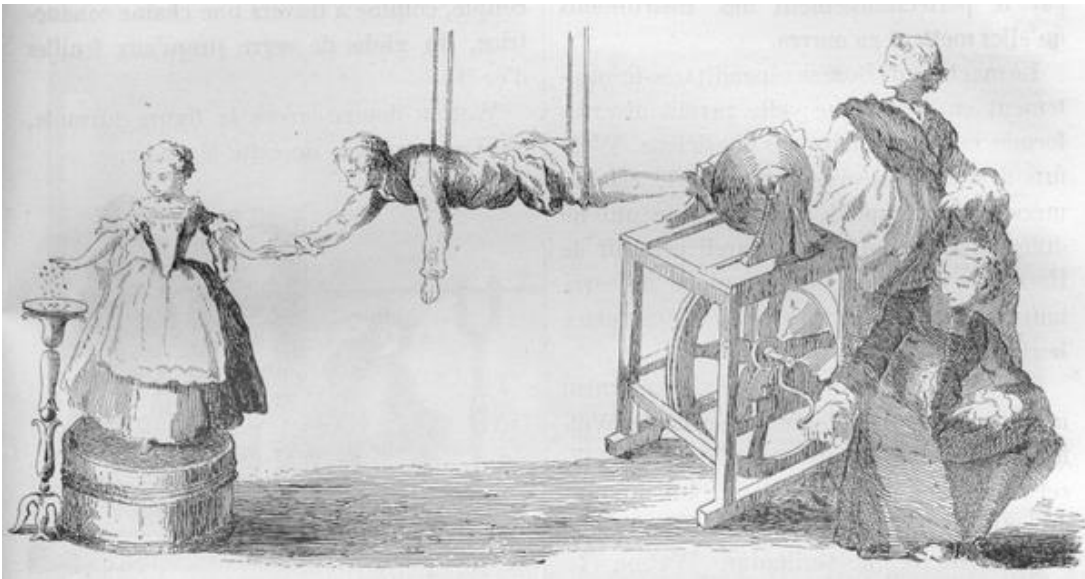




Historique

- Antiquité → phénomènes électrostatiques déjà connus (électrisation par frottement mécanique).
- XVIII^e siècle → création de machines électrostatiques (exemple : roue de Wimshurst, figure de gauche) capables de produire des tensions supérieures au kV.
- 1800 → création de la première pile électrochimique (figure de droite) par Volta, délivrant en continu de l'énergie par un courant électrique.



I - Grandeurs et composants électrocinétiques

I.1 - Charge électrique

Définition :

La **charge électrique**, notée q , est une grandeur physique qui caractérise tout objet physique (de même que la masse m de l'objet). Elle s'exprime en **Coulomb**, de symbole C.

Propriétés :

- La charge de tout objet est un multiple entier ($\in \mathbb{Z}$) de la charge élémentaire e .

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- La charge électrique se **conserve** : elle ne peut être ni créée ni détruite. Il est en revanche possible de créer des objets neutres à partir d'un même nombre de charges \oplus et de charges \ominus ; et inversement, il est possible de créer deux objets chargés \oplus et \ominus à partir d'un objet neutre.
- Un objet macroscopique chargé contient un très grand nombre N de porteurs de charge (de l'ordre du nombre d'Avogadro $N \sim 10^{23}$ porteurs). Nos appareils de mesure ne sont pas assez précis pour détecter l'ajout ou le retrait de quelques porteurs de charge. Ainsi, on considérera que la charge de l'objet varie continûment : $q \in \mathbb{R}$.

I.2 - Courant électrique

Définition :

On appelle **courant électrique** un mouvement d'ensemble de porteurs de charge.

Propriété :

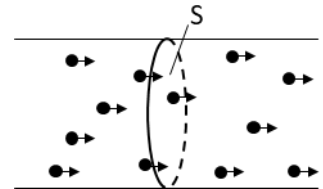
Le sens conventionnel du courant est le sens de déplacement des porteurs de charges positives, et par conséquent le sens inverse de déplacement des porteurs de charges négatives.

Définition :

Notons δq la charge électrique traversant une section S de conducteur pendant un intervalle de temps dt .

