

LOIS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRODYNAMIQUE DANS LE CADRE DE L'ARQS

I. COURANT ÉLECTRIQUE – ORIENTATION D'UN CONDUCTEUR

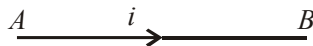
Le courant électrique est dû à un déplacement de charges électriques (voir chapitre Courant électrique – Résistance dans le cours sur les champs électriques en fin de première année) :

- électrons dans un métal
- ions dans un électrolyte
- électrons et trous (lacunes d'électron se déplaçant d'atome en atome du réseau cristallin).

On considère un fil conducteur AB (fil de cuivre par exemple).



L'orientation de ce conducteur est arbitraire. On rajoute une flèche pour indiquer l'orientation.

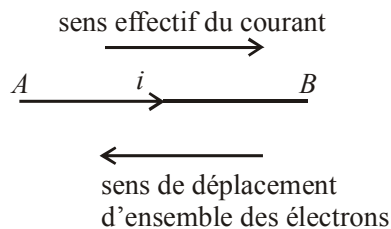


Sous l'action d'un champ électrique extérieur, les porteurs de charge sont globalement entraînés : soit dans le sens du champ électrique (porteurs de charge positifs), soit en sens inverse du champ électrique (porteurs de charge négatifs).

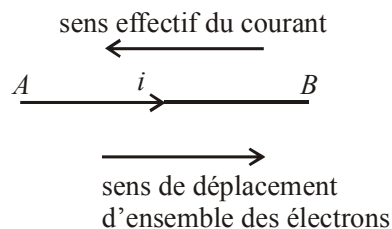
Par définition, le sens du courant est le sens dans lequel se déplaceraient des charges positives.

L'avantage de cette convention est de faire abstraction du signe des charges transportées.

- Si $i > 0$: Le courant circule effectivement dans le sens de la flèche.



- Si $i < 0$: le courant circule effectivement dans le sens opposé de la flèche.



II. APPROXIMATION DES RÉGIMES QUASISTATIONNAIRES (ARQS)

II.1 Nature de l'approximation

Nous allons étudier des courants permanents (ou courants indépendants du temps ou courants continus), mais aussi des courants variables dans le temps. Quand on écrit la loi d'Ohm, on suppose implicitement que le courant i est indépendant de l'abscisse dans ce conducteur.

Nous admettons (voir démonstration dans le cours de deuxième année) que si les différentes grandeurs (courant, tension) ne varient pas trop rapidement, les lois vues dans le reste du cours en régime permanent, sont applicables à chaque instant t pour des courants variables dans le temps.

Ne pas confondre l'adjectif « continu » en électrocinétique (courant continu signifie courant permanent : le courant ne dépend pas du temps) avec la notion de continuité de fonction mathématique (On dit que la tension aux bornes d'un condensateur ne peut pas varier de façon discontinue).

II.2 Domaine de validité de l'ARQS

Considérons une vibration sinusoïdale de période T , de fréquence f .

On note c la vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

On définit la longueur d'onde $\lambda = cT$.

On note d la dimension des circuits électriques.

On admet (voir cours de deuxième année) que pour être dans l'ARQS, la dimension des circuits doit être très inférieure à la longueur d'onde.

$$d \ll \lambda$$

On pourra alors appliquer toutes les lois vues dans le reste du cours (loi des nœuds, loi des mailles...) à chaque instant t .

Exemples :

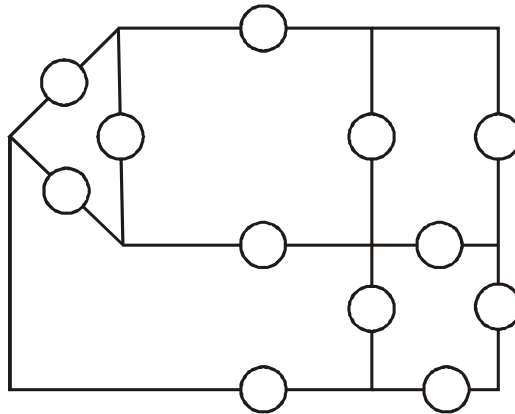
- signal sinusoïdal de fréquence 10 MHz : $\lambda = cT = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10 \times 10^6} = 30 \text{ m}$. La dimension des circuits électriques réalisés en TP étant très inférieure à 30 m, on pourra donc appliquer l'ARQS. Pour des fréquences plus faibles, la condition est encore moins contraignante. Dans le cadre de l'ARQS, i ne dépend que de t : $i = i(t)$
- communication spatiale : $f = 3 \text{ GHz}$: $\lambda = cT = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^9} = 0,1 \text{ m}$. Si on considère une antenne satellite de diamètre 20 cm, on n'a pas plus $d \ll \lambda$. L'intensité dépend de x et de t : $i = i(x, t)$. En effet, à cause des phénomènes de propagation, la variation dans le temps du courant en un point du circuit ne peut pas se répercuter de façon instantanée en tout point.

