

Thème 1 - Ondes et signaux - Électrocinétique

Chapitre 3 : Les circuits électriques dans l'ARQS

CE QUE JE DOIS SAVOIR

Notions et contenus	Capacités exigibles
Charge électrique, intensité du courant. Potentiel, référence de potentiel, tension. Puissance.	Justifier que l'utilisation de grandeurs électriques continues est compatible avec la quantification de la charge électrique. Exprimer l'intensité de courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer les ordres de grandeurs des intensités et des tensions dans différents domaines d'application.
Dipôles : résistances, sources décrites par un modèle linéaire.	. Utiliser les relations entre l'intensité et la tension. Citer des ordres de grandeurs de résistors. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin.
Association de deux résistances.	Remplacer une association en série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Etablir et exploiter les relations des diviseurs de tension ou de courant.

RÉSUMÉ DE COURS

I Les grandeurs électriques

1 Le courant électrique

a. La charge électrique

DÉFINITION

La **charge électrique** Q est une grandeur scalaire et algébrique caractérisant la sensibilité à l'interaction électromagnétique.

La charge électrique se mesure en **Coulomb** (C) et est toujours un **multiple entier** de la charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, l'opposée de la charge électrique de l'électron.

PRINCIPE

La charge électrique d'un système isolé se **conserve**. Il n'y a pas de disparition ni de création de charge. C'est aussi une grandeur **extensive** : les charges s'ajoutent.

b. Le courant électrique

DÉFINITION

Le **courant électrique** correspond au déplacement d'ensemble ordonné de charges électriques.

Le sens conventionnel du courant est celui des porteurs de charges électriques positives.

L'**intensité** I du courant électrique est le débit de charges traversant une section du conducteur par unité de temps. Si une charge δq traverse la section S d'un conducteur pendant l'intervalle de temps δt , alors l'intensité du courant électrique vaut $I = \frac{\delta q}{\delta t}$.

Au sens mathématique : I est la dérivée de la charge $q(t)$ par rapport au temps t : $I = \frac{dq}{dt}$

L'intensité du courant se mesure en ampère de symbole A.

On mesure l'intensité du courant électrique avec un **ampèremètre** branché en série dans un circuit fermé.

Ordre de grandeur de l'intensité du courant électrique :

courant	dispositif
10 mA	DEL, composants utilisés en TP
100 mA	risque d'électrocution
1 A	ampoule à incandescence
10 A	Four, Chauffage ...
100 A	Démareur automobile
10 à 100 kA	Foudre

2 Le potentiel et la tension électrique

a. potentiel électrique

Le potentiel électrique V quantifie l'attraction entre les charges électrique : plus un corps est à un potentiel élevé, plus il va attirer les charges négatives. Le potentiel électrique s'exprime en volts de symbole V et est défini à une constante additive près. Dans un circuit électrique, on fixe un point pris comme référence des potentiels $V_m = 0$ V par convention. Ce point est appelé masse ou Terre.

b. La tension électrique

DÉFINITION

La tension électrique entre deux points A et B correspond à la différence de potentiel électrique (ddp) entre ces 2 points. On la note : $U_{AB} = V_A - V_B$

La tension électrique s'exprime en volts (V) comme le potentiel et représente l'énergie pour mettre en mouvement les charges entre les points A et B . Par convention on désigne cette tension par une flèche allant de B vers A

la tension électrique se mesure avec un **voltmètre** qui donne la valeur de la tension entre ses deux bornes.

Ordre de grandeur de l'intensité du courant électrique :

tensions	dispositif
1,5 V ; 4,5 V ; 9 V	piles du commerces
6 V ; 12 V ; 24 V	Batteries d'accumulateur
230 V	Réseau de distribution EDF
5-25 kV	Alternateur de centrale électrique
25 kV	TGV
150 - 500 kV	ligne à haute tension
100 000 - 500 000 kV	Foudre

c. analogie hydraulique

circuit hydraulique	↔	circuit électrique
eau	↔	porteurs de charges (électrons, ions, ...)
masse	↔	charge électrique
débit de l'écoulement	↔	intensité du courant électrique
hauteur	↔	potentiel électrique
énergie potentielle de pesanteur	↔	énergie potentielle électrique
pompe	↔	batterie, pile
barrage, bouchon	↔	résistance

II ARQS et lois de Kirchhoff

DÉFINITION

Approximation des régimes quasi-stationnaires ARQS :

- L'ARQS revient à négliger tous les effets liés à la propagation des signaux électromagnétique sous forme de tension ou de courant.
- Condition de l'ARQS pour un signal sinusoïdal :

$$\lambda \gg \ell \quad \Leftrightarrow \quad T \gg \tau \quad \Leftrightarrow \quad f \ll c/\ell$$

avec

- ℓ la dimension caractéristique du circuit ;
- τ la durée caractéristique de propagation des signaux : $\tau = \ell/c$ avec c la vitesse de propagation ;
- T la période du signal sinusoïdal, $f = 1/T$ sa fréquence et $\lambda = cT$ sa longueur d'onde.

