courant dans les deux conducteurs.
- Pour avoir la même intensité du courant dans les deux conducteurs,  $R_2$  doit être soumis à une tension 10 fois plus grande.
- Lorsqu'on a la même tension aux bornes des deux conducteurs, l'intensité du courant dans  $R_2$  est 10 fois plus grande.

23. Pour réaliser les connexions dans un circuit électrique, on dispose de quatre fils différents (cuivre/aluminium section 1,5 mm<sup>2</sup> et 2,5 mm<sup>2</sup>).



- Lequel choisir, si l'on veut que l'intensité du courant soit la plus grande ? Justifier.
- Lequel choisir, si l'on veut que l'intensité du courant soit la plus petite ? Justifier.

24. La résistance électrique d'un conducteur idéal est nulle. Sachant qu'il est impossible d'avoir une intensité infinie dans un circuit électrique, que peut-on en déduire au sujet de la puissance électrique d'un conducteur idéal ?

25. Une lampe torche (« Taschenlampe ») est parcourue par un courant électrique d'une intensité de 250 mA lorsqu'elle est branchée à une source de tension de 12 V. Que vaut la résistance de la lampe ?

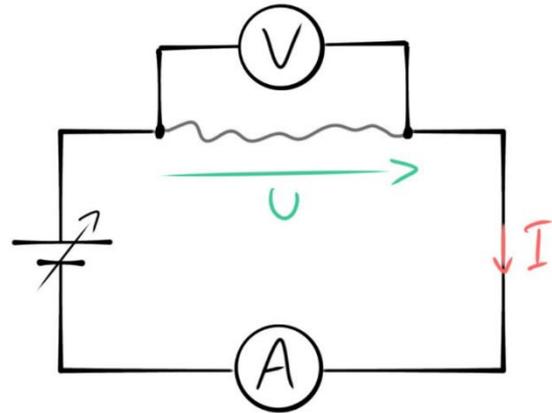
26. Une bouilloire (« Wasserkocher ») a une résistance électrique de 23  $\Omega$ . Que vaut l'intensité du courant électrique dans la bouilloire lorsqu'elle est branchée à une prise de tension domestique (230V) ?

## 10.2 Conducteurs ohmiques

**Expérience :** Un fil métallique fin est tendu entre deux points A et B. La tension aux bornes du fil est réglée avec un générateur et mesurée à l'aide d'un voltmètre. L'intensité du courant électrique qui circule à travers le fil est mesurée à l'aide d'un ampèremètre.

On fait l'expérience avec trois fils de même longueur et de même diamètre, mais constitués de matériaux différents : cuivre, fer et constantan.

Le tableau et le graphique (page suivante) indiquent les résultats obtenus pour des fils de longueur  $l = 1$  m et de diamètre  $d = 0,2$  mm.



**Tableau des mesures :**

	U(V)	0	1	2	3	4	5	6
Cuivre	I (A)	0	1,63	2,80	3,40	3,86	4,21	4,57
	R(Ω)	/	0,61	0,71	0,88	1,04	1,19	1,31
Fer	I (A)	0	0,28	0,56	0,82	0,99	1,11	1,19
	R(Ω)	/	3,57	3,57	3,66	4,04	4,50	5,04
Constantan	I (A)	0	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36
	R(Ω)	/	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7

Pour le fil de constantan, on constate que le rapport  $\frac{U}{I} = R$  est constant<sup>8</sup>. Cela signifie que l'intensité du courant électrique dans le fil de constantan est proportionnelle à la tension appliquée à ses bornes. Cette proportionnalité se traduit également par le fait que la représentation graphique de  $U$  en fonction de  $I$  donne une demi-droite issue de l'origine de pente égale à la résistance (constante) du fil.

