

# Chapitre 1 : Circuits électriques dans l'A.R.Q.S

## 1. Courant électrique

### 1.1. Charge électrique

Depuis l'Antiquité, des expériences d'électrisation ont mis en évidence les propriétés électriques de la matière.

Ainsi, on a observé que des matériaux électrisés sont susceptibles d'attirer des corps légers (bâton d'ébonite frotté avec une peau de chat attirant des bouts de papier).

Par ailleurs, les expériences d'interaction entre corps électrisés mettent en évidence deux types d'électrisation. Les corps d'électrisation semblable se repoussent et s'attirent dans le cas contraire.

Durant le XVIII<sup>e</sup> siècle, Coulomb modélise ces phénomènes à l'aide de sa loi d'interaction. A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, des expériences conduisent à une interprétation de la matière en terme de corpuscules élémentaires pouvant être porteur d'une charge électrique positive ou négative. Les charges électriques sont toujours des multiples entiers d'une charge électrique élémentaire :

$$e = 1,6.10^{-19} C$$

La charge électrique est donc quantifiée.

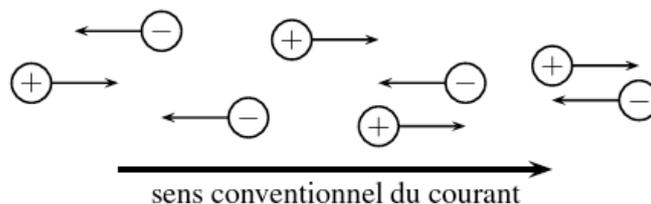
### 1.2. Nature du courant électrique

Un courant électrique correspond à un déplacement d'ensemble de particules chargées.

Quelle que soit sa nature, un matériau conducteur comporte ainsi certaines particules dotées d'une charge électrique (porteurs de charge) et susceptibles de se mouvoir :

- un métal est constitué de cations fixes et d'électrons mobiles dits libres
- une solution électrolytique comporte des anions et cations mobiles
- dans un matériau semi-conducteur (utilisé pour les composants électroniques), on trouve des électrons libres et des trous mobiles (lacunes électroniques assimilées par la physique quantique à des particules positives)

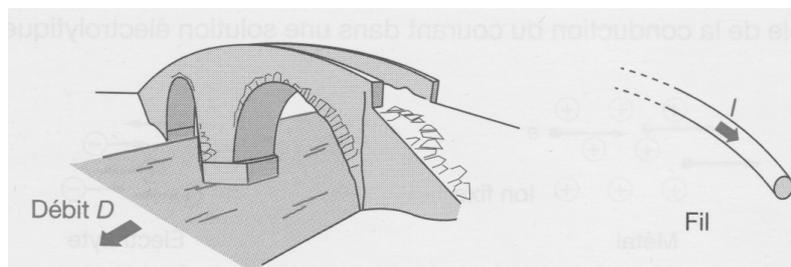
Le sens du courant électrique est conventionnellement le sens de déplacement des charges positives.



Comme dans un fil, le courant peut circuler dans les deux sens, on choisit arbitrairement un sens positif pour le courant. Le courant sera ainsi positif ou négatif suivant qu'il circule dans le sens retenu ou dans le sens opposé. On dit du courant qu'il est algébrique.

### 1.3. Intensité du courant

On peut réaliser une analogie hydraulique avec l'écoulement d'une rivière. Celui-ci est caractérisé par son débit en un point précis (par exemple sous un pont) et s'exprime en  $m^3 \cdot s^{-1}$ .



Il correspond au rapport du volume d'eau  $\Delta V$  s'écoulant et de la durée  $\Delta t$ .

$$D = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Ceci nous conduit à introduire une nouvelle grandeur appelée intensité du courant électrique, notée  $I$  ou  $i$ , correspondant à un débit de charge électrique.

Pour un fil conducteur, la charge électrique  $\Delta q$  traverse une section  $S$  donnée pendant la durée  $\Delta t$ . On définit alors l'intensité du courant comme le rapport :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

On obtient de cette manière le débit moyen de charge durant  $\Delta t$ . Dans le cas où le courant varie dans le temps, on définit l'intensité instantanée  $i(t)$  :

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

Une intensité s'exprime en ampère  $A$ . Pour un courant constant, l'intensité sera noté  $I$ , pour un courant variable  $i(t)$ .

