

# 1 – CIRCUITS ÉLECTRIQUES EN RÉGIME STATIONNAIRE

## Plan du chapitre

<b>1</b>	<b>Grandeurs électriques en régime stationnaire</b>	<b>2</b>
1.1	Charge et intensité . . . . .	2
1.2	Potentiel électrique et tension . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Circuit électrique en régime stationnaire</b>	<b>7</b>
2.1	Cadre d'étude . . . . .	7
2.2	Dipôles électriques . . . . .	7
2.3	Étude de circuits . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Énergie et puissance dans les circuits électriques</b>	<b>16</b>
3.1	Dipôles passifs et dipôles actifs . . . . .	16
3.2	Travail électrique, puissance électrique . . . . .	16
3.3	Puissance des sources et des résistors . . . . .	17
3.4	Énergie reçue un dipôle . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Annexe : bonnes habitudes pour la résolution des exercices</b>	<b>20</b>
	<b>Exercices</b>	<b>21</b>
	<b>Travaux dirigés</b>	<b>25</b>

Programme officiel – Premier semestre – **Thème S – ondes et signaux**

### S.2. Signaux électriques en régime stationnaire

NOTIONS	CAPACITÉS EXIGIBLES
<p><b>Grandeurs électriques.</b></p> <p>Charge électriques, intensité du courant électrique. Régime variable et régime stationnaire. Potentiel électrique, référence de potentiel, tension électrique. Mise à la terre.</p>	<p>Relier l'intensité d'un courant électrique au débit de charges électriques.</p> <p>Utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles.</p> <p>Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.</p> <p>Citer les ordres de grandeur d'intensité et de tension électrique dans différents domaines d'application, et en particulier en lien avec la prévention électrique.</p>
<p><b>Circuits en régime continu</b></p> <p>Source de tension.</p> <p>Dipôle résistif, résistance, loi d'Ohm.</p> <p>Association de deux résistances.</p> <p>Pont diviseur de tension.</p>	<p>Modéliser une source de tension en utilisant la représentation de Thévenin.</p> <p>Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.</p> <p>Exploiter des ponts diviseurs de tension.</p>
<p><b>Aspect énergétique</b></p> <p>Puissance et énergie électrique. Effet Joule.</p>	<p>Établir un bilan de puissance dans un circuit électrique.</p>

# 1 Grandeurs électriques en régime stationnaire

## 1.1 Charge et intensité

### 1.1.1 Charge électrique

La charge électrique est une propriété intrinsèque des particules; elle s'exprime en **coulomb** C. Dans les circuits électriques, les **porteurs de charge** (les charges mobiles) sont les électrons.

#### Charge d'un électron

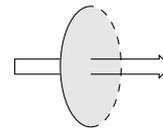
La charge élémentaire vaut :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C.  
La charge d'un électron vaut  $-e$ .

#### Application 1 : valeur du faraday

On note  $\mathcal{F}$  la charge d'une mole de charges élémentaires. Calculer sa valeur, avec son unité.

### 1.1.2 Intensité électrique

- Soit  $S$  la surface étudiée (surface de contrôle).
- On appelle **flux** (ou **débit**) d'une grandeur à travers  $S$ , la quantité de cette grandeur passant à travers  $S$  par unité de temps.
- L'**intensité** est le **flux de charges électriques**.
- L'unité de l'intensité est l'**ampère** A, avec  $1 \text{ A} = 1 \text{ C} \cdot \text{s}^{-1}$ .



Dans un conducteur électrique (fil), la surface à considérer est la section du fil.

#### Intensité constante

Si l'intensité est constante, il passe toujours la même charge chaque seconde. Si pendant un intervalle de temps  $\Delta t$  il passe une charge totale  $q$ , alors :

$$i = \frac{q}{\Delta t}$$

#### Intensité quelconque

Si l'intensité n'est pas constante, sa valeur à la date  $t$  est donnée par :

$$i_{(t)} = \frac{\delta q}{dt}$$

où  $\delta q$  est la charge élémentaire qui passe pendant l'intervalle de temps infinitésimal  $dt$ , soit entre  $t$  et  $t + dt$  avec  $dt$  très petit.

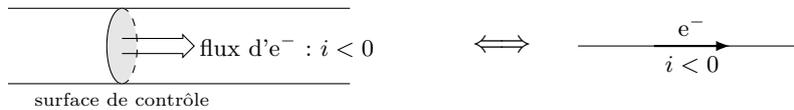
Les mots « élémentaire » et « infinitésimal » sont synonymes et signifient « très petit à l'échelle du phénomène ». Dans la formule  $i = \delta q / dt$ ,  $i$  est l'intensité « instantanée » c'est-à-dire à un instant donné<sup>1</sup>.

1. Analogie avec la vitesse d'une voiture.

- Si on parcourt 100 km en 1 h, la vitesse moyenne est  $v = 100/1 = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .
- Durant le trajet, à un instant donné, le compteur indique  $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ou  $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  (vitesse instantanée).
- La vitesse instantanée est :  $v = dx / dt$  où  $dx$  est la distance infinitésimale parcourue pendant l'intervalle de temps infinitésimal  $dt$ , qui correspond ici à la durée nécessaire au capteur de vitesse pour faire sa mesure.

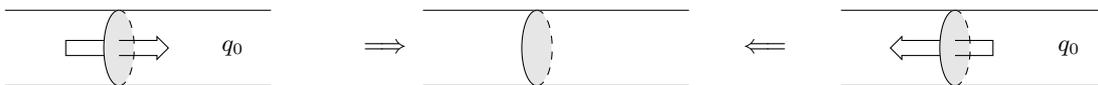
### 1.1.3 Caractère algébrique de l'intensité

Dans un conducteur électrique, les charges sont négatives. Une intensité définie dans le sens de déplacement des électrons est négative ( $\delta q < 0$ ).



On considère une portion de conducteur dans laquelle se trouve une charge  $q_0$ , et fermée par une surface  $S$ .

- Expérience 1 : on fait rentrer  $N$  charges  $-e$  à travers  $S$ .
- Expérience 2 : on fait sortir  $N$  charges  $+e$  à travers  $S$ .
- Dans les deux cas, la charge finale est  $q_0 - Ne$ .



#### L'intensité est algébrique

Une intensité  $i$  dans un sens est équivalente à une intensité  $-i$  dans l'autre sens. L'intensité est une **grandeur algébrique**; elle est positive dans le sens de déplacement des charges positives.

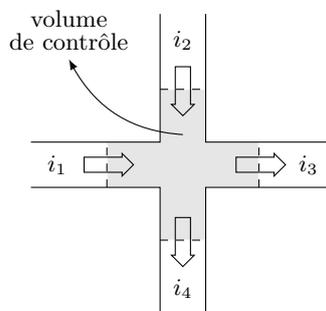


### 1.1.4 Loi des nœuds

- Une portion de conducteur est globalement électriquement neutre.
- Les électrons ne peuvent pas s'accumuler dans un conducteur.
- Toute charge entrant dans une portion de conducteur est compensée par une charge égale qui en sort.

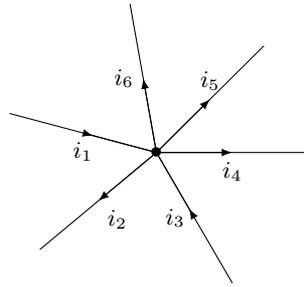
#### Loi des nœuds

Un nœud est un point où convergent plusieurs conducteurs.



$$\sum i_{\text{arrivant}} = \sum i_{\text{partant}}$$

### Application 2 : écrire la loi des nœuds



#### Calculer $i_6$ et conclure

On donne :  $i_1 = 4,1 \text{ A}$ ,  $i_2 = 1,9 \text{ A}$ ,  $i_3 = -0,7 \text{ A}$ ,  $i_4 = -2,4 \text{ A}$  et  $i_5 = 3,3 \text{ A}$ .

#### 1.1.5 Ordre de grandeur de l'intensité électrique

On sait détecter  $1 \text{ pA} = 10^{-12} \text{ A}$ .

montre	$\approx 2 \mu\text{A}$
LED	$\approx 10 \text{ mA}$
appareil de $1000 \text{ W}$ alimenté en $220 \text{ V}$	$\approx 5 \text{ A}$
fusibles courants	16 ou 32 A
maximum délivré dans une maison	$\approx 30 \text{ A}$
démarrreur automobile	$\approx 100 \text{ A}$
TGV	$\approx 250 \text{ A}$
éclair	10 à 100 kA

Électrocution : arrêt cardiaque pour une intensité de  $75 \text{ mA}$  traversant le cœur pendant  $1 \text{ s}$ .

