

# GELE2112 Chapitre 1 : Introduction aux circuits électriques

Gabriel Cormier, PhD

Université de Moncton

Hiver 2009

# Contenu

## Contenu

- Révision des concepts de base : tension et courant

# Contenu

## Contenu

- Révision des concepts de base : tension et courant
- Sources : tension et courant

# Contenu

## Contenu

- Révision des concepts de base : tension et courant
- Sources : tension et courant
- Noeuds et boucles

# Contenu

## Contenu

- Révision des concepts de base : tension et courant
- Sources : tension et courant
- Noeuds et boucles
- Circuits simples

# Notions de base

- Électricité : produite par le mouvement d'électrons, généralement dans un conducteur.
- Conducteur : matériau où les électrons sont libres de se déplacer.

Il y a deux caractéristiques de base aux circuits électriques :

- ① Tension  $v$ , dont l'unité est le *Volt* [V]
- ② Courant  $i$ , dont l'unité est l'*Ampère* [A]

# Tension

La tension est l'énergie nécessaire pour déplacer des charges  $q$  :

$$v = \frac{dw}{dq} \quad [\text{V}] \quad (1)$$

- Semblable à l'énergie potentielle d'un corps : même si un corps ne bouge pas, il possède une énergie potentielle pour faire un travail.
- Représente l'énergie nécessaire pour faire bouger des charges électriques.
- Ex : 1 Volt représente la différence de potentiel entre deux points si on utilise 1 Joule d'énergie pour déplacer une charge de 1 Coulomb.

# Tension

- C'est la différence de potentiel, la tension, qui crée le courant.
- Par analogie, la tension est équivalente à la pression d'un liquide. C'est un peu comme un réservoir d'eau : si on pompe de l'eau dans un réservoir qui est élevé, cette eau possède de l'énergie potentielle.

# Courant

Représente la quantité de charge qui se déplace à travers une certaine surface dans un certain interval de temps :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad [\text{A}] \quad (2)$$

- Un courant de 1 Ampère représente une charge nette de 1 Coulomb qui traverse une surface en 1 seconde (donc des Coulombs/seconde).
- Le courant électrique est semblable au mouvement de l'eau dans des tuyaux. Par analogie mécanique, c'est le débit (Litres/seconde).

# Courant

Sens du courant :

- Convention adoptée.
- Les électrons, qui sont négatifs, sont attirés par les charges positives, et donc se déplacent du – vers le +.
- Cependant, de manière historique, on dit que *le courant électrique se déplace du + vers le –*.

Sens du courant :

Le courant électrique se déplace du + vers le –

# Élément idéal

Pour ce cours, on considère les éléments de circuit comme étant idéaux :

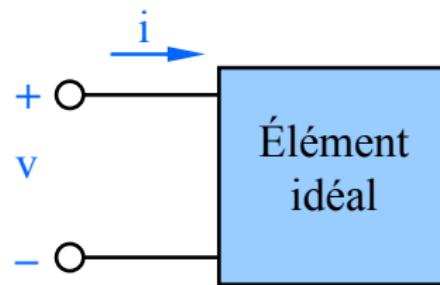


FIGURE 1: Élément de circuit idéal

La convention utilisée dans ce cours pour l'élément idéal est la suivante :

### Convention

Si le courant et la tension sont donnés comme à la figure 1 (le courant entre dans la borne +), on utilise un signe positif (+) dans toute équation qui relie la tension au courant. Sinon, on utilise un négatif (-).

# Puissance

Par définition, la puissance est la quantité d'énergie utilisée dans un lapse de temps :

$$p = \frac{dw}{dt} \quad [\text{W}] \quad (3)$$

L'unité de la puissance est le Watt [W]. Pour produire le même travail, si on fait un travail plus rapidement, ceci implique une plus grande puissance.

# Puissance électrique

On peut calculer la puissance électrique en notant que :

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = vi \quad (4)$$

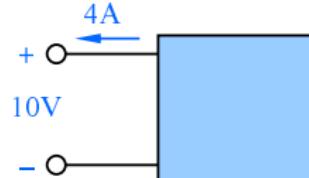
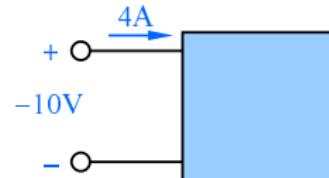
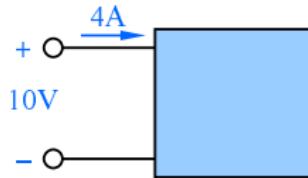
La référence utilisée est la suivante, selon la convention de la figure 1 :

## Convention

- Si le courant va de + à −, la puissance est positive ( $p > 0$ ), et l'élément *consomme* de la puissance
- Si le courant va de − à +, la puissance est négative ( $p < 0$ ), et l'élément *fournit* de la puissance