On appelle **intensité** du courant électrique, noté i , le **débit de charge** à travers la surface S du conducteur. Elle s'exprime en Ampère, de symbole A.

$$i = \frac{\delta q}{dt}$$



Remarque :

On utilise la notation δ pour indiquer la **quantité infinitésimale** d'une grandeur (ici, la charge à travers une surface). On utilise la notation d pour indiquer la **variation infinitésimale** d'une grandeur (ici, le temps).

Ordres de grandeur :

Intensité	1-10 mA	100 mA	1 A	10 A	1 kA	10-100 kA
Usage	TP	Seuil d'électrocution mortel	Ampoule à incandescence	Radiateur électrique	Lignes haute tension	Éclair

I.3 - Potentiel électrique et tension

Définition :

On admet que tout point M d'un circuit est caractérisé par une grandeur appelée **potentiel électrique**, noté $V(M)$. Il s'exprime en Volt, de symbole V.

Propriété :

Nous verrons plus tard dans l'année que le potentiel est défini comme la primitive d'une autre grandeur physique (le champ électrique). Il est donc **toujours défini à une constante près**. On choisit cette constante de sorte que le potentiel de la Terre soit de 0 V.

$$V_{\text{Terre}} = 0 \text{ V}$$

Définition :

On appelle **tension** entre deux bornes du circuit la différence de potentiel (ddp) entre ces deux bornes. On la note :

$$u_{AB} = V(A) - V(B)$$

On la représente par une flèche qui part de B et pointe vers A.

Propriété :

Par additivité des tensions, on a :

$$u_{AB} = -u_{BA}$$

$$u_{AC} = u_{AB} + u_{BC}$$

Ordres de grandeur :

Tension	1 V	1-10 V	220 V	25 kV	100 kV	100-600 kV
Usage	Pile	TP	Tension EDF	TGV	Lignes haute tension	Éclair

I.4 - Composants électroniques

On supposera que les **fils électriques** sont idéaux, c'est-à-dire qu'ils n'opposent aucune résistance au passage d'un courant. En conséquence, le potentiel est le même en tout d'un fil.

Définitions :

- Un **dipôle** (respectivement **tripôle** et **quadripôle**) est un composant électrique connecté au reste du circuit par deux bornes (respectivement par trois et quatre bornes).
- Un **nœud** est un point commun à 3 dipôles ou plus.
- Une **branche** est une portion de circuit comprise entre deux nœuds.
- Une **maille** est une boucle qui ne passe qu'une seule fois par les nœuds rencontrés.
- Deux dipôles sont **en série** s'ils appartiennent à une même branche, ie. s'il n'existe pas de nœud entre eux.
- Deux dipôles sont **en parallèle / en dérivation** s'ils sont connectés aux mêmes nœuds.

I.5 - Analogie électrohydraulique

Il est possible de faire une analogie entre un circuit électrique et une conduite hydraulique afin de mieux appréhender le sens physique des grandeurs électriques.

Analogie :

- | | |
|--|---|
| ○ Charge q ↔ Masse m | La masse est un paramètre qui caractérise un objet. Il s'agit d'une grandeur qui se conserve. |
| ○ Intensité i ↔ Débit massique D_m | Le débit massique d'un tuyau correspond à la quantité de masse traversant une surface de tuyaux par unité de temps : $D_m = \delta m / dt$. |
| ○ Potentiel V ↔ Altitude z | L' altitude z est définie à une constante près. On choisit par convention $z_{mer} = 0$. |

I.6 - Gestion des masses en TP

Certains appareils (générateur, oscilloscope...) branchés sur une prise secteur sont connectés à la Terre. Toutes ces connexions à la Terre, appelées **masses**, sont ainsi connectés entre elles. En TP, il faudra donc veiller à ne pas créer plusieurs masses au sein d'un montage, sous peine de **court-circuiter** des dipôles.

Montage que vous voulez réaliser

Montage que vous réalisez réellement

I.7 - Conventions générateur et récepteur

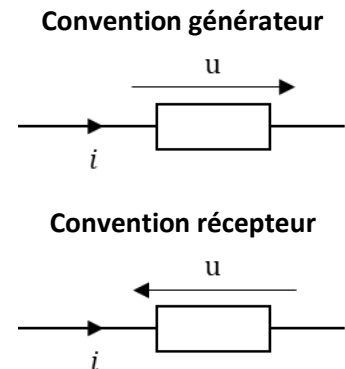
Il existe deux conventions d'orientation de i et u pour un dipôle.

