

Chapitre 4 : Introduction aux signaux électriques

1 Courant électrique et tension

1.1 Charge électrique

Le courant électrique est créé par un mouvement de *porteurs de charges*, c'est-à-dire des espèces qui portent une charge électrique non nulle. Ces porteurs de charges peuvent être des électrons (dans un métal par exemple) ou des ions (dans une solution électrolytique). Une espèce chargée électriquement possède toujours une charge électrique q qui est un multiple entier relatif de la charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Un électron possède une charge $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. On appelle **cation** un ion chargé positivement (Na^+ , Cu^{2+} , H_3O^+) et **anion** un ion chargé négativement (Br^- , OH^- , SO_4^{2-}). De manière générale, un cation noté C^{p+} possède une charge $q = pe$ et un anion noté A^{n-} possède une charge $q = -ne$.

1.2 Définition du courant électrique

Un courant électrique est un *déplacement d'ensemble de charges libres*. En général, on met des charges électriques en mouvement à l'aide d'un champ électrique imposé par un **générateur**. Or, dans un champ électrique, des charges de signes opposés se déplacent en sens opposés. Pour déterminer le sens arbitraire du courant électrique on utilise une convention fixée par André-Marie AMPÈRE en 1822 :

Le sens positif du courant électrique est le sens de déplacement des charges **positives**.

1.3 Intensité du courant électrique

1.3.1 Définition

L'intensité du courant électrique qui traverse une section de conducteur est égale à la quantité de charge qui la traverse par unité de temps.

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

L'intensité correspond à un *débit de charge* à travers un conducteur. Dans un circuit électrique, le sens de déplacement des charges est a priori inconnu. Il faut donc choisir **arbitrairement** un sens pour i (on le représente par une flèche sur un schéma). Le signe de i (obtenu par le calcul ou expérimentalement à l'aide d'un ampèremètre) permettra de conclure sur le sens réel de déplacement des charges.

1.3.2 Relation entre la charge et le temps en régime stationnaire

Dans un conducteur parcouru par un courant d'intensité I constante, la charge électrique Q qui circule pendant une durée Δt vaut :

$$Q = I\Delta t$$

1.4 Potentiel électrique

Le potentiel électrique est une grandeur *locale* (il est défini *en un point M d'un circuit*) et *algébrique* (il peut être positif ou négatif). Il mesure la capacité d'un point de l'espace à attirer ou repousser des charges électriques. Son unité SI est le **volt**.

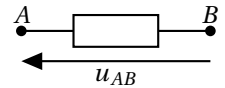
- les particules de charge positive se déplacent spontanément en direction des zones où le potentiel est le plus faible.
- les particules de charge négative se déplacent spontanément en direction des zones où le potentiel est le plus fort.

Si jamais deux points d'un conducteur électrique ne sont pas au même potentiel, il apparaît généralement un flux de charges d'un point vers l'autre, c'est-à-dire un courant électrique.

1.5 Tension

La tension entre deux points A et B d'un circuit électrique est égale à la différence de potentiel entre ces points :

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

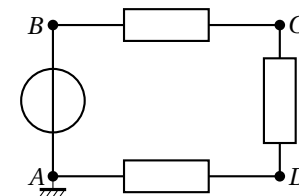


Rq : la tension u_{AB} est dirigée **de B vers A** (tension = "potentiel à la pointe de la flèche" - "potentiel à la queue de la flèche").

Rq : la tension est *additive* ($u_{AC} = u_{AB} + u_{BC}$) et *antisymétrique* ($u_{BA} = -u_{AB}$).

1.6 Masse d'un circuit électrique

En électricité on peut choisir **un point** d'un circuit et **fixer arbitrairement son potentiel électrique à zéro**. Ce point particulier est appelé **la masse du circuit** (on utilise le symbole ///). Par exemple dans le circuit ci-dessous $V_A = 0$.



2 Lois de Kirchhoff en régime stationnaire

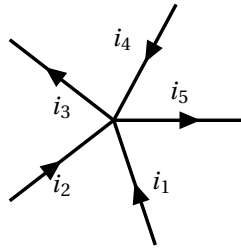
2.1 Conservation de la charge

La charge totale contenue dans un circuit fermé se conserve. Elle peut circuler d'un point à un autre mais ne peut être **ni créée, ni détruite**.

2.2 Loi des nœuds

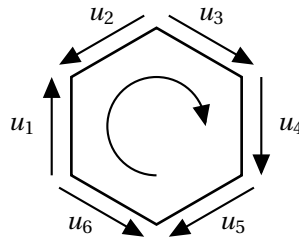
En régime stationnaire, la conservation de la charge implique que la quantité de charge qui arrive au niveau d'un nœud est égale à la quantité de charge qui quitte le nœud.

Loi des nœuds : La somme des courants se dirigeant vers un nœud est égale à la somme des courants qui s'en éloignent.



2.3 Loi des mailles

Pour établir la loi des mailles, il convient d'orienter **arbitrairement** la maille dans un sens ou dans l'autre.