La loi d'Ohm

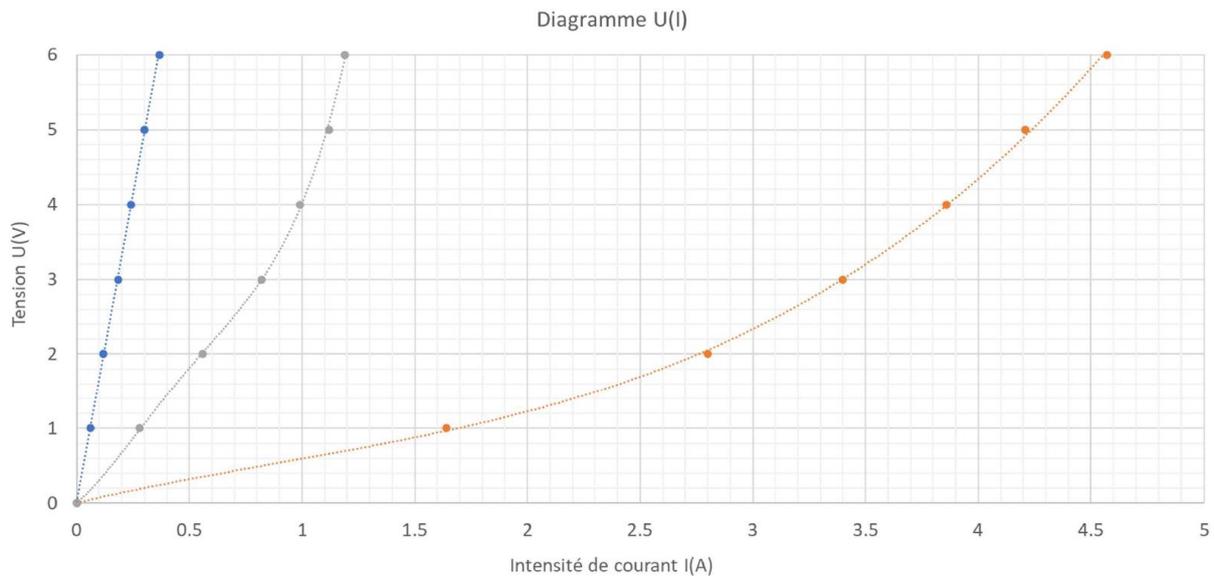
On dit qu'un conducteur (ou composant électrique) vérifie la **loi d'Ohm** si et seulement si l'intensité du courant qui le traverse est proportionnelle à la tension appliquée :

$$\frac{U}{I} = R = \text{const.}$$

Un conducteur qui vérifie la loi d'Ohm a une résistance constante. On parle également d'un **conducteur ohmique**.

En revanche, les mesures montrent que les fils de cuivre et de fer ne vérifient pas la loi d'Ohm. Leur résistance augmente lorsque l'intensité dépasse un certain seuil. Ceci s'explique par le fait que les collisions entre les électrons et les ions sont plus fréquentes/importantes à mesure que l'intensité du courant (et donc la température des fils) augmente.

<sup>8</sup> d'où le nom de cet alliage.



### 10.3 La caractéristique courant-tension d'un récepteur électrique

Un récepteur électrique se caractérise par la relation qui existe entre la tension appliquée à ses bornes et l'intensité du courant qui le traverse. La représentation graphique de  $U$  en fonction de  $I$  traduit cette relation (cf. diagramme précédent). Voilà pourquoi on parle de la **caractéristique** du récepteur.

#### Conducteurs ohmiques

Par définition, les conducteurs ohmiques ont une résistance constante : leur caractéristique  $U(I)$  est une demi-droite issue de l'origine ( $U$  proportionnel à  $I$ ) de pente égale à la valeur de la résistance.

**Exemple :** Un fil de constantan est un conducteur ohmique. Sa caractéristique est une demi-droite issue de l'origine (courbe bleue sur le graphique). La pente de cette demi-droite correspond à la valeur de la résistance du fil.

#### Conducteurs non-ohmiques

Les conducteurs non-ohmiques ont une résistance qui dépend de l'intensité du courant : leur caractéristique  $U(I)$  est non-linéaire. Néanmoins, il peut exister des intervalles où la caractéristique s'apparente à un segment de droite ; sur un tel intervalle, la résistance est approximativement constante.

**Exemple :** Un fil de fer est un conducteur non-ohmique (courbe grise sur le graphique). À partir de  $I \geq 800$  mA, sa résistance augmente (pente de plus en plus raide).

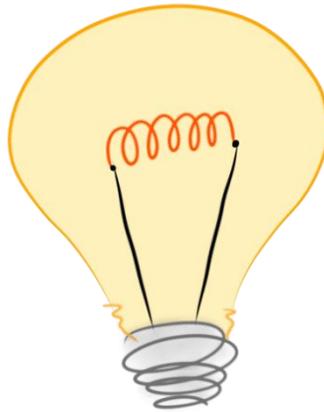
**Explication :** Lors des collisions avec les ions, une partie de l'énergie des électrons est transformée en chaleur, ce qui provoque une augmentation de la température du conducteur. Au niveau microscopique, cela se traduit par une agitation plus importante des ions du réseau métallique, ce qui, en retour, va gêner davantage le flux des électrons libres (collisions plus fortes et plus fréquentes). Au bilan, la résistance du conducteur augmente une fois que l'intensité (et donc la température) dépasse un certain seuil.