En **convention récepteur** les flèches orientant le courant i à travers le dipôle et la tension u à ses bornes sont en sens opposés.

En **convention générateur** les flèches orientant le courant i à travers le dipôle et la tension u à ses bornes sont dans le même sens.

TRES IMPORTANT

Toujours représenter les générateurs en convention générateur et les récepteurs en convention récepteur.



I.8 - Puissance électrique

On rappelle qu'une **puissance** correspond à la **dérivée temporelle d'une énergie**. Elle s'exprime en Watt, de symbole W , et est égale à un Joule par seconde.

Définition :

Notons i l'intensité à travers un dipôle et u la tension à ses bornes. La **puissance électrique** de ce dipôle vaut :

$$\mathcal{P} = \frac{d\mathcal{E}}{dt} = u i$$

Propriété :

En **convention récepteur**, \mathcal{P} représente une **puissance reçue** par le dipôle.

- Si $\mathcal{P}_{\text{reçue}} > 0$, le dipôle reçoit de la puissance électrique.
- Si $\mathcal{P}_{\text{reçue}} < 0$, le dipôle fournit de la puissance électrique.

En **convention générateur**, il s'agit d'une **puissance fournie** par le dipôle.

- Si $\mathcal{P}_{\text{fournie}} > 0$, le dipôle fournit de la puissance électrique.
- Si $\mathcal{P}_{\text{fournie}} < 0$, le dipôle reçoit de la puissance électrique.

II - Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

Définition :

Un **régime stationnaire** est un régime où les grandeurs sont indépendantes du temps. Un **régime quasi-stationnaire** est un régime où les grandeurs varient « lentement » dans le temps.

Conséquence :

Dans l'ARQS, les grandeurs électriques peuvent dépendre du temps, mais lorsqu'une grandeur varie en un point, l'information de cette variation se transmet instantanément en tout point du circuit. Ainsi, une modification de la tension d'alimentation a des conséquences immédiates dans l'ensemble du circuit.

En réalité, la transmission d'information n'est pas instantanée mais se fait approximativement à la vitesse de la lumière dans le vide (c). Pour une tension sinusoïdale de fréquence $f = \frac{1}{T}$, l'ARQS est vérifié si le temps de propagation de l'information τ vérifie :

$$\tau \ll T \Leftrightarrow \frac{L}{c} \ll \frac{1}{f} \Leftrightarrow \boxed{f \ll \frac{c}{L}}$$

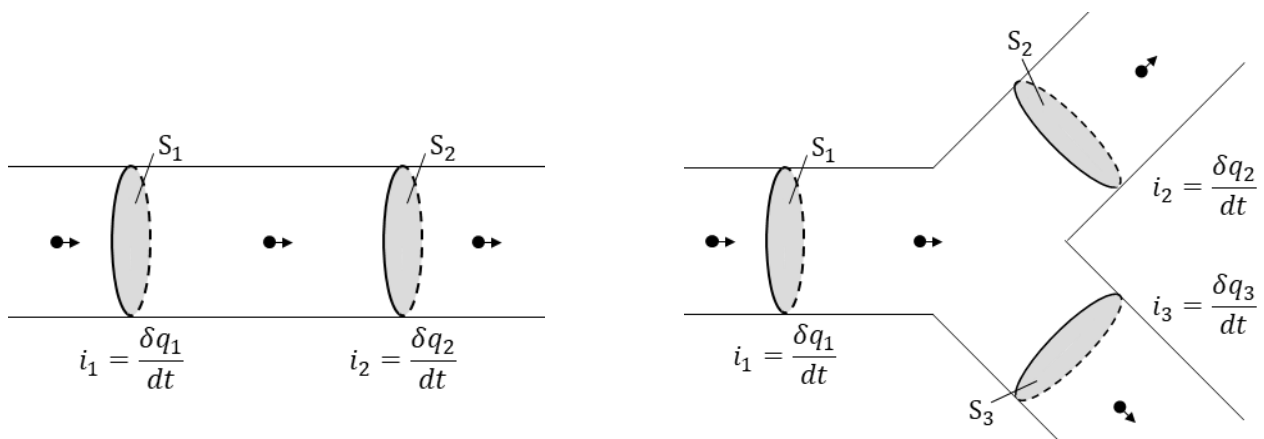
Application :

III - Lois de Kirchhoff

III.1 - Loi des nœuds

Postulats : On suppose que :

- la charge électrique se conserve, donc les électrons ne peuvent ni apparaître, ni disparaître ;
- l'ARQS est vérifiée, donc il n'y a pas d'accumulation de charges dans le circuit.