Plus de valeurs : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Amp%C3%A8re> et [https://fr.wikipedia.org/wiki/Courant\\_%C3%A9lectrique#Intensit.C3.A9\\_du\\_courant](https://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_%C3%A9lectrique#Intensit.C3.A9_du_courant)

## 1.2 Potentiel électrique et tension

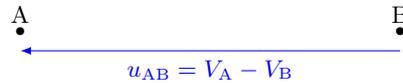
### 1.2.1 Définition du potentiel électrique et de la tension

- En chaque point de l'espace, il existe un **potentiel électrique** noté  $V$  et exprimé en **volt**  $V$ .
- Le potentiel électrique est dû aux charges électriques présentes dans l'espace autour de ce point.
- Le potentiel électrique caractérise les « propriétés électriques » de ce point de l'espace.
- On ne peut mesurer que la **différence de potentiel** = la **tension** (en **volt**) entre deux points.

### Différence de potentiel ou tension

La tension entre A et B = la différence de potentiel entre A et B est :

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



#### 1.2.2 Référence des potentiels

Dans un circuit, on peut choisir de définir une référence des potentiels<sup>2</sup>.

- On pose arbitrairement que le potentiel d'un point R vaut  $V_R = 0$ .
- Le potentiel d'un point A est mesuré grâce à la tension entre A et R :  $u_{AR} = V_A - V_R = V_A$ .

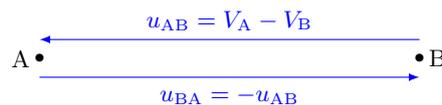
La référence des potentiels peut être :

- purement abstraite (un point quelconque du circuit),
- un objet physique particulier, la **masse**, souvent une pièce métallique d'un appareil,
- la terre si un des appareils a une prise de terre.

référence ou masse	terre
 ou 	

#### 1.2.3 Propriétés de la tension électrique

##### La tension est algébrique



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

##### La tension est additive

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

2. Analogie avec l'altitude.

- En chaque point de l'espace, on peut définir une altitude.
- On ne peut pas mesurer l'altitude d'un point, mais uniquement la différence d'altitude entre deux points.
- L'altitude est mesurée par rapport à une référence arbitraire, qui donne l'altitude « zéro ».
- En France, la référence est la surface de la mer dans le vieux port de Marseille.
- En Italie, c'est la surface de la mer à Gênes... et le Mont Blanc est plus élevé !

### 1.2.4 Valeurs de la tension

piles commerciales au lithium	$\approx 3 \text{ V}$
batterie automobile	12 V
alimentation domestique	220 V
ligne à très haute tension	400 kV

Le champ disruptif de l'air, au-delà duquel il se forme un arc électrique est d'environ  $3,6 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  à basse altitude.

### 1.2.5 Lien entre tension et intensité ; mise à la Terre

On admet que, dans un milieu conducteur, une charge se déplace entre un point A et un point B s'il existe une différence de potentiel entre A et B.

#### Établissement d'un courant dans un circuit

Dans un circuit, les électrons circulent sous l'effet d'une différence de potentiel.

- Si  $V_A = V_B$ , soit  $u_{AB} = 0$ , alors  $i_{AB} = 0$ .
- Si  $V_A \neq V_B$ , soit  $u_{AB} \neq 0$ , alors  $i_{AB} \neq 0$ .

Plus précisément, dans un conducteur<sup>3</sup> :

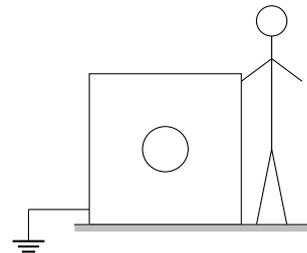
- une charge positive se déplace spontanément dans le sens des potentiels décroissants,
- une charge négative se déplace spontanément dans le sens des potentiels croissants.

#### Mise à la Terre

Les parties conductrices des appareils accessibles à l'utilisateur et qui sont susceptibles de s'électriser en cas de fonctionnement défectueux sont usuellement reliées à la terre. En cas de contact, la différence de potentiel entre la main de l'utilisateur et son pied est nulle.



photo de Ali K<sup>4</sup>



3. Dans un isolant, il en est de même mais seulement au-delà d'une valeur limite de la différence de potentiel (formation d'un éclair ou d'un arc électrique).

4. Photo disponible sur Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HomeEarthRodAustralia1.jpg>

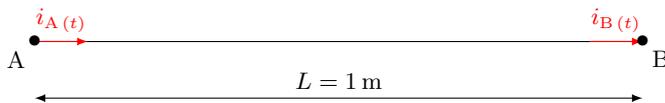
## 2 Circuit électrique en régime stationnaire

### 2.1 Cadre d'étude

- Les porteurs de charge sont des électrons (un seul type de porteurs de charge).
- Les fils reliant les composants sont assimilés à des **conducteurs parfaits** (sans résistance) : on peut négliger leur présence.
- Les circuits sont de faible dimension : l'information s'y propage instantanément.
- On se limite au **régime stationnaire** : les grandeurs électriques sont constantes au cours du temps.

#### Propagation de l'information

Si une intensité est envoyée en A, après quel délai une intensité apparaît-elle en B, sachant que l'information se transmet à la vitesse de la lumière ?



#### Intensité dans une branche

En régime stationnaire, pour un circuit de faible dimension, **l'intensité est la même en tous les points d'une branche sans nœud.**

#### Application 3 : propagation de l'information dans un câble sous-marin

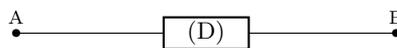
Évaluer le retard avec lequel l'intensité s'établit dans le cas d'un câble sous-marin transatlantique. Conclure.

Attention ! L'information se transmet à la vitesse de la lumière, mais ce n'est pas la vitesse des électrons !

### 2.2 Dipôles électriques

#### 2.2.1 Dipôles électriques

- Il existe de très nombreux composants : résistor, condensateur, bobine inductive, diode, transistor bipolaire, transistor à effet de champ, amplificateur opérationnel, appareils de mesure, etc.
- En BCPST, on considère uniquement les **dipôles**, c'est-à-dire les composants n'ayant que deux **bornes** A et B, qui les relient au reste du circuit.

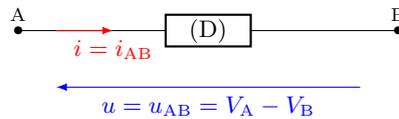


#### 2.2.2 Conventions récepteur et générateur

- Dans le circuit, un dipôle est traversé par un courant électrique d'**intensité**  $i$ , et il existe entre ses bornes une **tension** électrique (différence de potentiel)  $u$ .
- On ne connaît pas *a priori* le sens réel de  $u$  et  $i$  (c'est ce qu'on cherche à déterminer).
- $i$  et  $u$  sont des grandeurs algébriques ; leur signe indique leur sens réel.

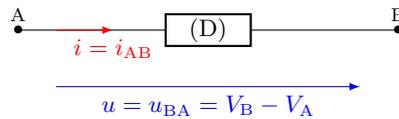
### Convention récepteur

On définit la tension et l'intensité en sens opposés au niveau du dipôle.



### Convention générateur

On définit la tension et l'intensité dans le même sens au niveau du dipôle.



## 2.2.3 Le résistor ; résistance électrique

Un **résistor linéaire**, encore appelé conducteur ohmique linéaire, a pour seul effet de s'opposer au passage du courant. Une résistance chauffante (radiateur électrique), une ampoule, un ampèremètre ou un voltmètre se comportent comme des résistors au moins en première approximation.

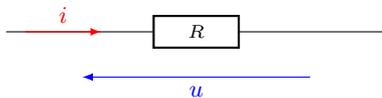
### Loi d'Ohm

- Un résistor obéit à la **loi d'Ohm** : le courant qui le traverse est proportionnel à la tension appliquée à ses bornes.
- Le facteur de proportionnalité est caractéristique du résistor et s'appelle sa **résistance**  $R$ , en **ohm** ( $\Omega$ )<sup>a</sup>. C'est une grandeur toujours positive.