### 10.4 La lampe à incandescence

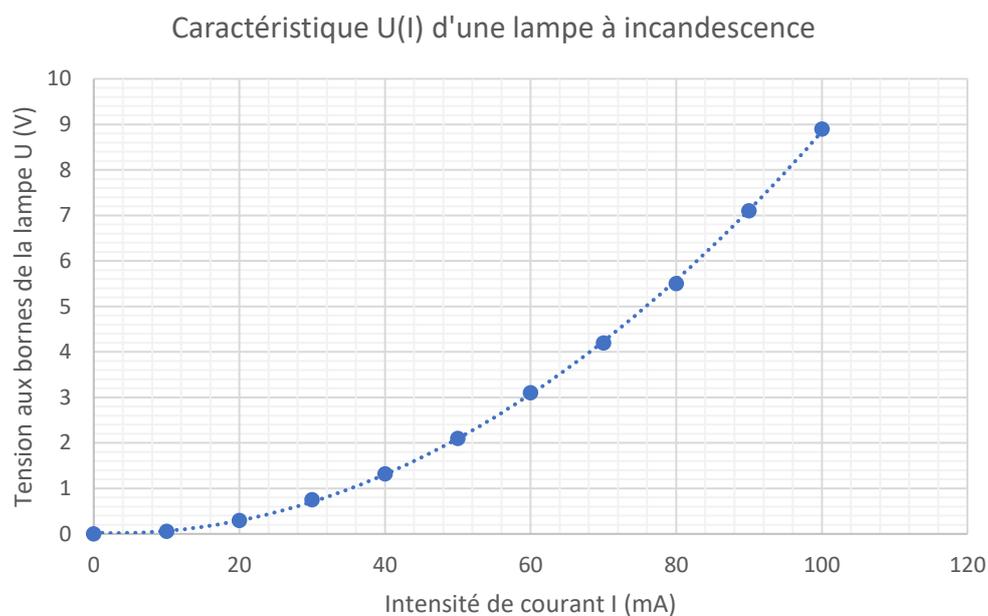
Une lampe à incandescence (« Glühlampe ») produit de la lumière à partir d'un mince filament<sup>9</sup> porté à des températures très élevées. Lorsqu'il est parcouru par un courant électrique, la température du filament peut dépasser les 2000 °C, ce qui provoque une émission de lumière d'une qualité comparable

<sup>9</sup> On utilise généralement du tungstène en raison de sa température de fusion très élevée.

à la lumière du Soleil. Ce rayonnement thermique « naturel », apprécié par les êtres humains, est pourtant en train d'être supplanté par le rayonnement « artificiel » des lampes LED, en raison de leur plus grande efficacité énergétique.



La caractéristique d'une lampe à incandescence est non-linéaire : la résistance du filament augmente à mesure que le courant électrique devient plus intense.



■ **As-tu compris ?**

27. Le constantan est un alliage composé de cuivre (55%), de nickel (44%) et de manganèse (1%).  
Quelle est la particularité de ce matériau ?

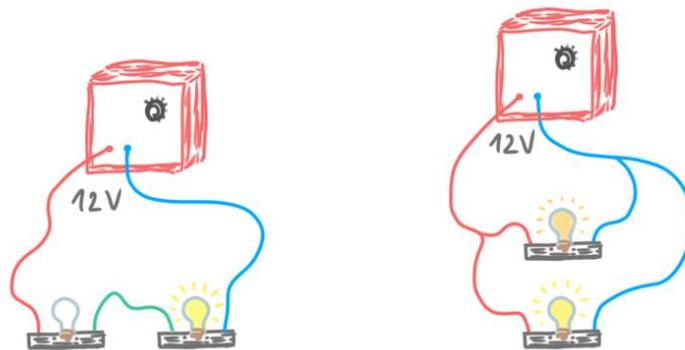
28. Cocher les réponses correctes.

- Les conducteurs métalliques vérifient la loi d'Ohm.
- Lorsque la tension aux bornes d'un fil de constantan est doublée, l'intensité du courant dans le fil double également.
- La caractéristique d'un composant électrique est une droite passant par l'origine si et seulement si sa résistance est constante.