### 1.4. Conservation de la charge

La charge électrique est une grandeur conservative.

Cette propriété induit deux conséquences importantes :

- en régime continu (indépendant du temps), l'intensité le long d'un conducteur sans bifurcation (donc le long d'un fil) est identique en tout point.

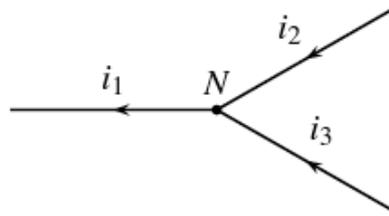
Justification :

soient un fil conducteur et deux sections situées respectivement en  $A$  et  $B$  (courant dirigé de  $A$  vers  $B$ ). En régime stationnaire, il ne peut y avoir accumulation de charges électriques entre les deux sections pendant une durée  $\Delta t$ . Autrement dit :

$$Q_{entrant} - Q_{sortant} = I_A \Delta t - I_B \Delta t = 0$$

Soit  $I_A = I_B$

- première loi de Kirchhoff (loi des noeuds) : pour un embranchement électrique (auss appelé noeud  $N$ ), la somme des intensités des courants qui arrivent est égale à la somme des intensités des courants qui partent.



Justification :

Soient  $dq_k$  la charge électrique traversant une section du fil  $k$  pendant  $dt$ . La conservation de la charge implique la relation :

$$dq_1 = dq_2 + dq_3 \Leftrightarrow i_1 dt = i_2 dt + i_3 dt$$

Soit la relation

$$i_1 = i_2 + i_3$$

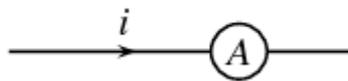
Cette relation peut être généralisée à un noeud de  $n$  fils :

$$\sum_{k=1}^n \varepsilon_k i_k = 0$$

où  $\varepsilon_k = \pm 1$  (+ pour un courant arrivant sur le noeud, - pour un courant s'en éloignant)

### 1.5. Mesure de l'intensité d'un courant

La mesure de l'intensité d'un courant électrique s'effectue à l'aide d'un ampèremètre branché en série sur le fil concerné.



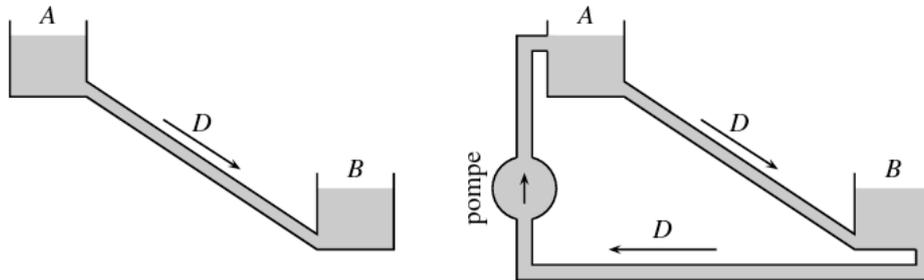
Quelques ordres de grandeur :

- au laboratoire : qq  $mA$  à qq  $100 mA$
- dans les circuits d'un téléphone portable : de l'ordre du  $mA$
- éclair lors d'un orage :  $50000 A$

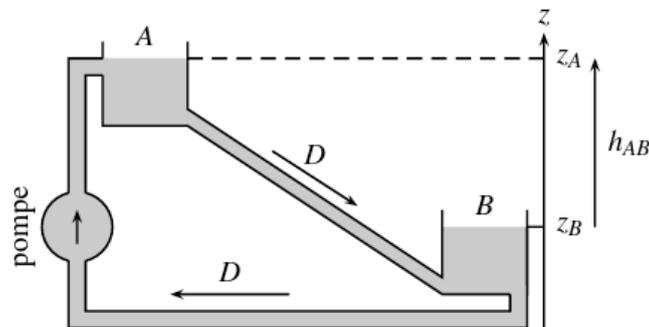
## 2. Tension électrique

### 2.1. Analogie hydraulique

On peut poursuivre l'analogie hydraulique. Un courant d'eau n'existe entre deux récipients que s'il existe une différence de niveau entre leurs surfaces.

