

Chap IV

Les dipôles élémentaires

Lycée Louis Thuillier - Physique-Chimie - PCSI2 - 2023-2024

Table des matières




- 1 Les dipôles** **3**
- 1.1 Définition 3
- 1.2 Caractéristique statique Courant/Tension 3
- 2 Dipôles remarquables** **4**
- 2.1 Résistance, interrupteur et fil 4
- 2.2 Condensateur 5
- 2.3 Bobine - Inductance 7
- 2.4 Les générateurs de tension et de courant 8
- 3 Méthodes de calcul des grandeurs électriques dans un circuit** **10**
- 3.1 Association de résistances 10
- 3.2 Ponts diviseurs 12
- 3.3 Conséquences pratiques : influence des résistances d'entrée et de sortie 14
- 3.4 Point de fonctionnement 15



Savoirs ♥

- ▷ ♥ Caractéristique courant-tension
 - ▷ Notion de tension en boucle ouverte et courant de court circuit
 - ▷ Point de fonctionnement
- ▷ ♥ **Résistance** :
 - ▷ loi d'Ohm + ordre de grandeur de résistances usuelles
 - ▷ Effet Joule : puissance dissipée et échauffement du milieu conducteur
 - ▷ modèle du fil et de l'interrupteur ouvert. Lien courant et tension dans les deux cas.
 - ▷ résistance d'entrée d'un appareil de mesure et influence sur la valeur mesurée
- ▷ ♥ **Condensateur** :
 - ▷ lien courant-tension aux bornes d'un condensateur
 - ▷ Continuité de la tension et comportement en régime permanent
 - ▷ Energie et comportement récepteur ou générateur suivant l'évolution de la tension
- ▷ ♥ **Bobine** :
 - ▷ lien courant-tension aux bornes d'un condensateur
 - ▷ Continuité de l'intensité et comportement en régime permanent
 - ▷ Energie et comportement récepteur ou générateur suivant l'évolution de l'intensité
- ▷ ♥ **Générateur** :
 - ▷ Modèle du générateur de tension idéal et de courant idéal
 - ▷ Caractéristique et modèle du générateur réel
 - ▷ Représentation de Thévenin
- ▷ ♥ **Association de résistance** : résistance équivalente
 - ▷ en série
 - ▷ en parallèle
- ▷ ♥ **Pont diviseur** :
 - ▷ de tension
 - ▷ de courant

Savoir Faire

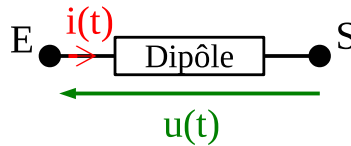
-  Utiliser et exploiter la loi d'Ohm pour trouver la tension/l'intensité dans une résistance
-  Remplacer une association de plusieurs résistances par une seule résistance équivalente.
-  Repérer ; établir et exploiter des ponts diviseurs de courant ou de tension.

1 Les dipôles

1.1 Définition

Définition. Dipôle

C'est un dispositif possédant deux bornes permettant de le raccorder à d'autres composants dans un circuit.

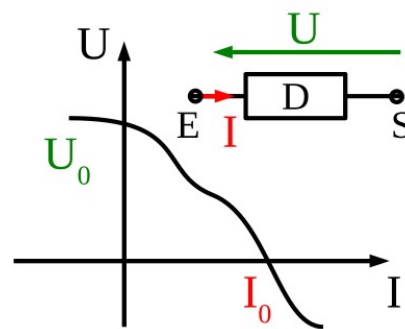


Dans l'ARQS, il est traversé par **un** courant $i(t)$ et soumis à **une** tension $u(t)$.

1.2 Caractéristique statique Courant/Tension

C'est la représentation graphique du lien entre le courant I qui circule dans le dipôle et la tension U à laquelle il est soumis en **régime continu**.

