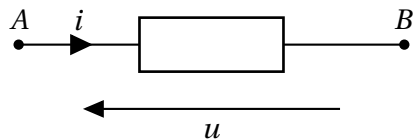


Chapitre 5 : Électrocinétique en régime stationnaire

1 Dipôles électrocinétiques

1.1 Notion de dipôle

Un dipôle est un composant dont l'accès se fait par une paire de bornes (ou pôles).

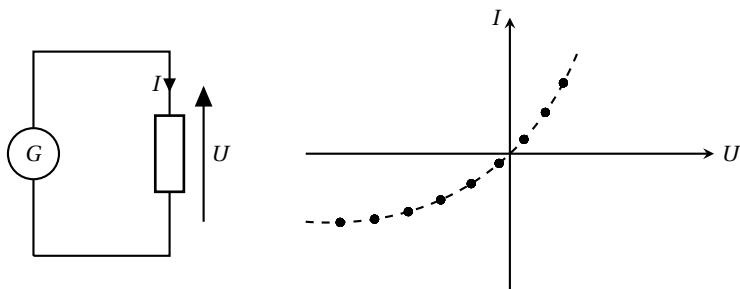


Le fonctionnement interne du dipôle est à priori inconnu. En électrocinétique on s'intéresse uniquement à la relation entre l'intensité $i(t)$ qui traverse le dipôle et la tension $u(t)$ à ses bornes.

Dans un schéma, il faut nécessairement indiquer de manière explicite la convention (générateur ou récepteur) choisie pour le dipôle en indiquant clairement le sens arbitraire choisi pour la tension et l'intensité.

1.2 Caractéristique statique

Imaginons un dipôle quelconque branché à un générateur en régime stationnaire. En fixant l'intensité I délivrée par le générateur, on fixe la tension U aux bornes du dipôle. Le couple (U, I) est caractéristique du dipôle. Si l'on représente sur un graphique l'ensemble des couples (U, I) qu'il est possible d'obtenir pour le dipôle en régime stationnaire, on construit sa **caractéristique statique**.



ATTENTION : l'allure d'une caractéristique statique dépend du sens choisi pour U et I (et donc de la convention choisie). Avant de tracer ou d'exploiter une caractéristique, il faut avant tout expliciter les sens arbitraires choisis pour U et I .

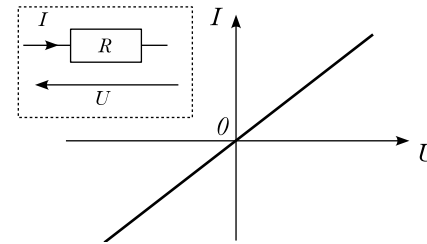
Un graphique $I = f(U)$ s'appelle une caractéristique courant-tension. Un graphique $U = g(I)$ est une caractéristique tension-courant.

1.3 Dipôle linéaire

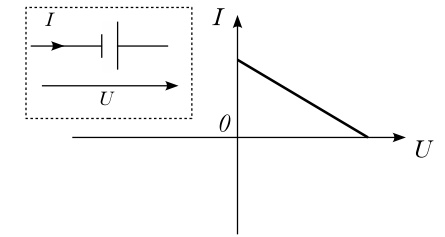
Un dipôle est **linéaire** si la relation entre $u(t)$ et $i(t)$, appelée *équation d'évolution*, est une équation différentielle linéaire. En régime stationnaire, la relation entre I et U est alors affine:

$$I = aU + b$$

La caractéristique statique d'un dipôle linéaire **est une droite**.



Caractéristique courant-tension d'un résistor

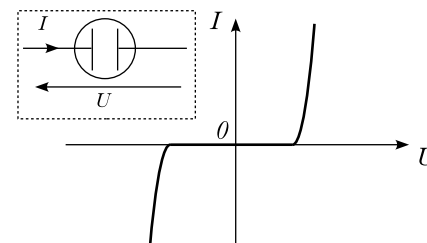


Caractéristique courant-tension d'une pile

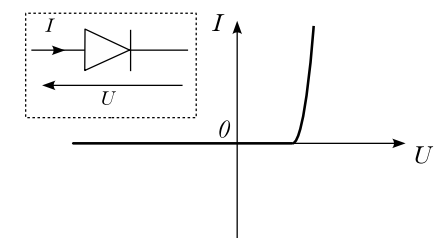
1.4 Dipôle symétrique, polarisé

Un dipôle **symétrique** est un dipôle qui produit les mêmes effets sur un circuit, quel que soit son sens de branchement. Autrement dit, un dipôle dont les deux bornes sont interchangeables. La caractéristique statique d'un tel dipôle présente une symétrie centrale par rapport à l'origine (ex : résistor, condensateur, bobine).