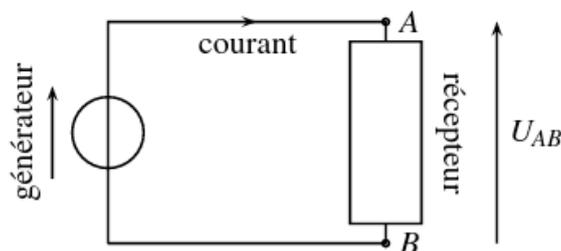


Cet écoulement est toutefois limité dans le temps. Si l'on veut entretenir le mouvement d'eau, il faut fermer le circuit avec une pompe assurant le débit.



En régime permanent (indépendant du temps), la pompe maintient les niveaux des deux récipients  $z_A$  et  $z_B$ , la condition sur le dénivelé,  $h_{AB} = z_A - z_B > 0$  étant nécessaire à l'écoulement de l'eau de A vers B.

Il en est de même pour un circuit électrique.



Le débit de charge électrique à travers un récepteur nécessite l'existence d'une différence de potentiel  $V_A - V_B$  entre ses bornes. Le potentiel électrique est donc l'analogie de l'altitude dans le dispositif précédent. Il s'exprime en Volts (V).

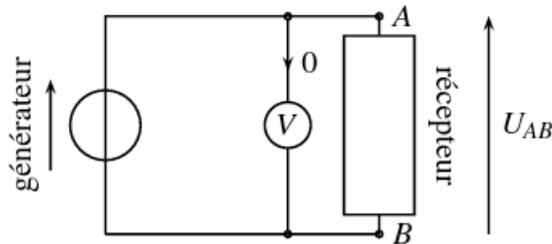
La différence de potentiel est appelée tension électrique, notée ici  $U_{AB} = V_A - V_B$ . Celle-ci est donc l'analogie du dénivelé. Elle s'exprime également en Volts (V).

La différence de potentiel est assurée par le générateur (analogie de la pompe).

Une tension constante sera notée  $U$  et une tension variable  $u(t)$ .

## 2.2. Mesure d'une tension électrique

Une tension électrique se mesure à l'aide d'un voltmètre relié aux deux points entre lesquels on veut mesurer la différence de potentiel. Idéalement, le courant prélevé par le voltmètre est nul (négligeable dans la pratique) afin de ne pas perturber le fonctionnement du circuit.

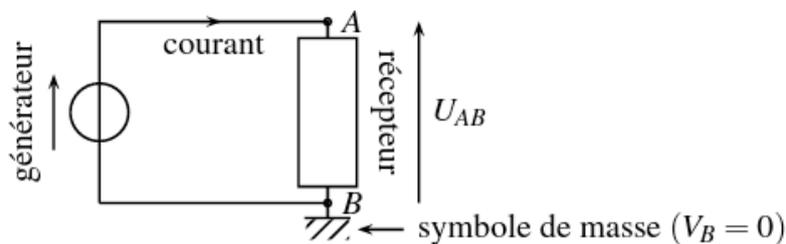


Quelques ordres de grandeur :

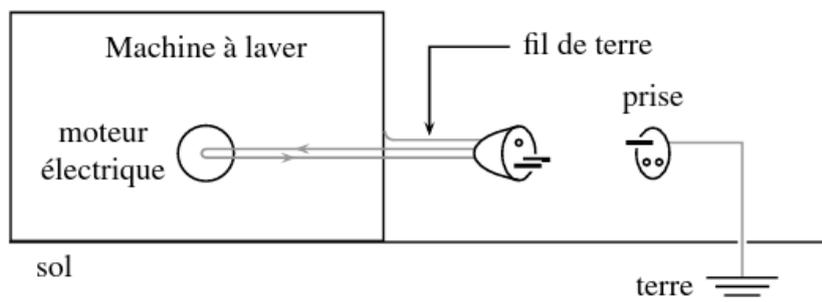
- au laboratoire : qq  $100\text{ mV}$  à qq  $V$
- dans les circuits d'un téléphone portable : qq  $mV$  à qq  $100\text{ mV}$
- domicile :  $230\text{ V}$
- éclair lors d'un orage : jusqu'à  $500\text{ MV}$

## 2.3. Référence de potentiel

De même que les altitudes sont mesurées par rapport au niveau de la mer, il est nécessaire de définir une référence pour le potentiel électrique. Celle-ci est défini de manière arbitraire et correspond à un potentiel nul. On appelle masse du circuit le point (noeud) de potentiel nul.



