

Chap.1 – Lois générales de l'électrocinétique

1. Le courant électrique

- 1.1. Notion de charge électrique
- 1.2. Nature du courant électrique
- 1.3. Intensité du courant électrique

2. La tension électrique : une différence de potentiel

- 2.1. Définitions
- 2.2. La masse, une référence de potentiel

3. Les deux lois de l'électrocinétique

- 3.1. Les différents régimes de fonctionnement
- 3.2. Loi des nœuds
- 3.3. Loi des mailles
- 3.4. Cas des régimes lentement variables - Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires (ARQS)

4. Puissance électrique échangée par un dipôle

- 4.1. Préliminaires sur le concept d'énergie en physique
- 4.2. Lien entre *puissance* et *énergie échangée* par un dipôle
- 4.3. Convention récepteur - Convention générateur

Intro :

L'électrocinétique concerne l'étude du mouvement de particules chargées dans la matière sous l'action d'un champ électrique. En première année, on se limite à l'étude des circuits électriques.

Dans ce chapitre, on définit les grandeurs physiques fondamentales et les lois générales de l'électrocinétique. Énoncées en régime continu, on les généralise ensuite au cas des régimes lentement variables dans le cadre de l'*Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires (ARQS)*.

Préliminaires - Quelques définitions relatives aux circuits électriques

- *Dipôle* : tout système relié au reste du circuit par deux bornes (R, L, C, générateur...)
- *Branche* : ensemble de dipôles reliés entre eux par des fils et disposés en série
- *Nœud* : point reliant entre eux trois dipôles ou plus
- *Maille* : ensemble de branches formant un contour fermé que l'on peut parcourir en ne passant qu'une fois par chaque nœud intermédiaire

1. Le courant électrique

1.1. Notion de charge électrique

Sous sa forme la plus stable, la matière est globalement neutre d'un point de vue électrique. L'expérience montre que certains corps sont susceptibles de s'électriser, i.e. d'accepter ou de perdre des particules chargées. Quelques rappels concernant la charge électrique :

- Charge positive ou négative :
Ces deux formes de la charge sont mises en évidence par les phénomènes d'attraction et de répulsion de corps électrisés. Mêmes signes : répulsion ; signes opposés : attraction.
- Quantification de la charge :
Il existe une charge électrique élémentaire, notée e , égale à $1,6 \cdot 10^{-19}$ C (en coulombs, unité de charge). Toute charge électrique est un multiple entier de cette charge élémentaire.
- Conservation de la charge :
La charge d'un corps isolé (i.e. ne subissant aucune influence de l'extérieur) reste constante au cours du temps. Il n'y a ni création ni disparition de charges. Si la charge d'un corps varie au cours du temps, cela ne peut être dû qu'aux échanges de charges avec l'extérieur.
- Porteurs de charge :
Vous en connaissez déjà : électrons, protons, cations, anions (mais aussi positrons, trous...)

1.2. Nature du courant électrique

Le courant électrique correspond à un mouvement d'ensemble de particules chargées. On peut distinguer plusieurs types de courant électrique :

- **courant de conduction** : dans un milieu conducteur (ex : métal, solution électrolytique...)
- courant particulaire (ex : faisceau d'électrons dans un oscilloscope ou une TV)
- courant de convection (mouvement d'un support chargé électriquement)

Dans un métal, les porteurs de charge sont les électrons libres. Ceux-ci ne sont pas liés aux atomes et peuvent parcourir de longues distances au sein du conducteur. *Dans un métal, le courant électrique correspond à un mouvement ordonné de ces électrons, qui se superpose au mouvement désordonné d'agitation thermique.*

Dans un circuit, le sens du courant correspond au sens suivant lequel se déplaceraient des porteurs de charge positive. Dans un métal, le sens du courant est donc opposé à celui des électrons libres.

1.3. Intensité du courant électrique

L'intensité du courant électrique mesure le *débit de charge* traversant une section du conducteur. L'unité de l'intensité est l'ampère, noté A ($C \cdot s^{-1}$) :

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

La valeur absolue de l'intensité mesure donc la quantité de charge traversant une section du conducteur par unité de temps. Une branche d'un circuit pouvant être traversée par le courant dans un sens ou dans l'autre, on choisit de représenter mathématiquement l'intensité par une **grandeur algébrique** : elle peut être positive ou négative. Une fois que l'on a adopté une convention d'orientation de la branche où circule le courant, le *signe de l'intensité* nous renseigne sur le sens effectif du courant dans la branche.

