

# Électrocinétique 1

## Lois fondamentales de l'électrocinétique

### Partie 1 - Courant, tension, puissance et lois de Kirchhoff

## Introduction - Qu'est ce que l'électrocinétique ?

### Définition 1. *Électrocinétique*

.....

.....

### *Charge électrique*

La **charge électrique** est une propriété fondamentale de la matière, au même titre que la **masse**. Deux charges électriques interagissent entre elles via le biais d'une interaction appelée **interaction électromagnétique**. On distingue deux types de charges, les charges **néglatives** et les charges **positives**. Cette grandeur s'exprime en Coulomb, noté  $C$  et est **quantifiée**, c'est à dire qu'elle ne peut pas prendre n'importe quelle valeur. La charge électrique doit toujours être un multiple entier de la **charge élémentaire**  $e \approx 1,60.10^{-19}C$ .

❖ Remarque : Souvent, les porteurs de charges en déplacement dans les circuits sont des **électrons**, portant une charge négative  $-e$ .

L'électrocinétique est généralement divisée en deux grandes spécialités :

- ▶ **L'électrotechnique** s'intéresse principalement à la production, à la conversion de puissance électrique et à son transport. C'est le domaine des moteurs ou des centrales électriques.
- ▶ **l'électronique** s'intéresse au traitement d'un signal afin de lui adjoindre ou d'en extraire une information. Elle permet grâce à un courant électrique, de transmettre et traiter des informations.

Ces deux branches de l'électrocinétique s'appuient sur les mêmes lois de base. Ce sont ces lois fondamentales que nous nous allons maintenant étudier. Pour ce faire, nous allons commencer par définir précisément la notion de **courant électrique**.

## 1 Courant et tension électriques

### 1.1 Courant électrique

### Définition 2. *Courant électrique*

.....

.....

Suivant le milieu dans lequel circule le courant, les porteurs de charge peuvent être différents :

- ▶ Dans un **conducteur métallique** (par exemple, un fil conducteur), ce sont les électrons libres du métal qui permettent l'apparition d'un courant.
- ▶ Dans une **solution électrolytique** (solution contenant des ions, par exemple de l'eau salée), ce sont les ions de la solution qui permettent l'apparition d'un courant.

Afin de pouvoir caractériser un courant électrique, on utilise une grandeur appelée **intensité**.

**Définition 3. Intensité du courant électrique**

❖ **Conventions d'orientation :**

- Par convention, le sens réel du courant est le sens de déplacement des **charges positives**. Dans un conducteur métallique, le courant est dû au déplacement des électrons, de charge négative : le sens du courant est donc inverse au sens de déplacement des électrons.
- Le signe de  $i$  dépend de la manière dont a été orientée la surface  $S$  du conducteur électrique. Si  $i > 0$ , cela signifie que les charges positives se déplacent dans le sens d'orientation choisi. Si  $i < 0$ , le sens de déplacement des charges positives est opposé au sens d'orientation de  $i$ . Ceci est expliqué sur la figure 1.1.

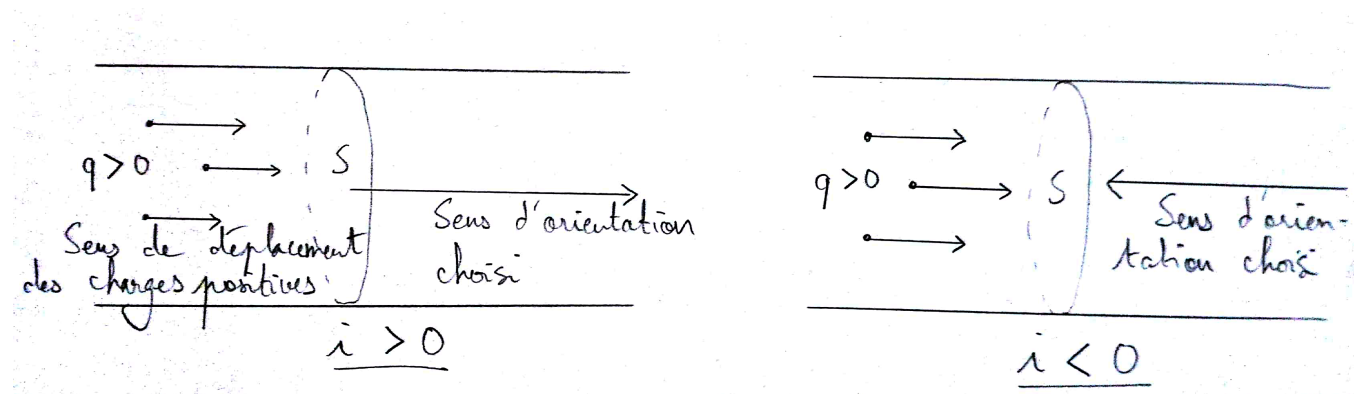


FIGURE 1 – Convention d'orientation et signe de l'intensité du courant électrique

⚠ Si les charges considérées sont négatives ( $q < 0$ ), les résultats précédents sont inversés, puisque l'intensité est toujours définie relativement au déplacement des charges positives!