Un dipôle **polarisé** est un dipôle dont l'effet sur un circuit dépend de son sens de branchement. La caractéristique statique d'un tel dipôle ne présente pas de symétrie centrale par rapport à l'origine (Ex : générateur de tension stabilisé, diode,...)



Caractéristique courant-tension d'un électrolyseur



Caractéristique courant-tension d'une diode

1.5 Dipôle passif, dipôle actif

1.5.1 dipôle actif

Un dipôle **actif** est un dipôle qui est capable de se comporter en générateur en régime stationnaire.

ATTENTION : Ne pas confondre dipôle actif et générateur : un dipôle actif peut tout à fait avoir un comportement récepteur. Certains dipôles actifs ont un comportement uniquement générateur (pile non rechargeable, cellule photovoltaïque, générateur de tension stabilisée,...). D'autres, en revanche, ont un comportement réversible et sont capable de se comporter, selon les conditions, soit en générateur, soit en récepteur (batterie, accumulateur,...).

La caractéristique statique d'un dipôle actif linéaire est une droite qui ne passe pas par l'origine. Par conséquent, un dipôle actif linéaire est nécessairement polarisé.

1.5.2 Dipôle passif

Un dipôle **passif** est un dipôle qui est incapable d'avoir un comportement générateur en régime stationnaire.

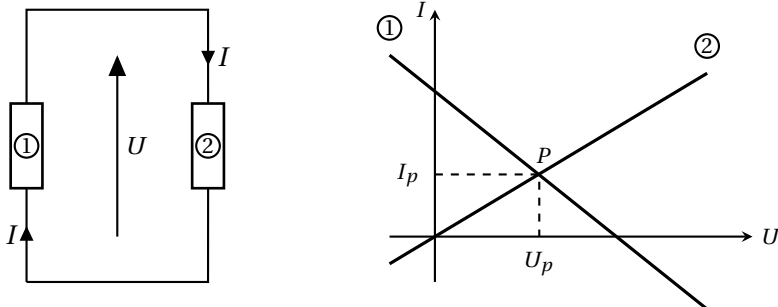
Par définition, un dipôle passif ne peut se comporter que comme un récepteur en régime stationnaire. Ex : résistors, diodes, condensateurs, bobines,...

Remarque : Par contre, un dipôle passif peut avoir un comportement générateur en régime variable. Nous verrons qu'un condensateur, qui est un dipôle passif, peut avoir un comportement générateur en régime variable car il est capable de rendre au circuit de l'énergie électrique qu'il a accumulé pendant un certain temps. Mais une fois déchargé, il ne peut plus spontanément fournir de l'énergie au circuit.

La caractéristique statique d'un dipôle passif linéaire est une droite qui passe nécessairement par l'origine.

1.6 Point de fonctionnement

On considère un circuit formé de deux dipôles branchés aux bornes l'un de l'autre, dont on connaît les caractéristiques statiques. Il est possible, de manière graphique, de déterminer la tension commune aux bornes des dipôles et l'intensité qui traverse le circuit.



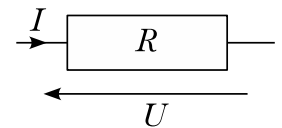
La tension U et l'intensité I sont commun aux deux dipôles. Par conséquent, connaissant la caractéristique de chaque dipôle, on en déduit que le couple (U, I) doit être commun aux deux caractéristiques, c'est-à-dire qu'il se trouve **à l'intersection des deux caractéristiques**.

On appelle **point de fonctionnement** le couple (U, I) correspondant à la réponse du circuit lorsqu'on branche deux dipôles aux bornes l'un de l'autre. Ce couple correspond au point d'intersection des caractéristiques des deux dipôles.