Méthode à toujours employer :

- Définir un sens *conventionnel (arbitraire)* du courant dans la branche **sur un schéma**
- Puis, effectuer les calculs ou les mesures.
- Puis interpréter le signe de l'intensité calculée ou mesurée :
 - positif : le sens *réel* du courant est le même que le sens *conventionnel*
 - négatif : le sens *réel* du courant est opposé au sens *conventionnel*

Convention adoptée implicitement lors du branchement d'un ampèremètre

Le sens du courant adopter va du (+) vers le (-) à l'intérieur de l'ampèremètre.

Quelques ordres de grandeur

- En TP d'électronique : de qq 10 mA à qq 100 mA
- A la maison : de qq A à qq 10 A
- Dans l'industrie : jusqu'à qq 10^3 A

2. La tension électrique : une différence de potentiel

2.1. Définitions

Le **potentiel électrique** est une grandeur physique définie en tout point du circuit. Elle s'exprime en volts.
La **tension** est une **différence de potentiel** entre deux points du circuit. Elle s'exprime donc en volts (V).

La tension est une grandeur **algébrique** : elle peut être positive ou négative. Son signe permet de savoir lequel des deux points du circuit a le potentiel le plus élevé.

Méthode à toujours employer :

- Définir un sens *conventionnel (arbitraire)* de la tension aux bornes d'un dipôle **sur un schéma**
- Puis, effectuer les calculs ou les mesures.
- Eventuellement (rarement utile) : interpréter le signe de la tension calculée ou mesurée

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

Convention adoptée implicitement lors du branchement d'un voltmètre

La tension mesurée pointe vers le (+) du voltmètre.

Ordres de grandeur en TP : de qq mV à qq 10 V

2.2. La masse, une référence de potentiel

On ne peut pas mesurer un potentiel électrique, mais seulement une différence de potentiel (une tension). On pourra interpréter cette constatation expérimentale grâce au cours d'Electrostatique en fin d'année.

Dans les calculs, si l'on souhaite utiliser la notion de potentiel, il est nécessaire de définir une **référence de potentiel**. Cela consiste à fixer arbitrairement le potentiel *d'un point du circuit* à 0V : on appelle ce point **la masse** du circuit. A partir des tensions entre les différents points du circuit, on peut déterminer le potentiel de tous les points du circuit. Il est clair que la valeur du potentiel d'un point dépend du choix de la masse du circuit.

3. Les deux lois de l'électrocinétique

3.1. Les différents régimes de fonctionnement

- Régime **continu** : toutes les grandeurs électriques sont indépendantes du temps.
- Régime **variable** : c'est le cas contraire
- Régime **permanent** : les caractéristiques des grandeurs électriques ne varient pas au cours du temps (ex : régime continu, régime sinusoïdal forcé)
- Régime **transitoire** : régime durant lequel on passe d'un régime permanent à un autre

On va maintenant exprimer les deux lois fondamentales de l'électrocinétique en régime continu, et les généraliser au cas des régimes lentement variables. On les appelle parfois les **lois de Kirchhoff**.

3.2. Loi des nœuds

En régime continu, il ne peut y avoir accumulation de charge en un point du circuit. Tout le courant entrant par un point ressort donc intégralement de ce point. Ceci est valable pour un nœud du circuit : c'est **la loi des nœuds**.

Loi des nœuds

La somme des intensités convergeant vers un nœud est nulle.

$$\sum_p i_p = 0$$

3.3. Loi des mailles

Loi des mailles

Dans une maille, la somme des tensions mesurées en parcourant complètement la maille dans un sens donné est nulle.

$$\sum_p u_p = 0$$

Cette loi découle directement de l'existence du potentiel électrique et de la définition de la tension comme différence de potentiel.

(Remarque qui dépasse largement le cadre de notre programme : Une tension n'est pas toujours une ddp, en présence du phénomène d'induction notamment. La loi des mailles reste alors tout de même valable).

3.4. Cas des régimes lentement variables - Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires (ARQS)

Les lois de Kirchhoff restent valables dans le cas des régimes lentement variables. La justification complète de cette affirmation sera vue en seconde année. En première année, il nous suffit de comprendre ce que signifie « lentement variable ».

