

Chapitre 1 : Notions de base en électrocinétique

I. Introduction

- *Électrostatique* : étude des phénomènes liés aux charges électriques immobiles (dans le référentiel d'étude).
- *Électrocinétique* : étude de la circulation de courants électriques dans des circuits assez simples composés de générateur, résistance, bobine, condensateur, moteur etc..
- *Électronique* : étude de la production, transformation et détection d'information contenue dans des signaux électriques.
- *Points communs à l'électronique et l'électrocinétique* : mêmes grandeurs fondamentales (courant, tension) et mêmes lois fondamentales (loi des mailles et loi des nœuds).

II. Le courant électrique

■ Définition :

Un courant électrique est un mouvement d'ensemble de porteurs de charges électriques. Par convention, le sens du courant est le sens de déplacement des charges positives.

■ Différents types de courants :

- Courant *particulaire* : mouvement de porteurs de charges dans le vide (faisceau d'électrons dans un tube cathodique par exemple).
- Courant de *conduction* : mouvement de porteurs de charges dans un milieu matériel immobile dans le référentiel d'étude.
- Courant de *convection* : mouvement de porteurs de charges provoqué par un déplacement, dans le référentiel d'étude, du support matériel chargé, les charges étant fixes par rapport au support.

Remarque : nous ne nous intéresserons cette année qu'au courant de conduction.

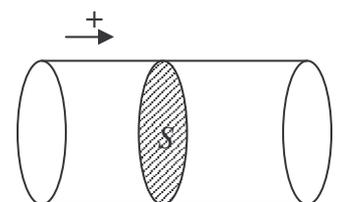
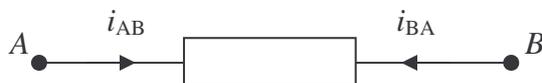
■ Différents types de porteurs de charges :

- Dans les métaux : électrons libres. Chaque atome du métal libère un ou deux électrons qui peuvent se propager librement dans le métal.
- Dans les semi-conducteurs : électrons libres (charge $-$) et trous (charge $+$).
- Dans les liquides : cations (ions $+$), anions (ions $-$).
- Dans les gaz : il peut y avoir ionisation d'une partie d'un gaz dans certaines conditions comme une décharge électrique, on parle de plasma. (Ex.: étoiles, ionosphère, éclairs, lampe à vapeur de Na ou de Hg).

■ Intensité

- Une petite charge électrique dq qui traverse une section S d'un conducteur pendant un petit intervalle de temps dt crée un courant électrique d'intensité i telle que $i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \dot{q}(t)$.

- Unité : ampère, noté $A = C.s^{-1}$.
- i est une quantité algébrique : elle peut être positive et négative, $i_{AB} = -i_{BA}$.



Fil conducteur cylindrique de section S

- Au niveau micro, les électrons sont animés d'un mouvement d'agitation thermique très rapide ($\approx 100 \text{ km.s}^{-1}$) et aléatoire autour d'un déplacement moyen très lent ($\approx 0,1 \text{ mm.s}^{-1}$).
- L'information (le courant, la tension) se propage, en revanche, à une *vitesse proche de celle de la lumière* ($\approx 300\,000 \text{ km.s}^{-1}$).

■ Définition du vecteur densité de courant électrique

- On considère un matériau conducteur comportant un seul type de porteurs de charge (donc tous de même signe). On note :

- n la densité volumique de porteurs en m^{-3} .
- q la charge de chacun des porteurs en C.
- \vec{v} la vitesse moyenne d'ensemble de ces porteurs en m.s^{-1} .

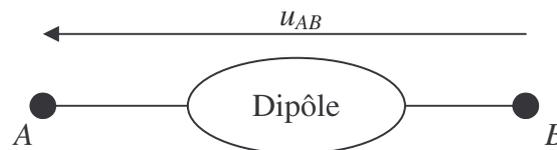
- Le vecteur densité de courant électrique, \vec{j} est défini par $\vec{j} = nq\vec{v}$ soit avec $\rho_m = nq$ la densité volumique de charges mobiles : $\vec{j} = \rho_m \vec{v}$.

- Unité de \vec{j} : le $\text{C.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ou A.m^{-2} .

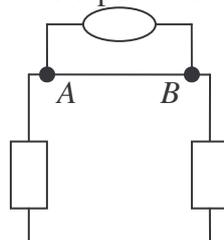
- Dans le cas d'un conducteur cylindrique uniforme de section S dans lequel se déplacent des porteurs de charges on a $j = \frac{I}{S}$.

■ Notion de tension

- La tension (ou différence de potentiel) u_{AB} est définie ci-dessous :

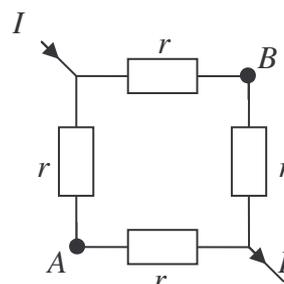


- u_{AB} est une quantité algébrique : $u_{AB} = -u_{BA}$
- La tension aux bornes d'un fil de connexion est nulle (mais pas nécessairement l'intensité du courant) : $u_{AB} = 0$ n'implique pas $i_{AB} = 0$.
- Attention : un dipôle branché entre 2 points au même potentiel (équipotentiel) quelque soit t ne fonctionne pas (cf. schéma pour le dipôle branché entre A et B).



- Dans un circuit, 2 points au même potentiel peuvent être reliés par un fil sans changer les propriétés du circuit (c'est-à-dire sans changer les courants dans les autres branches).

