

CONCEPTS DE BASE DE L'ÉLECTRODYNAMIQUE

L'électrodynamique est le domaine de l'électromagnétisme où les manifestations des mouvements de porteurs de charges sont étudiées en termes de courants et de tensions.

Vocabulaire utile :

- **Dipôle** : ensemble d'éléments ou composants électriques que l'on peut relier par 2 points (2 pôles), ses bornes, au reste du circuit.
- **Nœud** : borne commune à au moins 3 dipôles.
- **Branche** : ensemble de dipôles disposés en série entre deux nœuds consécutifs.
- **Maille** : ensemble fermé de branches ne passant qu'une seule fois par un nœud donné.

I. COURANT ÉLECTRIQUE - INTENSITÉ DU COURANT - LOI DES NOEUDS

1) Courant électrique - Milieu conducteur

- **Définition** : courant électrique = déplacement d'ensemble de particules chargées

- **Différents types de courant**

- courant particulaire : particules chargées se déplaçant dans le vide.
- courant de convection : déplacement de charges provoqué par le mouvement de leur support matériel.
- courant de conduction (cas étudié dans la suite du cours) : déplacement de porteurs de charges dans un milieu sans déplacement de ce milieu.

- **Milieu conducteur**

Un milieu est dit conducteur s'il existe des porteurs de charges - électrons, ions - susceptibles de se déplacer dans tout le milieu. Dans le cas contraire, le milieu est dit isolant.

Nature des porteurs de charges mobiles (notés P.C.M.)

Milieu solide :

- conducteur métallique P.C.M.=électrons de charge $q = -e$ où $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ (charge élémentaire)
- semi-conducteurs (exemple le silicium) P.C.M. $\begin{cases} \text{électrons libres (n)} & q = -e \\ \text{trous - défaut d'électrons (p)} & q = +e \end{cases}$

Milieu liquide : électrolytes P.C.M = anions, cations.

Milieu gazeux : non conducteur aux températures usuelles. Lorsqu'il est porté à très haute température (plasma) ou soumis à des champs électriques très intenses, le gaz s'ionise (cations et électrons) et devient conducteur (lampe à vapeur de sodium...).

Déplacement macroscopique des porteurs de charge mobiles

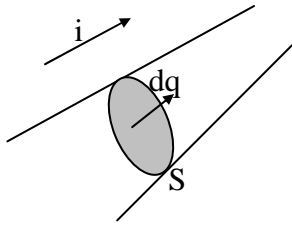
En l'absence d'action extérieure, quelle que soit la nature des P.C.M., leur mouvement, d'agitation thermique, n'est pas ordonné. En valeur moyenne, la vitesse des porteurs de charges est nulle.

Lorsque l'on soumet le conducteur à une action extérieure (champ électrique \vec{E}), les P.C.M. sont entraînés dans le sens du champ si leur charge est positive, en sens inverse si leur charge est négative. La vitesse d'ensemble est alors non nulle : le **conducteur est le siège d'un courant électrique**.

2) Intensité du courant électrique - Loi des nœuds

- **Définition de l'intensité du courant électrique**

On désigne par intensité du courant électrique à travers une section (S) de conducteur, la quantité d'électricité traversant (S) dans un sens donné par unité de temps, c'est-à-dire **le débit de charges à travers une section (S) de conducteur**.



dq traverse (S) pendant dt dans le sens choisi : $i = \frac{dq}{dt}$

L'intensité, grandeur algébrique, s'exprime en ampère (A) dans le S.I.

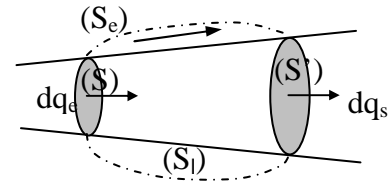
Sens de circulation des charges et signe de l'intensité

Par convention, le sens positif du courant est celui des porteurs de charges positives $dq > 0$ (opposé au déplacement des électrons).

- **Conservation de la charge**

Régime stationnaire : Un système est en régime stationnaire si les grandeurs physiques le caractérisant sont indépendantes du temps.

Soit une portion de conducteur délimitée par une surface fermée Σ_f constituée des sections (S), (S') et de la surface latérale (S_l) (ou d'une surface (S_e) extérieure au conducteur).



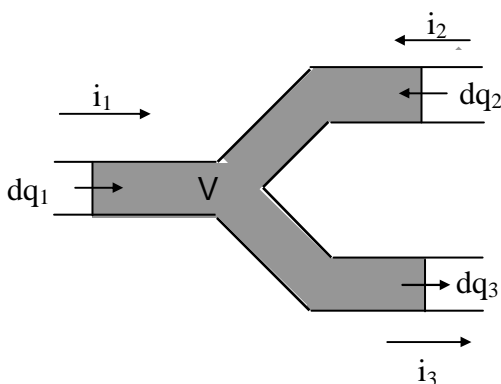
En régime stationnaire, la quantité de charges mobiles contenue dans le volume V intérieur à Σ_f , Q_{int} est indépendante du temps.

Pendant l'intervalle de temps dt, il entre dans V par (S) $dq_e = i \cdot dt$ et simultanément il sort de V par (S') $dq_s = i' \cdot dt$. Or $Q_{int}(t+dt) = Q_{int}(t)$ soit $dq_e = dq_s$ d'où $i = i' = I$.

En régime stationnaire, l'intensité du courant électrique a la même valeur à travers toute section du conducteur.

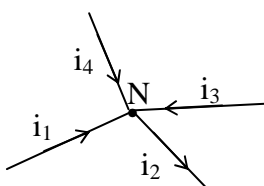
CONSEQUENCE : Loi des nœuds

Considérons, toujours en régime stationnaire, un conducteur bifurqué.