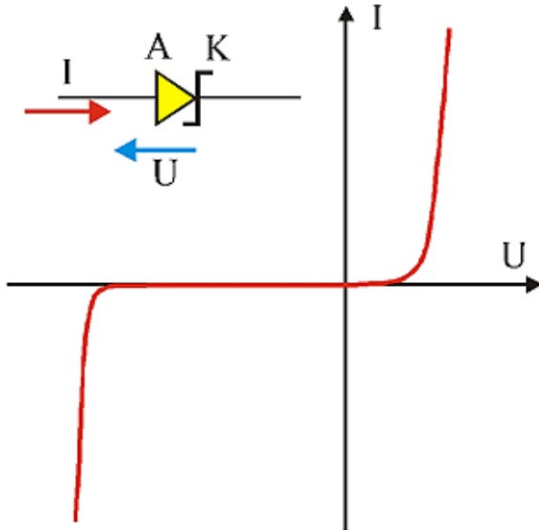
- ▷ U_0 est *tension en boucle ouverte* obtenue en circuit ouvert, ce qui impose $I = 0$
- ▷ I_0 est la *courant de court-circuit*, obtenu en court-circuitant le dipôle : on le branche à un fil ce qui impose $U = 0$



Définition. Dipôles actifs et passifs

- ▷ un dipôle est dit **passif** si sa caractéristique passe par l'origine.
- ▷ il est **actif** sinon.

Exemple 1 : Une diode possède la caractéristique courant tension suivante :



- ▷ sur une certaine plage de valeur de tension, quelque soit la tension appliquée l'intensité est nulle.
Si la tension aux bornes de la diode est trop faible, elle empêche le passage du courant : c'est un interrupteur ouvert.
- ▷ Si la tension devient trop forte (en valeur absolue) la diode laisse passer le courant. Ce dernier augmente rapidement si on augmente U : c'est quasiment un fil.

2 Dipôles remarquables

2.1 Résistance, interrupteur et fil

► Loi d'Ohm et puissance dissipée par effet Joule

Lorsqu'un courant circule dans un milieu conducteur, les électrons sont freinés par les atomes de celui-ci. Ce freinage induit un chauffage du matériaux Cet effet est maximal dans certains dipôles que l'on appellera résistance. *Exemple* : le grille pain.

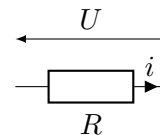
Définition. Résistance (ou résistor)

Dans une résistance, lorsque courant et tension sont en convention récepteur, la **loi d'Ohm** est vérifiée et indique que

$$U = Ri$$

avec R la valeur de la résistance en Ohm (Ω).

On définit aussi la grandeur $G = 1/R$ la conductance qui s'exprime en Siemens (S).



*** **Attention ! La loi d'Ohm est écrite pour U et i en convention récepteur!!!!**

Puissance reçue :

La puissance reçue est, en convention récepteur : $\mathcal{P}_{\text{reçue}} = UI$.

On applique la loi d'Ohm et il vient : $\mathcal{P} = Ri^2$

Propriété. Effet Joule

La puissance reçue par une résistance vaut

$$P_{\text{reçue}} = Ri^2 = \frac{U^2}{R} > 0 .$$

La résistance est donc toujours un récepteur de courant.

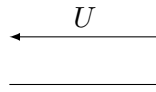
Cette puissance est dissipée dans le matériau sous forme de chaleur (hausse de la température) : on parle **de pertes par effet Joule**.

► Le fil électrique

Un fil électrique est un cylindre très fin de conducteur ohmique. Ainsi, il a les mêmes propriétés qu'une résistance mais sa résistance est numériquement très faible (généralement inférieure à un ohm).

Définition. Fil électrique

Un fil électrique est un dipôle ohmique modélisé par une résistance nulle $R = 0$.



Propriété. Tension aux bornes d'un fil

Quel que soit le courant traversant un fil, la tension aux bornes d'un fil est toujours nulle

*** **Attention !** En TP, dans la "vraie vie", les fils ont une résistance.

► L'interrupteur ouvert

Un interrupteur ouvert modélise une portion de circuit présentant "un trou" de milieu conducteur. Autrement dit, cette portion du circuit est ouverte, les charges ne peuvent plus passer.

Définition. Interrupteur ouvert

Un interrupteur ouvert est un dipôle modélisé par une résistance infinie.



Fig. 1 – Un interrupteur ouvert.

Propriété. Tension aux bornes d'un interrupteur ouvert

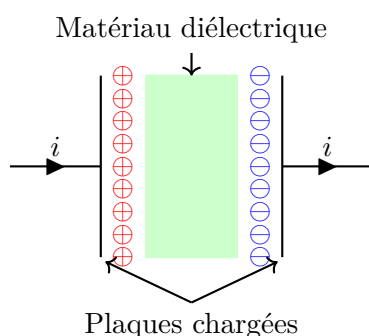
Quelle que soit la tension aux bornes d'un interrupteur ouvert, le courant le traversant est nul.