2 Conducteur ohmique (résistance)

2.1 Symbole, principe de fonctionnement

Un conducteur ohmique est un composant qui s'oppose au déplacement des charges dans un circuit électrique. Il est caractérisé par sa **résistance** R , exprimée en *ohms* (Ω). Soumis à une tension, le courant qui traverse le conducteur ohmique est d'autant plus faible que sa résistance est grande. Un conducteur ohmique est un récepteur électrique : toute l'énergie qu'il consomme est transformée par **effet Joule** en chaleur. Outre les conducteurs ohmiques, qui sont conçus spécialement pour s'opposer au courant et dont la résistance peut atteindre de grandes valeurs (les résistances des salles de TP vont jusqu'à environ $10\text{M}\Omega$), il faut retenir que **tout composant électrique réel est plus ou moins résistif** (même un simple fil). Il existe toutefois des matériaux qui perdent toute résistance électrique à très basse température (proche du zéro absolu), on les appelle **supraconducteurs**.



2.2 Loi d'Ohm

En convention récepteur, la relation d'évolution d'une résistance s'écrit sous la forme :

$$U = RI$$

Rq : On peut également écrire la loi d'Ohm sous la forme $I = GU$ où $G = \frac{1}{R}$ est appelée **conductance**, exprimée en siemens (S).

Rq : La résistance d'un conducteur filiforme de longueur L et de section S s'écrit sous la forme $R = \frac{L}{\sigma S}$ où σ est une grandeur physique caractéristique du conducteur appelée **conductivité électrique** (en $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$). Plus σ est grand et meilleur conducteur est le milieu.

Élément	Métal				Semi-conducteur		Isolant
	Ag	Cu	Al	Fe	Ge	Si	verre
σ ($\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$) à 20°C	$6,3 \cdot 10^7$	$6,0 \cdot 10^7$	$3,8 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^7$	1,45	$2,5 \cdot 10^{-4}$	10^{-6}

2.3 Effet Joule

En convention récepteur, la puissance reçue par une résistance s'écrit :

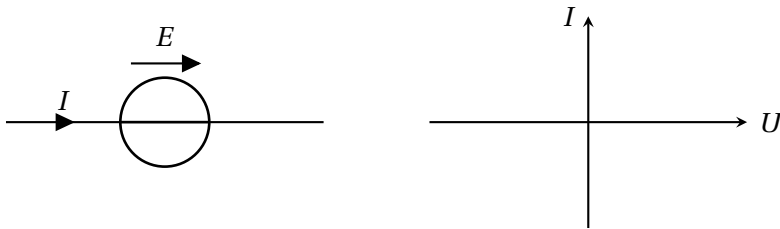
$$\mathcal{P} = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

Cette puissance, dissipée sous forme de chaleur, est mise à profit dans des dispositifs chauffants (sèche-cheveux, radiateur "soufflant", bain d'huile, etc...). Dans la majorité des cas, l'effet Joule est toutefois un effet indésirable : dans tous les systèmes dont l'objectif n'est pas de produire de la chaleur, l'effet Joule constitue une perte d'énergie qui peut même créer des problèmes graves en cas de surchauffe.

3 Modélisations linéaires d'un dipôle actif

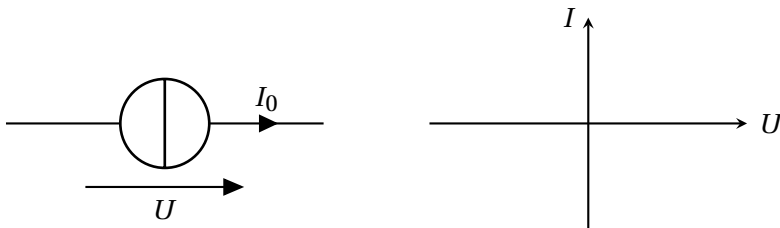
3.1 Source idéale de tension

Une **source idéale de tension** impose à ses bornes une tension E indépendante du courant qui la traverse. La tension E est appelée **force électromotrice** (fem).