Conservation de la charge dans un fil électrique

Entre les surfaces S_1 et S_2 , il n'y a ni accumulation, ni création, ni disparition de charge. Ainsi, la charge passant à travers la surface S_1 pendant un intervalle de temps dt est égale à la charge passant par la surface S_2 durant ce même intervalle de temps.

$$\delta q_1 = \delta q_2 \Leftrightarrow \frac{\delta q_1}{dt} = \frac{\delta q_2}{dt} \Leftrightarrow \boxed{i_1 = i_2}$$

Conservation de la charge dans un nœud (à trois branches)

Au niveau du nœud, il n'y a ni accumulation, ni création, ni disparition de charge. Ainsi, la charge passant à travers la surface S_1 pendant un intervalle de temps dt est égale à la somme des charges passant par les surfaces S_2 et S_3 durant ce même intervalle de temps.

$$\delta q_1 = \delta q_2 + \delta q_3 \Leftrightarrow \frac{\delta q_1}{dt} = \frac{\delta q_2}{dt} + \frac{\delta q_3}{dt} \Leftrightarrow \boxed{i_1 = i_2 + i_3}$$

Conclusion : dans un nœud, l'intensité entrante est égale à l'intensité sortante.

Généralisons ce résultat.

Loi des nœuds

La somme algébrique des intensités des courants électriques arrivant en un nœud est nulle.

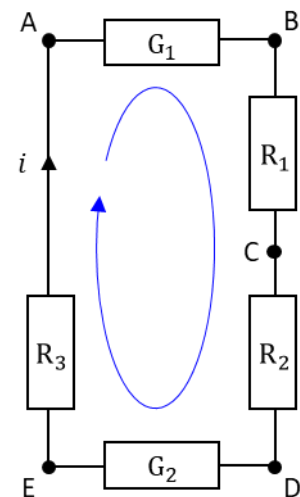
$$\boxed{\sum_k \varepsilon_k i_k = 0} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \varepsilon_k = +1 & \text{si la flèche du courant } i_k \text{ est dirigée vers le nœud} \\ \varepsilon_k = -1 & \text{si la flèche du courant } i_k \text{ part du nœud} \end{cases}$$

Exemple :

III.2 - Loi des mailles

Soit la maille ci-contre. Les générateurs ont été orientés en convention générateur et les récepteurs en convention récepteur.

On choisit un sens d'orientation de la maille (ce choix est arbitraire).



Généralisons ce résultat.

Loi des mailles

Dans une maille orientée, la somme algébrique des tensions est nulle.

$$\boxed{\sum_k \varepsilon_k u_k = 0} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \varepsilon_k = +1 & \text{si la tension est orientée dans le même sens que la maille} \\ \varepsilon_k = -1 & \text{si la tension est orientée dans le sens inverse} \end{cases}$$

IV - Dipôles fondamentaux

IV.1 - Conducteur ohmique

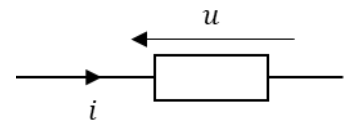
Un **conducteur ohmique** (ou résistor) est un dipôle qui vérifie la **loi d'Ohm** (en convention récepteur).

$$u = R i$$

Avec R la **résistance** du conducteur, qui s'exprime en Ohm, de symbole Ω .

On définit également la **conductance** G, qui s'exprime en Siemens, de symbole S.

$$G = \frac{1}{R} \Rightarrow i = G u$$



Ordres de grandeur :

R	1 Ω	50 Ω	1 Ω à 10 M Ω	10 M Ω
Composant	Fil électrique / Ampèremètre	GBF	Résistance de TP	Voltmètre / Oscilloscope

Définition :

On appelle **caractéristique** d'un dipôle la fonction $i = f(u)$ en régime permanent.

Propriétés :

La caractéristique d'un récepteur passe toujours par l'origine du repère. Un tel dipôle est dit **passif**.

