

Conditionneur pour les capteurs

Les éléments de la chaîne de mesure

Grandeur
Physique

Grandeur électrique



- Capteur : Conversion d'une grandeur physique -> grandeur électrique
- Conditionneur : grandeur électrique directement exploitable par l'appareil de mesure/contrôle
- Appareil de mesure/contrôle : lecture du résultat ou visualisation binaire
- l'ensemble "capteur + conditionneur" est souvent appelé capteur par abus de langage.

Conditionneur pour capteur

Bcq de capteurs résistance électrique : capteur PT100, jauge de contrainte, ...

Dans cette partie, on se limite aux conditionneurs dédiés au résistance et plus particulièrement : montage pont diviseur et pont de wheastone.

En pratique, la plupart des conditionneurs utilisent des composants électroniques et un capteur = capteur + conditionneur par abus de langage

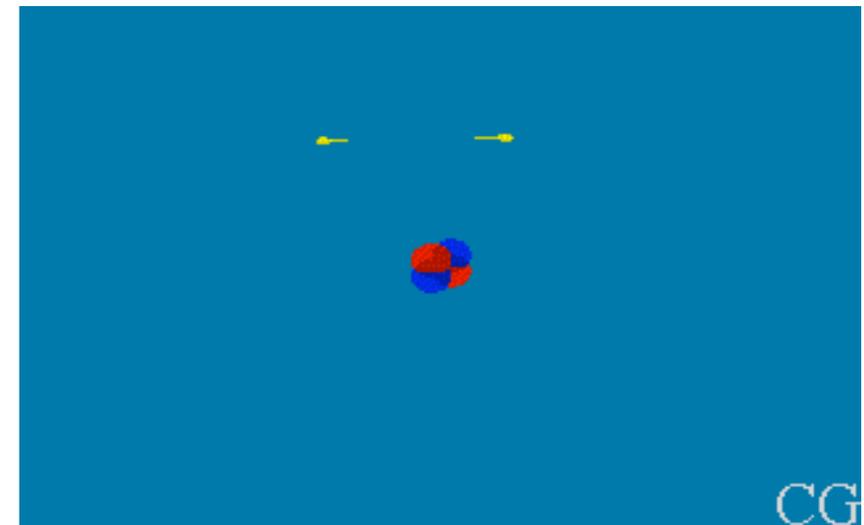
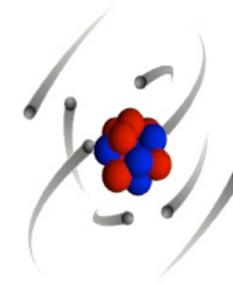
Conversion analogique /numérique -> traitement informatique (composant utilisant des composants électroniques)

Dans cette partie : retour sur les grandeurs électriques et principaux théorèmes, composants électriques élémentaires, principaux conditionneurs associés au capteur résistif.

Grandeurs électriques et principaux théorèmes

Les électrons libres, conducteurs et isolants électriques

- La matière est constituée d'un ensemble d'atomes qui peuvent dans certains cas libérer des électrons de l'attraction de l'atome, les **électrons libres**.
- Un électron libre peut transporter une charge électrique e qui s'exprime en coulomb (symbole C).
- La charge d'un électron est négative
 $\Rightarrow e = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- matière avec électrons libres = **conducteurs** (ex. cuivre ...)
- matière sans électrons libres = **isolants** (ex. verre, plastique ...)



Exemple d'électron en mouvement autour d'un noyau d'hélium (*)

(*) ref : <http://pedagogie.ac-montpellier.fr>

Circulation des charges électriques : le courant électrique

En l'absence d'interaction extérieur, le mouvement de l'électron libre dans la matière ne crée pas de courant électrique



ref : <http://pedagogie.ac-montpellier.fr>

Un courant électrique est un **déplacement d'ensemble** de porteurs de charge électrique, généralement des électrons, au sein d'un matériau conducteur (cf. wikipedia).

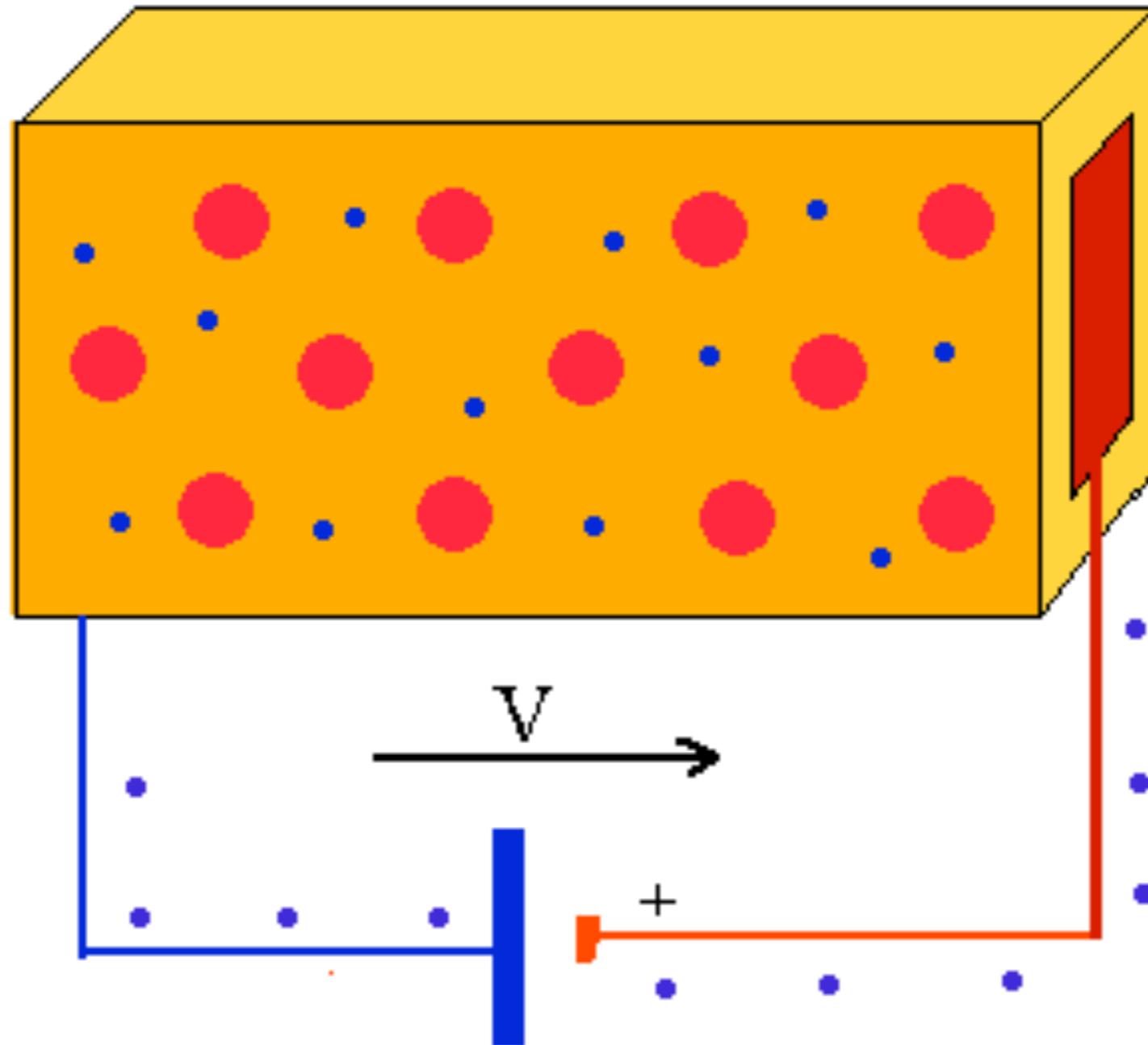
Circulation des charges électriques : intensité du courant électrique

- Abusivement, on appelle **courant**, l'intensité du courant électrique. Dans un fil électrique, cela correspond au **débit de charge électrique** à travers la section du fil. Pour rappel, le débit est la quantité de matière (ici de charges électriques) circulant par unité de temps
- L'unité du courant est l'ampère symbole A
- Mathématiquement, le courant correspond à la variation du nombre de charge par unité de temps soit :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

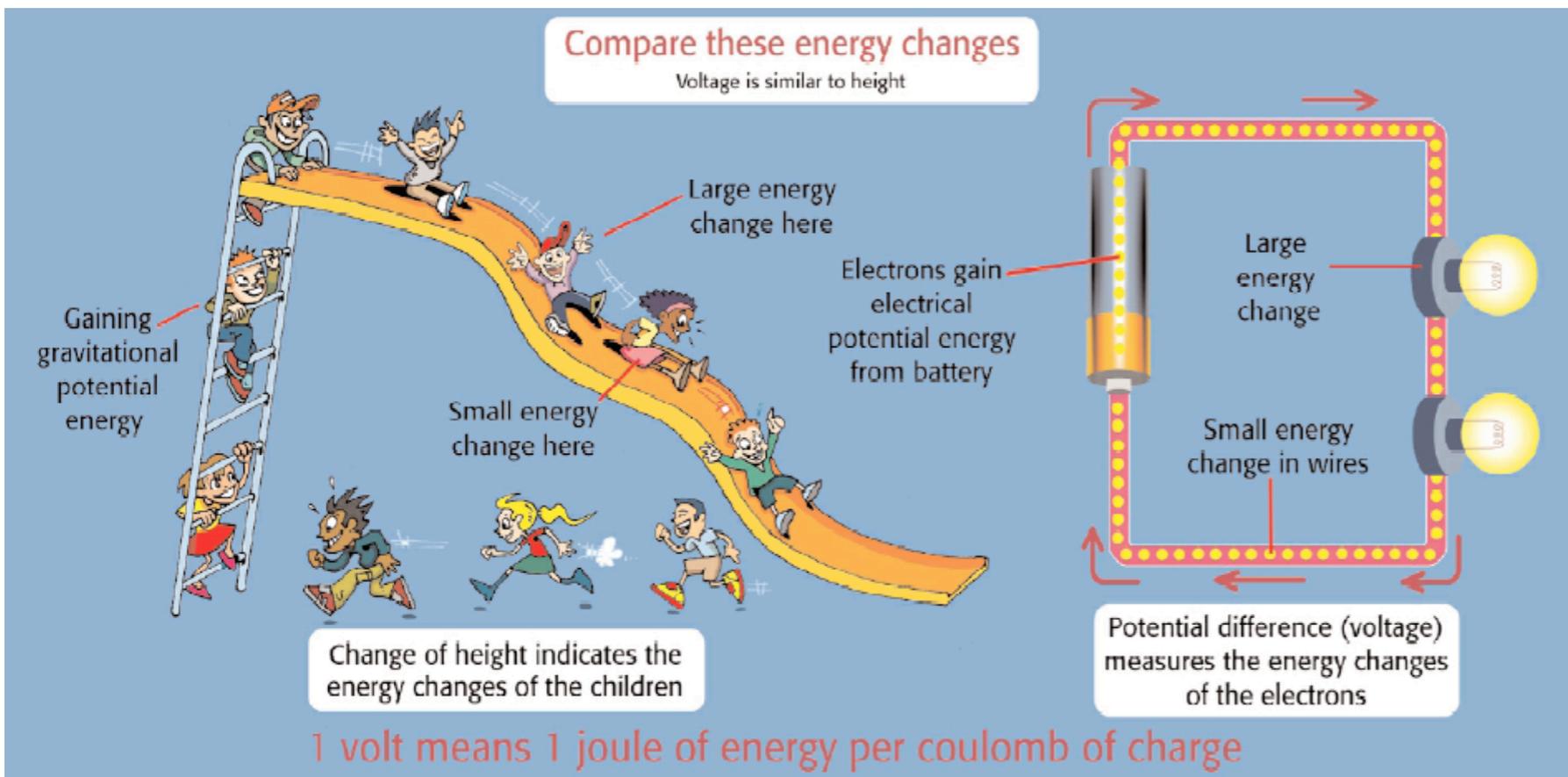
- Ordre de grandeur : DEL : 10 mA, Electrocutation : 100 mA , ampoule à incandescence : 1 A, radiateur : 10 A, démarreur automobile 100 A, moteur de locomotive : 1 kA, foudre : 100 kA(source wikipedia)

Une illustration



Définition de la tension électrique

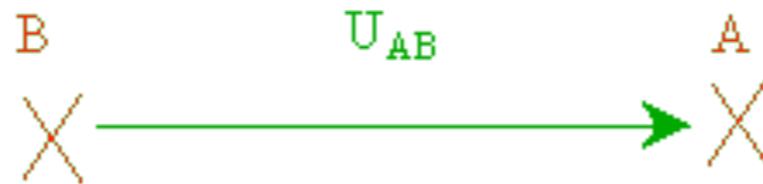
- La tension électrique est la différence de potentiel électrique (ddp en abrégé) entre deux points d'un circuit électrique.
- Le **potentiel électrique** est l'une des grandeurs définissant l'état électrique d'un point de l'espace. Son unité est le volt (symbole de l'unité V).