► Ordres de grandeurs de résistances

Les résistances typiques présentes au laboratoire : 1Ω (faible résistance) et $10\text{ M}\Omega$ (forte résistance). Une résistance "moyenne" en électronique est de l'ordre de $1\text{ k}\Omega$.

2.2 Condensateur

► Présentation



Un condensateur est un système de deux plaques conductrices séparées par un milieu diélectrique (du verre, de la céramique, éventuellement de l'air...). L'intérêt est que, bien que les charges ne puissent pas traverser, le courant continue de circuler : il y a une accumulation de charge sur chacune des faces.

Une plaque se charge négativement, l'autre positivement. On note la charge $\pm q$

► Relation fondamentale et capacité

Propriété. Tension aux bornes d'un condensateur

La tension $u(t)$ aux bornes d'un condensateur est donnée par

$$q(t) = Cu(t)$$

avec $q(t)$ la charge positive dépendant du temps présente sur l'armature (en Coulombs) et C la **capacité** du condensateur en Farad (F).

Capacité	Condensateur
1 nF	Usuel (diélectrique en verre)
1 μ F	Diélectrique en papier paraffiné
1 μ F–100 μ F	Diélectrique en céramique
1 mF	Électrochimique

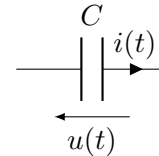
⚡⚡⚡ **Attention !** Le Farad est une grande unité, un condensateur de 1 F est rare, ils sont utilisés par exemple pour les voitures.

► Modèle du condensateur idéal

Définition. Lien tension-courant dans un condensateur

En convention récepteur, dans un condensateur, on a

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = C \frac{du(t)}{dt}.$$



⚡⚡⚡ **Attention ! En convention récepteur!!!!**

Remarque : La notation $\frac{d}{dt}$ fait référence à la dérivée mathématique par rapport à la variable temps t .

Propriété. Continuité courant-tension

- ▷ La tension aux bornes d'un condensateur est une fonction continue. Ainsi, un condensateur protège contre les variations brusques de tension.
- ▷ Si la tension $u(t) = u_0$ est constante, alors $i(t) = 0$. Ainsi, en régime permanent, un condensateur est équivalent à un interrupteur ouvert.

► Aspect énergétique

En convention récepteur, la puissance reçue par le condensateur vaut :

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}}(t) = u(t)i(t) = u(t)C \frac{du(t)}{dt}$$

Instant Math ♡ : $(f^2)' = 2ff'$ donc notamment

$$f(t) \frac{df}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} f^2(t) \right]$$

On a alors ici :

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}}(t) = u(t)i(t) = u(t)C \frac{du(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(C \frac{u(t)^2}{2} \right)$$

Définition. Énergie d'un condensateur

L'énergie électrostatique stockée dans un condensateur vaut

$$\mathcal{E}(t) = \frac{1}{2} C u(t)^2.$$

Une énergie s'exprime évidemment en Joule.

► Comportement d'un condensateur

Lien puissance-énergie :

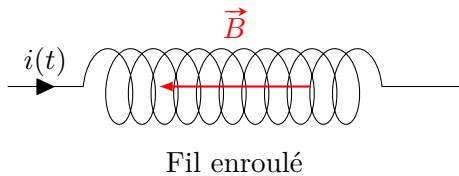
$$\mathcal{P}_{\text{reçue}} = \frac{d\mathcal{E}}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} C u(t)^2 \right]$$

- ▷ la tension $|u(t)|$ augmente :
L'énergie du condensateur augmente : il reçoit de l'énergie de la part du circuit.
⇒ la puissance reçue est positive : le condensateur a un caractère récepteur ;
On dit qu'il **se charge**.

- ▷ la tension $|u(t)|$ diminue :
L'énergie du condensateur diminue : il cède de l'énergie au circuit.
⇒ la puissance reçue est négative : le condensateur a un caractère générateur ;
On dit qu'il **se décharge**.