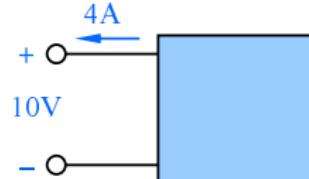
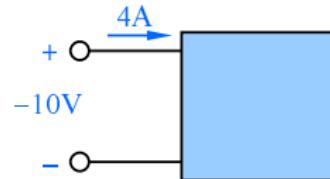
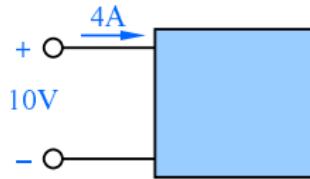
# Exemple

Pour les trois éléments de la figure suivante, calculer la puissance, et indiquer si l'élément consomme ou fournit de la puissance.



# Exemple

Pour les trois éléments de la figure suivante, calculer la puissance, et indiquer si l'élément consomme ou fournit de la puissance.



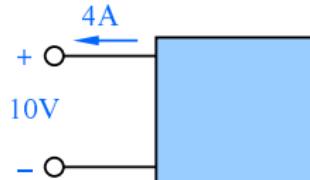
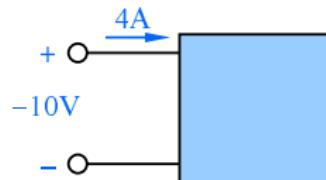
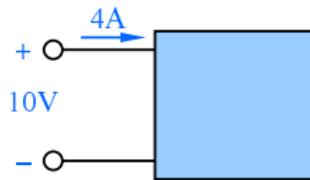
Cas 1 :

$$\begin{aligned} p &= vi \\ &= (10)(4) = 40\text{W} \end{aligned}$$

$p > 0 \Rightarrow$  consomme

# Exemple

Pour les trois éléments de la figure suivante, calculer la puissance, et indiquer si l'élément consomme ou fournit de la puissance.



Cas 1 :

$$\begin{aligned} p &= vi \\ &= (10)(4) = 40\text{W} \end{aligned}$$

$p > 0 \Rightarrow$  consomme

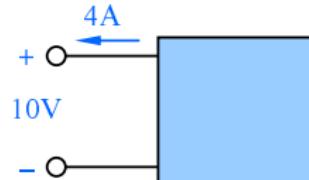
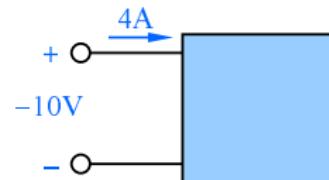
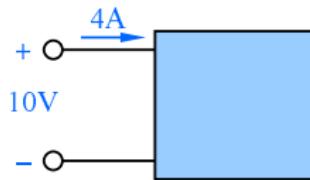
Cas 2 :

$$\begin{aligned} p &= vi \\ &= (-10)(4) = -40\text{W} \end{aligned}$$

$p < 0 \Rightarrow$  fournit

# Exemple

Pour les trois éléments de la figure suivante, calculer la puissance, et indiquer si l'élément consomme ou fournit de la puissance.



Cas 1 :

$$\begin{aligned} p &= vi \\ &= (10)(4) = 40\text{W} \end{aligned}$$

$p > 0 \Rightarrow$  consomme

Cas 2 :

$$\begin{aligned} p &= vi \\ &= (-10)(4) = -40\text{W} \end{aligned}$$

$p < 0 \Rightarrow$  fournit

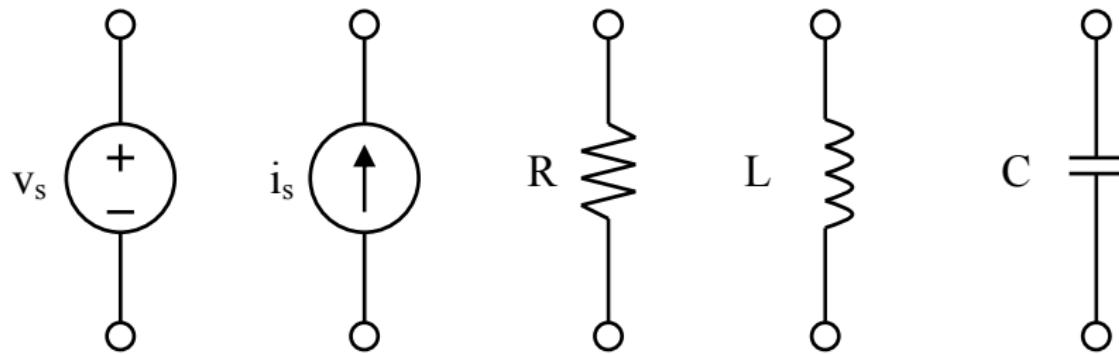
Cas 3 :

$$\begin{aligned} p &= -vi \\ &= -(10)(4) = -40\text{W} \end{aligned}$$

$p < 0 \Rightarrow$  fournit

# Éléments de circuit

Les éléments de base des circuits électriques sont :



Source de tension

Source de courant

Résistance

Inductance

Condensateur

FIGURE 2: Éléments de circuit

# Sources

Source : un dispositif qui convertit de l'énergie non électrique en énergie électrique.