- La différence de potentiel correspond à l'énergie qu'il est nécessaire de fournir à une charge pour aller d'un point à l'autre.

Propriétés de la tension électrique

- Par convention, on utilise une notation U . Par exemple entre deux points A et B d'un circuit on a $U_{AB} = V_A - V_B$ la différence de potentiel en A (V_A) et B (V_B).
- La tension U_{AB} est notée avec une flèche orientée de B vers A



Propriétés :

- $U_{AB} = -U_{BA}$
- La tension est une grandeur algébrique. Le signe de U_{AB} est positif si le potentiel en A est plus élevé qu'en B
- Relation de Chasles pour les tensions : $U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$



Pour aller
plus loin

Origine de la tension électrique : la force électromagnétique

- Une particule chargée de charge q se déplaçant à une vitesse \vec{v} plongée dans un champ électrique \vec{E} et un champ magnétique \vec{B} est soumise à une **force électromagnétique** ou force de Lorentz donnée par :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$$

- Champ électrique E et potentiel électrique $V(x)$ sont liés par la relation mathématique $\mathbf{E} = -dV/dx$ (dans un système à une seule dimension géométrique par exemple). En conséquence, l'existence d'un champ électrique nécessite une différence de potentiel entre deux points.

Une simplification : définition d'une masse électrique

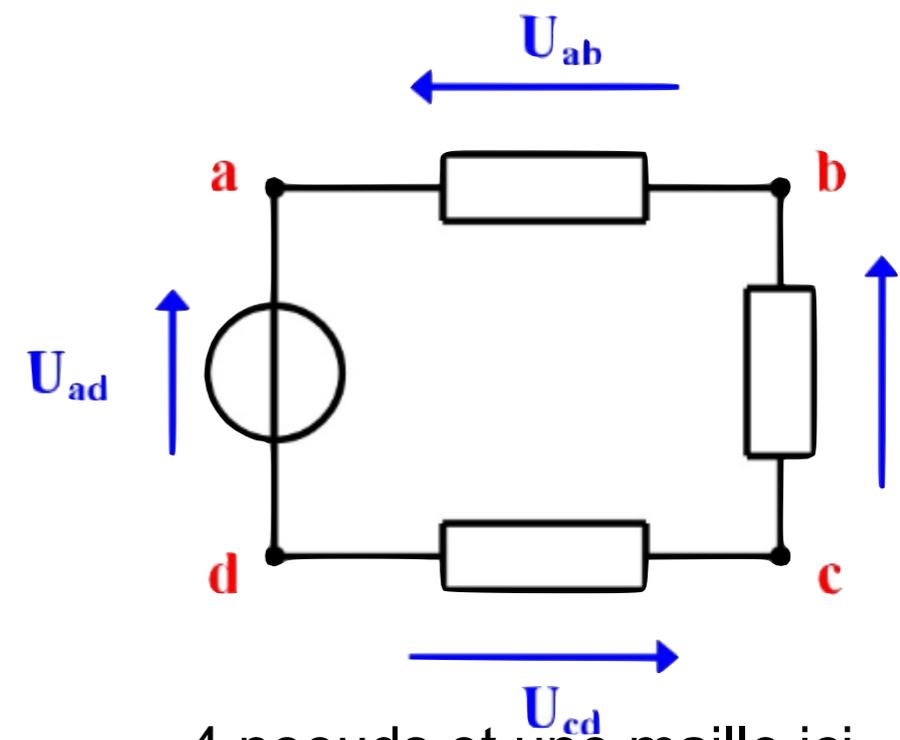
- Le potentiel est une grandeur physique définie à une constante près (pas nécessairement connue). Cette constante disparaît lorsqu'on effectue la différence de potentiel.
- La simplification adoptée consiste à fixer arbitrairement le potentiel d'un noeud à la valeur 0 V sur un circuit. Ce noeud est alors appelé **la masse**. Il peut s'agir :
 - De la terre (dans les installations électriques, un pieux est utilisé pour cela)
 - de la borne - de l'alimentation (une pile ou un générateur de tension)
 - D'un élément mécanique (la carcasse d'une automobile par exemple)
- Appelons M la masse et V_M son potentiel. On a par définition $V_M=0$. Ainsi la tension $U_{AM}=V_A-V_M=V_A$. On obtient une simplification et des risques de confusion de l'écriture des tensions.
- Les symboles de la masse dans les circuits sont :



Un peu de vocabulaire relatif aux circuits

- **Dipôle** : dispositif à 2 bornes conductrices, pouvant admettre une tension à ces bornes et supporter le passage du courant électrique entre ses bornes.
- **Source** : dipôle actif pouvant imposer une différence de potentiel (source de tension), ou un courant (source de courant) à un circuit.
- **Récepteur** : dipôle passif soumis au(x) courant(s) et au(x) tension(s) créés par la(les) source(s).

- Une **branche** est constituée d'un ensemble de dipôles connectés ensemble et parcourus par le même courant.
- Un **noeud** est un point du circuit où sont connectés plus de deux conducteurs ou dipôles; le courant peut s'y diviser. Il constitue l'extrémité d'une branche/

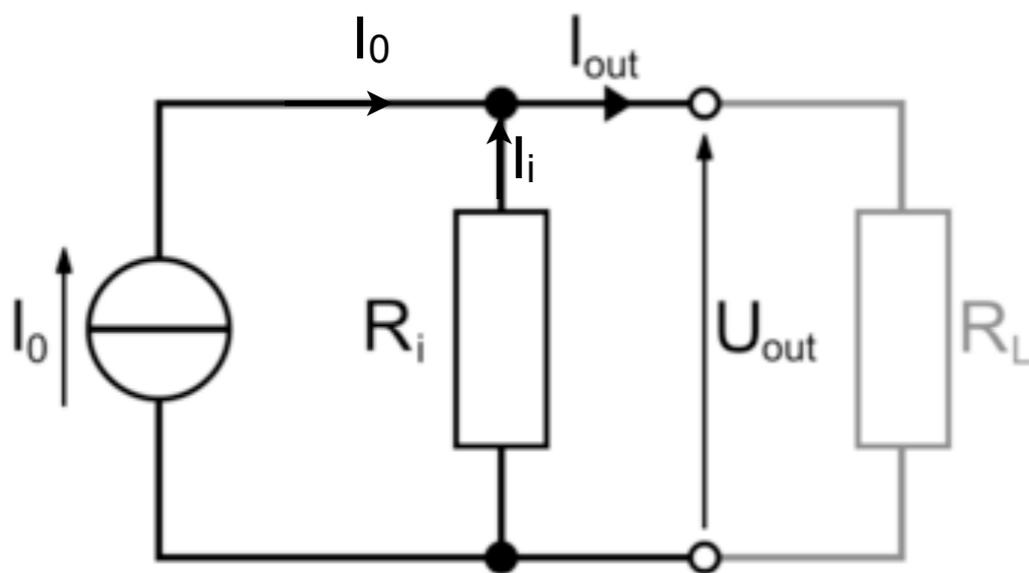


- Une **maille** est constituée d'un ensemble de branches formant un circuit fermé et ne passant qu'une fois par un noeud donné.

Circulation des charges électriques dans un circuit

Deux conditions sont nécessaires pour obtenir une circulation de courant :

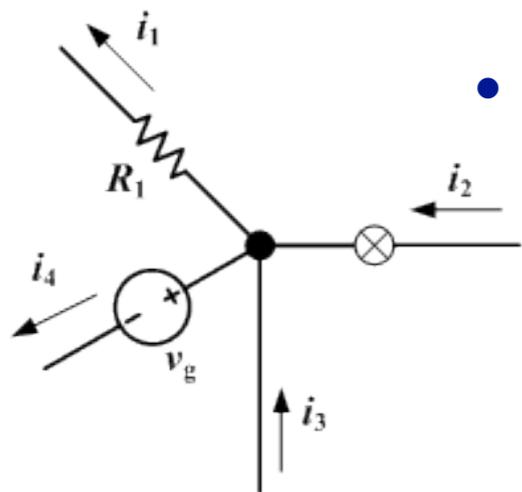
- Il faut utiliser un circuit fermé
- Une différence de potentiel électrique doit exister à un endroit du circuit => une source doit être présente dans le circuit



Dans cet exemple, la source de courant permet au courant I_0 de circuler. Il se divise aux noeuds du circuit.

Les outils pour l'étude des circuits : les lois de Kirchhoff

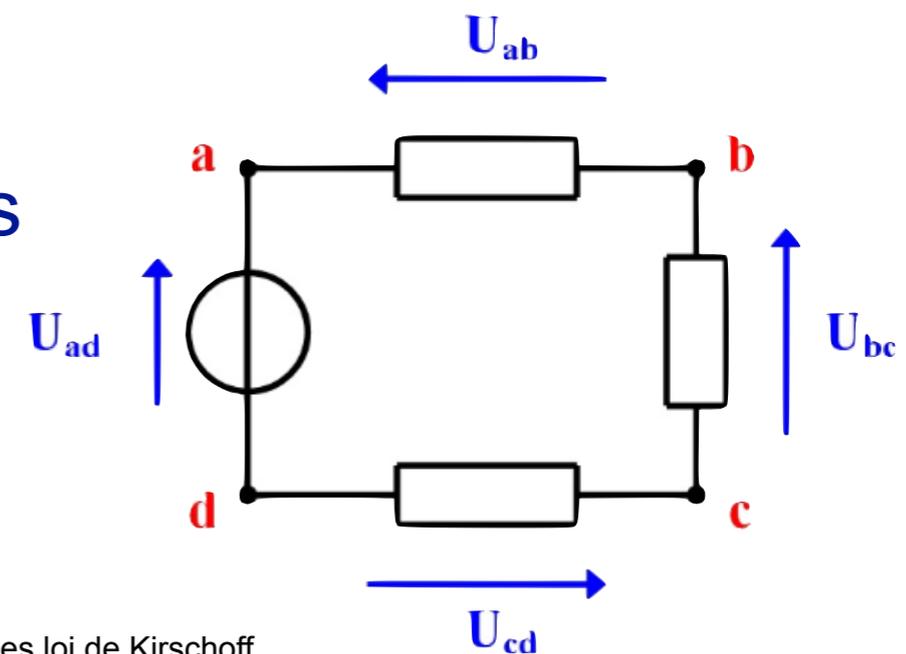
- Etablies par Gustav Kirchhoff en 1845. Elles permettent de calculer courant et tension à tous les noeuds d'un circuit en appliquant la **loi des noeuds** et la **loi des mailles**.