III. DÉFINITIONS

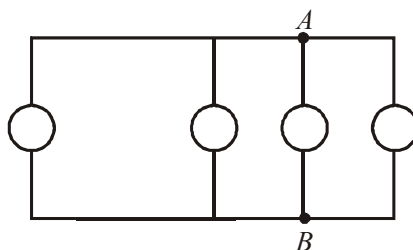
L'électrocinétique est l'étude des propriétés liées aux mouvements d'ensemble des porteurs de charge.

- **Dipôle électrocinétique** : composant relié à l'extérieur par deux bornes.
- **Réseau** : c'est un ensemble de composants reliés entre eux par des connections qui sont des court-circuits.
- **Nœud** : point qui peut être considéré comme borne de plus de deux dipôles.
- **Branche** : ensemble de dipôles connectés en série et situés entre deux nœuds.
- **Maille** : contour fermé que l'on peut décrire en parcourant les branches et en ne passant qu'une seule fois par un nœud donné.

Considérons le réseau électrique suivant. Il est constitué de 7 nœuds et 11 branches.



Le réseau électrique suivant est constitué de deux nœuds (A et B) uniquement...



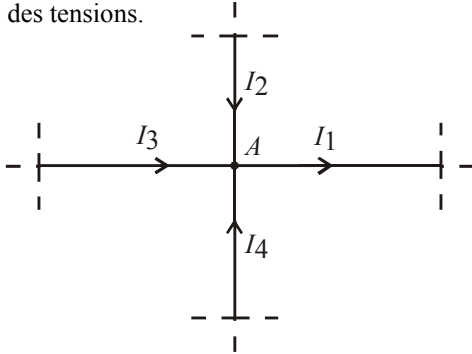
IV. LOIS DE KIRCHHOFF

IV.1 Loi des nœuds, loi des mailles

On cherche à connaître l'état électrique du circuit, c'est-à-dire connaître les **intensités** circulant dans les différentes branches et les **potentiels** des différents nœuds. On choisit un potentiel de référence, appelé masse et de potentiel égal à 0 V.

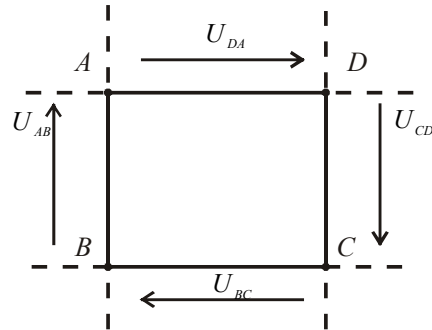
Pour cela, on dispose des équations qui traduisent les lois de Kirchhoff : **loi des nœuds** et **loi des mailles**.

La loi des nœuds traduit physiquement la conservation de la charge électrique et la loi des mailles traduit l'additivité des tensions.



$$-I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

Loi des nœuds en A



$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

Loi des mailles

Au lieu de «dire» que la somme des tensions vaut 0, on peut dessiner les flèches de façon à ce que « la grande tension soit égale à la somme des petites tensions ».

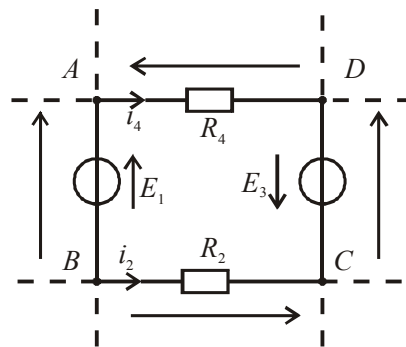
Exemple avec des générateurs de tension et des résistances.