### Écritures de la loi d'Ohm

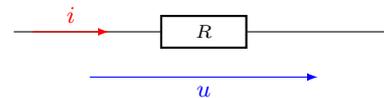
En convention récepteur

$$u = Ri$$



En convention générateur

$$u = -Ri$$

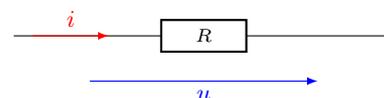
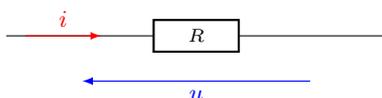


a. On définit également sa conductance  $G = 1/R$ . L'unité de la conductance est le siemens S, avec  $1\text{ S} = 1\Omega^{-1}$ .

### Applications de la loi d'Ohm

Que vaut  $u$ , sachant que  $i = 2\text{ mA}$  et  $R = 1\text{ k}\Omega$  ?

Que vaut  $i$ , sachant que  $u = 5\text{ V}$  et  $R = 30\Omega$  ?



### Un fil conducteur a une résistance négligeable

La résistance linéique d'un fil de cuivre de diamètre égal à 0,8 mm vaut  $8 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}^{-1}$ . Déterminer la résistance d'un tel fil de longueur 20 cm. Calculer la différence de potentiel entre ses deux extrémités s'il est parcouru par un courant d'intensité égale à 1 A. Conclure.

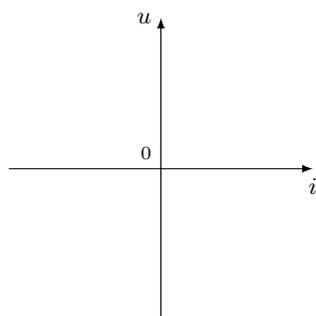
### Comportement d'un fil conducteur

Un fil conducteur se comporte comme un résistor de résistance usuellement négligeable. Si  $R_{\text{fil}} \approx 0$ , alors  $u_{\text{fil}} = R_{\text{fil}} \times i \approx 0$ . Le potentiel électrique est le même aux deux extrémités d'un fil conducteur. **Un fil conducteur est électriquement équivalent à un unique point.**

### Caractéristique d'un dipôle

La **caractéristique** d'un dipôle est le diagramme représentatif de la tension  $u$  à ses bornes en fonction de l'intensité  $i$  qui le traverse.

### Caractéristique d'un résistor



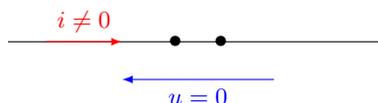
Tracer la caractéristique d'un résistor en convention récepteur.

## 2.2.4 L'interrupteur

Un **interrupteur** est un dispositif qui permet d'ouvrir une branche d'un circuit.

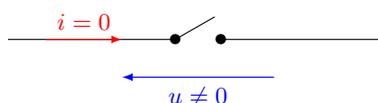
### Interrupteur fermé

Si l'interrupteur est fermé, la branche est assimilée à un fil sans résistance.



### Interrupteur ouvert

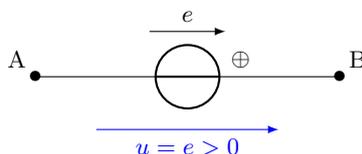
Une branche dans laquelle se trouve un interrupteur ouvert n'est parcourue par aucun courant :  $i = 0$ . C'est comme si la branche n'existait plus.



### 2.2.5 Source idéale de tension

- Une **source idéale de tension** est un dipôle qui impose une tension constante  $e$  entre ses bornes.
- $e$  s'appelle la **force électromotrice**, notée fem.
- On définit les pôles  $\oplus$  et  $\ominus$  tels que :  $e = V_{\oplus} - V_{\ominus} > 0$

#### Source idéale de tension

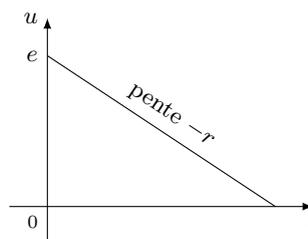
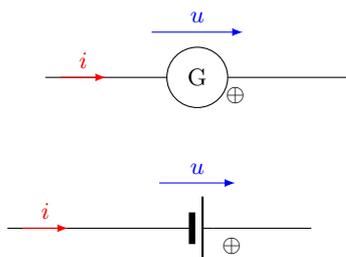


### 2.2.6 Générateur de tension réel

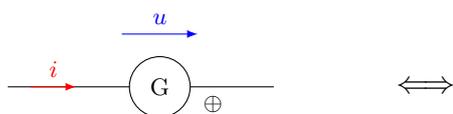
Un générateur de tension réel n'impose pas une tension constante, mais une tension qui varie selon l'intensité délivrée.

En BCPST, on se limite aux **générateurs de Thévenin**, comme les piles.

La caractéristique d'un générateur de Thévenin, en convention générateur est :



#### Modèle électrique d'un générateur de Thévenin



Un générateur de Thévenin est modélisé par l'association en série :

- d'une source idéale de tension de **force électromotrice**  $e$ ,
- d'un résistor de résistance  $r$  (**résistance interne**).

Il est plus facile d'étudier un circuit en remplaçant un générateur par sa modélisation de Thévenin.

#### Application 4 : tension à vide d'une pile

La tension à vide d'une pile est la tension qui existe entre ses bornes quand la pile n'est pas branchée. C'est celle qui est indiquée sur l'étiquette.

Que vaut l'intensité qui sort de la pile ? Que vaut alors la tension à vide ?

## 2.3 Étude de circuits

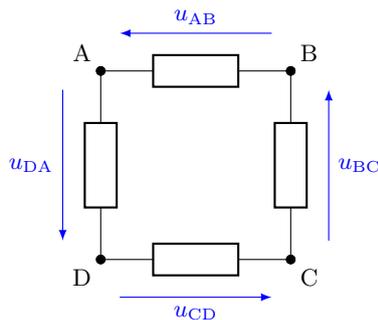
### 2.3.1 Lois de Kirchhoff

Les lois de Kirchhoff sont les deux lois fondamentales pour l'étude des circuits.

#### Loi de nœuds

À chaque nœud, on peut écrire :  $\sum i_{\text{arrivant}} = \sum i_{\text{partant}}$

#### Loi des mailles



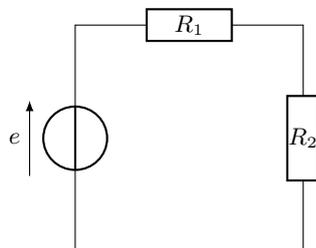
Une maille est une suite de branches qui se referme sur elle-même.

Dans une maille, avec les tensions orientées toutes dans le même sens :

$$\sum_{\text{maille}} u_k = 0$$

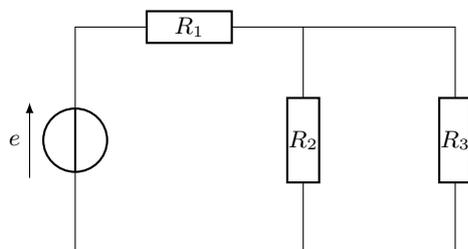
#### Étude d'un circuit à une maille

Calculer l'intensité dans le circuit et la tension aux bornes de  $R_2$ , avec  $R_1 = 1 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $e = 10 \text{ V}$ .



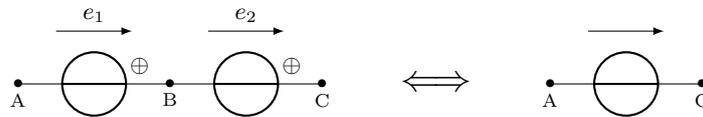
#### Étude d'un circuit à deux mailles

Calculer toutes les intensités dans le circuit et la tension aux bornes de chaque résistance, avec  $R_1 = 1 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$  et  $R_3 = 3 \Omega$ ,  $e = 10 \text{ V}$ .



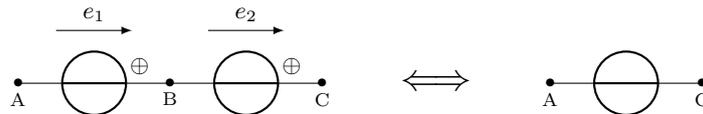
### 2.3.2 Association de sources de tension

#### Association en série de deux sources idéales de tension



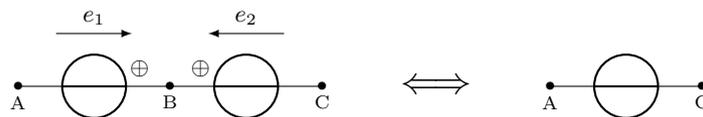
#### Application 5 : association en série de deux sources idéales de tension

Déterminer la fem de la source équivalente, et sa polarité, avec  $e_1 = 3\text{ V}$  et  $e_2 = 2\text{ V}$ .