- Loi des noeuds** : la somme des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en sortent. Cette loi découle directement de la conservation de la charge électrique. Ici $i_1 + i_4 = i_2 + i_3$.

- Loi des mailles** : dans une maille quelconque d'un réseau, la somme algébrique des tensions le long de la maille est constamment nulle.

- Ici $-U_{ad} + U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = 0$

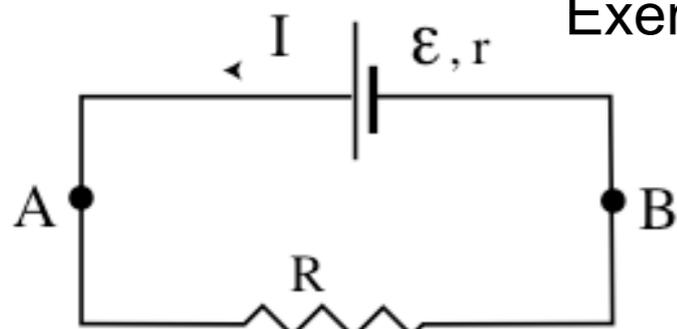


source : wikipédia : article sur les loi de Kirschoff

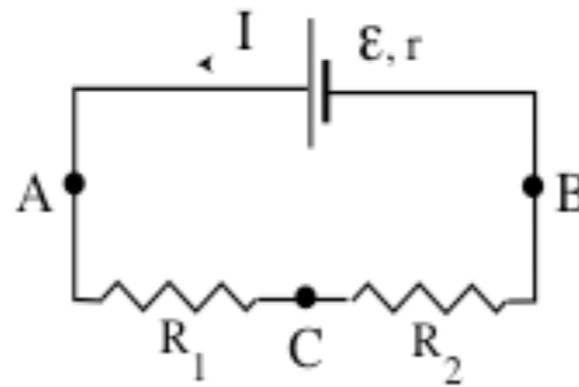


Les lois de Kirchhoff

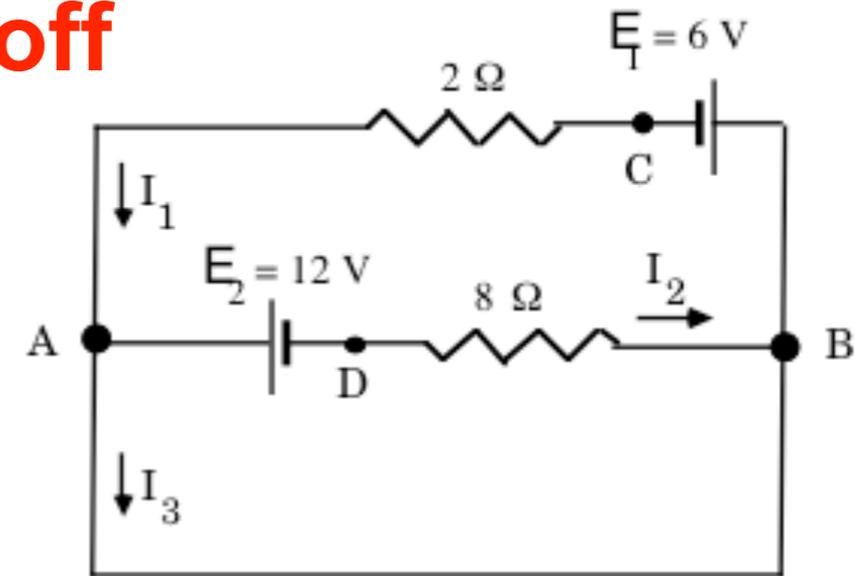
Exercice



Circuit A

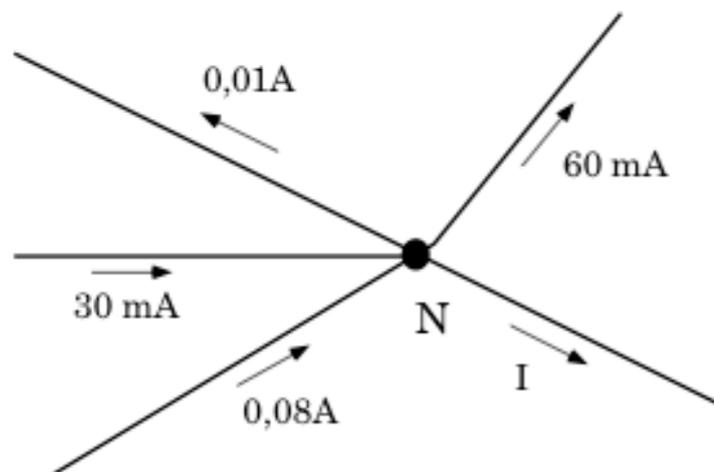


Circuit B



Circuit C

- 1. Pour les 3 circuits ci-dessus, indiquer le nombre de noeud et le nombre de maille
- 2. Pour le circuit B, donner la relation entre les tensions U_{AC} , U_{CB} et U_{AB}
- 3. Pour le circuit C, donner la relation entre les courants I_1 , I_2 et I_3

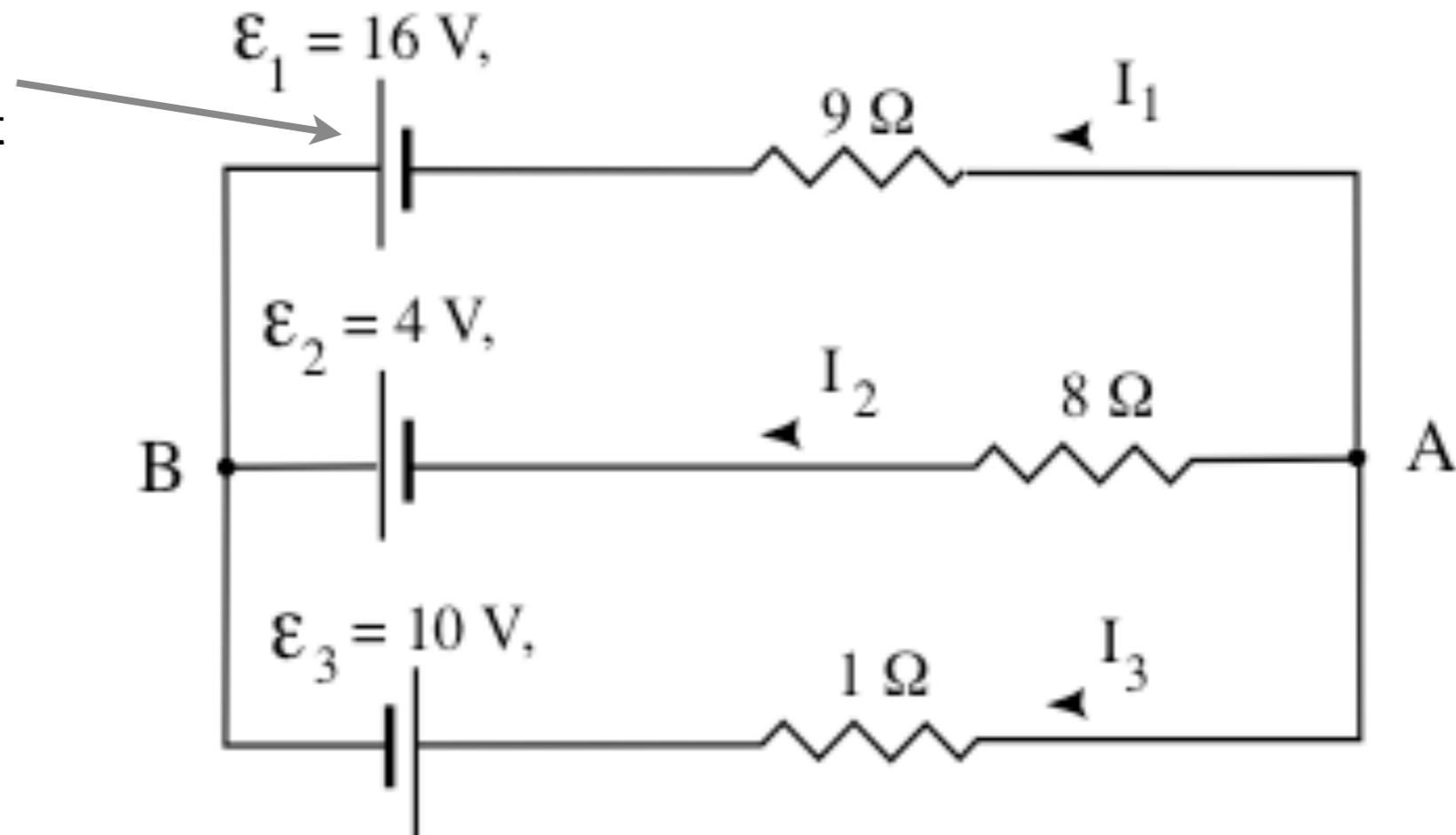


- 4 Calculer au noeud N représenté ci-contre, la valeur numérique du courant I (signe, valeur, unité) Que pensez vous de l'orientation choisie pour ce courant ?