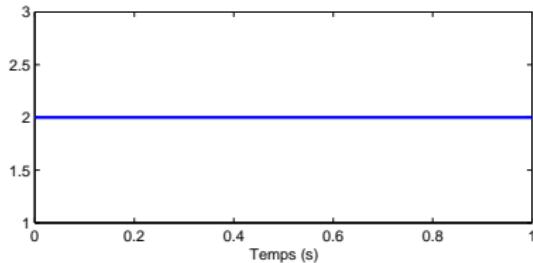
Exemples :

- Batterie : convertit de l'énergie chimique en énergie électrique
- Générateur : convertit de l'énergie mécanique en énergie électrique
- Panneau solaire : convertit de la lumière en énergie électrique

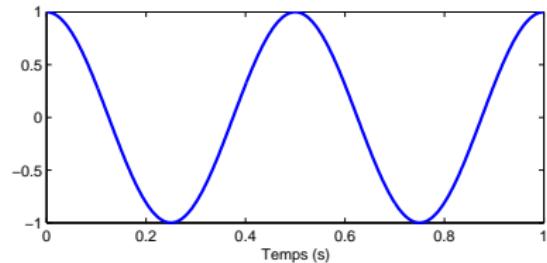
# Sources

Il existe deux types de sources :

- ① Source DC : Source constante dans le temps.
- ② Source AC : Source variable dans le temps.



Source DC



Source AC

On utilisera des sources DC pour la plupart du cours, sauf à la fin où on utilisera aussi des sources AC.

# Sources

Les sources sont des éléments actifs :

- Peuvent générer de la puissance
- Peuvent consommer de la puissance

Un élément passif peut seulement consommer de la puissance.

# Source de tension

Une source de tension maintient toujours la tension indiquée à ses bornes. Le courant qui traverse la source dépend du circuit externe. Quelques symboles de sources de tension sont montrés à la figure 3. Le premier symbole est le plus utilisé.

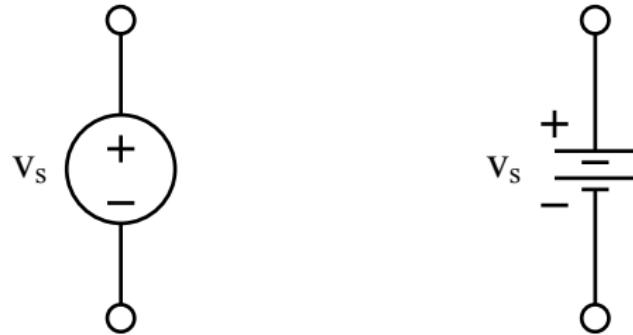


FIGURE 3: Symboles pour sources de tension

# Sources de tension

Exemples de sources de tension

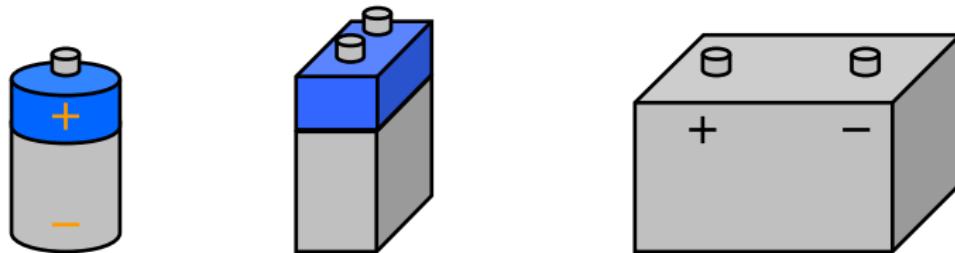


FIGURE 4: Sources de tension

La valeur de tension est constante, peu importe la charge à laquelle la source est branchée.

# Sources de tension

Pratiquement, les sources réelles ne peuvent pas fournir un courant infini ; il y a un courant maximal que la source peut débiter. Ce courant maximum peut être quand même très élevé ; les batteries de voiture peuvent fournir jusqu'à 1000 A pendant 30 secondes. Par comparaison, il faut environ 70mA pour arrêter le cœur d'une personne.

# Batteries

Les batteries réelles peuvent seulement fournir une quantité fixe de courant. Généralement, elles ont une limite (calibre) donnée en mAh ou Ah (milliAmpères-heure). Ex :

- Une batterie de 2000mAh peut fournir 2000mA en continu pendant 1 heure, ou fournir 1000mA en continu pendant 2h, etc.
- De façon générale, calibre = courant  $\times$  temps.