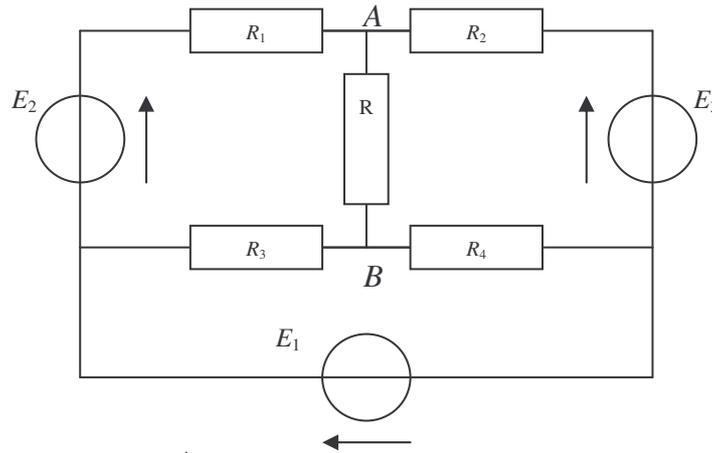
Exemple avec les points A et B du circuit ci-dessous :



- On retiendra que l'on parle de la tension *aux bornes* d'un dipôle et de l'intensité *traversant* ce dipôle.

III. Vocabulaire de l'électrocinétique

- Nœud* : point de jonction entre au moins 3 fils de connexion.
- Branche* : ensemble de dipôles montés en série entre 2 nœuds consécutifs.
- Maille* : ensemble de branches formant 1 boucle fermée (contour fermé) qui ne passe qu'une fois par un nœud donné. Une maille indépendante comporte au moins une branche non incluse dans les autres. Le circuit ci-dessous comporte 4 nœuds, 7 mailles dont 3 indépendantes et 6 branches.



- La masse symbolisée par $\text{---}/\text{---}/\text{---}$ est une référence des potentiels (tout comme le niveau de la mer est une référence pour les altitudes) pour un circuit donné. Dans un circuit, quand on parlera du potentiel d'un point, il sera sous entendu que ce potentiel est référencé à la masse du montage : $V_A = V_A - V_M = u_{AM}$

- La terre symbolisée par $\text{---}/\text{---}/\text{---}$ est une connexion physique au sol (à la Terre). Chaque appareil, équipé d'une prise de terre, comporte une de ses bornes reliée à un point commun à toute l'installation électrique appelé « Terre ». Son potentiel est constant et sa valeur est souvent par convention fixée à 0 : cette borne joue donc le rôle de masse. À l'inverse, les appareils pour lesquels cette liaison n'existe pas sont dits à *masse flottante*.

IV. Les lois de Kirchhoff

■ Loi des nœuds (1^{ère} loi de Kirchhoff)

On nomme et on oriente le courant dans chaque branche. On a alors pour chaque nœud :

$$\boxed{\sum_{\text{entrant}} i_j = \sum_{\text{sortant}} i_k} \text{ ou encore } \boxed{\sum_k \epsilon_k i_k = 0} \text{ avec : } \begin{array}{l} \epsilon_k = +1 \text{ pour un courant entrant dans le nœud} \\ \epsilon_k = -1 \text{ pour un courant sortant du nœud} \end{array}$$

■ Loi des mailles (2^{ème} loi de Kirchhoff)

On oriente *arbitrairement* chaque maille du réseau afin de définir pour chaque branche un sens positif de parcours pour la tension. Soit u_k , la tension entre 2 nœuds successifs, on a alors

$$\boxed{\sum_k \epsilon_k u_k = 0} \text{ avec : } \begin{array}{l} \epsilon_k = +1 \text{ pour une tension orientée dans le sens de la maille} \\ \epsilon_k = -1 \text{ pour une tension orientée dans le sens inverse de la maille} \end{array}$$

■ Méthode d'utilisation des lois de Kirchhoff

1. Orienter arbitrairement les mailles.
2. Nommer les tensions et les différentes intensités en *tenant compte directement de la loi des nœuds* et en commençant par les inconnues (*cf. exemple*)
3. Dénombrer les intensités inconnues et écrire autant de lois des mailles que d'inconnues.
4. Remplacer les tensions de chaque maille par leurs expressions en fonctions des données du problème.
5. Résoudre le système d'équations.

Remarque :

Les lois de Kirchhoff constitue une technique lourde à utiliser avec parcimonie car on peut s'encombrer du calcul d'intensités et de tensions qui ne nous intéressent pas du tout.

V. Loi de Pouillet et théorème de Millman

■ **Loi de Pouillet**

Pour un circuit ne comportant que des sources de tension et des résistances en *série*, l'intensité i est donnée par :

$$i = \frac{\sum_k \varepsilon_k e_k}{\sum_l R_l} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} \varepsilon_k = +1 \text{ pour une source orientée dans le sens de } i \\ \varepsilon_k = -1 \text{ pour une source orientée dans le sens inverse de } i \end{array}$$

■ **Théorème de Millman**

- Potentiel d'un nœud

Le potentiel d'un nœud quelconque d'un réseau est la différence de potentiel entre ce nœud et un nœud arbitraire choisi comme référence (la masse) et dont le potentiel (de nœud !) est par conséquent égal à 0 : $V_A = U_{AM} = V_A - V_M$.

- Pour un nœud A où n'arrivent que des résistances, le théorème de Millman s'écrit :

$$V_A = \frac{\sum_i \frac{V_{M_i}}{R_i}}{\sum_i \frac{1}{R_i}}. \quad \text{À noter que l'on parle également de « loi des nœuds en terme de potentiel ».$$