29. Un fil métallique (p.ex. un fil de fer) peut être modélisé par un réseau ionique (structure tridimensionnelle de cations) rempli d'un « gaz » d'électrons libres. Dans le cadre de ce modèle, expliquer les phénomènes suivants en précisant ce qui se passe au niveau microscopique.
- Lorsque l'intensité du courant dans le fil augmente, sa température augmente.
  - Lorsque la température du fil augmente, sa résistance électrique augmente.
30. A la page précédente, on donne la caractéristique d'une lampe à incandescence. Que vaut la résistance de cette lampe lorsqu'elle est parcourue par un courant de 40 mA ? Et lorsque le courant passe à 80 mA ?
31. Lorsqu'une bouilloire ohmique est branchée à une prise européenne (230V), elle absorbe une puissance électrique de 2300 W. Que vaut la puissance électrique absorbée par la bouilloire lorsqu'on la branche sur une prise américaine (110V) ?

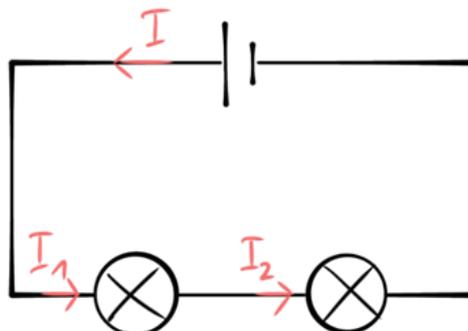
## 11 Lois des circuits simples

Deux lampes sont reliées à une source de tension constante de deux façons différentes : en série (gauche) et en parallèle (droite).



On constate que dans les deux cas, les lampes ne brillent pas avec le même éclat. Les paramètres électriques diffèrent en fonction du branchement. Dans la suite, nous allons étudier l'origine de ces différences.

### 11.1 Circuit série



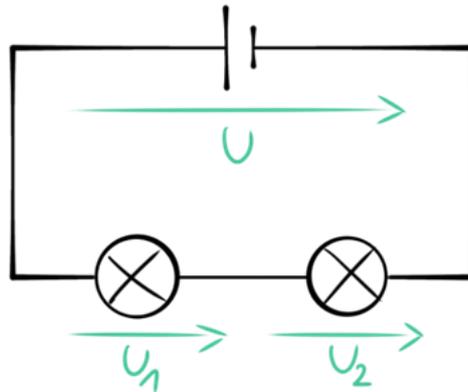
#### Intensité du courant électrique

Mesurons l'intensité du courant à différents endroits du circuit. Aux erreurs expérimentales près, on constate que :  $I = I_1 = I_2$ .

**Conclusion** : Dans un circuit série, l'intensité du courant a même valeur à chaque endroit.

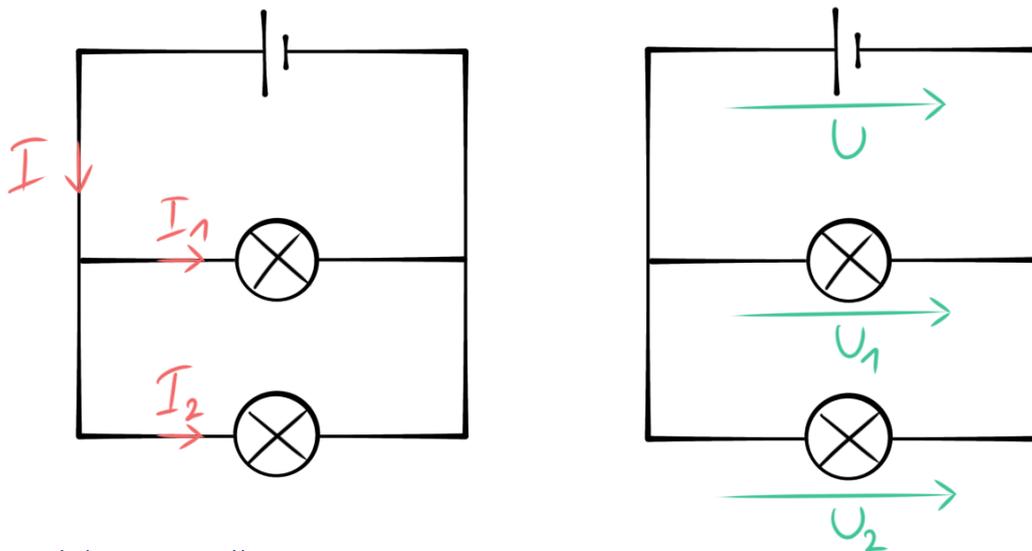
## Tension électrique

Mesurons la tension électrique aux bornes des différents composants électriques. Aux erreurs expérimentales près, on constate que :  $U = U_1 + U_2$ .