Exercice issu de "Les lois de Kirchhoff, cahier du CeDop 1996)

Loi de Kirchhoff, résistance

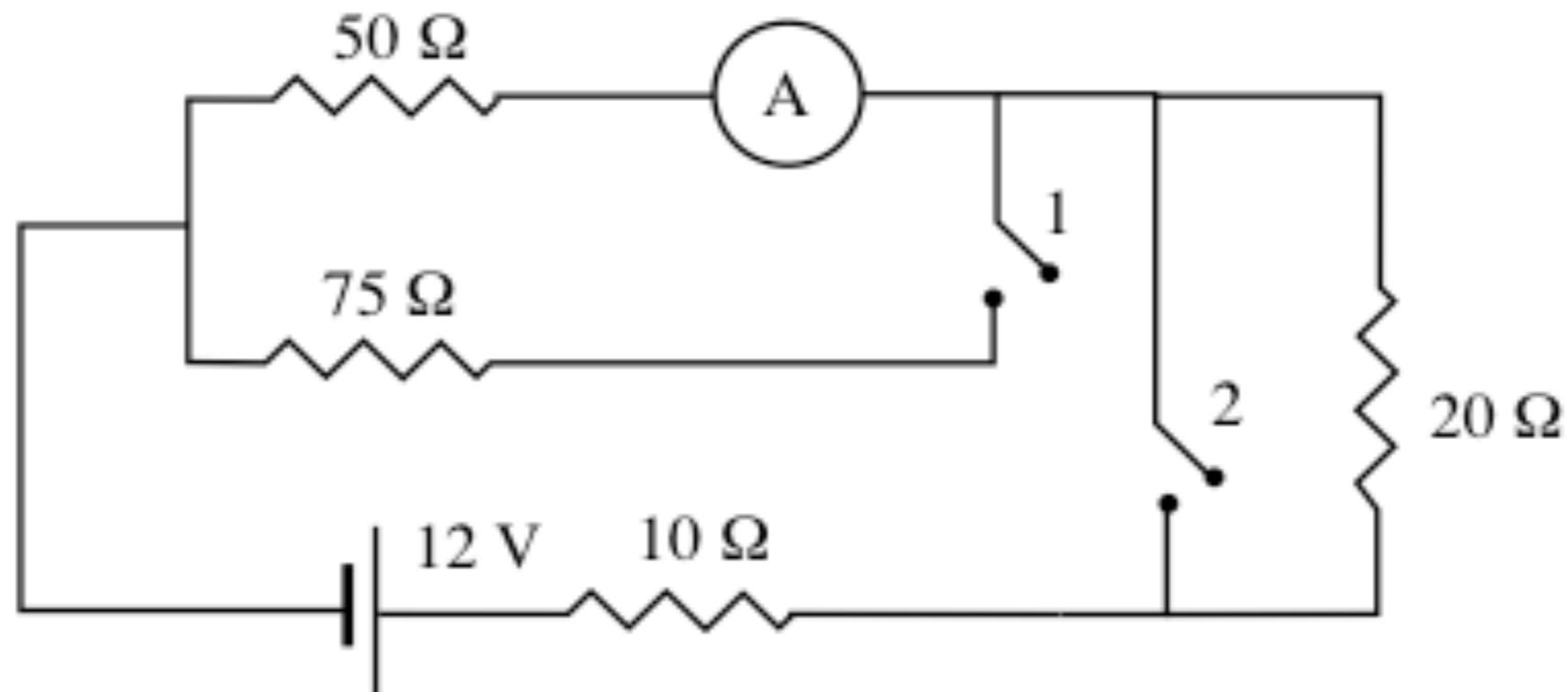
Symbole d'une source de tension continue. Le trait court et épais correspond à la borne -



- Calculer les valeurs numériques des courants I_1 , I_2 et I_3 .

Loi de Kirchhoff, résistance

3. Quelle indication donne l'ampèremètre placé dans le circuit ci-contre, quand :



- 3a. les interrupteurs 1 et 2 sont ouverts,
- 3b. 1 est ouvert et 2 est fermé,
- 3c. 1 est fermé et 2 est ouvert,
- 3d. les interrupteurs 1 et 2 sont tous les deux fermés.

Composants électriques élémentaires

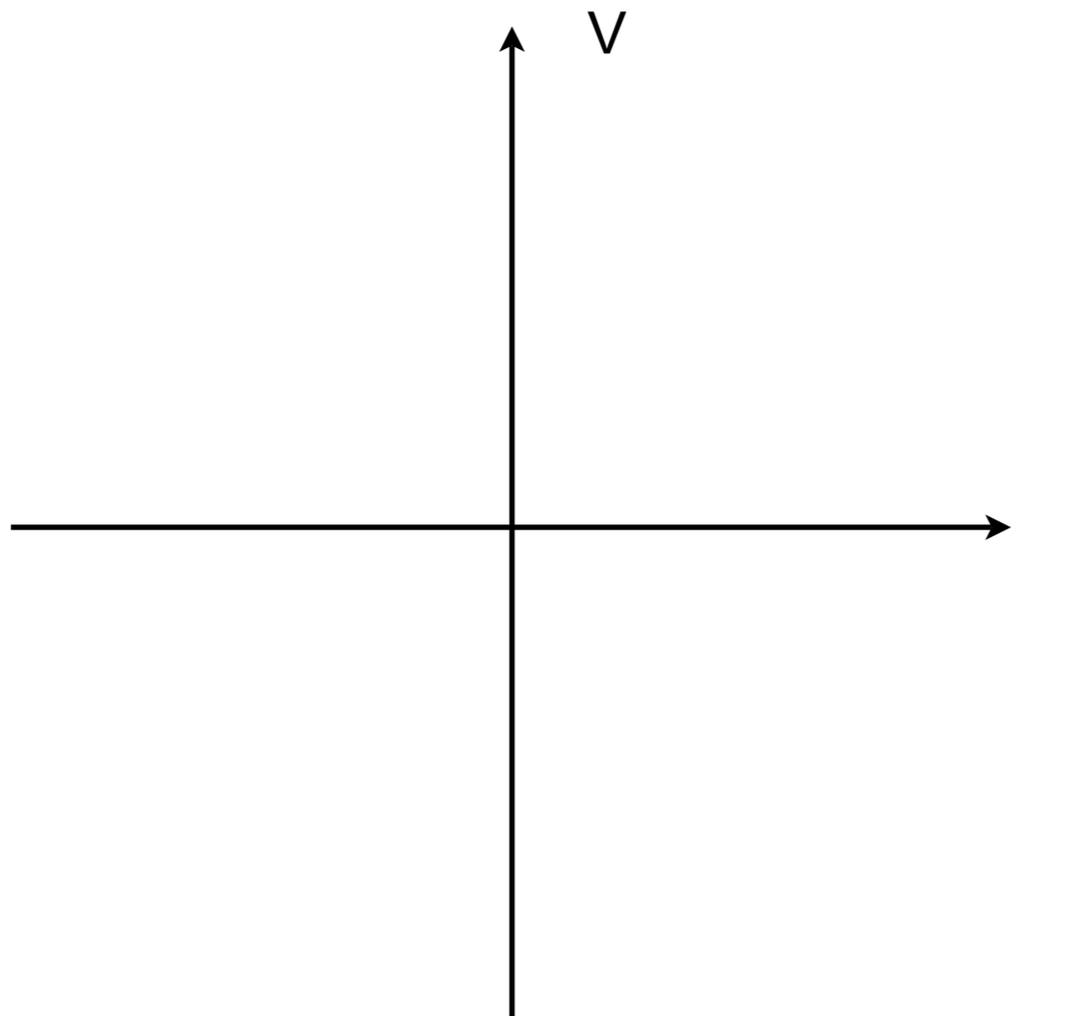
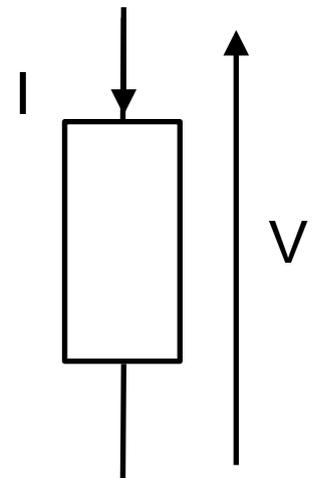
Etude en fonctionnement statique

Par soucis de simplicité, seul le **fonctionnement statique** (pas de variation des grandeurs électriques au cours du temps) est présenté ici. On se limite aux composants suivant :

- Composants élémentaires
 - Les sources de courant et de tension
 - résistance électrique
 - Interrupteur

Caractéristique électrique

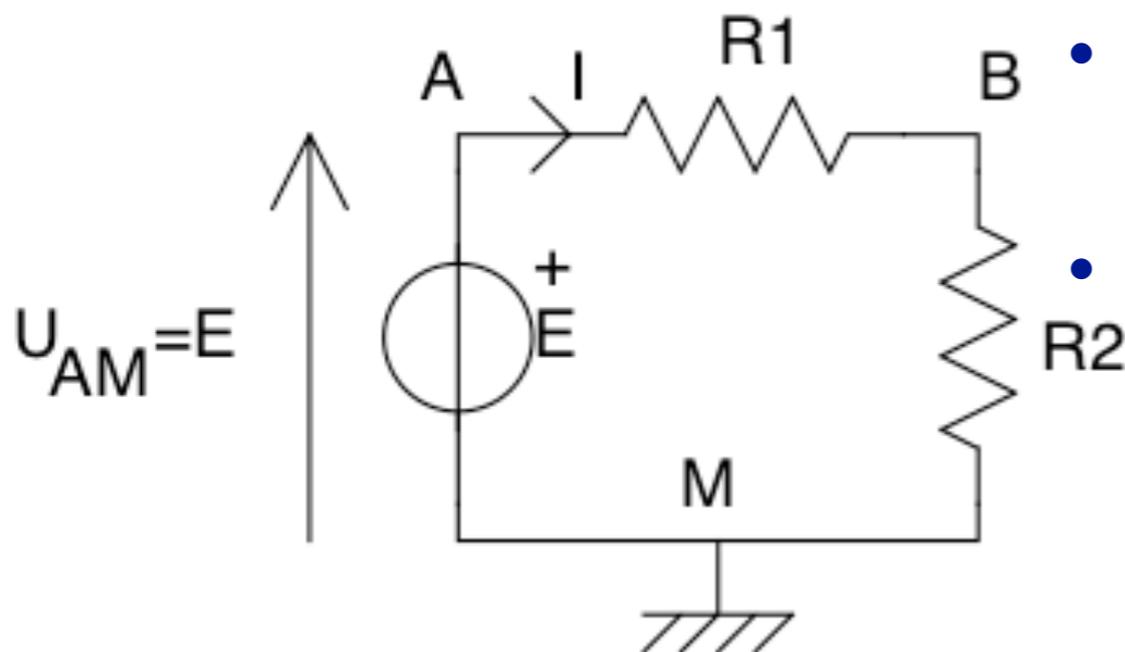
Pour chaque composant élémentaires, la caractéristique électrique sera donnée : il s'agit de la représentation graphique de la tension V aux bornes du dipôle en fonction du courant I circulant dans le dipôle.



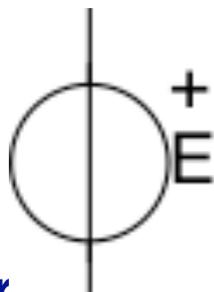
NB : la caractéristique électrique d'un dipôle actif ne passe pas par l'origine

Composant élémentaire : source de tension

- Il s'agit d'un dipôle. La source de tension impose la différence de potentiel à ses bornes. Le courant qui la traverse dépend du circuit sur laquelle elle est connectée.
- Exemples : batterie de voiture (source de tension continue), pile électrique, panneau photovoltaïque, générateur de tension.