2.3 Bobine - Inductance

► Présentation et modèle idéal



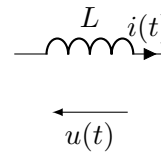
Une inductance, aussi appelée bobine, est un fil enroulé. Lorsque le courant parcourt ce fil, un champ magnétique apparaît et s'oppose aux variations de courants imposées par l'extérieur.

Définition. Lien tension-courant dans une bobine

En convention récepteur, la tension $u(t)$ aux bornes la bobine est donnée par la relation

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

avec i le courant traversant la bobine et L l'**inductance** en Henry (H).



⚠️ ⚠️ ⚠️ Attention ! En convention récepteur !!!!

Les bobines disponibles en TP d'électroniques sont de l'ordre du mH.

Propriété. Continuité courant-tension

- ▷ **Le courant traversant une bobine est une fonction continue.** Ainsi, une bobine protège contre les variations brusques de courant.
- ▷ Si le courant $i(t) = I_0$ est constant, alors $u(t) = 0$. Ainsi, **en régime permanent, une bobine est équivalente à un fil.**

► Aspect énergétique

En convention récepteur, la puissance reçue par la bobine vaut :

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}}(t) = u(t)i(t) = i(t)L \frac{di(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(L \frac{i(t)^2}{2} \right) .$$

Définition. Energie stockée dans une bobine

L'énergie magnétique stockée dans une bobine vaut

$$\mathcal{E}_{\text{magnétique}}(t) = \frac{1}{2} Li^2(t) .$$

Une énergie s'exprime en Joule.

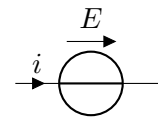
Tout comme un condensateur, l'énergie d'une bobine peut varier : elle peut se comporter comme un récepteur ou un générateur.

Application 1 : Décrire, en fonction du sens de variation de l'intensité traversant une bobine, le comportement générateur ou récepteur de cette dernière.

2.4 Les générateurs de tension et de courant

Définition. Générateur de tension idéal

Un générateur idéal de tension est un dipôle qui impose à ses bornes une tension $e(t)$ quel que soit le courant $i(t)$ qui le traverse.

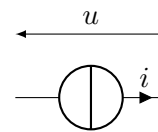


Lorsque la tension est indépendante du temps $e(t) = E$, on parle de régime **continu** et E est appelé **force électromotrice**.

Une tension s'exprime en Volt.

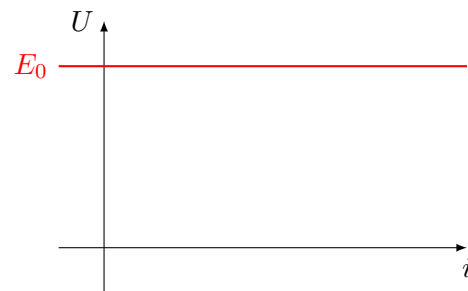
Définition. Générateur de courant idéal

Un générateur idéal de courant est un dipôle qui crée une intensité $i(t)$ quel que soit la tension $u(t)$ à ses bornes.

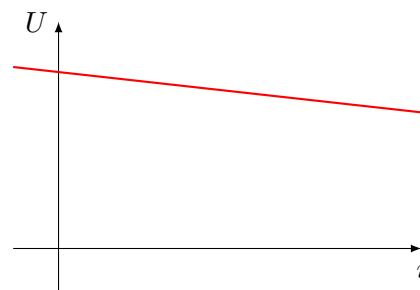


► Caractéristique d'un générateur de tension

Pour un générateur de tension idéal, la tension débitée est constante quelle que soit le courant.



Dans un générateur réel, il y a toujours des effets résistifs qui font que la tension diminue lorsque l'intensité du courant augmente.



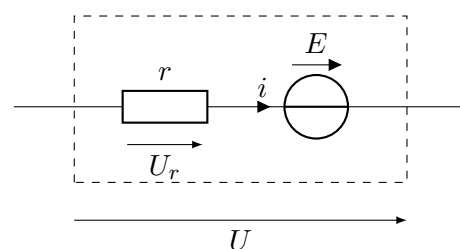
► Représentation de Thevenin d'un générateur réel

Objectif : construire un générateur réel à partir d'un générateur idéal.

On peut construire un générateur réel à l'aide de deux dipôles idéaux : un générateur idéal, de f.e.m. E et une résistance r branchée en série.