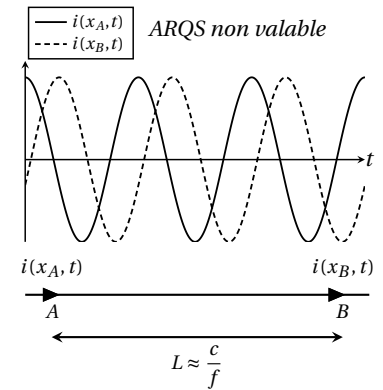
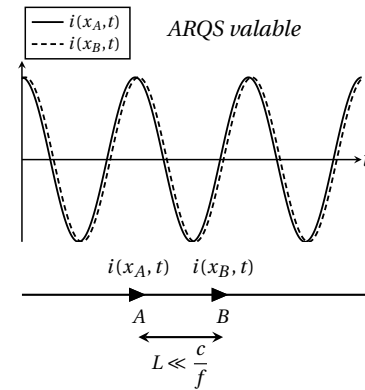


Loi des mailles : Dans une maille orientée arbitrairement, la somme des tensions orientées dans le sens arbitraire est égale à la somme des tensions orientées en sens contraire.

2.4 Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

Lorsque les tensions et les intensités dépendent du temps, on est en régime **variable**. Dans un circuit électrique, les signaux se propagent sous la forme d'ondes dont la célérité c est proche de $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Contrairement au régime stationnaire, l'intensité et le potentiel électrique ne sont plus nécessairement les mêmes en tout point d'une branche.

Pour un circuit de taille caractéristique L , le retard temporel qui apparaît entre deux points d'une même branche est de l'ordre de L/c . Dans le cas où le temps de propagation est très faible devant le temps caractéristique de variation de $V(x, t)$ et $i(x, t)$ alors on peut faire l'approximation que les potentiels et les intensités sont les mêmes en tout point d'une branche (voir figure ci-dessous). Cela constitue le domaine de l'ARQS.



Dans l'ARQS, on fait l'approximation que l'intensité et le potentiel électrique ont la même valeur en tout point d'une branche. Cela revient à négliger le temps de propagation des signaux électriques au sein du circuit. Pour un signal périodique de fréquence f , le domaine de l'ARQS correspond aux fréquences qui vérifient :

$$f \ll \frac{c}{L}$$

Dans l'ARQS, les lois de Kirchhoff s'appliquent de la même manière qu'en régime stationnaire.

3 Puissance électrique

3.1 Notion de puissance

La puissance (en **watt**) mesure un **débit d'énergie**. Par exemple un grille-pain électrique dont la puissance est de 1000 W consomme une énergie électrique égale à 1000 J par seconde ($1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$).

En électricité on souhaite mesurer la puissance **échangée** entre un dipôle électrique et un circuit. Pour cela il est important de préciser **dans quel sens s'effectue l'échange**, c'est pourquoi on précisera toujours si l'on parle de la puissance **reçue** par le dipôle ou bien de la puissance **fournie** par le dipôle.

On mesure les puissances de façon **algébrique** (c'est-à-dire avec un nombre positif ou négatif selon le sens réel dans lequel s'effectue l'échange). Par exemple il revient au même pour un dipôle de dire que sa puissance reçue vaut 10 W ou bien que sa puissance fournie vaut -10 W .

Un dipôle a un comportement **générateur** s'il fournit une puissance positive.
Un dipôle a un comportement **récepteur** s'il reçoit une puissance positive.

On admet enfin qu'au signe près (dont on discutera plus loin), la puissance qu'un dipôle électrique échange avec le reste du circuit s'écrit sous la forme :

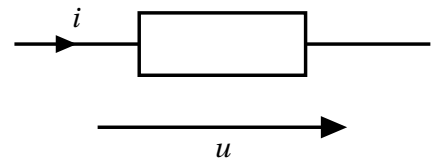
$$\mathcal{P} = \pm ui$$

avec u la tension aux bornes du dipôle et i l'intensité dans sa branche.

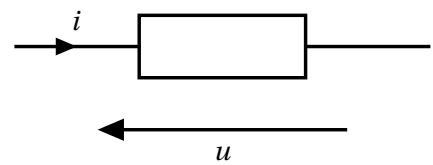
3.2 Convention générateur et récepteur

Les conventions générateur et récepteur sont des **conventions de représentation schématique** des dipôles électriques.

- En **convention générateur**, la tension aux bornes d'un dipôle et l'intensité qui le traverse sont orientées dans le même sens.



- En **convention récepteur**, la tension aux bornes d'un dipôle et l'intensité qui le traverse sont orientées en sens opposés.



3.3 Puissance échangée entre un dipôle et un circuit

On a vu que la puissance échangée entre un dipôle et un circuit est égale à $\pm u(t)i(t)$. Selon que l'on parle de puissance reçue ou fournie et suivant la convention de représentation choisie pour $u(t)$ et $i(t)$, on écrira cette puissance avec un signe $-$ ou un signe $+$. Ces signes sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

convention \ puissance	reçue	fournie
récepteur	$+ui$	$-ui$
générateur	$-ui$	$+ui$

- on dit qu'un dipôle se comporte comme un générateur s'il fournit au circuit une puissance électrique positive ;
- on dit qu'un dipôle se comporte comme un récepteur s'il reçoit du circuit une puissance positive.

3.4 Travail électrique échangé entre un dipôle et un circuit

On appelle travail électrique l'énergie échangée entre un dipôle et un circuit. Dans le cas général, si $\mathcal{P}(t)$ est la puissance échangée alors le travail électrique échangé entre t_1 et t_2 vaut :

$$W = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}(t)dt = \pm \int_{t_1}^{t_2} u(t)i(t)dt$$

Dans le cas du régime stationnaire (tension U et intensité I constantes), cette expression devient :

$W = \mathcal{P}\Delta t = \pm UI\Delta t$