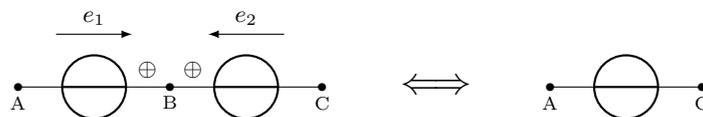


#### Association en opposition de deux sources idéales de tension

Déterminer la fem de la source équivalente et sa polarité, avec  $e_1 = 3\text{ V}$  et  $e_2 = 2\text{ V}$ .

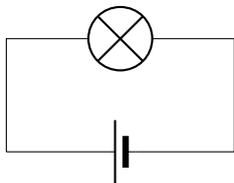


Déterminer la fem de la source équivalente, et sa polarité, avec  $e_1 = 5\text{ V}$  et  $e_2 = 10\text{ V}$ .



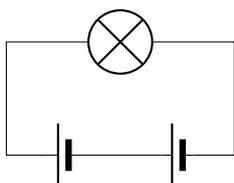
#### Étude d'un circuit alimenté par une pile

Calculer l'intensité à travers la lampe, assimilée à une résistance  $R = 10\ \Omega$  et alimentée par une pile, modélisée par un générateur de Thévenin de force électromotrice  $e = 4,5\ \Omega$  et de résistance interne  $5\ \Omega$ .



#### Étude d'un circuit alimenté par deux piles

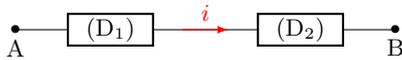
Calculer l'intensité à travers la lampe, assimilée à une résistance  $R = 10\ \Omega$  et alimentée par deux piles identiques, de force électromotrice  $e = 4,5\ \Omega$  et de résistance interne  $5\ \Omega$ .



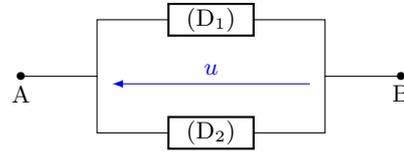
### 2.3.3 Association de résistances

#### Association en série et en parallèle

Deux dipôles sont **en série** s'ils sont dans la même branche et donc **parcourus par la même intensité**.



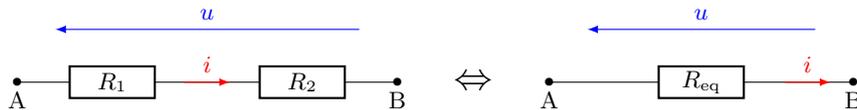
Deux dipôles sont **en parallèle** ou **en dérivation** s'ils sont branchés entre les deux mêmes points et donc **soumis à la même tension**.



#### Association de deux résistances en série

Deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  en série sont équivalentes à une unique résistance telle que :

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

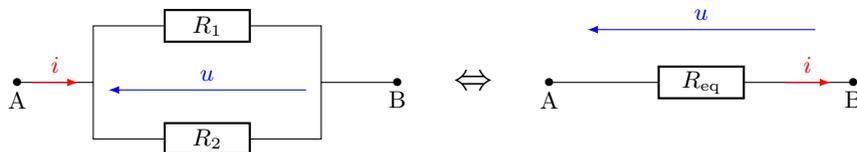


#### Démonstration (à connaître)

#### Association de deux résistances en parallèle

Deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  en parallèle sont équivalentes à une unique résistance telle que :

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

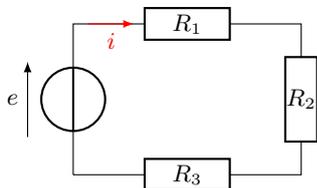


#### Démonstration (à connaître)

Les lois d'association de résistance permettent de simplifier les circuits.

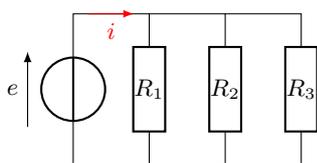
### Utilisation de l'association en série

Déterminer l'intensité  $i$ .  $R_1 = 10\ \Omega$ ,  $R_2 = 20\ \Omega$ ,  $R_3 = 30\ \Omega$ ,  $e = 10\ \text{V}$



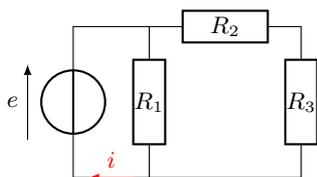
### Utilisation de l'association en parallèle

Déterminer l'intensité  $i$ .  $R_1 = 10\ \Omega$ ,  $R_2 = 20\ \Omega$ ,  $R_3 = 30\ \Omega$ ,  $e = 10\ \text{V}$



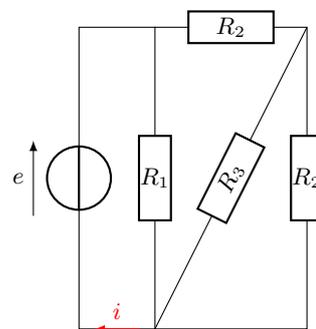
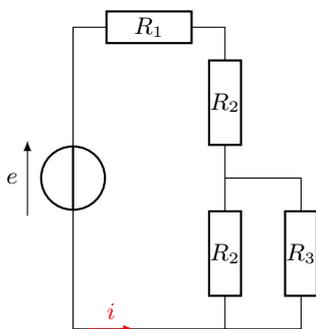
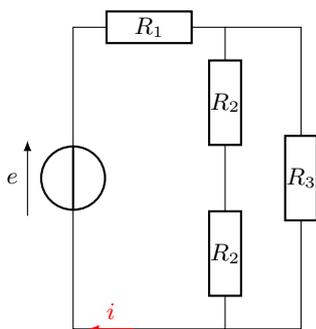
### Utilisation des lois d'association

Déterminer l'intensité  $i$ .  $R_1 = 10\ \Omega$ ,  $R_2 = 20\ \Omega$ ,  $R_3 = 30\ \Omega$ ,  $e = 10\ \text{V}$



### Application 6 : calculer $i$ en simplifiant le circuit à l'aide des lois d'association

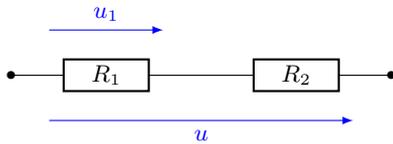
$R_1 = 10\ \Omega$ ,  $R_2 = 20\ \Omega$ ,  $R_3 = 30\ \Omega$ ,  $e = 10\ \text{V}$



### 2.3.4 Pont diviseur de tension

Lorsque deux résistances sont en série, c'est-à-dire parcourues par la même intensité, la tension aux bornes de l'une d'elles est une fraction de la tension aux bornes de l'ensemble.

#### Pont diviseur de tension

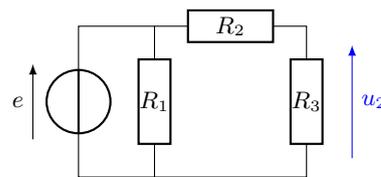
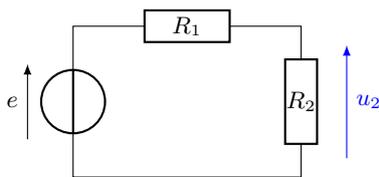


$$\frac{u_1}{u} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

#### Démonstration (à connaître)

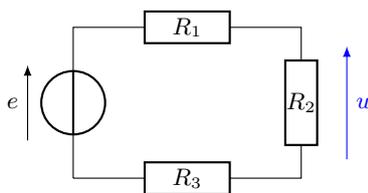
#### Utilisation du pont diviseur de tension

Déterminer  $u_2$ , avec  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ ,  $R_3 = 30 \Omega$ ,  $e = 10 \text{ V}$



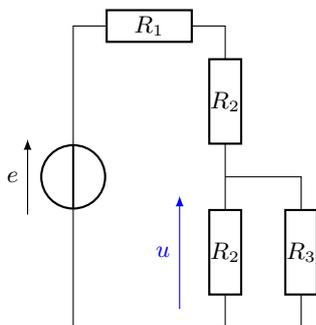
#### Utilisation du pont diviseur de tension et des lois d'association de résistances

Déterminer  $u$ , avec  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ ,  $R_3 = 30 \Omega$ ,  $e = 10 \text{ V}$