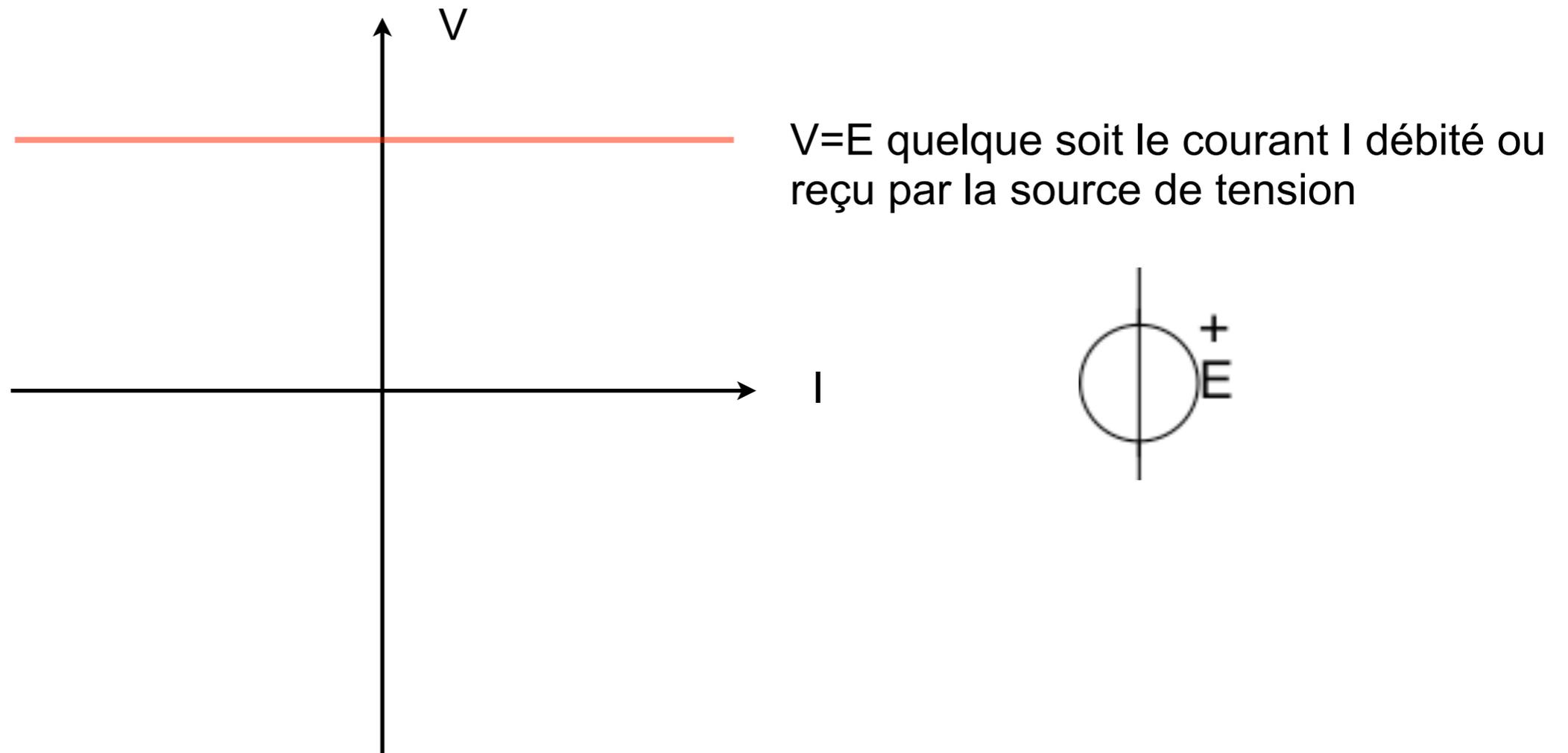


- Dans ce circuit, la source de tension impose la tension U_{AM} à la valeur E .
- Symbole de la source de tension :



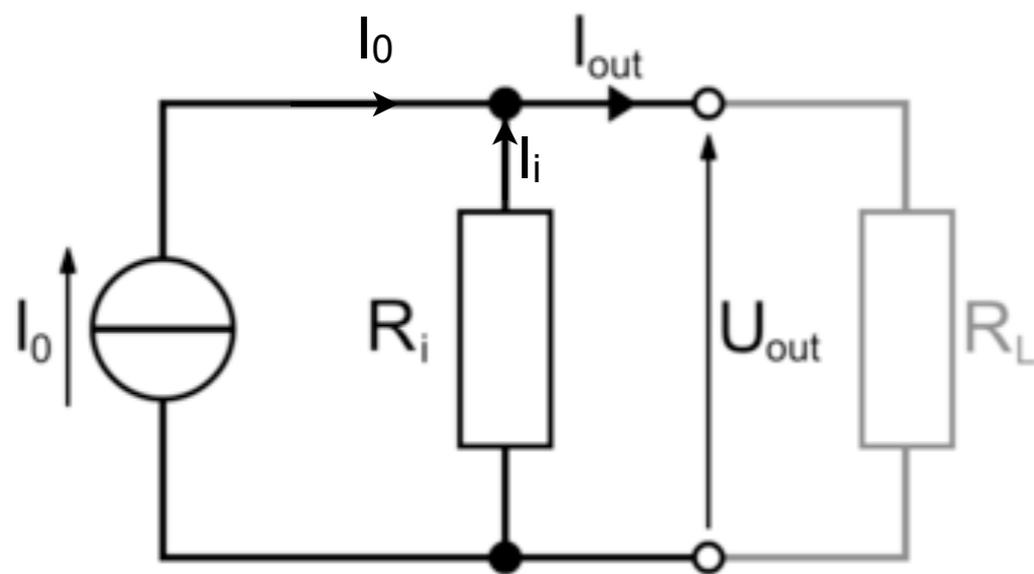
Un signe indique la polarité. La valeur imposée est également donnée.

Caractéristique électrique d'une source de tension

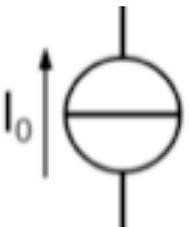


Composant élémentaire : source de courant

- Il s'agit d'un dipôle. La source de courant impose l'intensité du courant circulant entre ces branches. La tension à ces bornes dépend du circuit sur laquelle elle est connectée.
- Les exemples sont plus difficiles à donner car ce type de dipôle est rare dans la vie quotidienne mais beaucoup utilisé dans les circuits.



- Dans ce circuit, la source de courant impose le courant I_0 .
- Symbole de la source de courant :

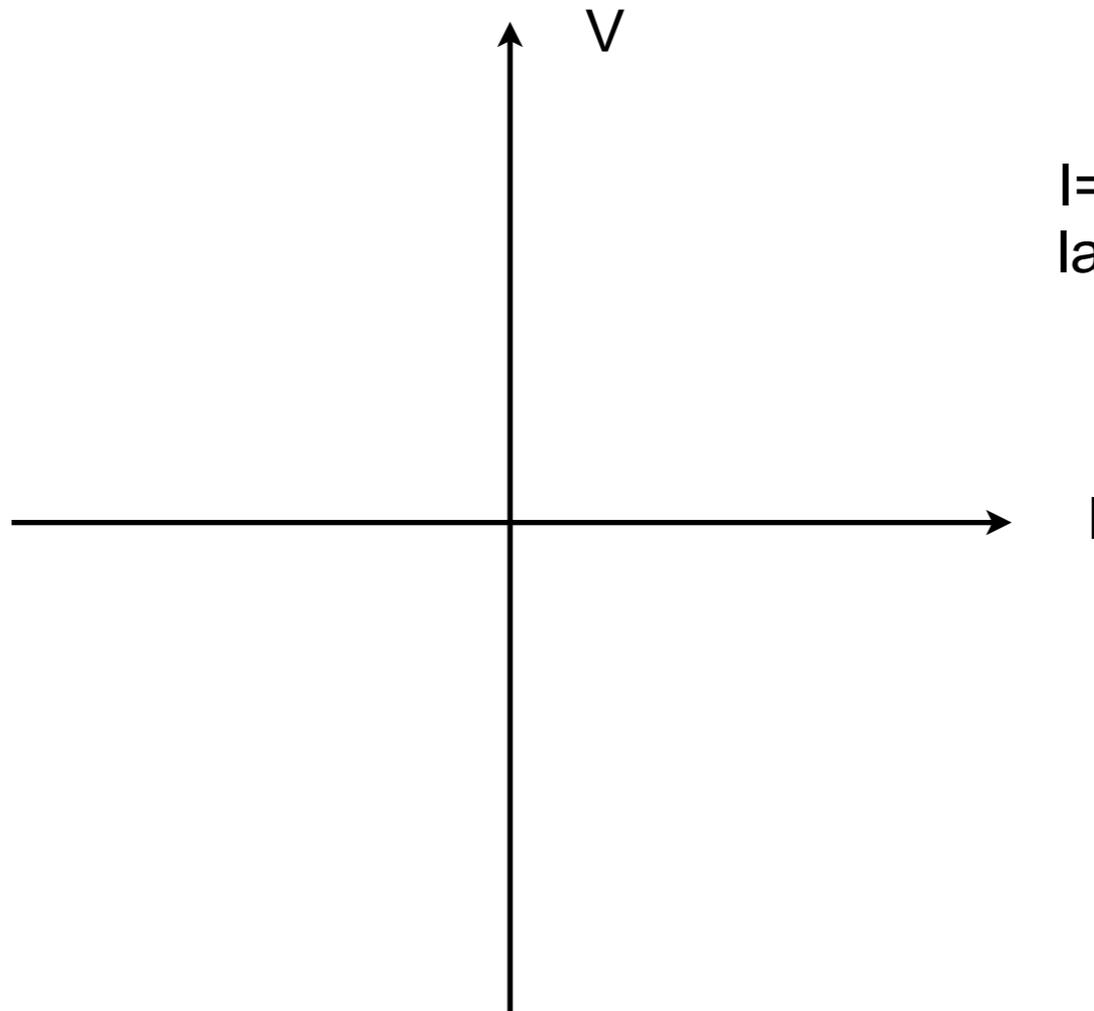


Une flèche indique le sens de circulation du courant.



caractéristique électrique d'une source de courant

Exercice



$I = I_E$ quelque soit la tension aux bornes de la source de courant

Composant élémentaire : résistance électrique

- Il s'agit d'un dipôle. Physiquement, la résistance électrique traduit l'aptitude d'un matériaux à s'opposer au passage du courant électrique. Ainsi, un isolant a une résistance infinie.
- Par abus de langage, le composant "résistance" possède une résistance électrique R (unité ohm, symbole de l'unité Ω). Il existe une relation linéaire entre U et I : la loi d'Ohm