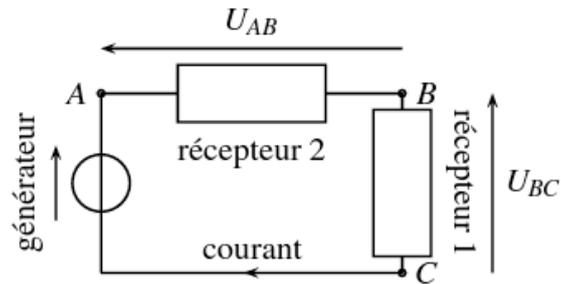
Attention à ne pas confondre masse et terre :



La mise à la terre d'un appareil électrique est un dispositif de sécurité. La carcasse métallique d'un appareil est reliée à la terre de telle façon qu'en cas de faux contact, elle ne puisse être portée au potentiel de la phase et électrocuter un utilisateur qui la toucherait.

### 2.4. Additivité des tensions

Nous allons montrer que la tension électrique est une grandeur additive. Pour cela, on peut considérer l'exemple suivant :



Ce circuit n'est constitué que d'une maille.

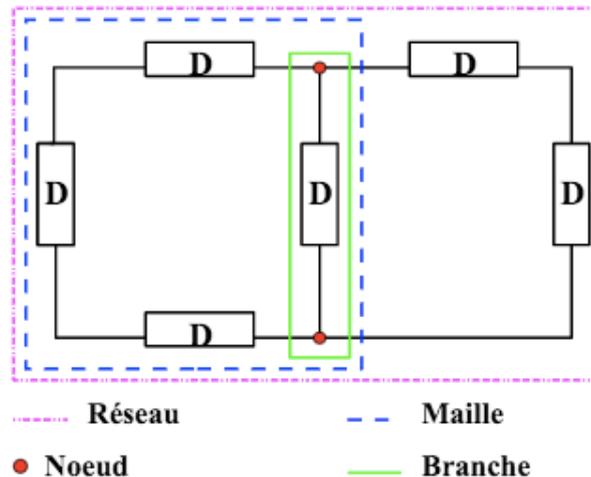
On cherche  $U_{AC}$  tension aux bornes de l'ensemble des deux récepteurs.

$$\begin{aligned} U_{AC} &= V_A - V_C \\ &= (V_A - V_B) + (V_B - V_C) \\ &= U_{AB} + U_{BC} \end{aligned}$$

Cette relation est l'équivalent de la relation de Chasles en mathématiques.

### 2.5. Un petit peu de vocabulaire

Pour identifier les différents éléments constitutifs d'un circuit électrique, on utilisera les termes suivants :



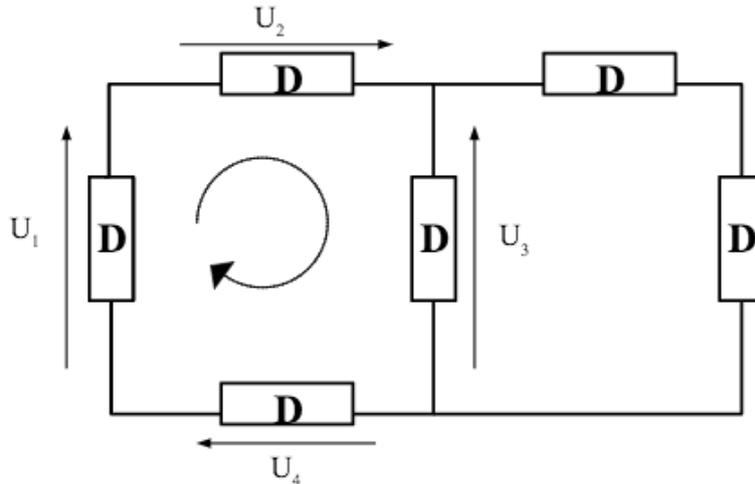
### 2.6. Seconde loi de Kirchhoff (loi des mailles)