❖ **Ordres de grandeur de l'intensité électrique :**

Courant dans une diode	10 mA	Électrocution létale	100 mA
Ampoule à incandescence	1 A	Radiateur électrique	10 A
Lignes haute tension	500 A	Foudre	50 000 A

TABLE 1 – Ordres de grandeur de l'intensité électrique

## 1.2 Tension électrique

Pour mettre en mouvement des particules chargées dans un conducteur, il faut exercer une **force** sur elles. On associe à cette force un **potentiel électrique**<sup>1</sup> On peut à chaque point du circuit, associer un potentiel, généralement noté  $V$ , et exprimé en Volt.

### Définition 4. Tension électrique

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

❖ **Représentation de la tension électrique** : Sur un schéma électrique, la tension  $U_{AB}$  s'indique par une flèche orientée de B vers A. Comme pour l'intensité, cette orientation est arbitraire.

## 2 Lois de Kirchhoff et approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

### 2.1 Réseau électrocinétique - Vocabulaire

#### 2.1.1 Dipôle électrocinétique

### Définition 5. Dipôle électrocinétique

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

❖ **Schématisation d'un dipôle** : Considérons un dipôle  $D_1$  branché entre les bornes  $A$  et  $B$ , il est schématisé de la manière présentée en figure 2. On rappelle que la tension  $U_{AB}$  est représentée par une flèche allant de B à A.

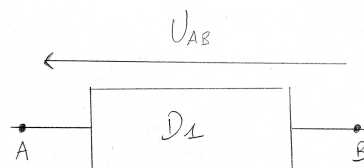


FIGURE 2 – Schématisation d'un dipôle

1. Vous verrez plus tard quel est le lien exact entre force et potentiel.

**Définition 6. Réseau électrocinétique**

.....

.....

Un exemple de réseau est présenté sur la figure 3.

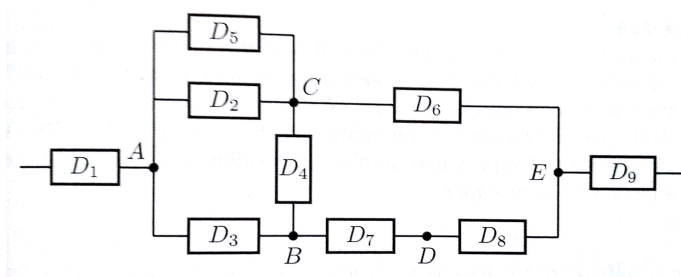


FIGURE 3 – Exemple de réseau électrocinétique

**2.1.2 Association en série - Association en parallèle****Définition 7. Association en série**

.....

.....

.....

❖ Exemple : Sur la figure 3, les dipôles  $D_7$  et  $D_8$  sont placés en série.

**Définition 8. Association en parallèle**

.....

.....

.....

❖ Exemple : Sur la figure 3, les dipôles  $D_2$  et  $D_5$  sont placés en parallèle.

**2.1.3 Description d'un réseau****Définition 9. Vocabulaire**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

❖ **Exemple :** Dans le réseau représenté en figure 3, les points A, B, C et E sont des nœuds mais le point D n'en est pas un. Les portions AB, BDE ou CE sont des exemples de branches. Enfin le chemin fermé ACEDBA constitue une maille, tout comme ACBA et BCEDB.

### 2.1.4 Masse d'un circuit

Rappelons que la tension est une différence de potentiel ( $U_{AB} = V_A - V_B$ ), . Un potentiel ne se mesure pas, car il est toujours défini à une constante additive près, pour cette raison, lors de l'étude d'un circuit, on fixe arbitrairement le potentiel d'un point du circuit à 0. Ce point est appelée **masse du circuit**.

**Définition 10. Masse d'un circuit**

.....

.....

.....

.....

Les réseaux électrocinétiques sont régis par un certain nombre de lois appelées **lois de Kirchhoff**. Ces lois sont valables dans le cadre d'une approximation particulière appelée **approximation des régimes quasi-stationnaires**.