La caractéristique d'un conducteur ohmique est une droite linéaire de pente $G = 1/R$.

Aspect énergétique :

La puissance reçue par une résistance est :

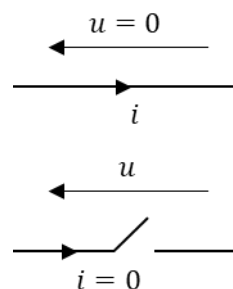
$$P_{\text{reçue}} = u i = \frac{u^2}{R} = R i^2 \geq 0$$

Cette puissance reçue est convertie en chaleur. La résistance chauffe, il s'agit de l'**effet Joule**.

IV.2 - Fil électrique et circuit ouvert

Propriétés :

- La tension aux bornes d'un **fil électrique** est nulle quel que soit la valeur de l'intensité du courant le traversant. Il peut être modéliser par un conducteur ohmique de résistance nulle.
- L'intensité du courant traversant un **interrupteur ouvert** est nulle que soit la valeur de la tension à ses bornes. Il peut être modéliser par un conducteur ohmique de résistance infinie.



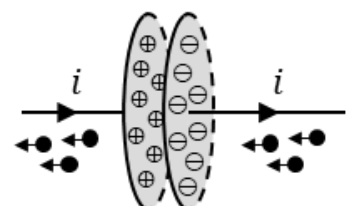
IV.3 - Condensateur

Un **condensateur** est constitué de deux armatures métalliques séparées par un isolant électrique.

Lorsqu'une différence de potentielle u est appliquée aux bornes d'un condensateur, des charges s'accumulent sur les armatures.

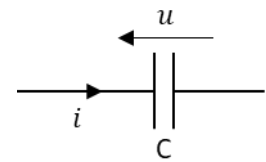
Propriété :

Notons q la charge stockée sur l'armature positive. On appelle **capacité** du condensateur, notée C et exprimée en Farad, de symbole F : $q = C u$



On en déduit la relation entre l'intensité du courant passant dans la branche du condensateur et la tension aux bornes du condensateur :

$$i = \frac{\delta q}{dt} = C \frac{du}{dt}$$



Ordres de grandeur :

- En TP : $C \sim 1 \text{ nF}$ à 1 mF
- Condensateurs chimiques : $C \sim 1 \text{ F}$.

Aspect énergétique :

La puissance reçue par un condensateur est :

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}} = u i = C u \frac{du}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C u^2 \right)$$

On en déduit qu'un condensateur permet de stocker de l'énergie (sous forme électrostatique) : $\mathcal{E}_{\text{el}} = \frac{1}{2} C u^2$.

Propriété :

La tension aux bornes d'un condensateur est toujours continue. En effet :

- Par continuité de l'énergie, u se doit d'être également continue.
- Puisque $i \propto \frac{du}{dt}$, si u est discontinu, alors i devient infini. Ce qui est impossible.

IV.4 - Bobine

Une **bobine** est constituée d'un fil de cuivre enroulé.

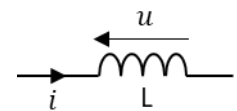
Lorsqu'un courant variable parcourt une bobine, cette dernière crée une différence de potentiel à ses bornes qui s'oppose à l'établissement du courant.



Propriété :

On appelle **inductance** d'une bobine, notée L et exprimée en Henri, de symbole H :

$$u = L \frac{di}{dt}$$



Ordres de grandeur :

- En TP : $L \sim 10$ à 100 mH

Aspect énergétique :

La puissance reçue par une bobine est :

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}} = u i = L i \frac{di}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i^2 \right)$$

On en déduit qu'une bobine permet de stocker de l'énergie (sous forme magnétique) : $\mathcal{E}_{\text{mag}} = \frac{1}{2} L i^2$.

Propriété :

L'intensité à travers une bobine est toujours continue. En effet :

- Par continuité de l'énergie, i se doit d'être également continue.
- Puisque $u \propto \frac{di}{dt}$, si i est discontinu, alors u devient infini. Ce qui est impossible.

IV.5 - Générateurs

Définition :

Un **générateur idéal de tension** est un dipôle dont la tension à ses bornes est à tout instant égale à celle imposée par sa **force électromotrice** (fem), indépendamment de l'intensité du courant que le traverse.