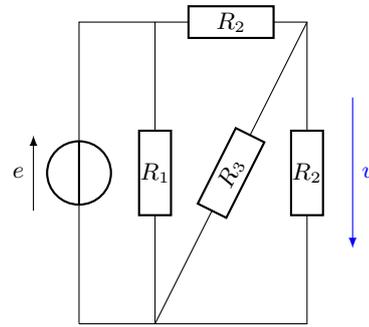
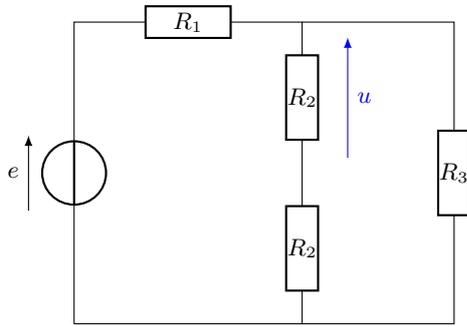
#### Utilisation du pont diviseur de tension et des lois d'association de résistances

Déterminer  $u$ , avec  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ ,  $R_3 = 20 \Omega$ ,  $e = 10 \text{ V}$



### Application 7 : déterminer la tension $u$ en utilisant le pont diviseur de tension

$R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ ,  $R_3 = 20 \Omega$ ,  $e = 10 \text{ V}$



## 3 Énergie et puissance dans les circuits électriques

### 3.1 Dipôles passifs et dipôles actifs

La circulation des électrons dans un circuit nécessite un apport d'énergie. Dans un circuit en fonctionnement :

- un dipôle qui fournit de l'énergie est appelé **dipôle actif**,
- un dipôle qui reçoit de l'énergie est un **dipôle passif**.

Parmi les dipôles usuels :

- certains dipôles sont toujours passifs : résistors, diodes, lampes, ... Ces dipôles ont une caractéristique qui passe par 0 : si aucun courant ne les parcourt, la différence de potentiel à leurs bornes est nulle.
- Les générateurs sont *a priori* des dipôles actifs. Cependant, s'il y a deux générateurs branchés en opposition, l'un d'eux est passif.
- Certains dipôles sont conçus pour être soit actifs soit passifs en fonction des situations : accumulateur (générateur rechargeable), condensateur, ...

### 3.2 Travail électrique, puissance électrique

L'énergie électrique reçue par un dipôle est notée  $W$  (c'est un travail, autrement dit une énergie utilisable).

L'énergie reçue est une **grandeur algébrique** :

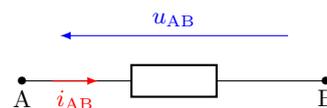
- si le dipôle reçoit réellement de l'énergie, alors  $W_{\text{reçu}} > 0$ ,
- si le dipôle fournit en fait de l'énergie, alors  $W_{\text{reçu}} < 0$ .

La puissance est l'énergie reçue par unité de temps. Si un dipôle reçoit une petite quantité d'énergie  $\delta W_{\text{reçu}}$  pendant l'intervalle de temps infinitésimal compris entre  $t$  et  $t + dt$  (avec  $dt$  très petit), alors la puissance reçue à cet instant est  $\mathcal{P}_{\text{reçu}} = \delta W_{\text{reçu}} / dt$ .

#### Puissance électrique reçue par un dipôle

On admet que la puissance électrique reçue par un dipôle traversé par l'intensité  $i_{AB}$  et soumis à la tension  $u_{AB}$  (en convention récepteur) est :

$$\mathcal{P}_{\text{reçu}} = \frac{\delta W_{\text{reçu}}}{dt} = u_{AB} \times i_{AB}$$



#### Différence entre énergie et puissance

L'unité de l'énergie est le **joule J**. L'unité de la puissance est le **watt** :  $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ .

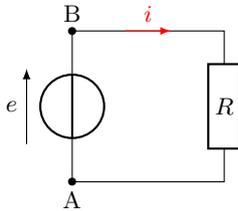
La puissance prend en compte l'énergie reçue et le temps pendant lequel elle est reçue.

### 3.3 Puissance des sources et des résistors

Le rôle d'une source est usuellement de fournir de l'énergie.

#### Puissance reçue par une source

Calculer la puissance reçue par la source, avec  $e = 10\text{ V}$  et  $R = 10\ \Omega$



#### Puissance fournie par une source

En déduire la puissance fournie par la source.

Un résistor est un dipôle passif qui reçoit de l'énergie et la convertit intégralement en énergie thermique et/ou en énergie lumineuse (effet Joule).

#### Puissance Joule reçue par un résistor

Un résistor de résistance  $R$  soumis à la tension  $u$  et parcouru par une intensité  $i$  reçoit une puissance électrique :

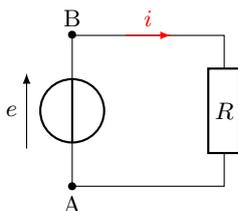
$$\mathcal{P}_{\text{reçue}} = R \times i^2 = \frac{u^2}{R}$$

et la **dissipe intégralement sous forme de chaleur ou de lumière.**

#### Démonstration (à connaître)

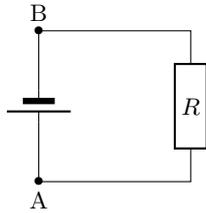
#### Puissance reçue par un résistor

Calculer la puissance reçue par le résistor, avec  $e = 10\text{ V}$  et  $R = 10\ \Omega$



### Puissance reçue par un résistor

Calculer la puissance reçue par le résistor de résistance  $R = 100 \Omega$  alimenté par un générateur de force électromotrice  $e = 5 \text{ V}$  et de résistance interne  $5 \Omega$ .

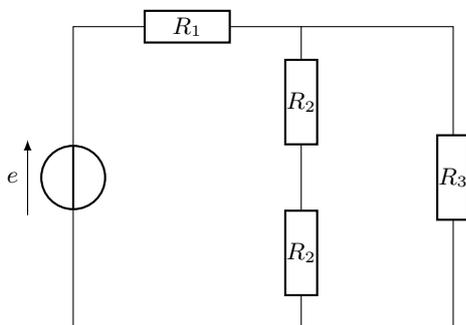


### Rendement d'un circuit

Calculer le rendement du circuit défini comme le rapport de la puissance reçue par le résistor à la puissance fournie par la source.

### Application 8 : déterminer la puissance reçue par $R_3$

$R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ ,  $R_3 = 30 \Omega$ ,  $e = 10 \text{ V}$



## 3.4 Énergie reçue un dipôle

La puissance étant l'énergie reçue par unité de temps, l'énergie est obtenue en multipliant la puissance par la durée de fonctionnement. Il faut distinguer deux cas :

- le cas particulier du régime stationnaire, c'est-à-dire tel que les grandeurs électriques restent constantes au cours du temps,
- le cas général du régime variable, au cours duquel les grandeurs électriques varient au cours du temps.

### Énergie en régime stationnaire

En régime stationnaire, un dipôle qui reçoit la puissance constante  $\mathcal{P}_{\text{reçue}}$  pendant une durée  $\Delta t$  reçoit une énergie :

$$W_{\text{reçu}} = \mathcal{P}_{\text{reçue}} \times \Delta t$$

### Énergie reçue par un radiateur

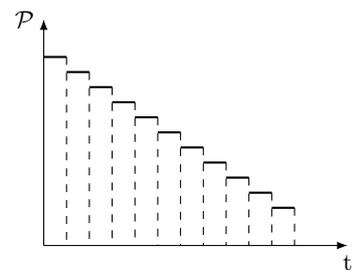
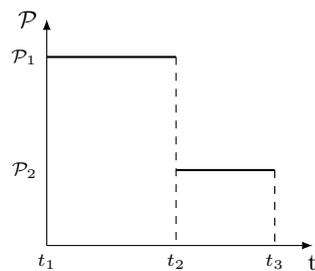
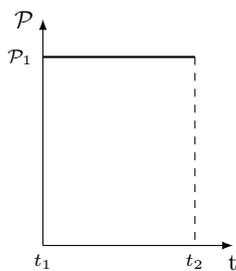
Calculer l'énergie consommée par un radiateur de 1 kW pendant 1 h.

### Le kilowatt-heure

Les fournisseurs d'électricité libellent leurs factures en kilowatt-heure kW · h. Quelle est la grandeur physique vendue ? Exprimer dans son unité légale la valeur de 1 kW · h.