## 2.2 Régimes stationnaire et quasi-stationnaire

### 2.2.1 Régime stationnaire

**Définition 11. Régime stationnaire**

.....

.....

.....

Bien que ce cas soit loin d'être le plus répandu, certains circuits fonctionnent effectivement en régime stationnaire. De plus, les lois de l'électrocinétique ont historiquement été énoncées pour les régimes stationnaires. Elles restent cependant valables dans certains cas, où l'ARQS est vérifiée.

### 2.2.2 Approximation des régimes quasi-stationnaires

Les signaux électriques se propageant dans les circuits se déplacent à la vitesse de lumière dans le vide, soit  $c \approx 3.10^8$  m.s<sup>-1</sup>. A priori, la tension et l'intensité dans le circuit à un instant donné  $t$  peuvent dépendre du point du circuit considéré. Considérons par exemple deux point  $M$  et  $P$  d'un circuit électrique séparés par une distance  $l$ , on a :

$$i(P,t) = i(M,t - \frac{l}{c})$$

où  $l/c$  désigne la durée nécessaire pour que le signal se déplace de  $M$  à  $P$ . Cela signifie que le courant en  $P$  à l'instant  $t$  est le même que le courant en M à l'instant  $t - l/c$ . L'approximation des régimes stationnaires consiste à négliger ce terme de retard.

**Définition 12. Approximation des régimes quasi-stationnaires**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Exemple 1.** On considère un signal de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$  se propageant dans un circuit, quelle devrait être la dimension du circuit pour que l'ARQS ne soit plus vérifiée ?

.....

.....

.....

.....

.....

On considère maintenant un circuit de dimension caractéristique  $d \approx 1 \text{ m}$ , jusqu'à quelle fréquence peut-on travailler pour toujours être dans le cadre de l'ARQS ?

.....

.....

.....

.....

.....

Dans la suite de ce cours, toutes les lois étudiées ne sont applicables que dans le cadre de l'ARQS.

## 2.3 Lois de Kirchhoff

### 2.3.1 Loi des nœuds

La loi des nœuds découle d'une loi fondamentale de la physique, qui est celle de la **conservation de la charge électrique**.

**Loi 1. Conservation de la charge**

.....

.....

.....

.....

En régime permanent, et donc dans le cadre de l'ARQS, il ne peut pas y avoir d'accumulation de charges en un point du conducteur. ainsi, **l'intensité se conserve à travers toute section d'un conducteur.**<sup>2</sup>

La loi des nœuds est une conséquence de la remarque précédente. La charge totale qui arrive en un nœud donné N du circuit est égale à la charge totale qui en ressort. Par conséquent, l'intensité totale qui arrive en N doit être égale à l'intensité totale qui ressort de N. Ce résultat est appelé *loi des nœuds*.

### Loi 2. Loi des nœuds

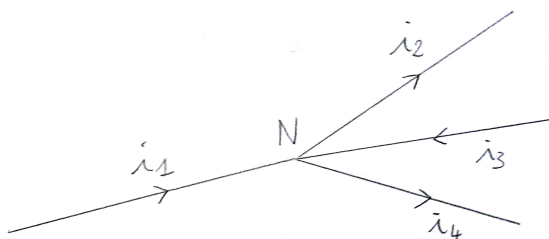


FIGURE 4 – Loi des nœuds

**Exemple 2.** Écrire la loi des nœuds pour la situation représentée en figure 4.

❖ **Remarque :** En régime stationnaire, les intensités seront souvent notées avec un « I » majuscule, tandis qu'on utilisera un « i » minuscule en régime variable (si l'intensité dépend du temps).

### 2.3.2 Loi des mailles

Afin d'énoncer la loi des mailles, commençons par mettre en évidence une propriété d'additivité des tensions, grâce à la situation représentée en figure 5, où deux dipôles quelconques sont associés en série.

On a, par définition de la tension :

$$U_{AC} = V_A - V_C = \underbrace{(V_A - V_B)}_{U_{AB}} + \underbrace{(V_B - V_C)}_{U_{BC}} = U_{AB} + U_{BC}$$

Les tensions aux bornes de dipôles en série suivent donc une loi d'additivité de type loi de Chasles.

2. Cela signifie qu'il y a autant de charges qui rentrent que de charges qui sortent du conducteur.

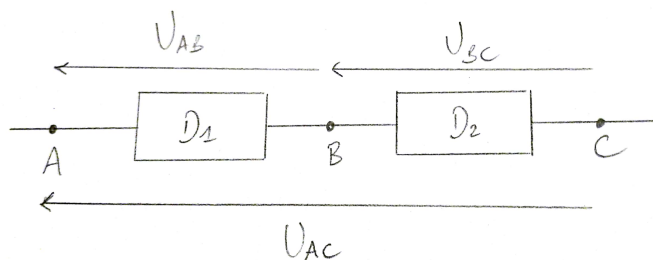


FIGURE 5 – Additivité des tensions

❖ **Conséquence :** Le long d'une maille, la somme des tensions est nulle, puisque l'on revient au point de départ. Cela permet d'écrire la **loi des mailles**.