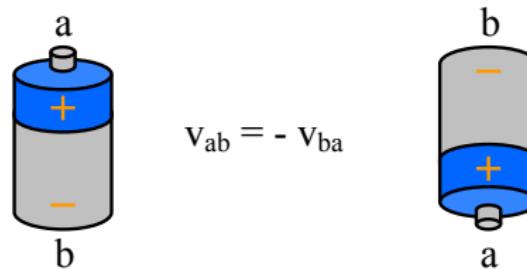
# Réseau électrique

Le réseau électrique dans les maisons est un exemple de source de tension :

- La tension est toujours 120V, peu importe ce qui y est branché.
- Le courant dépend de ce qui y est branché ; dans une maison, la limite typique maintenant est 200A.
- Le réseau électrique est un réseau AC (alternatif) : la tension a une fréquence de 60Hz.

# Tension

La tension est une grandeur algébrique, définie entre deux points. Si la tension est positive entre deux points  $a$  et  $b$ , elle est négative entre  $b$  et  $a$ .

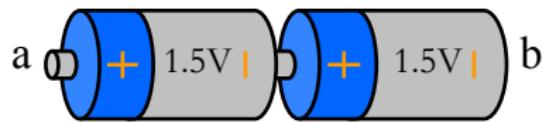


La méthode d'écrire  $v_{ab}$  veut dire la tension au point  $a$  ( $v_a$ ) moins la tension au point  $b$  ( $v_b$ ) :

$$v_{ab} = v_a - v_b \quad (5)$$

# Sources de tension : branchement série

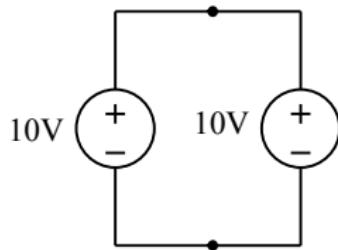
On peut brancher des sources de tension en série : la tension totale est alors la somme des tensions individuelles, comme à la figure suivante. Chaque batterie a une tension de 1.5V ; la tension total,  $v_{ab}$  est 3V.



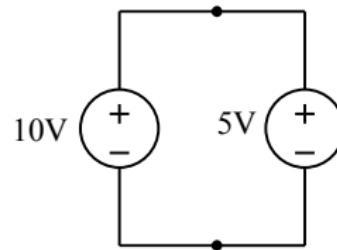
Dans un circuit, ces deux sources agissent comme une seule source de 3V.

# Sources de tension : branchement parallèle

- Généralement, pas permis.
- Seulement possible si les sources ont exactement la même valeur.



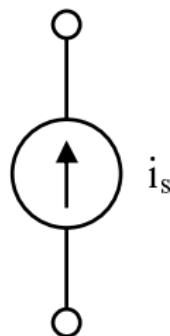
a) Correct



b) Pas correct

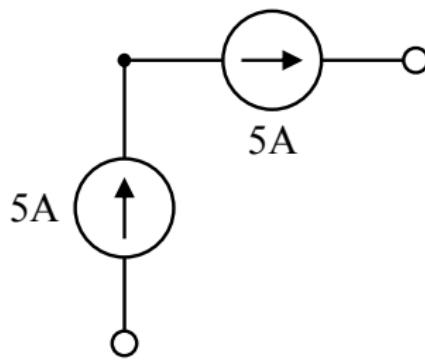
# Source de courant

- Produit toujours le courant indiqué
- La tension à ses bornes dépend du circuit externe
- Symbole typique :

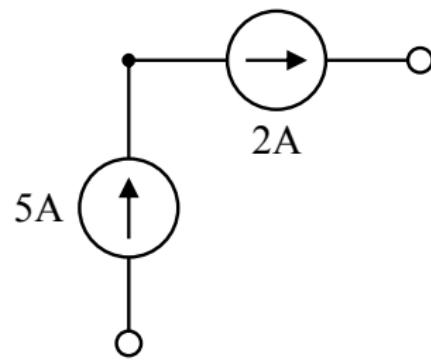


# Source de courant : branchement série

On peut seulement brancher des sources de courant en série si elles ont *exactement* la même valeur.



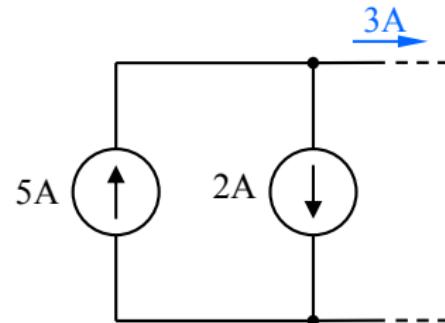
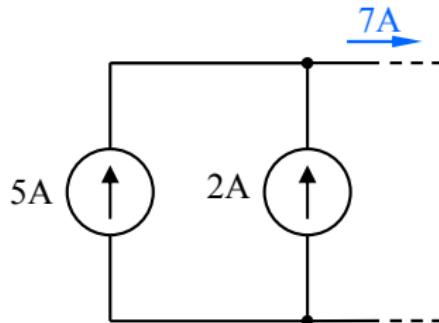
a) Correct



b) Pas correct

# Source de courant : branchement parallèle

En parallèle, le courant total est la somme algébrique des courants.