En régime variable, le calcul de l'énergie est plus compliqué, car la puissance varie au cours du temps : elle n'est pas la même à tous les instants du fonctionnement.

On cherche à calculer l'énergie reçue un dipôle dont la puissance reçue varie au cours du temps dans les trois cas suivants.



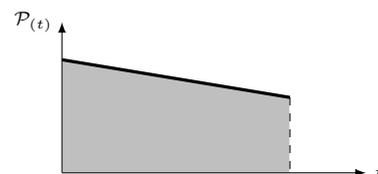
### Calcul de l'énergie dans le cas général

Un dipôle qui reçoit une puissance variable au cours du temps  $\mathcal{P}(t)$  entre la date  $t_1$  et la date  $t_2$  reçoit sur cet intervalle de temps une énergie :

$$W_{\text{reçu}} = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}(t) dt$$

### Représentation graphique

L'énergie reçue par un dipôle est l'aire sous la courbe  $\mathcal{P}(t)$  représentative de la puissance reçue au cours du temps.



## 4 Annexe : bonnes habitudes pour la résolution des exercices

Quelques bonnes habitudes peuvent éviter de grosses erreurs dans la résolution d'un exercice d'électricité. Dans la plupart des situations, la résolution du problème se fait en 4 étapes.

### Première étape : **identifier les grandeurs connues**

Les autres sont évidemment inconnues. Même si ce n'est pas obligatoirement le cas, dans de nombreux exercices, les dipôles sont connus (sources de tension, résistors, etc), alors que les tensions et les intensités sont inconnues. La réponse à la question posée ne doit naturellement faire intervenir que des grandeurs connues !

### Deuxième étape : **définir les grandeurs pertinentes**

Il faut impérativement prendre le temps de refaire le schéma du circuit, et d'y préciser toutes les variables utiles.

- Donner un nom à chaque nœud (A, B, etc).
- Définir la tension aux bornes de chaque dipôle : tracer la flèche (qui définit son sens) et lui donner un nom ( $u_1$ ,  $u_2$ , etc). Si deux dipôles sont entre les deux mêmes nœuds, la tension à leurs bornes est la même, et cela permet de définir moins d'inconnues.
- Définir l'intensité dans chaque branche : tracer la flèche (qui définit son sens) et lui donner un nom. Tant qu'il n'y a pas de nœud, l'intensité reste la même dans toute la branche.

### Troisième étape : **simplifier le circuit sans perdre la grandeur cherchée**

en utilisant les lois d'association de résistances. Si la grandeur cherchée est une tension, les deux points M et N entre lesquels elle est mesurée ne doivent jamais disparaître ; si la grandeur est une intensité, la branche MN dans laquelle elle circule ne doit jamais disparaître.

- Identifier la grandeur cherchée et identifier les deux points M et N.
- Simplifier le circuit sans jamais faire disparaître les points M et N ; indiquer explicitement ces points sur tous les circuits équivalents successifs.

### Quatrième étape : **utiliser les lois de l'électrocinétique**

en considérant le circuit équivalent, mais aussi le circuit initial.

- Au niveau de chaque dipôle passif, appliquer la relation entre intensité et tension en prenant garde au signe.
- Le raisonnement peut faire intervenir le circuit initial et tous les circuits équivalents successifs qui ont été définis. Une grandeur calculée sur le circuit équivalent est connue dans le circuit initial, à condition que ce soit bien la même grandeur !

## Exercices

### Application du cours

#### Exercice 1 : point de fonctionnement

On considère un circuit constitué d'un résistor de résistance  $R = 4\Omega$  branché entre les bornes d'un générateur de tension de force électromotrice  $e = 1\text{ V}$  et de résistance interne  $r = 1\Omega$ .

1. Faire un schéma du circuit. Définir l'intensité  $i$  qui circule dans le résistor et la tension  $u$  à ses bornes.
2. Calculer  $i$ ; en déduire  $u$ .
3. Tracer sur un même schéma les caractéristiques des deux dipôles du circuit. Quel est le point de fonctionnement du circuit, c'est-à-dire le point représentatif des valeurs de  $i$  et  $u$  dans le circuit? Déterminer graphiquement ces deux valeurs.

#### Exercice 2 : puissance maximale admissible

On considère un dipôle passif, aux bornes duquel on applique une tension  $u$  constante. La puissance maximale que peut recevoir ce dipôle est  $\mathcal{P}_m = 1\text{ W}$ .

1. Exprimer en fonction de  $u$  la valeur maximale de l'intensité qui peut traverser le dipôle sans que celui-ci ne soit détérioré.
2. Représenter sur un graphique l'ensemble des couples de valeurs  $(u, i)$  admissibles pour ce dipôle.
3. Commenter les cas  $u$  grand et  $u$  petit.

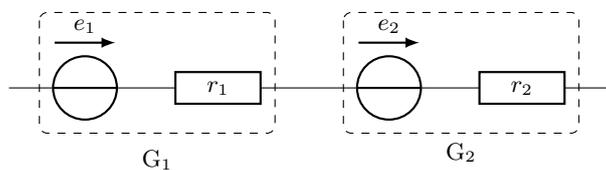
#### Exercice 3 : loi de Pouillet

On considère un circuit constitué d'une unique maille comportant deux générateurs de Thévenin  $(e_1; r_1)$  et  $(e_2; r_2)$ , et deux résistances  $R_1$  et  $R_2$ .

1. Représenter les deux circuits possibles, en considérant les deux branchements possibles des générateurs.
2. Dans chaque cas, déterminer l'expression de l'intensité du courant dans le circuit.
3. Effectuer une généralisation à un nombre quelconque de générateurs et de résistances, tous branchés dans une unique maille.

#### Exercice 4 : association de deux dipôles actifs

On considère deux dipôles actifs  $G_1$  et  $G_2$ , de forces électromotrices  $e_1 = 1\text{ V}$  et  $e_2 = 2\text{ V}$  et de résistances internes  $r_1 = 1\Omega$  et  $r_2 = 2\Omega$ , associés en série. Montrer que l'ensemble est équivalent à un dipôle actif  $G_s$ ; préciser sa force électromotrice  $e_s$  et sa résistance interne  $r_s$ .

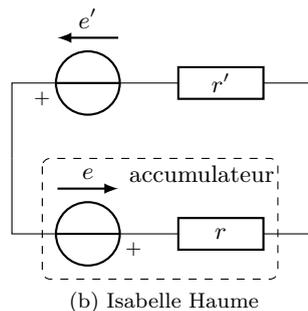
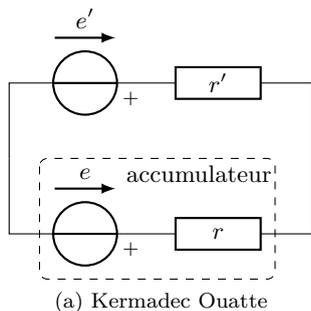


#### Exercice 5 : recharge d'un accumulateur

Un accumulateur, ou batterie, est un dipôle actif rechargeable. Lorsqu'il est vide, on peut le recharger à l'aide d'une source d'énergie, par exemple un autre générateur.

1. Aux bornes d'un accumulateur de force électromotrice  $e = 10\text{ V}$  et de résistance interne  $r = 4\Omega$ , on branche une résistance  $R = 100\Omega$ . Calculer l'intensité du courant dans le circuit et la puissance reçue par l'accumulateur.

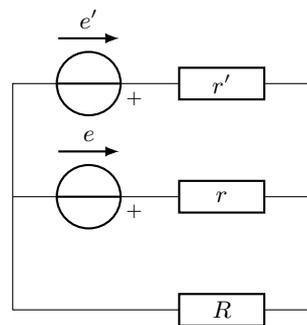
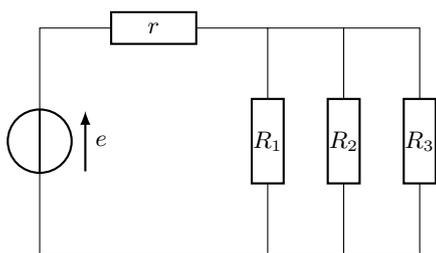
On souhaite maintenant recharger l'accumulateur dont la force électromotrice a diminué jusqu'à  $5\text{ V}$ . Pour cela, on branche à ses bornes un générateur de force électromotrice  $e' = 20\text{ V}$  et de résistance interne  $r' = 4\Omega$ . L'élève Haume et l'élève Ouatte ne sont pas d'accord, et proposent les deux montages différents ci-dessous.