**Conclusion :** La tension globale  $U$  (i.e. la tension entre les pôles de la source) est égale à la somme des tensions individuelles (i.e. la somme des tensions aux bornes des récepteurs branchés en série).

## 11.2 Circuit parallèle



## Intensité du courant électrique

Mesurons l'intensité du courant à différents endroits du circuit. Aux erreurs expérimentales près, on constate que :  $I = I_1 + I_2$ .

**Conclusion :** La somme des intensités du courant dans chaque branche est égale à l'intensité du courant débité par la source. Les endroits où le courant se divise puis se recombine sont appelés des **nœuds**.

## Tension électrique

Mesurons la tension électrique aux bornes des différents composants électriques. Aux erreurs expérimentales près, on constate que :  $U = U_1 = U_2$ .

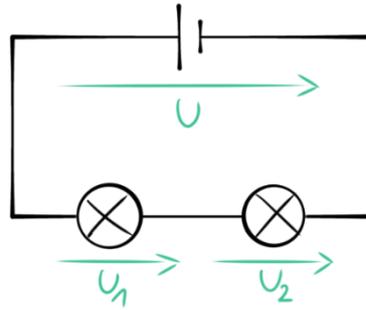
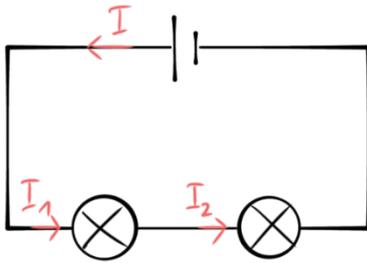
On se rend compte que les bornes des trois composants sont reliées par des fils électriques dont la résistance est négligeable. En effective, on a donc mesuré trois fois la même tension électrique.

**Conclusion :** La tension aux bornes de deux ou plusieurs composants branchés en parallèle est identique.

### 11.3 Synthèse

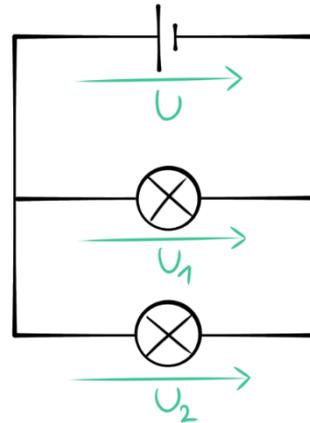
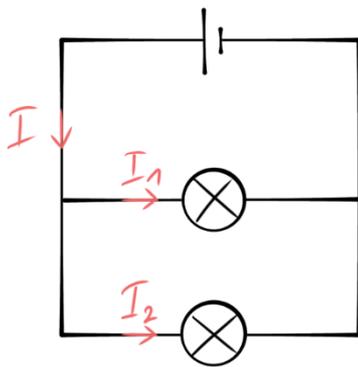
#### Lois du circuit série