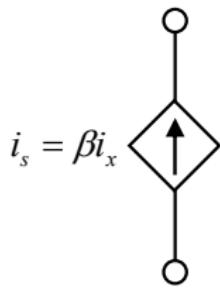
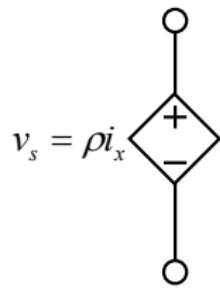
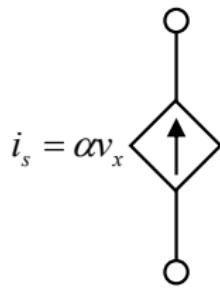
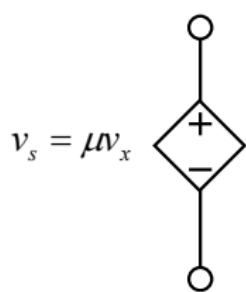


# Sources dépendantes

- Source de tension ou courant
- La valeur dépend d'une autre tension ou d'un autre courant dans le circuit.
- Aussi appelées des *sources contrôlées*
- Suivent les mêmes règles que les sources de tension et de courant.

# Sources dépendantes

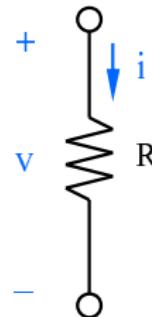
Symboles :



- $v_x$  et  $i_x$  viennent d'un autre élément dans le circuit
- $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\rho$  et  $\mu$  sont des constantes

# Résistances

- Georg Simon Ohm (1789 - 1854), découvre que le courant électrique se comporte comme un fluide.
- Il démontre que certains matériaux s'opposent au passage du courant : de la résistance
- L'unité de résistance est le Ohm ( $\Omega$ ).



# Loi d'Ohm

La tension et le courant dans une résistance sont reliés par la loi d'Ohm :

$$v = Ri \quad (6)$$

Il y a 1 Ohm de résistance dans un matériau si un courant de 1 Ampère traverse ce matériau lorsque 1 Volt est appliqué à ses bornes.

Analogie :

- la résistance est comme un tuyau bouché par des obstacles.
- À cause de ces obstacles, il y aura une différence de pression entre les bornes.
- Cette différence de pression est comme la différence de potentiel, la tension, aux bornes de la résistance.

# Conductance

La conductance  $G$  est l'inverse de la résistance :

$$G = \frac{1}{R} \quad [\text{S}] \quad (7)$$

dont l'unité est le Siemens (S).

# Puissance dans une résistance

Dans une résistance, si on utilise la référence de la figure 1 (le courant entre dans la borne +), la puissance dans la résistance est :

$$p = vi \quad (8)$$

comme pour tout élément idéal. Cependant, à l'aide de la loi d'Ohm, on peut écrire cette relation de deux autres façons :

$$p = vi = (Ri)i = Ri^2 \quad \text{ou} \quad (9)$$

$$= v \left( \frac{v}{R} \right) = \frac{v^2}{R} \quad (10)$$

Une résistance consomme *toujours* de la puissance, qui est transformée en chaleur.

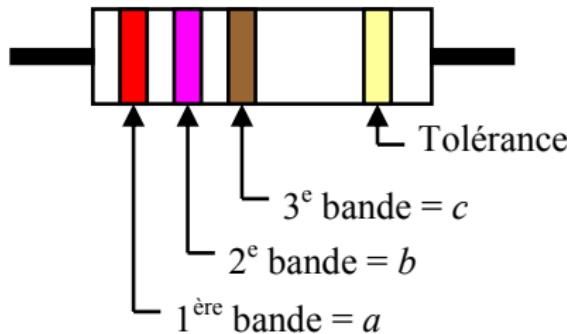
# Résistances réelles

Exemples :



La valeur de résistance est identifiée à l'aide des bandes de couleurs, selon un code bien établi.

# Code de couleur



$$R = (10a + b) \times 10^c$$

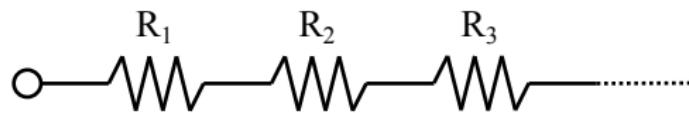
Exemple:

$$(20+7) \times 10^1 = 27 \times 10 = 270\Omega \pm 5\%$$

Chiffre	Tolérance
0	± 5%
1	± 10%
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

# Résistances en série

- La résistance totale est la somme des résistances
- Des résistances sont en série si le *même courant* traverse ces résistances.