Pour toute maille orientée, on a

$$\sum_{k=1}^n \varepsilon_k u_k = 0$$

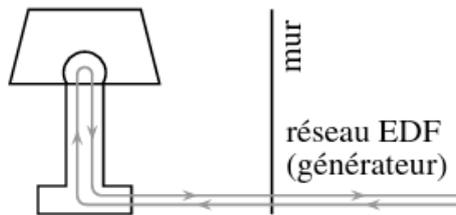
où  $\varepsilon_k = \pm 1$  (+ pour une tension orientée comme la maille, - dans le cas contraire)

exemple : ici, on a  $U_1 + U_2 - U_3 + U_4 = 0$



### 3. Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

Pour qu'un courant électrique puisse circuler dans un réseau, il est nécessaire que celui soit fermé. Un interrupteur permet d'ouvrir ou de fermer le circuit.



A la fermeture de l'interrupteur, le signal électrique ne traverse pas immédiatement tous les dipôles. Dans l'exemple ci-dessus, il existe en effet un délai de propagation environ égal à  $\frac{L}{c}$  où  $L$  est la longueur du fil entre l'interrupteur et la lampe, et la célérité (vitesse) du signal.

Exemple : pour  $L = 10 \text{ m}$  et  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , on trouve  $\tau \approx 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ s}$ . Sachant que la fréquence d'EDF est de  $50 \text{ Hz}$ , soit une période pour le signal électrique  $T = 0,02 \text{ s}$ , on note que

$$\tau = \frac{L}{c} \ll T$$

Ainsi, toute variation du signal électrique sera vue de manière quasi-instantanée par l'ensemble du réseau. Pour ce dernier, le signal semble varier lentement ; on parle alors de régime stationnaire. Dans ce cas, les lois de l'électrocinétique (qui s'appuient sur les lois de Kirchhoff), valables a priori uniquement en régime permanent, seront utilisables.

Contre-exemple : pour une antenne FM de longueur  $L = 1 \text{ m}$  alimentée par un courant de fréquence  $f = 100 \text{ MHz}$ , on a

$$\tau = 3,3 \cdot 10^{-9} \text{ s} \sim T = 10^{-8} \text{ s}$$

D'une manière plus générale, on parlera d'approximation des régimes quasi-stationnaires (ou ARQS) dès qu'on aura pour un circuit de longueur  $L$  donnée

$$\tau \ll T \Leftrightarrow L \ll cT \Leftrightarrow L \ll \lambda$$

On distinguera ainsi plusieurs régimes de fonctionnement :

- le régime continu : on dit d'un circuit électrique qu'il fonctionne en régime continu si toutes les tensions et les intensités de tous les courants électriques dans le circuit sont constantes au cours du temps.

remarque :

- nous verrons dans u
  - - prochain chapitre que cette situation ne peut être atteinte qu'après un régime variable de courte durée appelé régime transitoire
  - l'ensemble des grandeurs électriques (tensions et intensités) seront alors écrites à l'aide de lettres capitales (exemples :  $U$ ,  $I$ )
- le régime variable dans le cadre de l'A.R.Q.S : les grandeurs électriques (tensions et intensités) dépendent du temps mais le temps de propagation de l'information électrique est négligé.

remarque :

- l'ensemble des grandeurs électriques (tensions et intensités) seront alors écrites à l'aide de lettres minuscules (exemple :  $u(t)$ ,  $i(t)$ )
  - la variation temporelle des grandeurs pourra être périodique (régime sinusoïdale par exemple) ou non (régime libre ou transitoire)
- le régime variable hors A.R.Q.S : les grandeurs électriques (tensions et intensités) dépendent du temps ; le temps de propagation de l'information électrique n'étant plus négligé, le formalisme utilisé sera alors celui de l'électromagnétisme et non plus celui de l'électrocinétique.