En toute rigueur, une modification des grandeurs électriques en un point du circuit ne se répercute pas instantanément sur le reste du circuit. Ces effets se propagent à une vitesse proche de la vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

*Les lois de Kirchhoff restent valables en régime variable si l'on peut **négliger ce phénomène de propagation** : c'est ce qu'on appelle l'**ARQS**.*

Concrètement, il suffit de comparer le *temps caractéristique* du régime variable au temps de propagation d'un bout à l'autre du circuit. Si ce dernier est très petit devant le premier, alors on peut appliquer l'ARQS. Dans toute la suite du cours d'électrocinétique, on supposera toujours que les conditions d'application de l'ARQS sont vérifiées.

4. Puissance électrique échangée par un dipôle

4.1. Préliminaires sur le concept d'énergie en physique

L'énergie est une grandeur que l'on retrouve dans tous les domaines de la physique et de la chimie. **Le concept d'énergie constitue en quelque sorte « un pont » entre ces différents domaines**, c'est ce qui le rend très utile.

Quelques commentaires sur l'énergie :

- Différentes formes : électrique, nucléaire... En connaissez-vous d'autres ?
- L'énergie, considérée sous toutes ses formes, **se conserve**. Si une forme d'énergie diminue (électrique par exemple), cela implique qu'elle a été *convertie* sous une autre forme (thermique par exemple).
- On peut distinguer deux « types » d'énergie : l'énergie *emmagasinée* par le système étudié ; et l'énergie *échangée* par le système avec l'extérieur.

4.2. Lien entre puissance et énergie échangée par un dipôle

Un dipôle parcouru par un courant I avec une tension U à ses bornes échange de l'énergie électrique avec le reste du circuit. Il peut soit **recevoir** de l'énergie électrique, soit en **fournir**. On parle aussi de *travail électrique* fourni ou reçu par le dipôle.

La **puissance** est définie comme la quantité d'énergie échangée par unité de temps : c'est **un débit d'énergie**. La relation entre la puissance $P(t)$ (définie à chaque instant t) et l'énergie échangée W_{t_1, t_2} (définie entre deux instants t_1 et t_2) est par définition :

$$W_{t_1 \rightarrow t_2} = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

La puissance représente « la vitesse » avec laquelle l'énergie est échangée.

La puissance pouvant être reçue ou fournie par le dipôle, on choisit de représenter mathématiquement la puissance par une grandeur algébrique : *elle peut être positive ou négative*. Selon la convention d'orientation préalablement adoptée, son signe indique *le sens de l'échange d'énergie* entre le dipôle et le reste du circuit.

4.3. Convention récepteur - Convention générateur

Sans convention d'orientation prédéfinie, l'expression « $P(t) = U(t)I(t)$ » ne permet pas de déterminer dans quel sens s'effectuent les échanges d'énergie. Avant tout calcul de puissance, il est donc indispensable d'avoir choisi au préalable une convention d'orientation pour le dipôle : la **convention récepteur** ou la **convention générateur**.

Convention récepteur : l'intensité et la tension sont conventionnellement orientées dans des sens contraires. Lors de la mesure ou du calcul de l'expression $P(t) = U(t)I(t)$:

- si la puissance est positive, alors le dipôle *reçoit effectivement de la puissance* : il fonctionne en *récepteur*
- si la puissance est négative, alors le dipôle *fournit en réalité de la puissance* : il fonctionne en *générateur*

Convention générateur : l'intensité et la tension sont conventionnellement orientées dans le même sens. Lors de la mesure ou du calcul de l'expression $P(t) = U(t)I(t)$:

- si la puissance est positive, alors le dipôle *fournit effectivement de la puissance* : il fonctionne en *générateur*
- si la puissance est négative, alors le dipôle *reçoit en réalité de la puissance* : il fonctionne en *récepteur*

Remarque :

- L'expression de la *puissance instantanée* $P(t) = U(t)I(t)$ est admise.
- En régime continu, $P = UI$ est indépendante du temps, par définition.

Notions clefs

Savoirs :

- Définitions :
 - charge, courant, intensité, potentiel, masse, tension
 - régimes de fonctionnement
 - puissance échangée
- Lois de Kirchhoff : loi des nœuds, loi des mailles

Savoirs faire :

- Associer la bonne convention d'orientation de U mesurée, à partir du sens de branchement du voltmètre
- Associer la bonne convention d'orientation de I mesurée, à partir du sens de branchement de l'ampèremètre
- ***Toujours faire un schéma pour définir les orientations*** des tensions et des intensités dans le circuit
- Interpréter le signe d'une grandeur électrique algébrique *calculée* ou *mesurée*, en relation avec la convention d'orientation adoptée (pour U , I et P)
- Déterminer si les conditions de l'ARQS sont vérifiées