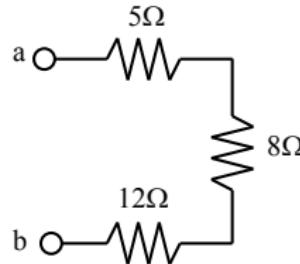


La résistance équivalente est :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (11)$$

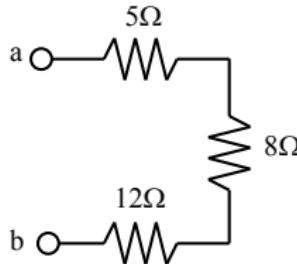
# Exemple

Calculer la résistance équivalente entre les points *a* et *b* de la figure suivante.



# Exemple

Calculer la résistance équivalente entre les points *a* et *b* de la figure suivante.



---

Les résistances sont en série. Il faut faire la somme :

$$R_{eq} = R_{ab} = 5 + 8 + 12 = 25\Omega$$

# Résistances en parallèle

Pour des résistances en parallèle, il faut additionner les conductances. Des éléments en parallèle auront la même tension. Pour des résistances en parallèle, la conductance équivalente est :

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots \quad (12)$$

ou

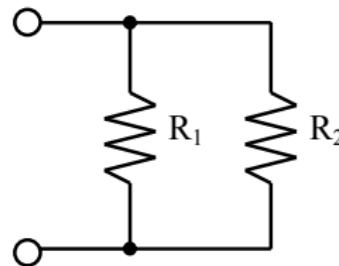
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \quad (13)$$

La résistance équivalente est :

$$R_{eq} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \right)^{-1} \quad (14)$$

# Résistances en parallèle : cas particulier

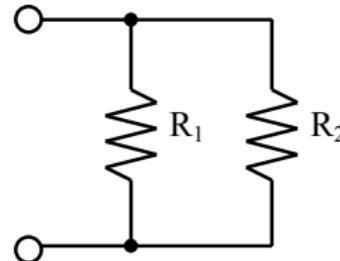
Cas particulier : 2 résistances en parallèle :



$$\begin{aligned} R_{eq} &= \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} = \left( \frac{R_2}{R_1 R_2} + \frac{R_1}{R_1 R_2} \right)^{-1} = \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right)^{-1} \\ &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \quad (15)$$

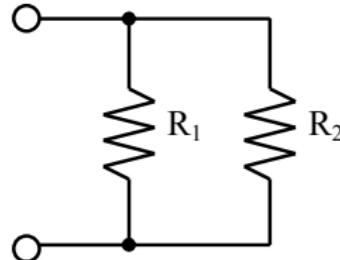
# Exemple

Dans le circuit suivant, si  $R_1 = 9\Omega$  et  $R_2 = 18\Omega$ , quelle est la résistance équivalente ?



## Exemple

Dans le circuit suivant, si  $R_1 = 9\Omega$  et  $R_2 = 18\Omega$ , quelle est la résistance équivalente ?



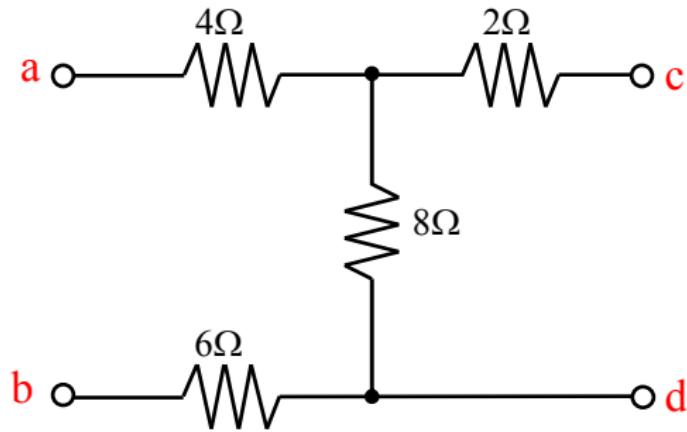
---

Puisqu'il s'agit de 2 résistances en parallèle, on peut appliquer l'équation 15 :

$$R_{eq} = \frac{(9)(18)}{9 + 18} = 6\Omega$$

# Résistance équivalente

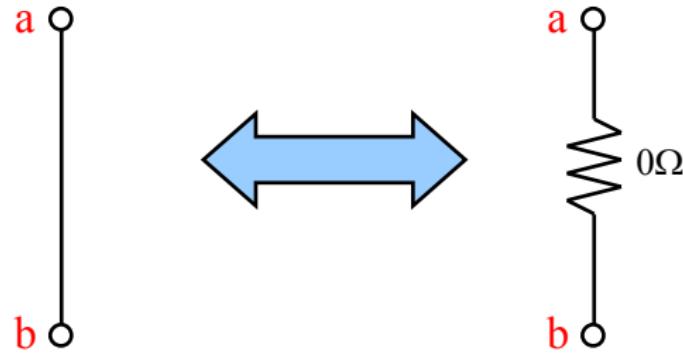
La résistance équivalente est différente selon les deux points utilisés dans un circuit.