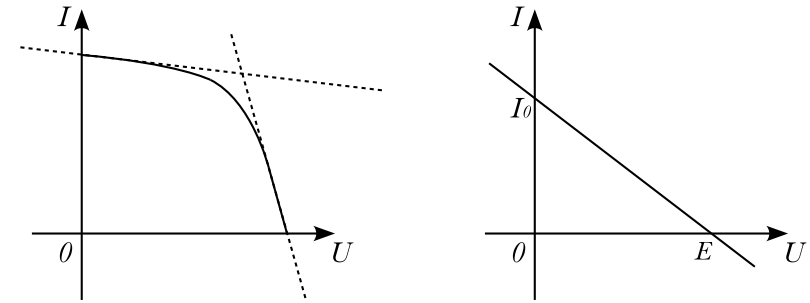
3.2 Source idéale de courant

Une **source idéale de courant** impose dans sa branche une intensité I_0 indépendante de la tension à ses bornes. Le courant I_0 est appelée **courant électromoteur**.



3.3 Générateur linéaire - modèle de Thévenin

Si l'on trace la caractéristique d'un générateur réel, la courbe obtenue n'est pas généralement pas linéaire, mais on peut la modéliser de manière linéaire sur certaines portions. La caractéristique d'un générateur linéaire est une droite ne passant pas par l'origine.

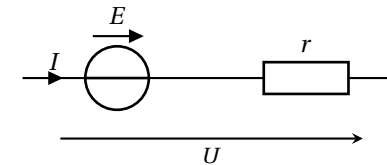


Générateur non-linéaire

Générateur linéaire

Rq : Les deux caractéristiques ci-dessus sont tracés en convention générateur.

Un générateur linéaire est équivalent à l'association en série d'une source idéale de tension de fem E et d'une résistance interne r . Ce modèle de générateur linéaire est appelé **modèle de Thévenin**.



4 Association de dipôles

4.1 Association de résistances en série :

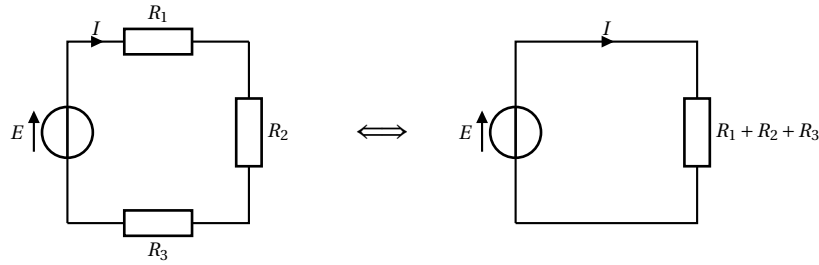
4.1.1 Résistance équivalente

Rappel : Deux dipôles sont en série s'ils sont dans la même branche d'un circuit électrique. Par conséquent, dans l'ARQS, deux dipôles en série sont parcouru *par la même intensité*.

Une association série de plusieurs résistances est équivalente à une résistance unique

$$R_{eq} = \sum_k R_k$$

4.1.2 Loi de Pouillet



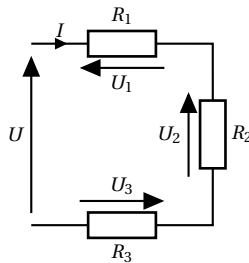
Dans un circuit constitué d'une seule maille, contenant un nombre quelconque N de résistances en série et une source idéale de tension, l'intensité du courant qui circule dans la maille vaut :

$$I = \frac{E}{\sum_k R_k}$$

où I est orientée **en convention générateur** pour la source de tension et $\sum_k R_k = R_{\text{tot}}$ est la résistance équivalente que l'on obtient en rassemblant les différentes résistances en série.

4.1.3 Loi du pont diviseur de tension

On appelle montage **pont diviseur de tension** un montage dans lequel on associe plusieurs résistances en série pour abaisser une tension. Sur le schéma ci-dessous, on note que U est la tension aux bornes de l'ensemble des trois résistances. Le reste du circuit n'a pas été représenté, il peut être quelconque.