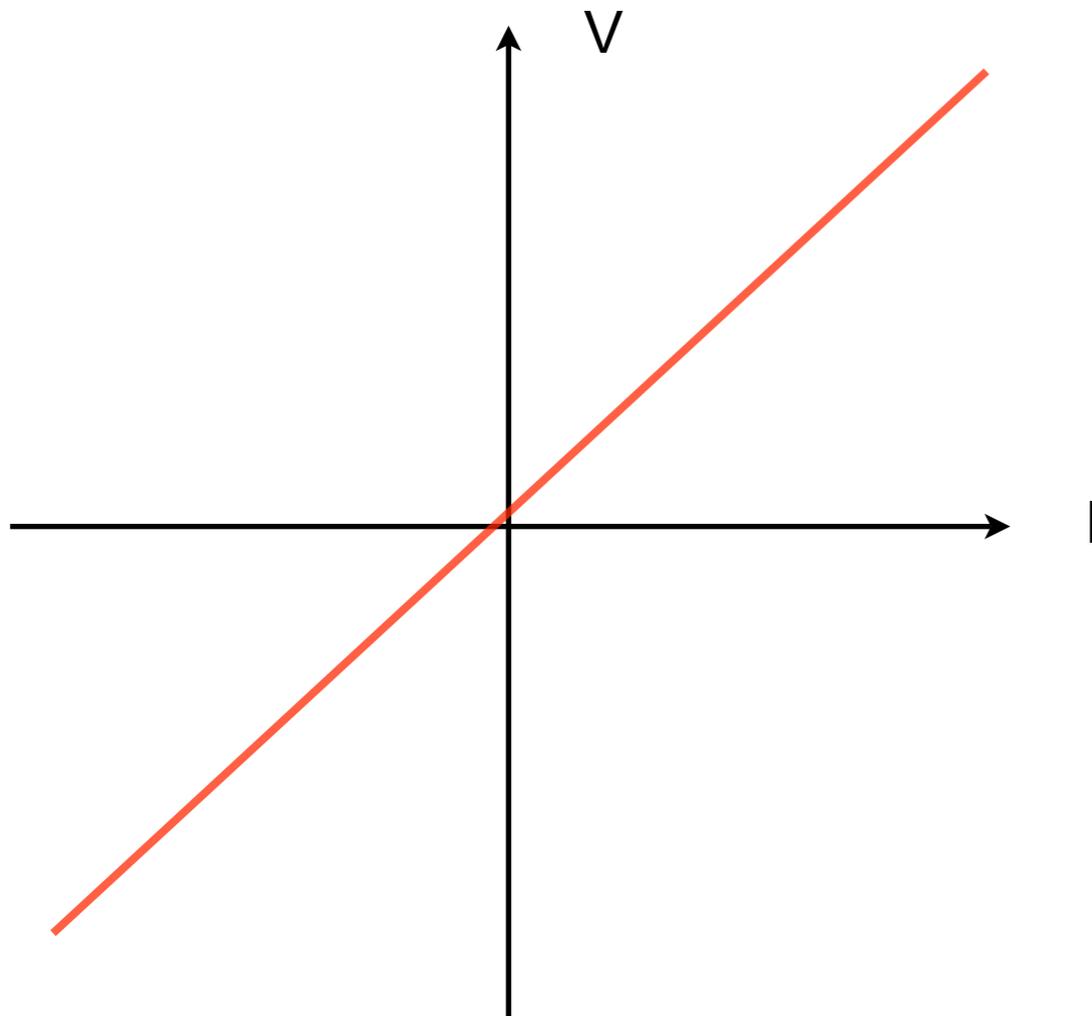
$$U = R \cdot I$$

- Une résistance dissipe de la puissance électrique par effet Joule

- Le symbole d'une résistance est :



Caractéristique électrique et utilisation d'une résistance



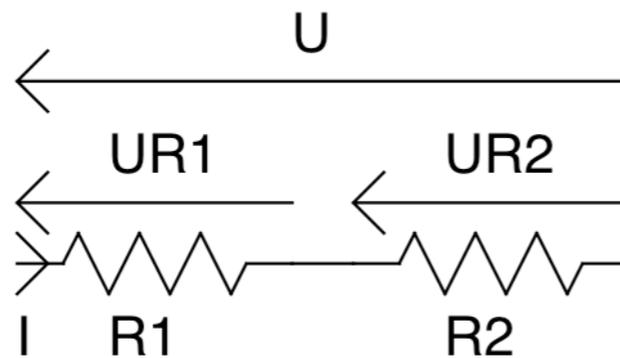
- La caractéristique électrique est une droite de pente R .
- NB : on peut remarquer qu'un isolant (résistance infinie) a une caractéristique confondue avec l'axe des ordonnées alors qu'un bon conducteur (résistance nulle) a une caractéristique confondue avec l'axe des abscisses.



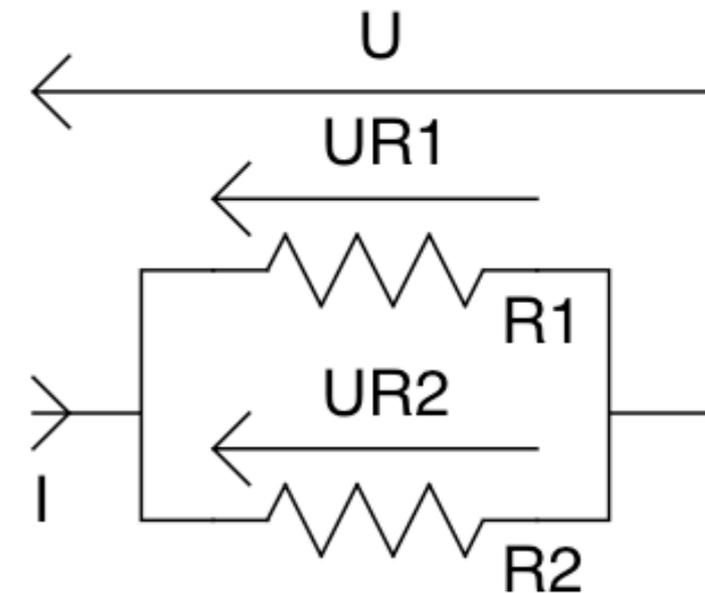
Exercice

Association de résistances

Circuit A :



Circuit B :

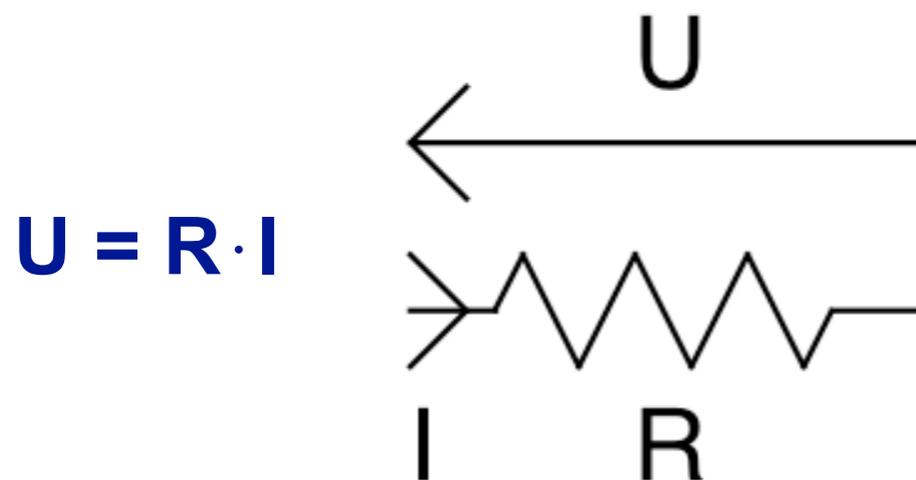


- 1. Circuit A
 - Exprimer la tension U en fonction des tensions $UR1$ et $UR2$. On pourra utiliser la loi des mailles.
 - Donner l'expression des courants circulant dans les résistances $R1$ et $R2$ en fonction de $UR1$, $UR2$, $R1$ et $R2$. On pourra utiliser la loi des noeuds et la loi d'Ohm.
 - En déduire la résistance équivalente du circuit REQ définie par $REQ=U/I$.
- 2. Même travail pour le circuit B.
- 3. Application numérique : calculer la valeur numérique de la résistance équivalente des deux circuits pour a) $R1 = R2 = 1 \text{ k}\Omega$ et b) $R1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R2 = 100 \Omega$.

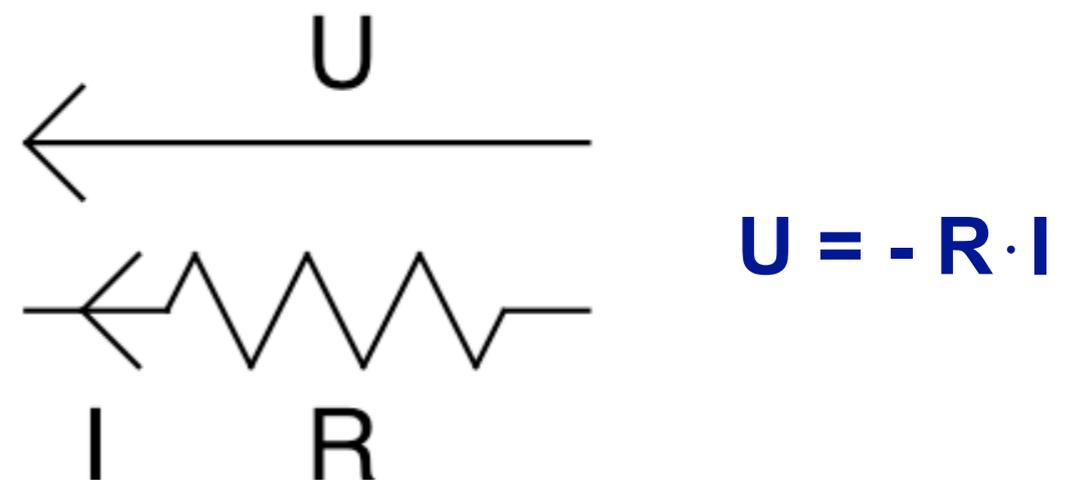
Convention récepteur, convention générateur. Règle à connaître !

- Flèche du courant et flèche de tension sont fixées de façon arbitraire. Un courant circulant dans le sens de la flèche a une valeur positive. Un courant circulant dans le sens inverse de celui de la flèche a une valeur négative. Il en va de même pour les tensions.
- Deux conventions sont adoptées pour écrire la loi d'ohm : **convention récepteur et générateur**. Dans le cas où $U > 0$ et $I > 0$, en convention récepteur, la puissance $U \cdot I$ est positive, le dipôle dissipe de la puissance. En convention générateur, le dipôle fournit de la puissance et le produit $U \cdot I$ est négatif.

Convention récepteur :

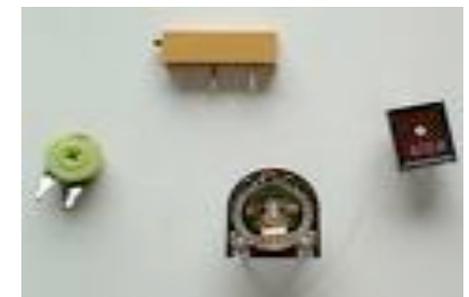
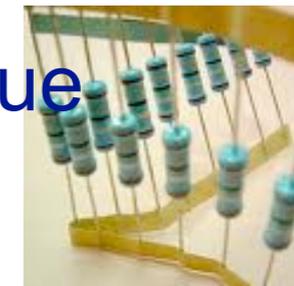


Convention générateur :