La résistance équivalente entre les points  $a$  et  $b$  n'est pas la même que celle entre les points  $c$  et  $d$ .

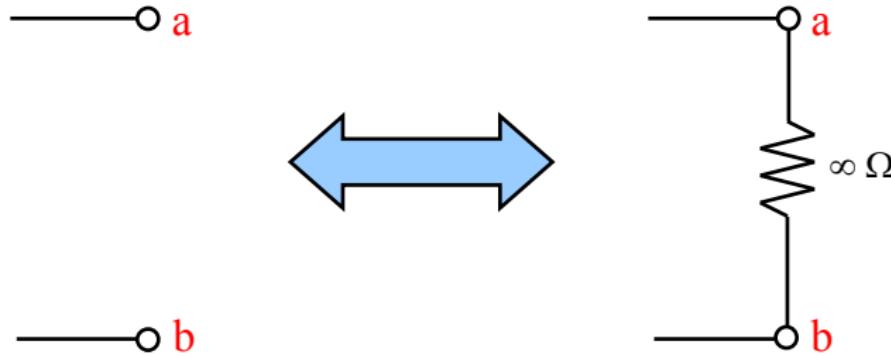
# Court-circuit

Court-circuit : résistance nulle entre deux points.



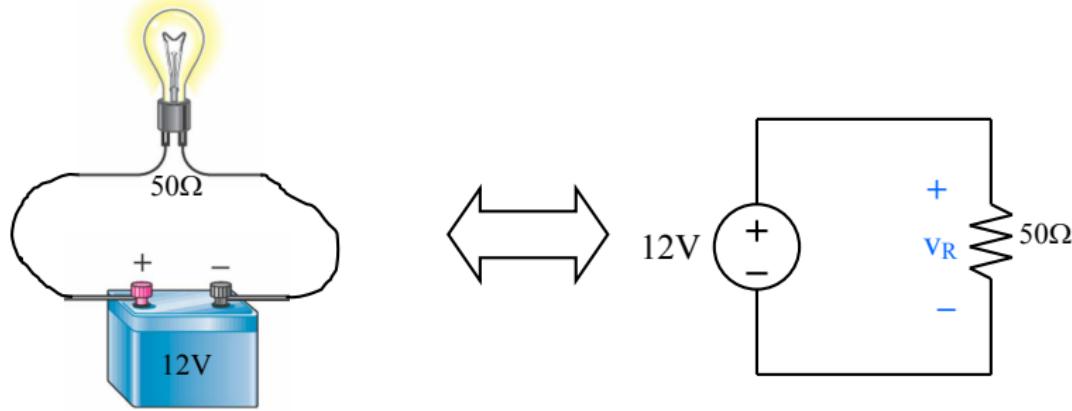
# Circuit ouvert

Circuit ouvert : résistance infinie entre deux points.



# Circuits simples

Exemple : une batterie avec une ampoule peut être modélisé par une source de tension et une résistance. L'ampoule agit comme une résistance.



On veut calculer le courant qui traverse l'ampoule.

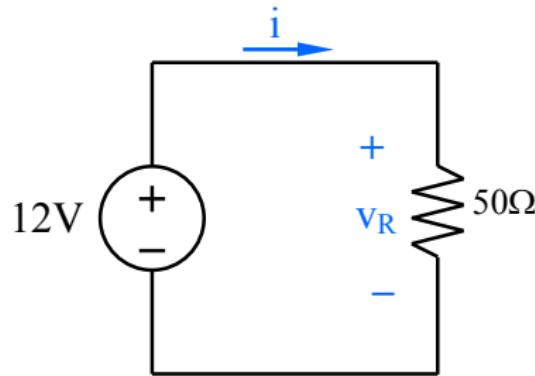
# Procédures

Étapes :

- ① Supposer un sens pour le courant.
- ② Effectuer les calculs appropriés.
- ③ Si on trouve un courant positif, ceci veut dire que le sens supposé au début est correct. Sinon, ça veut juste dire que le sens du courant est l'opposé.