Il est préférable de dessiner les flèches pour ne pas faire d'erreurs de signe avec la loi des mailles.

$$E_1 = R_4 i_4 - E_3 - R_2 i_2$$

NE PAS CONFONDRE TENSION ET DIFFÉRENCE DE POTENTIEL : $U_{AB} = V_A - V_B$

NE PAS CONFONDRE AVEC LES VECTEURS EN MATH : $\overline{AB} = \begin{cases} x_B - x_A \\ y_B - y_A \\ z_B - z_A \end{cases}$



IV.2 Nœuds indépendants

a) Exemple du pont de Wheatstone

On considère le montage suivant :

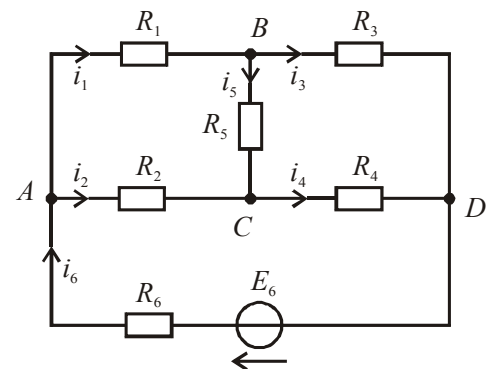
On écrit la loi des nœuds aux points A, B, C et D :

$$\begin{cases} -i_1 - i_2 + i_6 = 0 & \text{(eq.1)} \\ i_1 - i_3 - i_5 = 0 & \text{(eq.2)} \\ i_2 - i_4 + i_5 = 0 & \text{(eq.3)} \\ i_3 + i_4 - i_6 = 0 & \text{(eq.4)} \end{cases}$$

On remarque que (4) = -(1) - (2) - (3)

On a 4 nœuds et 3 nœuds indépendants.

Ce n'est pas la peine d'écrire la loi des nœuds au point D puisque cette équation peut se déduire directement des lois des nœuds aux autres points.



b) Généralisation

Si un circuit comporte n nœuds, il y a (n-1) nœuds indépendants.

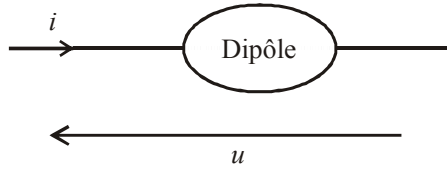
V. NOTION DE DIPÔLE – PUISSANCE RECUE PAR UN DIPÔLE

V.1 Convention récepteur, générateur

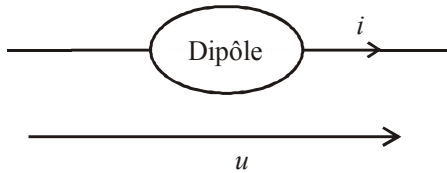
On appelle dipôle électrocinétique tout système électrique relié à l'extérieur par deux bornes. Dans le cadre de l'ARQS, à un instant donné, le courant qui rentre du dipôle est égal au courant qui sort du dipôle.

L'orientation de la tension u et de l'intensité i aux bornes du dipôle est arbitraire.

a) Convention récepteur



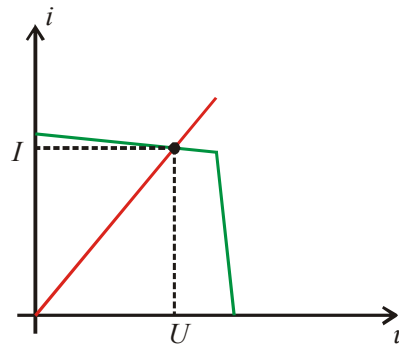
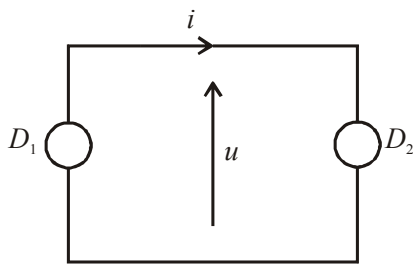
b) Convention générateur



Si la relation caractéristique est $f(u, i) = 0$, on définit la **caractéristique du dipôle** : c'est le graphe représentant u en fonction de i ou le graphe représentant i en fonction de u .