C'est bien un dipôle : il a deux bornes de branchement.

On appelle U la tension aux bornes du dipôle ainsi construit. Puisqu'on étudie un générateur, on choisit une convention générateur pour le sens du courant.

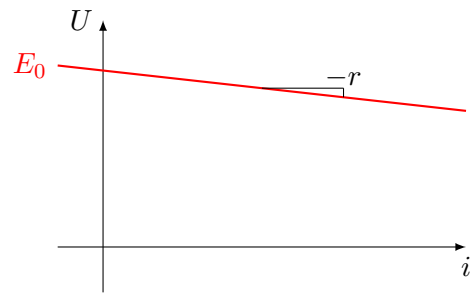


On a : $U = U_{\text{gén}} + U_r$

Tension de la résistance U_r : ⚡⚡⚡ **Attention !** On prend garde aux conventions!! La résistance est en convention générateur donc $U_r = -Ri$

Générateur idéal : $U_{\text{gene}} = E_0$

Finalement : $U = E_0 - ri$, on retrouve bien la caractéristique précédente : une droite descendante. Un générateur réel est donc modélisé par un générateur de Thévenin modélisé par le circuit de la figure suivante :



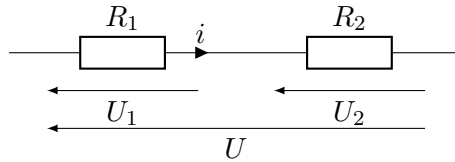
3 Méthodes de calcul des grandeurs électriques dans un circuit

3.1 Association de résistances

► Association en série

Considérons deux résistances R_1 et R_2 en série, donc parcourues par un même courant i . On note U la tension aux bornes des deux résistances.

Objectif : exprimer U en fonction de R_1 , R_2 et i



On a :

$$U = U_1 + U_2$$

On a par la loi d'Ohm : $U_1 = R_1 i$ et $U_2 = R_2 i$.

Donc :

$$U = (R_1 + R_2)i$$

Tout se passe donc comme si U était la tension aux bornes d'une résistance équivalente R_{eq} .

Propriété. Résistance en série

En **série**, les résistances s'ajoutent

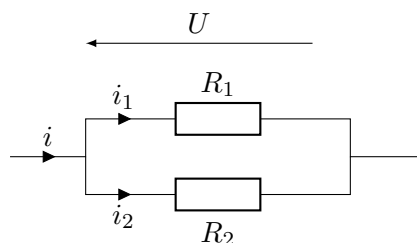
$$R_{eq} = R_1 + R_2$$



► Association en parallèle

Considérons deux résistances R_1 et R_2 en parallèles, donc ayant une même tension U à leurs bornes. On note i le courant total parcourant le dispositif.

Objectif : exprimer U en fonction de R_1 , R_2 et i



Loi des nœuds : $i = i_1 + i_2$ On a par la loi d'Ohm $U = R_1 i_1$ et $U = R_2 i_2$.

$$i = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) U$$

Soit :

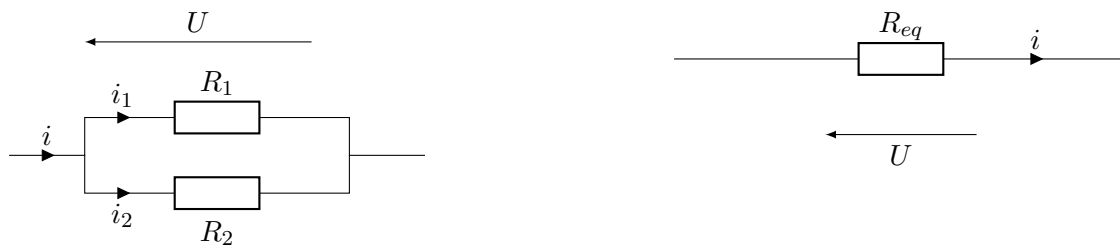
$$U = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} i$$

Tout se passe donc comme si U était la tension aux bornes d'une résistance équivalente R_{eq} .