La **loi du pont diviseur de tension** relie la tension U_i aux bornes d'une résistance R_i à la tension U aux bornes de l'ensemble des résistances.

$$U_i = \frac{R_i}{\sum_k R_k} U$$

4.2 Association de résistances en parallèle

4.2.1 Conductance équivalente

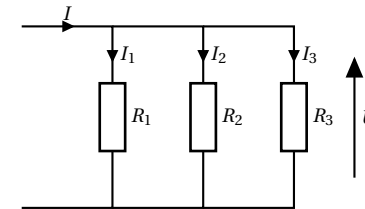
Rappel : Deux dipôles sont en parallèle (en dérivation) s'ils ont les mêmes bornes. Par conséquent, deux dipôles en parallèle ont *la même tension à leurs bornes*.

Une association parallèle de plusieurs résistances est équivalente à une résistance unique de conductance :

$$G_{eq} = \sum_k G_k$$

4.2.2 Loi du pont diviseur de courant

On appelle montage **pont diviseur de courant** un montage dans lequel on associe plusieurs résistances en dérivation pour abaisser une intensité. Sur le schéma ci-dessous, I est l'intensité qui alimente l'ensemble des trois résistances. Le reste du circuit n'a pas été représenté, il peut être quelconque.



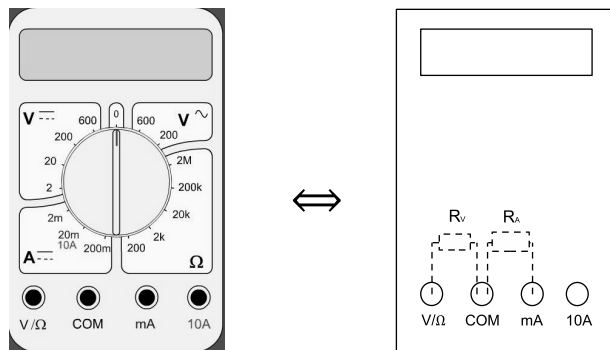
La **loi du pont diviseur de courant** relie l'intensité I_i qui circule dans une résistance R_i à l'intensité I qui alimente l'ensemble des résistances.

$$I_i = \frac{G_i}{\sum_k G_k} I$$

5 Résistance d'entrée et de sortie

5.1 Résistance d'entrée d'un appareil de mesure

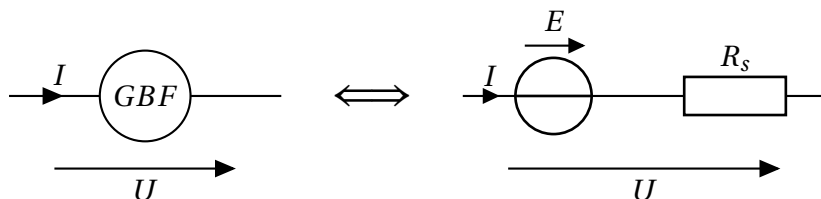
Un appareil de mesure (voltmètre, ampèremètre, oscilloscope,...) est un circuit passif à deux bornes d'entrée. Il est généralement constitué de nombreux composants électroniques. Cependant, vu depuis ses deux bornes d'entrée, tout se passe en régime stationnaire comme si l'appareil se comportait comme une résistance pure R_e , appelée **résistance d'entrée**.



La résistance d'entrée d'un voltmètre est grande (de l'ordre de $10\text{M}\Omega$ pour les multimètres de TP). La résistance d'entrée d'un ampèremètre est faible (elle dépend du calibre). Ces valeurs sont choisies de manière à ce que *l'appareil influe le moins possible sur le circuit lorsqu'il y est inséré pour effectuer le mesurage*.

5.2 Résistance de sortie d'un GBF

Un GBF est un circuit actif destiné à alimenter un circuit électrique par l'intermédiaire de ses deux bornes de sortie. Il se comporte, vu depuis ses bornes de sortie, comme un générateur linéaire de fem variable et de résistance interne non nulle, appelée aussi **résistance de sortie**. Pour la plupart des GBF, la résistance de sortie $R_s = 50\Omega$.



Rq : Il existe des générateurs de tension continue, appelés générateurs de tension stabilisée, qui ont une résistance de sortie quasiment nulle. Ils se comportent comme des sources idéales de tension.