**Définition 13. Loi des mailles**

.....

.....

.....

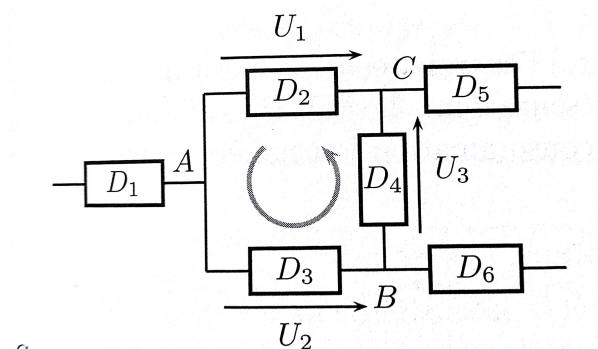
.....

.....

.....

.....

**Exemple 3.** Considérons le réseau électrocinétique représenté ci-dessous. Exprimer la loi des mailles pour la maille ABC en respectant le sens d'orientation choisi.



.....

.....

.....

Les flèches des tensions ont été ci-dessus orientées arbitrairement, nous allons voir dans la partie suivante qu'il existe cependant différentes conventions à respecter.



### 3 Conventions d'orientation d'un dipôle et puissance

#### 3.1 Convention récepteur - Puissance reçue par un dipôle

##### Définition 14. *Convention récepteur*

.....  
 .....  
 .....

Nous allons pouvoir à partir de cette convention définir la puissance reçue par un dipôle.

❖ **Rappel :** La puissance correspond à une énergie par unité de temps. La puissance reçue par un dipôle correspond donc à l'énergie que reçoit le dipôle de la part du circuit environnant pendant une seconde.

##### Définition 15. *Puissance en convention récepteur*

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

##### ❖ Ordres de grandeur de puissance consommées par des dispositifs usuels :

Téléphone portable	1 W	Ampoule électrique	50 W
Ordinateur	100 W	Résistance chauffante	1 kW
Centrale nucléaire	1 GW	Parc électrique français	100 GW

##### *Signe de la puissance reçue*

La puissance reçue  $P_r$  est une grandeur algébrique, elle est :

- ▶ positive si le dipôle est récepteur. Il reçoit de l'énergie de la part du reste du circuit (exemple : résistance chauffante),
- ▶ négative si le dipôle est générateur. Il cède de l'énergie au circuit (exemple : pile électro-chimique).

La convention récepteur est utile pour traiter le cas de dipôles récepteurs.

❖ **Remarque :** La puissance cédée par le dipôle au reste du circuit est l'opposé de la puissance reçue.

### 3.2 Convention générateur

#### Définition 16. *Convention générateur*

.....  
 .....  
 .....

#### Définition 17. *Puissance cédée en convention générateur*

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

Il s'agit de l'opposé de la puissance reçue, cette convention est plus adaptée à la description de générateurs.

#### *Signe de la puissance cédée*

La puissance cédée  $P_c$  est une grandeur algébrique, elle est :

- ▶ positive si le dipôle est générateur : il cède de l'énergie au circuit (exemple : pile électro-chimique),
- ▶ négative si le dipôle est récepteur : il reçoit de l'énergie de la part du reste du circuit (exemple : résistance chauffante).

❖ **Remarque :** Le choix de la convention est arbitraire, et n'a pas d'importance physique fondamentale. Il faut cependant bien préciser laquelle est utilisée, afin d'éviter les confusions et les erreurs de signe.

## Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre les bases de l'électrocinétique, en définissant notamment les notions d'intensité et de tension électrique. Nous avons appris que, pour des régimes stationnaires ou dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS), les grandeurs électriques étaient homogènes dans l'ensemble d'un conducteur à un instant donné, ce qui permet alors d'introduire les lois de Kirchhoff : la loi des nœuds et la loi des mailles. Enfin, nous avons conclu par un aspect énergétique, en définissant la puissance reçue ou cédée par un dipôle dans le cadre de deux conventions : récepteur ou générateur.

L'objet du chapitre suivant sera d'étudier les dipôles usuels et d'appliquer les lois de Kirchhoff à des réseaux électrocinétiques réels.