Loi des intensités :  $I = I_1 = I_2$   
 Loi des tensions :  $U = U_1 + U_2$



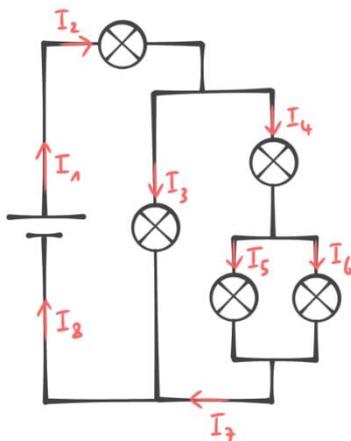
#### Lois du circuit parallèle

Loi des intensités :  $I = I_1 + I_2$   
 Loi des tensions :  $U = U_1 = U_2$

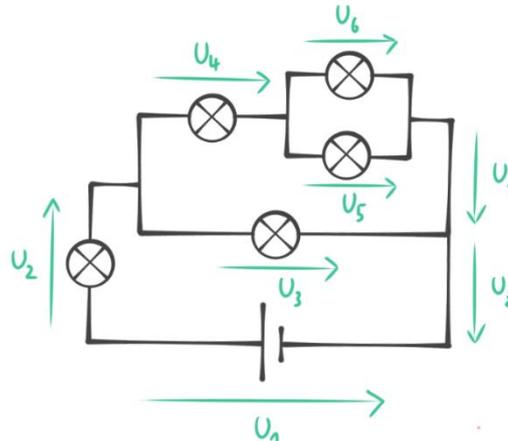


#### ■ As-tu compris ?

32. Déterminer les valeurs des intensités et des tensions manquantes.



$I_1 = 2 \text{ A}$  ;  $I_4 = 1,4 \text{ A}$  ;  $I_6 = 0,8 \text{ A}$



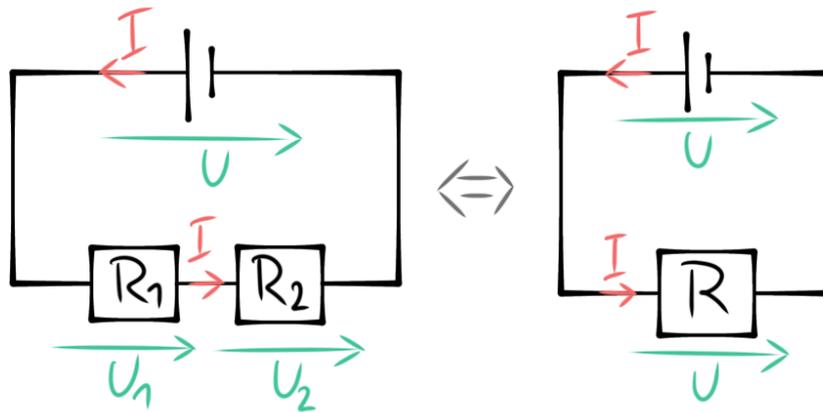
$U_1 = 12 \text{ V}$  ;  $U_3 = 8 \text{ V}$  ;  $U_5 = 5 \text{ V}$

## 12 La résistance équivalente

Lorsque deux résistances sont branchées à une source de tension, on peut reproduire leur effet combiné grâce à une seule résistance, appelée **résistance équivalente**. L'expression de la résistance équivalente diffère selon qu'il s'agit d'un branchement en série ou d'un branchement en parallèle.

### 12.1 Résistances en série

Considérons le montage suivant :



On a la loi des tensions :

$$U = U_1 + U_2$$

Pour chaque résistance, on a par définition :

$$U_1 = R_1 I \quad ; \quad U_2 = R_2 I$$

La résistance équivalente  $R$  vient remplacer les résistances  $R_1$  et  $R_2$  sans pour autant changer les paramètres électriques  $U$  et  $I$ . On a donc :

$$U = RI$$

En injectant (2) et (3) dans (1), on obtient :

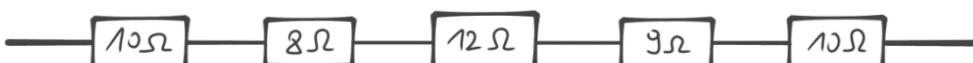
$$RI = R_1 I + R_2 I$$

et après division par  $I \neq 0$ , on vient d'établir la **loi des résistances en série** :

$$R = R_1 + R_2$$

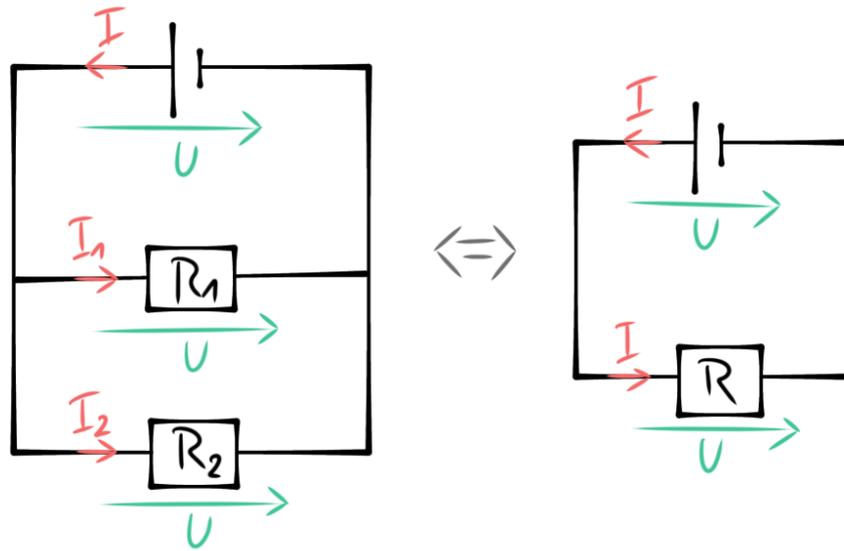
■ **As-tu compris ?**

33. Déterminer la résistance équivalente du montage suivant.



## 12.2 Résistances en parallèle

Considérons le montage suivant :