La conservation de la charge contenue dans le volume V se traduit par $dq_1 + dq_2 = dq_3$ soit $i_1 + i_2 = i_3$

Symbole dans le cas de conducteurs filiformes (de grande longueur devant leur diamètre)



N : nœud.

$$i_1 + i_3 + i_4 = i_2$$

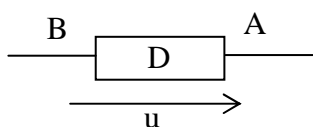
Généralisation : **loi des nœuds** $\sum_k \epsilon_k \cdot i_k = 0$ avec $\begin{cases} \epsilon_k = +1 & \text{pour un courant arrivant vers N} \\ \epsilon_k = -1 & \text{pour un courant partant de N} \end{cases}$

II. TENSION ET POTENTIEL - LOI DES MAILLES

Dans un conducteur, le mouvement des P.C.M. est du à la force $\vec{F} = q \vec{E}(\vec{M})$, $\vec{E}(\vec{M})$ étant le champ électrique au point M du conducteur, imposée par un élément générateur.

Nous verrons que cette force dérive d'une fonction énergie potentielle $E_p = q \cdot V(\vec{M})$ (définie à une constante additive près) où $V(\vec{M})$ désigne le **potentiel électrique** du point M (défini à une constante additive près). Il s'exprime en **volt (V) dans le S.I.**

1) Différence de potentiel (ou tension) entre deux points d'un circuit



La tension u_{AB} est la différence de potentiel entre les points A et B :

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

Les tensions (ou ddp) sont indépendantes de l'origine choisie pour les potentiels que l'on appelle masse.

On distingue :

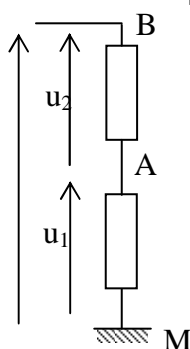
* masse "carcasse" ou "terre" : symbole



Elle est reliée à la terre : son potentiel est constant et sa valeur conventionnellement choisie nulle.

Pour des raisons de sécurité, les carcasses des appareils électriques sont en général reliées à la terre.

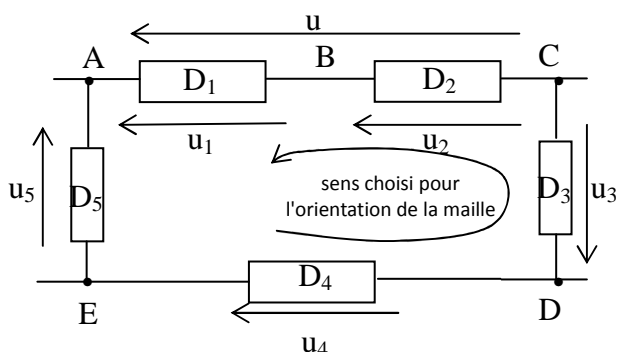
* masse "signal" : symbole



Point d'un circuit choisi comme référence de potentiel (ici M avec $V_M = 0$)

$$\begin{aligned} V_A - V_M &= V_A = u_1 \\ V_B - V_M &= V_B = u_1 + u_2 \end{aligned}$$

2) Additivité des tensions - loi des mailles



$$u_{AC} = V_A - V_C = V_A - V_B + (V_B - V_C) = u_{AB} + u_{BC}$$

$$\text{soit } u = u_1 + u_2$$

Loi des mailles (maille ABCDEA) : $V_A - V_B + V_B - V_C + V_C - V_D + V_D - V_E + V_E - V_A = 0$ soit $u_1 + u_2 - u_3 - u_4 - u_5 = 0$

Généralisation : **Loi des mailles** $\sum_k \epsilon_k \cdot u_k = 0$ avec $\begin{cases} \epsilon_k = +1 & \text{si } u_k \text{ est orientée dans le sens choisi} \\ \epsilon_k = -1 & \text{si } u_k \text{ est orientée en sens inverse} \end{cases}$

III. APPROXIMATION DES REGIMES QUASI-STATIONNAIRES (ARQS)

Un circuit électrique peut être étudié :

- **en régime stationnaire** (ou régime permanent) : les grandeurs électriques i , u sont indépendantes du temps. Elles sont en général notées par des lettres majuscules I , U .
- **en régime variable** : les grandeurs électriques dépendent du temps $i(t)$, $u(t)$. Elles sont en général notées par des lettres minuscules i , u .

En régime variable, le signal électrique peut être associé à une onde se propageant dans le conducteur à vitesse finie (de l'ordre de $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

On sera dans le cadre de **l'approximation des régimes quasi-stationnaires** si le temps de propagation τ du signal est négligeable devant la grandeur temporelle T caractérisant les variations des grandeurs électriques (dans le cas de grandeurs périodiques, T représente la période).

$$\text{Pour un circuit de dimension } L : \tau = \frac{L}{c} \ll T \text{ soit } L \ll cT.$$

Dans le cadre de l'ARQS, **les lois de Kirchhoff (loi des mailles et loi des nœuds)**, montrées en régime stationnaire, sont valables en régime variable (si on peut négliger les phénomènes de propagation).

Exemple :

Pour un circuit électrique dont les dimensions sont de l'ordre du mètre (en travaux pratiques par exemple) : $L/c \approx 10^{-8} \text{ s}$ soit $T \gg 10^{-8} \text{ s}$ d'où $f = \frac{1}{T} \ll 100 \text{ MHz}$ ce qui correspond à la gamme de fréquence délivrée par un GBF.

Application :

A quelle condition sur la taille du circuit, peut-on considérer le courant fourni par EDF (de fréquence $f=50\text{Hz}$) comme un signal vérifiant l'approximation des régimes quasi-stationnaires ?