Propriété. Résistance en parallèle

En **parallèle**, les inverses des résistances s'ajoutent

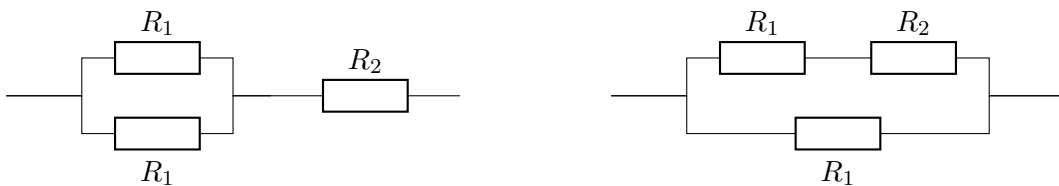
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



► **Recherche de résistances équivalentes**

Application 2 : Deux résistances de $10\text{ k}\Omega$ sont disponibles, comment les associer pour avoir une résistance équivalente de $20\text{ k}\Omega$ ou de $5\text{ k}\Omega$?

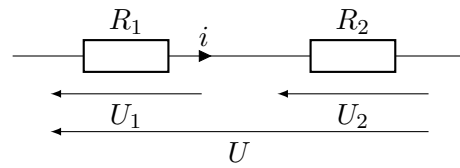
Application 3 : Quelle est la résistance équivalente pour chacun des circuits ?



3.2 Ponts diviseurs

► Le pont diviseur de tension

On est confronté à la situation suivante où U , R_1 et R_2 sont connus et on cherche U_2 (ou U_1).



Loi d'Ohm : $U_1 = R_1 i$ avec i inconnu.

Les deux résistances sont en série, on a donc $U = (R_1 + R_2)i$ soit $i = \frac{U}{R_1 + R_2}$.

Finalement :

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

Autrement dit, la tension se distribue majoritairement sur les « grandes » résistances.

Propriété. Pont diviseur de tension
Le pont diviseur de tension indique que

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad \text{et} \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

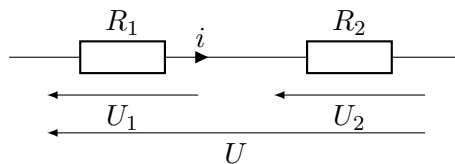
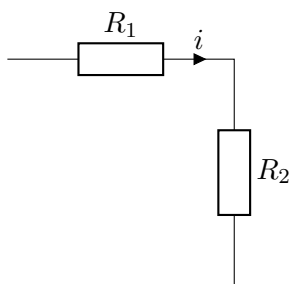


Fig. 2 – Le pont diviseur de tension.

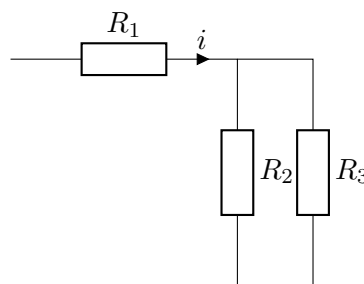
⚠️⚠️⚠️ **Attention !** Il faut bien être dans cette configuration. En particulier, il ne doit avoir aucun nœud entre les deux résistances !

Exemple 2 :

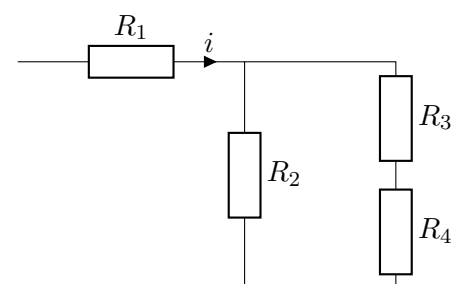
OUI



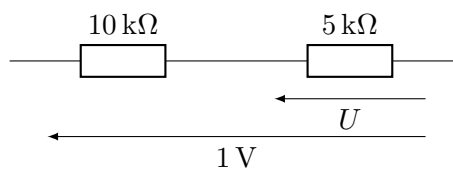
NON



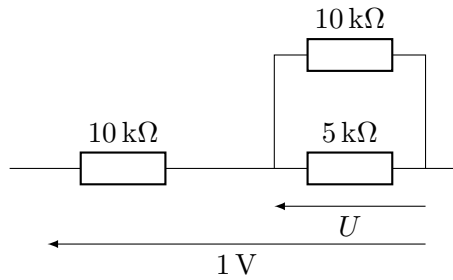
OUI pour $R_3 - R_4$



Application 4 : Combien vaut la tension U dans le circuit ci-dessous ?