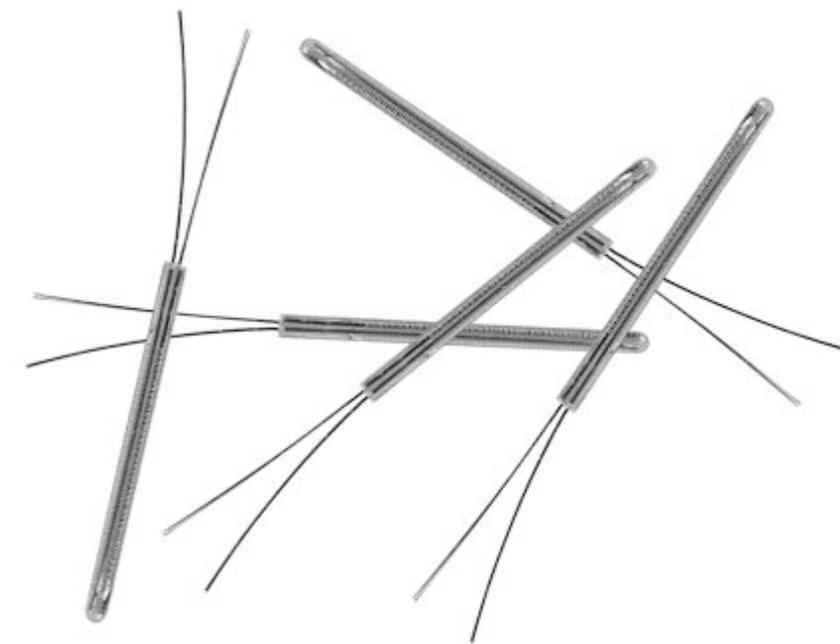
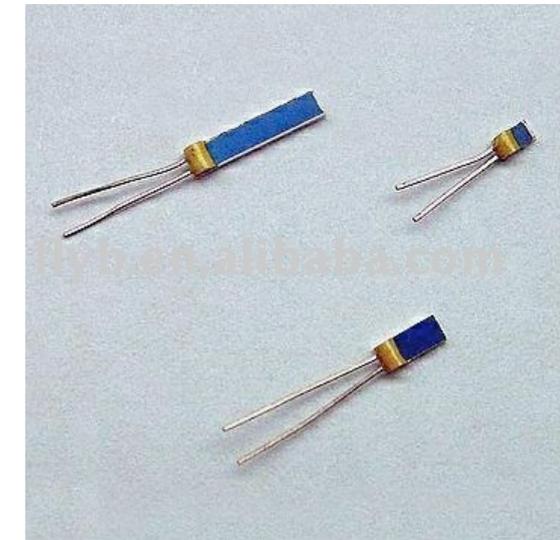
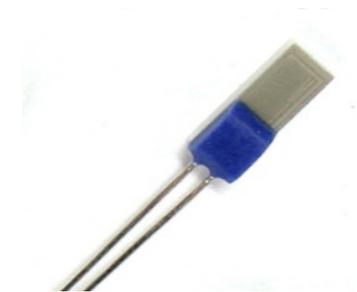
Utilisation des résistances électriques

- Les résistances électriques sont utilisées :
 - en tant que résistance de chauffage,
 - pour fixer le courant lorsque la tension est connue (et vice-versa),
 - en tant que résistance variable dans les potentiomètres,
 - en tant que capteur : dans ces conditions, la valeur de la résistance varie avec la grandeur physique à mesurer



Un exemple de capteur résistif : capteur de température type PT100

- Résistance en Platine pur présentant une résistance de 100Ω à 0°C .
- Plage d'utilisation : de -200°C à 850°C
- Equation mathématique indiquant la valeur de la résistance en fonction de la température : $R_C(T) = R_0 \times (1 + A \times T + B \times T^2 + C \times T^3)$ avec T exprimée en $^\circ\text{C}$ (degree Celcius)
- Résistances au platine
 - $A = 3,90802 \cdot 10^{-3} (^\circ\text{C}^{-1})$
 - $B = -5,80195 \cdot 10^{-7} (^\circ\text{C}^{-2})$
 - $C = -4,27350 \cdot 10^{-12} (^\circ\text{C}^{-3})$ pour $T < 0^\circ\text{C}$ et $C = 0$ pour $T > 0^\circ\text{C}$





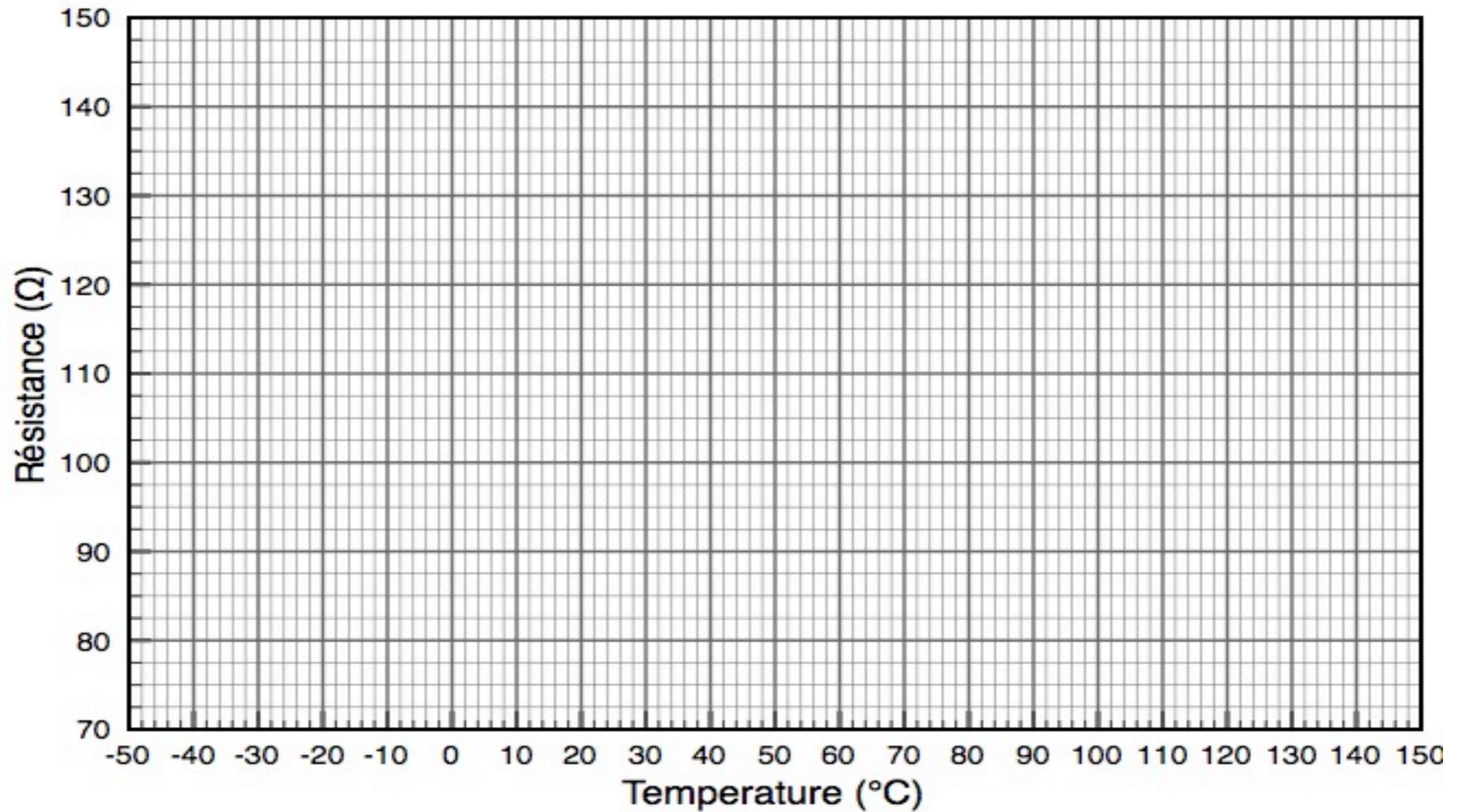
Exercice

Calcul de la résistance d'un capteur PT100 pour différentes températures

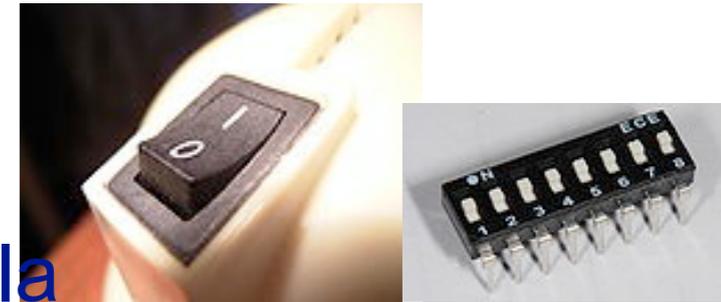
- Valeur de R_0 dans l'équation précédente ?
- Calculer la valeur de la résistance pour 10 valeurs de températures comprises entre -50 °C et 150 °C
- Compléter le graphique donné transparent suivant
- Entre 0 °C et 100 °C , peut on utiliser une représentation linéaire. Si oui, quelle erreur maximale commet t'on ? On pourra donner cette dernière valeur numérique en ohm.



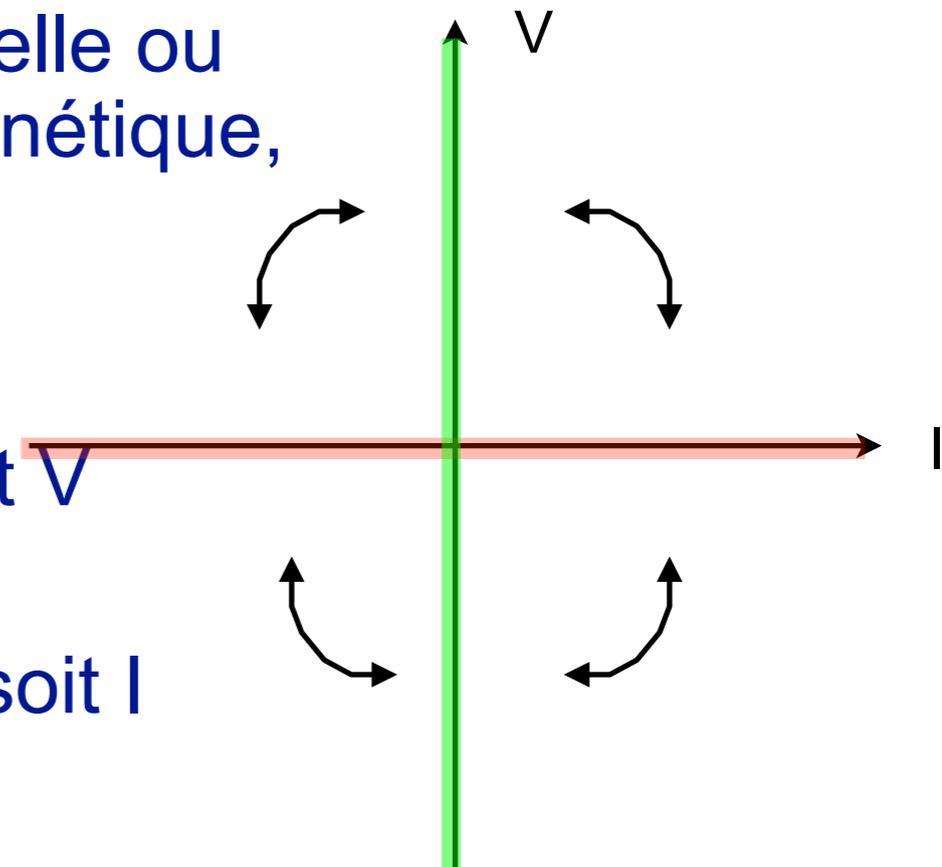
R (T) pour un capteur type PT100



Composant élémentaire : interrupteur



- Un interrupteur est un dipôle qui permet d'ouvrir ou de fermer un circuit. Un interrupteur ouvert empêche la circulation du courant.
- Son symbole est donné ci-contre (dans sa position ouverte)
- La commande d'un interrupteur peut être manuelle ou commandée (par une grandeur électrique, magnétique, mécanique,...)
- Caractéristique électrique :
 - en **vert**, interrupteur ouvert : $I=0$ quelque soit V (résistance infinie).
 - en **rouge**, interrupteur fermé : $V=0$ quelque soit I (résistance nulle)



Problème : mesure d'une température avec un capteur de type PT100

On connecte directement le capteur sur un ohmmètre à affichage numérique numérique avec 4 segments. On choisit le calibre 200 Ω .