# Exemple

On suppose que la batterie fournit de la puissance (ce qui devrait être le cas) : le courant doit sortir de la borne positive de la source. Le circuit est donc (si l'ampoule a une résistance de  $50\Omega$ ) :



# Exemple

Puisqu'il n'y a pas d'autre élément dans le circuit, la tension aux bornes de la résistance est celle de la source, puisqu'ils sont en parallèle. On applique la loi d'Ohm à la résistance, pour obtenir :

$$i_R = \frac{v_R}{R} = \frac{12V}{50\Omega} = 0.24 \text{ A} = 240 \text{ mA}$$

## Exemple : vérification

Bilan de puissance : la puissance fournie dans le circuit doit être égal à la puissance consommée.

Pour la source, puisque le courant entre par la borne négative, la puissance est :

$$p_S = -vi = -(12)(0.24) = -2.88 \text{ W}$$

Il faut utiliser le signe négatif, parce qu'on ne suit pas la convention de la figure 1. Puisque la puissance est négative, la source fournit de la puissance, ce qui fait du sens.

Pour la résistance, on va utiliser l'une des relations calculée plus haut :

$$p_R = Ri^2 = (50)(0.24)^2 = 2.88 \text{ W}$$

La puissance est positive, ce qui veut dire que la résistance consomme de la puissance.

# Exemple : vérification

On obtient alors, comme bilan de puissance :

Puissance fournie	2.88W
Puissance consommée	2.88W
Bilan	0

Dans tous les circuits électriques, la puissance consommée doit être égale à la puissance fournie. On peut aussi dire que la somme des puissances doit donner 0.

$$p_T = p_f + p_c = -2.88 + 2.88 = 0$$

C'est une façon de vérifier si les calculs effectués sont corrects.

# Mesure de tensions et courants

Mesure de tension :

- Voltmètre : placé en parallèle avec l'élément

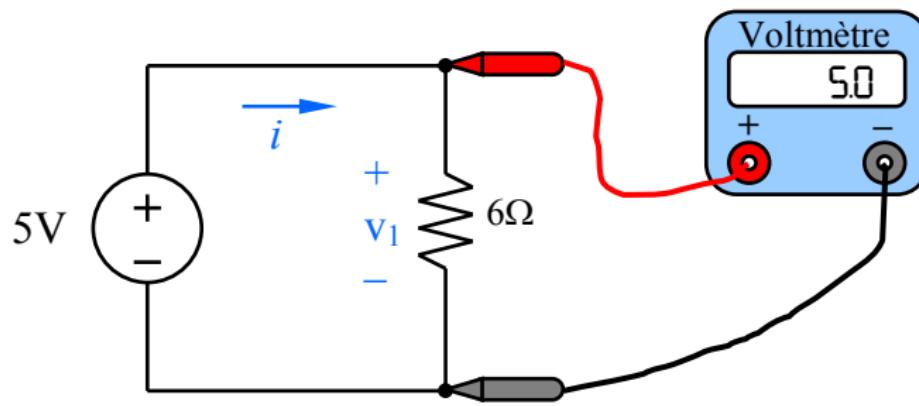
Mesure de courant :

- Ampèremètre : placé en série avec l'élément

Souvent, ces deux instruments sont combinés en un seul, le multimètre.

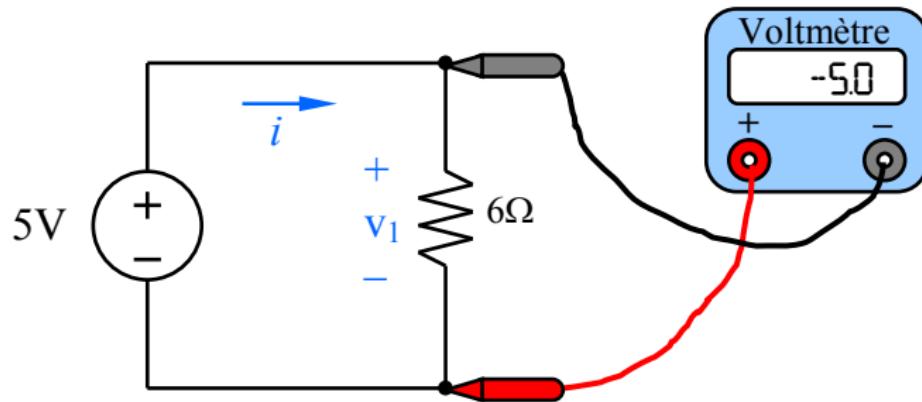
# Voltmètre

Le voltmètre doit être utilisé *en parallèle* avec l'élément auquel on veut mesurer la tension. Un exemple d'utilisation est donné à la figure suivante. Noter que les mesures sont prises aux bornes de la résistance, de façon parallèle.



# Voltmètre

Il faut faire attention aux bornes de ce qu'on branche. Si on inverse l'ordre, le voltmètre indiquera l'inverse du premier cas.



# Ampèremètre

Pour mesurer le courant, il faut placer l'ampèremètre *en série* avec l'élément auquel on veut mesurer le courant, comme à la figure suivante. Remarquer qu'on a ouvert le circuit pour brancher l'ampèremètre.