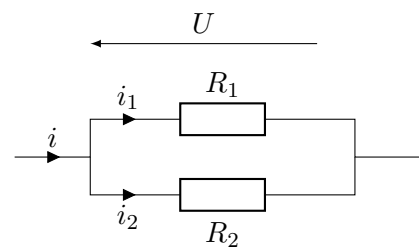


Application 5 : Combien vaut la tension U dans le circuit ci-dessous ?



► **Le pont diviseur de courant**

On est confronté à la situation de la figure 3 où i , R_1 et R_2 sont connus et on cherche i_2 (ou i_1).



Les deux résistances sont en parallèle, on a donc $U = R_{eq}i$ avec $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.
De même $U = R_2 i_2$. Ainsi,

$$U = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} i = R_2 i_2$$

Autrement dit, le courant se distribue majoritairement sur les « petites » résistances.

Propriété. Pont diviseur de courant

Le pont diviseur de courant indique que

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i .$$

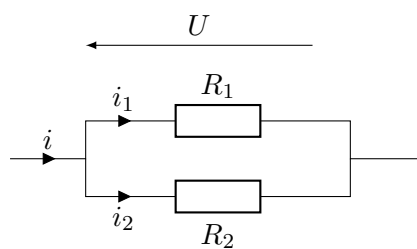
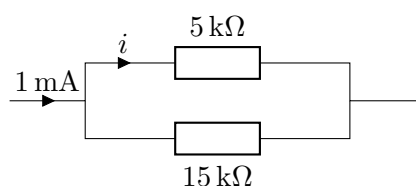


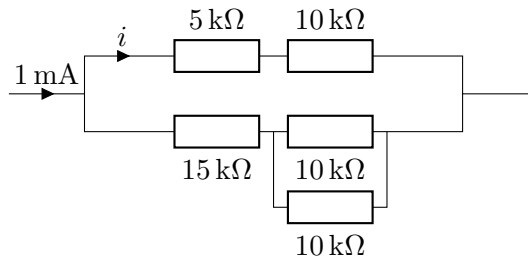
Fig. 3 – Le pont diviseur de courant.

🚫🚫🚫 **Attention !** La résistance qui n'est pas traversée par le courant recherché est au numérateur.

Application 6 : Combien vaut le courant i dans le circuit ci-dessous ?



Application 7 : Combien vaut le courant i dans le circuit ci-dessous ?



3.3 Conséquences pratiques : influence des résistances d'entrée et de sortie

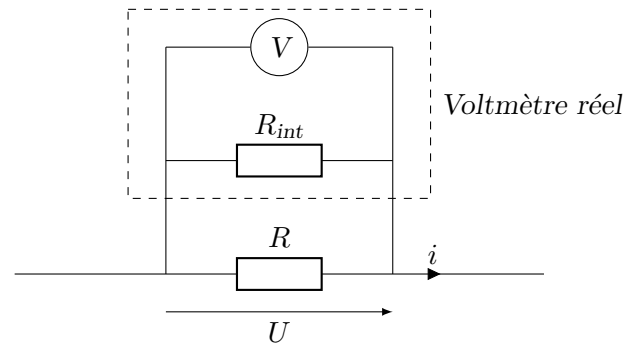
► Résistance d'entrée d'un appareil de mesure

Règle de base :

Tous les appareils de mesures de tensions, comme les voltmètres ou les oscilloscopes, doivent être placés en parallèles de la tension à mesurer.

Exemple 3 :

Tous les appareils de mesures ont une résistance interne R_{int} . La situation réelle est donc celle de la figure suivante :



- ▷ sans appareil de mesure la tension U est égale à : $U = Ri$
- ▷ avec l'appareil de mesure, le courant i se répartit suivant R et R_{int} . Par un pont diviseur de courant, on a :

$$U = \frac{RR_{int}}{R + R_{int}} i .$$

♡ Instant math ♡ : si $L \gg l$ alors : $L + l \simeq L$

🔴 🔴 🔴 **Attention !** $L \times l = L \times l$, rien ne change !

Pour que les deux valeurs correspondent au mieux, il faut $R \ll R_{int}$.