2. En raisonnant sur la puissance reçue par la source de tension de l'accumulateur, déterminer qui a raison.

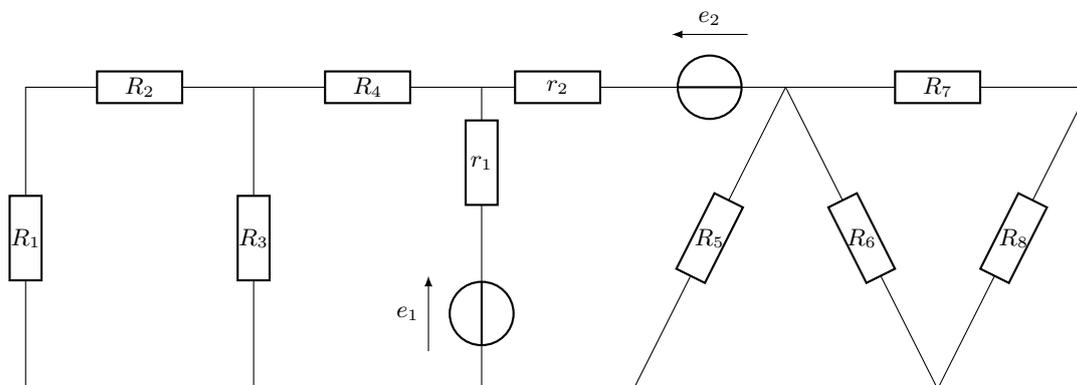
### Exercice 6 : utilisation des lois de l'électrocinétique

- Déterminer de la façon la plus simple possible la tension aux bornes de l'ampoule de résistance  $R_1$  dans le circuit ci-dessous à gauche. On donne :  $e = 10 \text{ V}$ ,  $r = 2 \Omega$ ,  $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \Omega$ .
- Déterminer de la façon la plus simple possible l'intensité circulant dans la résistance  $R$  dans le circuit ci-dessous à droite. On donne :  $e = 2 \text{ V}$ ,  $e' = 4 \text{ V}$ ,  $r = r' = 2 \Omega$ ,  $R = 10 \Omega$ .



### Exercice 7 : association de résistances

On considère le circuit ci-dessous, comportant deux sources de tension idéales  $e_1$  et  $e_2$ , et des résistances.



- En utilisant les lois d'association de résistances, montrer qu'on peut réduire le circuit à deux mailles.
- En utilisant les lois de Kirchhoff, déterminer l'intensité délivrée par la source  $e_1$ .
- Calculer la puissance fournie par la source  $e_1$ .

$$\begin{array}{lll} e_1 = 12,0 \text{ V} & r_1 = 6,0 \Omega & R_1 = R_5 = R_7 = R_8 = 3,0 \Omega \\ e_2 = 6,0 \text{ V} & r_2 = 3,0 \Omega & R_2 = 1,0 \Omega \\ & & R_3 = 4,0 \Omega \\ & & R_4 = R_6 = 2,0 \Omega \end{array}$$

## Entrainement

### Exercice 8 : pont diviseur de courant

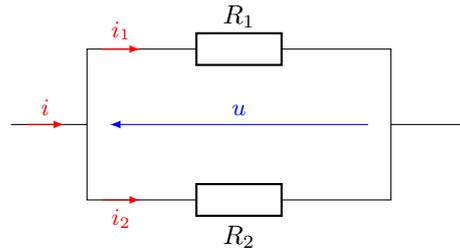
On considère deux résistances en parallèle  $R_1$  et  $R_2$ , alimentées par un courant d'intensité totale  $i$ . Soit  $i_1$  l'intensité qui traverse la résistance  $R_1$  et  $i_2$  celle qui traverse la résistance  $R_2$ .

1. Montrer que :

$$\frac{i_1}{i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

puis établir la formule analogue pour  $i_2$ .

2. Pour  $R_1 + R_2$  constant, comment  $i_1$  varie-t-il lorsque  $R_2$  augmente ? Est-ce logique ?



### Exercice 9 : protection contre l'électrocution

Le corps humain a une résistance de l'ordre de  $1200 \Omega$ . Il y a un risque d'électrocution mortelle si le corps est parcouru par une intensité de  $20 \text{ mA}$  pendant quelques millisecondes. Pour limiter les risques, les installations domestiques disposent d'un disjoncteur différentiel, qui coupe le courant si la différence entre l'intensité d'entrée et l'intensité de sortie est supérieure à une valeur de consigne, souvent  $30 \text{ mA}$ . En outre, les câbles électriques sont reliés à un fusible, qui coupe le courant dès lors qu'il atteint la valeur de référence (il existe des fusibles de diverses intensités maximales, par exemple  $10$ ,  $16$  ou  $32 \text{ A}$ , liste non limitative).

1. Un opérateur pieds nus touche un fil porté à  $220 \text{ V}$ . Calculer l'intensité du courant qui traverse le corps. Le disjoncteur différentiel coupe-t-il le courant ?
2. Un opérateur met ses deux doigts dans une prise de courant protégée par un fusible de  $10 \text{ A}$ . La différence de potentiel entre les deux fils de la prise de courant est  $220 \text{ V}$ . Le fusible coupe-t-il le courant ?
3. Les appareils destinés à être utilisés dans des milieux très conducteurs, par exemple les pieds dans l'eau ou dans une atmosphère très humide, doivent fonctionner sous basse tension. Quelle doit-être la valeur maximale de la tension pour éviter l'électrocution des travailleurs ?

### Exercice 10 : piles en série

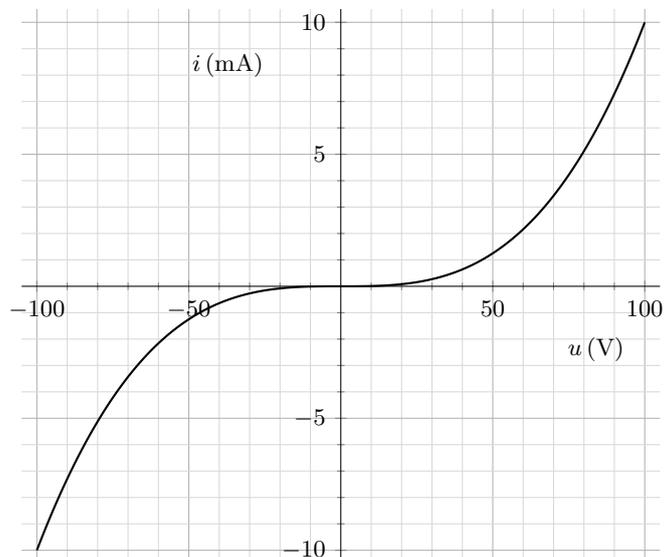
On souhaite alimenter une résistance  $R = 100 \Omega$  par un courant d'intensité  $i = 0,2 \text{ A}$ . On dispose de piles de force électromotrice  $e = 4,5 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 0,50 \Omega$ . Combien faut-il brancher de piles en série avec la résistance  $R$  ?

### Exercice 11 : chute de tension aux bornes d'un générateur

On considère un générateur de force électromotrice  $e = 120 \text{ V}$  et de résistance interne  $r$ , branché aux bornes d'une résistance  $R = 40 \Omega$ . À l'aide d'un voltmètre de résistance interne  $1 \text{ M}\Omega = 1 \cdot 10^6 \Omega$ , on mesure la tension aux bornes du générateur :  $u = 115 \text{ V}$ . En déduire la valeur de la résistance interne du générateur.

### Exercice 12 : détermination d'un point de fonctionnement

On étudie un dipôle de caractéristique (représentée ci-dessous) :  $i = k \times u^n$ , avec  $u$  et  $i$  en convention récepteur et où  $k$  est un réel et  $n$  est un entier. Il peut supporter une puissance électrique maximale de 1 W.