On a la loi des intensités :

$$I = I_1 + I_2$$

Pour chaque résistance, on a par définition :

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad ; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

La résistance équivalente  $R$  vient remplacer les résistances  $R_1$  et  $R_2$  sans pour autant changer les paramètres électriques  $U$  et  $I$ . On a donc :

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

En injectant (2) et (3) dans (1), on obtient :

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

et, après division par  $U \neq 0$ , on vient d'établir la **loi des résistances en parallèle** :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

## 12.3 Application

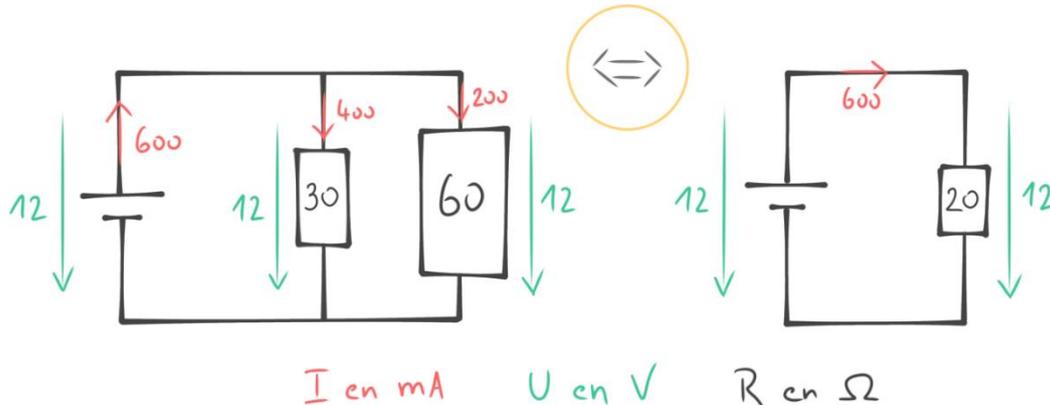
Grâce à la notion de résistance équivalente, on peut prévoir (calculer) l'intensité du courant lorsqu'on branche par exemple deux résistances en parallèle à une source de tension constante.

Données :  $R_1 = 30 \, \Omega$  ;  $R_2 = 60 \, \Omega$  ;  $U = 12 \, \text{V}$

On a :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \cdot 60}{30 + 60} = 20 \, \Omega$$

On constate que la résistance équivalente est plus petite que la plus petite des résistances branchées en parallèle. Ce constat est vrai en général, peu importe les valeurs des résistances branchées en parallèle.



L'intensité du courant dans la branche principale vaut alors :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{20 \Omega} = 0,6 \text{ A} = 600 \text{ mA}$$

et pour chaque branche on trouve une intensité du courant de :

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12 \text{ V}}{30 \Omega} = 0,4 \text{ A} = 400 \text{ mA} \quad ; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12 \text{ V}}{60 \Omega} = 0,2 \text{ A} = 200 \text{ mA}$$

Evidemment, on retrouve bien la loi des intensités du circuit parallèle :

$$I = I_1 + I_2$$

### ■ As-tu compris ?

**34.** Expliquer l'utilité du concept de résistance équivalente.

**35.** Cocher les réponses correctes.

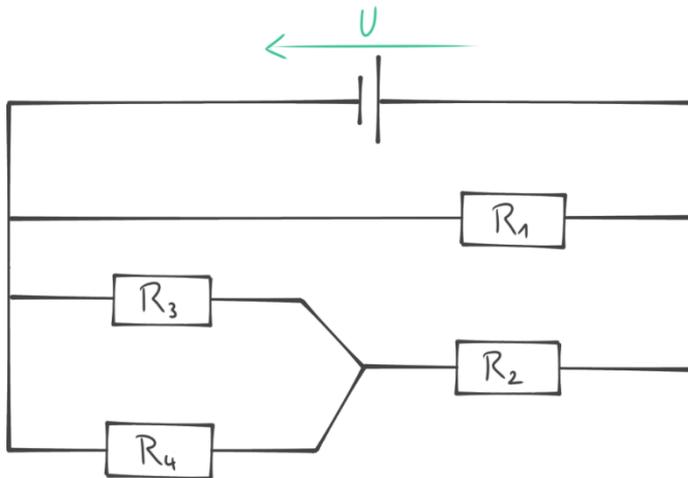
- La résistance équivalente d'un montage dépend de la façon dont les résistances sont branchées entre-elles.
- En ajoutant une résistance dans le circuit, il est possible de diminuer la résistance équivalente du montage.
- La résistance équivalente peut être négative.