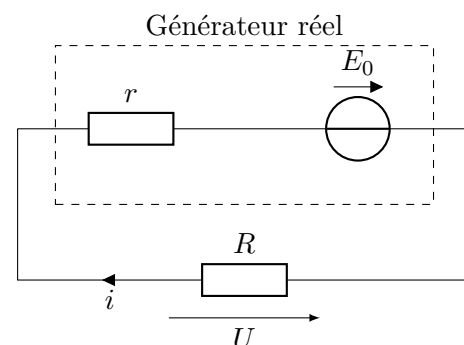
Propriété. Résistance interne et mesure de tension

Pour ne pas perturber le circuit, la résistance interne d'un appareil de mesure de tension doit être la plus grande possible.

► Résistance de sortie

Prenons un générateur réel (modèle de Thévenin) pour alimenter une résistance R , on note U la tension à ses bornes.

La tension commandée (celle sur le cadran) est la tension E_0 . La résistance interne r est appelée **résistance de sortie** du générateur.



On souhaite que U , la tension délivrée, et E_0 , la tension demandée, soient identiques.

Or, on remarque que la résistance r influe sur la tension U . En effet, avec un pont diviseur de tension, on constate que

$$U = \frac{R}{R+r} E_0$$

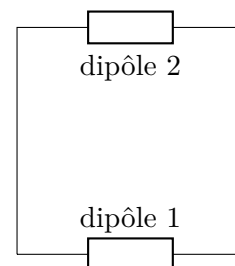
La résistance de sortie d'un générateur peut donc perturber la tension qu'applique réellement le générateur au circuit. On s'arrange généralement pour que la résistance interne soit la plus petite possible. Généralement, on a $r \approx 50 \Omega$.

Astuce TP :

Lorsqu'on utilisera les GBF en mode créneau, si le créneau observé sur l'oscilloscope n'est pas parfaitement carré, cela signifie souvent que la résistance globale du circuit est plus faible ou de l'ordre de la résistance de sortie.

3.4 Point de fonctionnement

On considère deux dipôles connectés entre eux. Ils sont à la fois en parallèle et en série. Ils sont donc parcourus par le même courant I et soumis à la même tension U .



On trace les deux caractéristiques des deux dipôles sur le même graphe (U, I). Le point d'intersection des deux caractéristiques est appelé le point de fonctionnement et donne la valeur de la tension et de l'intensité du circuit.

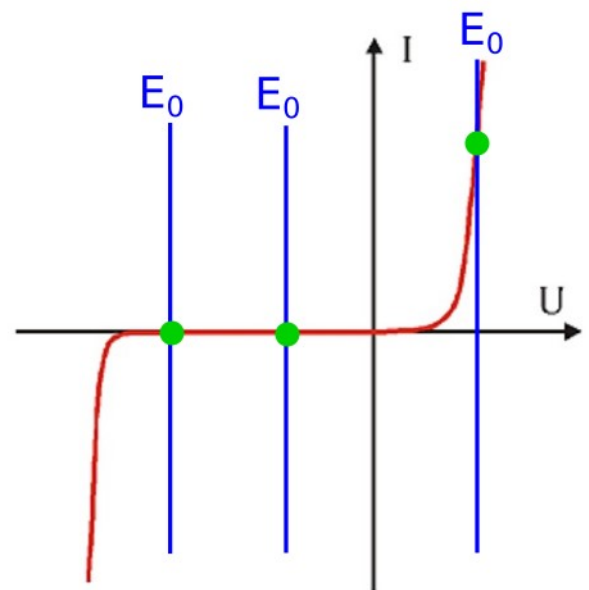
Exemple 4 : Diode Zener et générateur de tension

On considère le circuit constitué d'un générateur de tension idéal et d'une diode. On cherche la tension et l'intensité des deux dipôles.

On représente sur le même graphe les caractéristiques d'une diode et d'un générateur de tension idéal. La tension et l'intensité dans le circuit sont donnés par le point d'intersection des deux droites.

On remarque que :

- ▷ si $|E_0|$ est trop faible : $i = 0$ et $U = E_0$: il n'y a aucun courant qui circule dans le circuit. La diode est dite bloquante.
- ▷ si $|E_0|$ est suffisamment grand : $i \neq 0$ et $U = E_0$: il y a un courant qui circule dans le circuit. La diode est dite passante.



Application 8 : Même question mais avec un générateur de tension réel, modélisé par un générateur de Thévenin.