V.2 Association de dipôles – Point de fonctionnement

On considère le circuit associant deux dipôles :

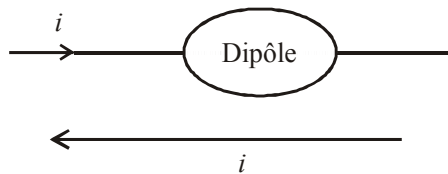


Le dipôle D_1 est orienté en convention générateur alors que le dipôle D_2 est orienté en convention récepteur. La solution (I, U) s'obtient en déterminant l'intersection (ou les intersections) des caractéristiques des deux dipôles.

Si on travaille en continu, cette solution est appelée **point de fonctionnement**.

V.3 Puissance reçue, puissance fournie

a) Puissance reçue ou puissance absorbée en convention récepteur



La puissance reçue à un instant t par le dipôle en convention récepteur vaut :

$$P_{\text{reçue}}(t) = u(t) \cdot i(t)$$

On note $\delta W_{\text{reçue}}$ l'énergie reçue par le dipôle pendant dt :

$$\delta W_{\text{reçue}} = P_{\text{reçue}} dt = u \cdot i dt$$

L'énergie reçue par le dipôle entre $t = 0$ et $t = t_0$ est : $W_{\text{reçue}} = \int_{t=0}^{t_0} u \cdot i dt$

$P_{\text{reçue}}$ est algébrique.

- Si $P_{\text{reçue}} > 0$, alors le dipôle reçoit effectivement de la puissance.
- Si $P_{\text{reçue}} < 0$, alors le dipôle fournit effectivement de la puissance.

Exemple pour une résistance en convention récepteur : $u = Ri$. On se place en régime permanent : $i = I = \text{cte}$.

On a alors : $P_{\text{reçue}} = RI^2 = \frac{U^2}{R} > 0$, $\delta W_{\text{reçue}} = RI^2 dt$ et $W_{\text{reçue}} = RI^2 (t_0 - 0)$.

Attention, cette relation ne présume en rien de devenir de cette énergie. Seul un bilan énergétique effectué sur le système met en évidence d'éventuelles conversions d'énergie.

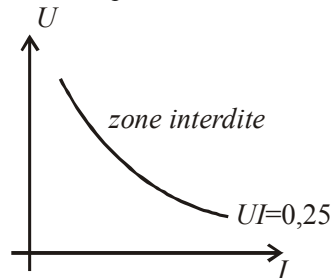
Exemples :

- **dans une résistance électrique, l'énergie reçue ou absorbée sous forme électrique est évacuée sous forme de « chaleur » (effet Joule). Voir cours de thermodynamique.**
On emploie les termes équivalents : puissance électrique reçue par la résistance, puissance absorbée, puissance dissipée par effet Joule. Ces trois puissances sont positives pour une résistance.
- l'énergie électrique pourra en revanche être restituée sous forme d'énergie cinétique dans un moteur (voir cours de deuxième année), d'énergie rayonnée dans une antenne (voir cours de deuxième année)...

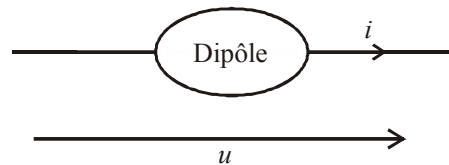
Dans un dipôle réel, il y a des valeurs maximales que l'on ne doit pas dépasser pour u , i et P sous peine de destruction du dipôle.

Exemple de résistances utilisées en TP : $P_{\text{max}} = 0,25 \text{ W}$.

Si on se place en régime continu, il ne faut dépasser la branche d'hyperbole correspondant à $UI = 0,25 \text{ W}$.



b) Puissance fournie en convention générateur



La puissance fournie à un instant t par le dipôle en convention générateur vaut :

$$P_{\text{fournie}}(t) = u(t) \cdot i(t)$$

On note $\delta W_{\text{fournie}}$ l'énergie fournie par le dipôle pendant dt :

$$\delta W_{\text{fournie}} = P_{\text{fournie}} dt = u \cdot i dt$$

L'énergie fournie par le dipôle entre $t = 0$ et $t = t_0$ est : $W_{\text{fournie}} = \int_{t=0}^{t_0} u \cdot i dt$

- Si $P_{\text{fournie}} > 0$, le dipôle fournit effectivement de la puissance.
- Si $P_{\text{fournie}} < 0$, le dipôle reçoit effectivement de la puissance.