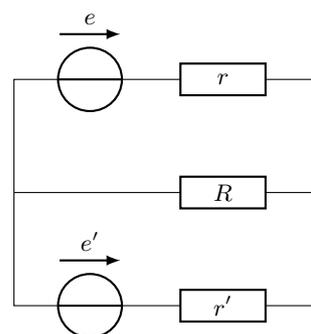


1. Sachant que les points  $(u_1 = 30 \text{ V}; i_1 = 0,27 \text{ mA})$  et  $(u_2 = 90 \text{ V}; i_2 = 7,29 \text{ mA})$  sont sur la caractéristique, déterminer les valeurs de  $k$  et  $n$ .
2. Exprimer la valeur maximale de la tension applicable aux bornes du dipôle si on ne souhaite pas qu'il soit détérioré. En déduire l'intensité maximale à travers le dipôle.
3. On branche le dipôle aux bornes d'un générateur de force électromotrice  $e = 100 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 10 \text{ k}\Omega$ . Déterminer graphiquement la valeur de l'intensité à travers le dipôle et la tension à ses bornes.

### Exercice 13 : régulation de la tension délivrée par une pile

Une pile de force électromotrice  $e = 4 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 3 \Omega$  lorsqu'elle est neuve, débite dans une résistance  $R = 10 \Omega$ . Au fur et à mesure que la pile se décharge, sa force électromotrice décroît linéairement avec le temps; au bout de 24 h d'utilisation,  $e$  a diminué de 20%.

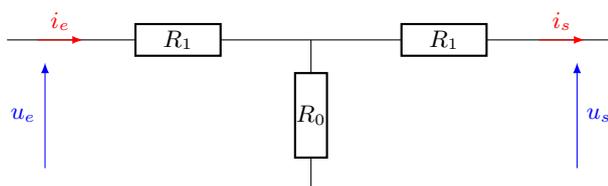
Afin de limiter l'influence de la variation de  $e$  au cours du temps, on branche en parallèle à la pile un accumulateur de force électromotrice  $e' = 3 \text{ V}$  et de résistance interne  $r' = 0,1 \Omega$  selon le schéma ci-dessous.



1. Déterminer l'intensité du courant traversant la résistance  $R$  lorsque la pile est neuve et après 24 h, en l'absence de l'accumulateur.
2. Même question en présence de l'accumulateur. Conclure.

### Exercice 14 : relation entre grandeurs d'entrée et de sortie

Un ensemble de trois résistors est assemblé selon le schéma ci-contre; il est alimenté à gauche par un dispositif non représenté, et est branché à droite sur un circuit non représenté. Soit  $u_e$  et  $i_e$  la tension et l'intensité à l'entrée du circuit.

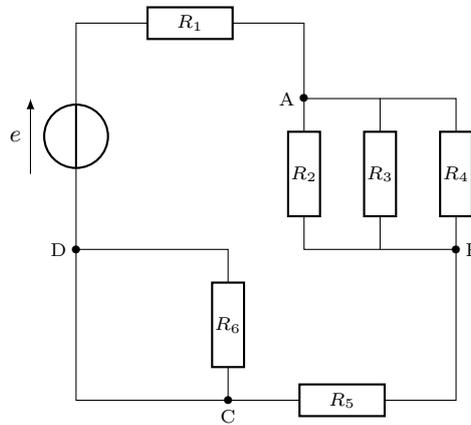


Exprimer la tension de sortie  $u_s$  et l'intensité du courant en sortie  $i_s$  en fonction de  $u_e$ ,  $i_e$  et des résistances.

## Travaux dirigés

### Exercice 1 : association de résistances

On considère le circuit ci-dessous, alimenté par une source idéale de tension.

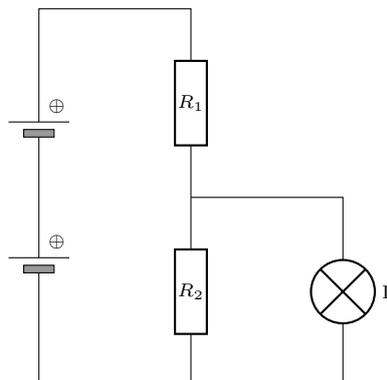


1. Calculer, dans l'ordre le plus pertinent la tension aux bornes de  $R_6$  et l'intensité qui la traverse. Comment qualifie-t-on le montage entre ces deux points ?
2. À l'aide des lois d'association de résistances, exprimer la résistance totale branchée aux bornes de la source de tension. Calculer l'intensité du courant délivré par la source.

$$R_1 = R_2 = R_3 = 100 \Omega, R_4 = R_5 = R_6 = 200 \Omega, e = 10 \text{ V}$$

### Exercice 2 : rendement énergétique d'un circuit

On considère le circuit ci-dessous, alimenté par deux piles identiques, de force électromotrice  $e = 4,5 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 4 \Omega$ , et dans lequel se trouve une lampe L, qui se comporte comme un résistor de résistance constante  $R$ . Les résistances ont pour valeur :  $R_1 = 25 \Omega$ ,  $R_2 = 75 \Omega$  et  $R = 10 \Omega$ .



1. Exprimer l'intensité du courant qui circule dans la lampe en fonction des données. On atteindra le résultat de deux façons différentes :
  - en posant les équations sur le circuit réel ;
  - en réduisant préalablement le circuit à une seule maille.

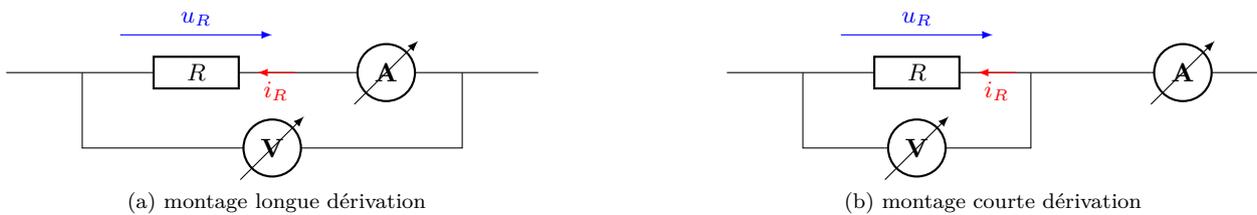
- Exprimer l'intensité du courant délivré par les piles, en fonction des données.
- Calculer la puissance dissipée par la lampe. Calculer de même la puissance dissipée par les résistances internes des deux piles.
- Calculer la puissance délivrée par les parties génératrices des piles. En déduire le rendement du circuit défini comme le rapport entre la puissance reçue par la lampe et la puissance délivrée par les parties génératrices des piles.

### Exercice 3 : mesures de tension et d'intensité

On souhaite mesurer simultanément la tension  $u_R$  aux bornes d'un résistor de résistance  $R$ , et l'intensité  $i_R$  du courant qui le traverse. Pour cela, on dispose d'un ampèremètre (A) et d'un voltmètre (V), qui se comportent comme des résistors de résistances internes respectives  $R_A$  et  $R_V$ . On note  $u$  et  $i$  la tension et l'intensité mesurées par ces deux instruments.

- Rappeler comment on doit brancher un ampèremètre pour mesurer l'intensité dans une branche. Rappeler comment on doit brancher un voltmètre pour mesurer la tension entre deux points.

En pratique, on peut imaginer deux montages différents pour réaliser la mesure voulue. Dans le montage *longue dérivation*, le voltmètre est branché aux bornes de l'ensemble constitué par le résistor et l'ampèremètre. Dans le montage *courte dérivation*, le voltmètre est branché aux bornes du résistor.



- Dans le montage longue dérivation.
  - L'ampèremètre mesure-t-il  $i_R$  ? Le voltmètre mesure-t-il  $u_R$  ?
  - Exprimer la tension  $u_R$  en fonction de  $u$  (tension lue sur le voltmètre),  $R$  et  $R_A$ .
  - En déduire à quelle condition le voltmètre donne une indication raisonnable de la tension  $u_R$ .
- Dans le montage courte dérivation.
  - L'ampèremètre mesure-t-il  $i_R$  ? Le voltmètre mesure-t-il  $u_R$  ?
  - Exprimer l'intensité  $i_R$  en fonction de  $i$  (intensité lue sur l'ampèremètre),  $R$  et  $R_V$ .
  - En déduire à quelle condition l'ampèremètre donne une indication raisonnable de l'intensité  $i_R$ .
- Énoncer une conclusion générale sur la résistance interne d'un ampèremètre et la résistance interne d'un voltmètre.

### Exercice 4 : réalisation d'un circuit

On dispose du matériel suivant :

- une pile (9 V, 3  $\Omega$ ),
- une pile (3 V, 2  $\Omega$ ),
- quatre résistors de 10  $\Omega$ ,
- une ampoule qui se comporte comme un résistor de 30  $\Omega$ .

Proposer un circuit permettant de soumettre l'ampoule à une tension comprise entre 3 et 3,5 V.