- Qu'elle est la gamme de résistance que l'appareil de mesure peut estimer sur ce calibre ?
- Qu'elle est la plus petite variation de résistance que l'appareil de mesure peut estimer sur ce calibre ?
- En déduire la plus petite variation de température que l'on puisse détecter dans cette configuration pour des températures comprises entre 0 °C et 100°C

Exemple d'affichage numérique 4 segments :

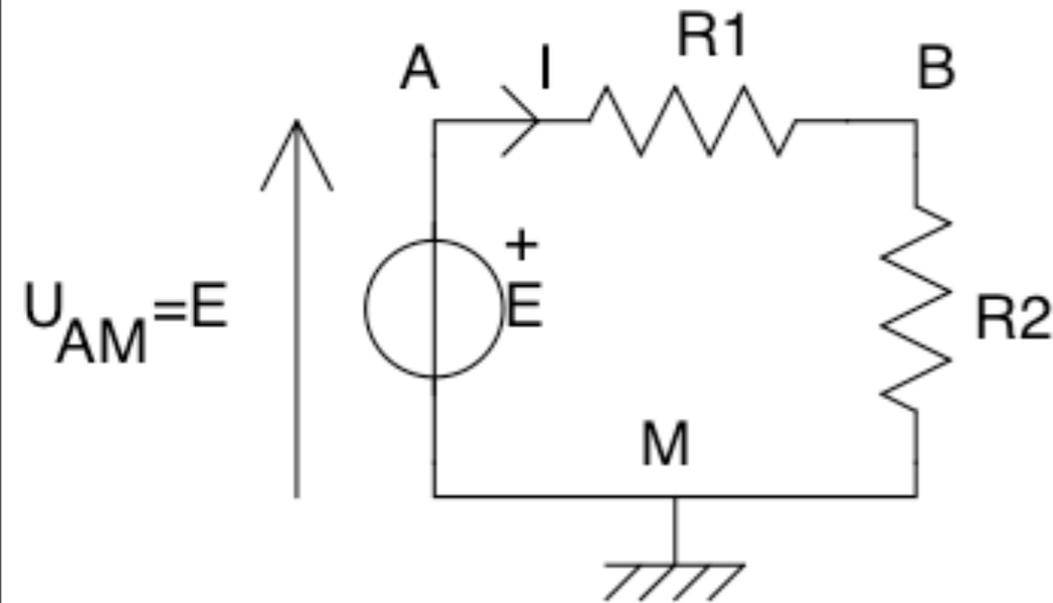
0.000

**Principaux
conditionneurs associés
au capteur résistif**



Exercice

Etude du montage potentiométrique



- A l'aide de la loi des mailles, exprimer la relation entre E , U_{AB} et U_{BM}
- On note I , le courant circulant dans les résistances R_1 et R_2 . A l'aide de la loi d'Ohm, donner l'expression du courant I en fonction de E , R_1 et R_2 .

- En déduire l'expression de la tension U_{BM} en fonction de E , R_1 et R_2 .
- Application numérique : on donne $R_1=1 \text{ k}\Omega$, et $E=1 \text{ V}$. Compléter le tableau ci-dessous.

$R_2 \text{ (}\Omega\text{)}$	0	500	1 k	10 k	100 k
$U_{BM} \text{ (V)}$					

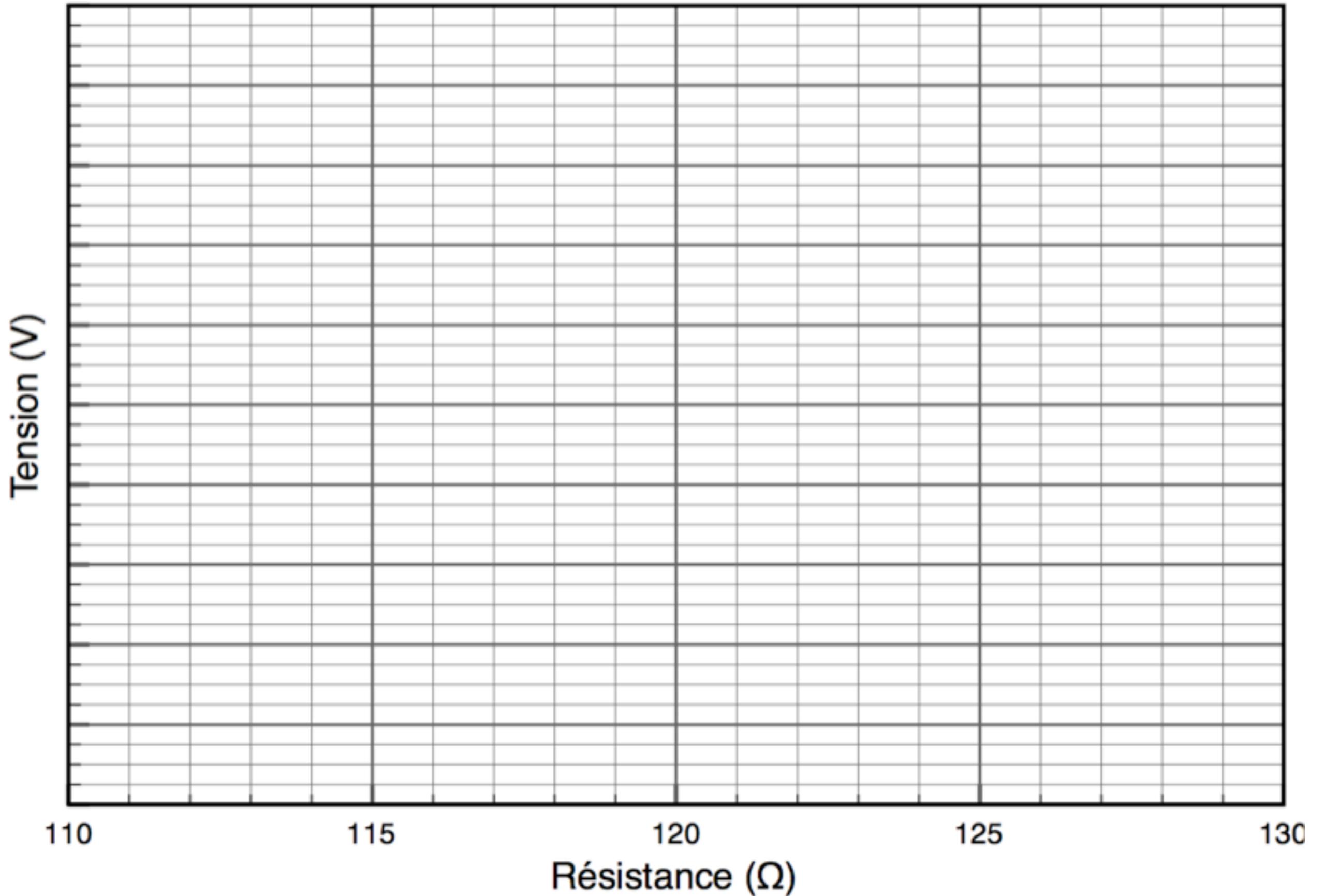
Application du montage potentiométrique au capteur PT 100

On utilise un montage potentiométrique en prenant $R_1=120\ \Omega$ et R_2 un capteur de type PT 100. On suppose que R_2 varie entre $110\ \Omega$ et $130\ \Omega$. On pose $E = 1V$

- Calculer l'évolution de la tension U_{BM} en fonction de R_2 et la représenter sur le graphique suivant.

On connecte en U_{BM} un voltmètre à affichage numérique 4 segments. On choisit le calibre 2 V.

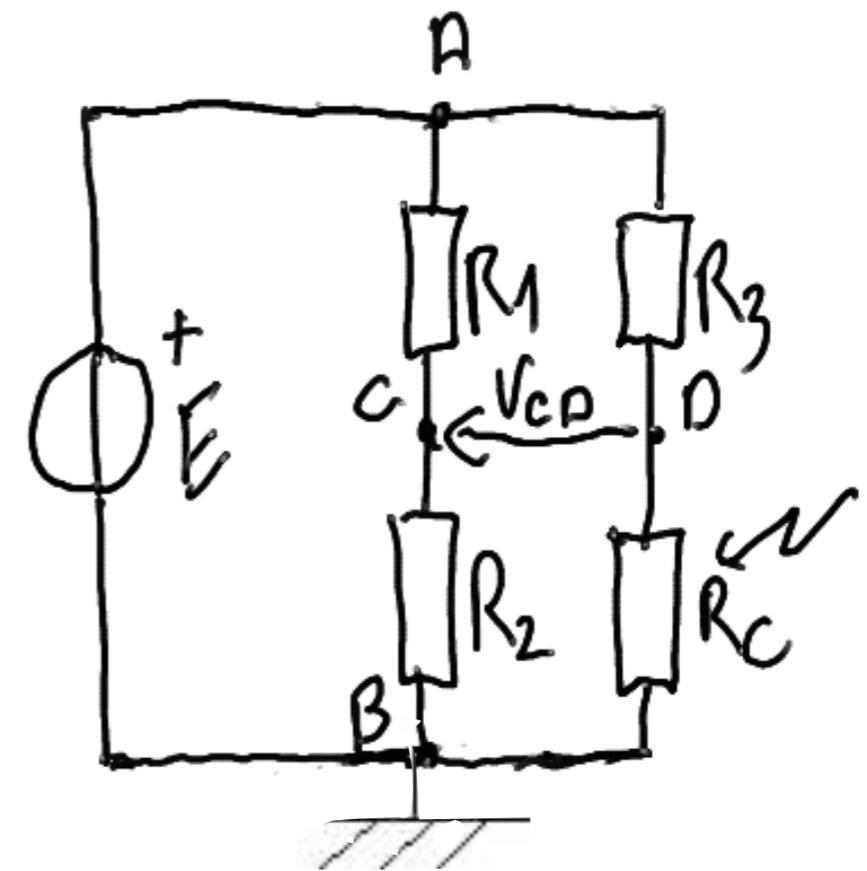
- Qu'elle est la gamme de tensions que le voltmètre peut mesurer sur ce calibre ?
- Qu'elle est la plus petite variation de tension que l'appareil de mesure peut estimer sur ce calibre ?
- Quelle est la plus petite variation de température que peut détecter le voltmètre dans ces conditions ?



Utilisation d'un pont de Wheastone pour améliorer la résolution

Donner l'expression de la tension différentielle V_{CD} en fonction de R_1 , R_2 , R_3 , R_C et E . On exprimera d'abord les tensions V_{CB} et V_{DB} et on remarquera que $V_{CD} = V_{CB} - V_{DB}$.

Le pont est à l'équilibre lorsque $V_{CD} = 0$.
Qu'elle est la relation entre les résistances R_1 , R_2 , R_3 et R_C dans ces conditions ?



Utilisation d'un pont de Wheastone pour améliorer la résolution

On suppose que $R_1=R_2=R_3=120\ \Omega$ et $E=12\ \text{V}$.

- Déterminer la valeur numérique de la tension V_{CD} pour dix valeurs de résistance R_C comprise entre $110\ \Omega$ et $130\ \Omega$. Compléter le graphique suivant.

On connecte un voltmètre à affichage numérique 4 segments. On choisit le calibre $2\ \text{V}$.

- Qu'elle est la gamme de tensions que le voltmètre peut mesurer sur ce calibre ?
- Qu'elle est la plus petite variation de tension que l'appareil de mesure peut estimer sur ce calibre ?
- Dans le cas où le capteur RC est un capteur PT100, quelle est la plus petite variation de température que l'on puisse détecter dans cette configuration (on suppose que $0\ ^\circ\text{C} < T < 100\ ^\circ\text{C}$)