**36.** Deux résistances  $R_1 = 4 \Omega$  et  $R_2 = 6 \Omega$  sont branchées en parallèle. On rajoute une résistance  $R_3 = 3,6 \Omega$  en série, puis on branche l'ensemble à une source de tension  $U = 12 \text{ V}$ .

- a. Faire un schéma du montage.
- b. Déterminer la résistance équivalente.
- c. Déterminer la valeur des paramètres électriques (tensions, intensités) pour les différentes branches du circuit.

**37.** On dispose d'un grand nombre de résistances de  $10 \Omega$ . Est-il possible de les assembler de façon à obtenir une résistance équivalente de  $17 \Omega$  ? Justifier !

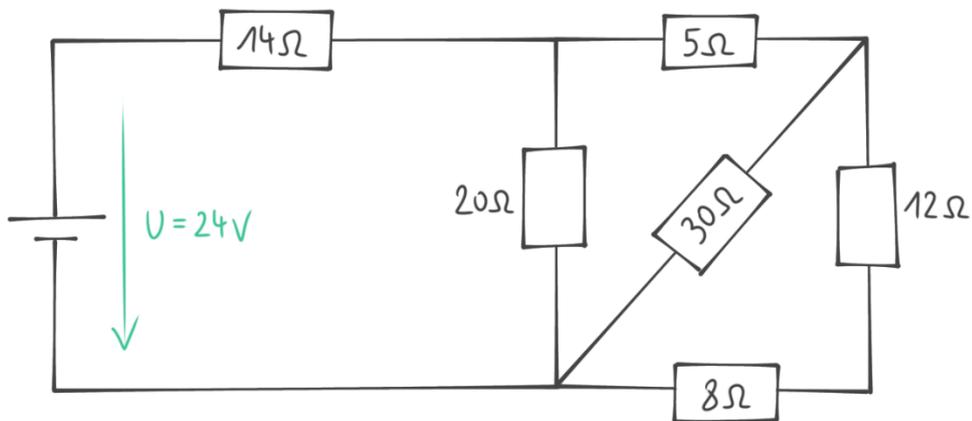
38. On considère le montage suivant avec  $R_1 = 36\Omega$ ,  $R_2 = 24\Omega$ ,  $R_3 = 8\Omega$ ,  $R_4 = 12\Omega$  et  $U = 15V$ .



a. Déterminer la résistance équivalente.

b. Déterminer la tension aux bornes de chaque résistance ainsi que l'intensité du courant dans chaque branche du circuit.

39. On considère le montage suivant.

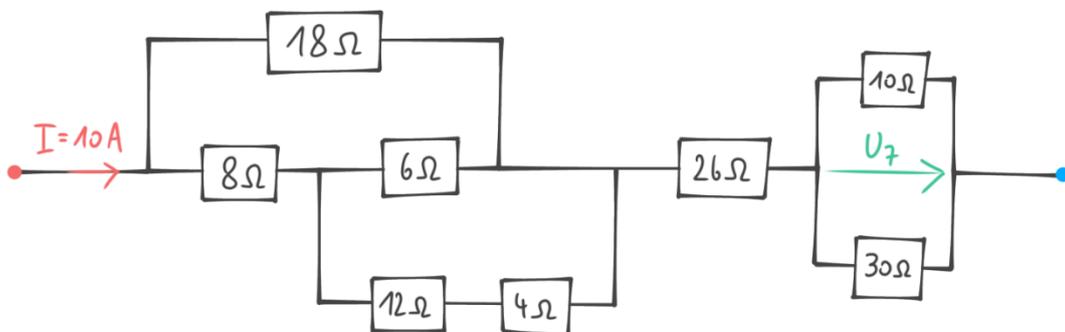


a. Refaire le schéma du montage suivant en indiquant clairement quelles résistances sont branchées en série et quelles résistances sont branchées en parallèle.

b. Calculer la valeur de la résistance équivalente.

c. Déterminer toutes les tensions et toutes les intensités du courant.

40. Déterminer la valeur de la tension  $U_7$ .



Indication : Refaire le schéma afin de clarifier comment les résistances sont branchées entre-elles.