PROPRIÉTÉ

Conséquences de l' ARQS :

1. l'intensité du courant électrique est la même en tout point d'un fil sans dérivation.
2. loi des nœuds (détaillées plus loin)

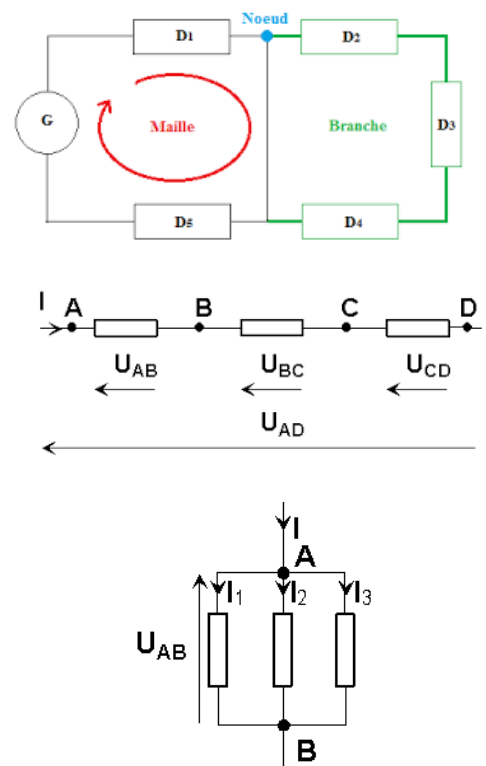
1 Descriptions des circuits

DÉFINITION

- **Dipôle** : composant électrique qui a 2 pôles : 2 branchements électriques, une entrée et une sortie. Il est représenté par un rectangle de façon général ;
- **Nœud** : point auquel est connecté au moins 3 fils ;
- **Branche** : portion de circuit entre 2 nœuds, dans laquelle le courant est le même partout ;
- **Maille** : portion de circuit fermée : succession de branches qui retournent au nœud de départ.

- **Association en série** : Deux (ou plus) dipôles sur une même branche sont en série. Ils sont parcourus par le même courant.

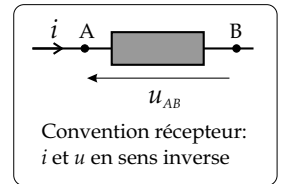
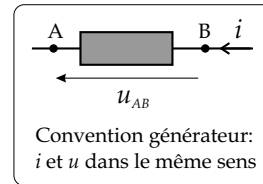
- **Association en parallèle** : Deux dipôles reliés à deux mêmes nœuds sont en parallèle ou en dérivation. Ils sont soumis à la même tension.



2 Convention d'orientation

DÉFINITION

Il y a deux conventions possibles pour orienter le courant i parcourant un dipôle et la tension u à ses bornes, et ce indépendamment du type de ce dipôle :



3 lois de Kirchhoff

a. Loi des nœuds : 1ère loi de Kirchhoff :

THÉORÈME

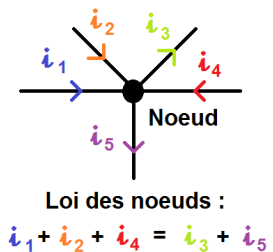
Comme la charge électrique se conserve il ne peut y avoir d'accumulation de charges dans un circuit électrique. Ainsi, dans le cadre de l'ARQS, toutes les chargées arrivant sur un nœud en repartent :

$$\sum I_{\text{entrant}} = \sum I_{\text{sortant}}$$

MÉTHODE

Appliquer la loi de nœuds

1. Choisir un nœud ;
2. Repérer toutes les branches arrivant sur ce nœud ;
3. Vérifier le sens du courant dans chaque branche ;
4. Appliquer la loi des nœuds en mettant les intensités arrivant sur le nœud d'un côté de l'égalité et les intensités partant du nœud de l'autre côté



b. Lois des mailles : deuxième loi de Kirchhoff

THÉORÈME

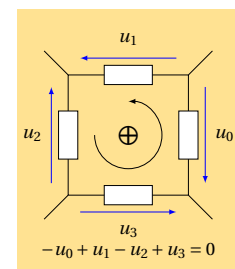
La somme algébrique des tensions le long d'une maille dans le sens de parcours donné est nulle :

$\sum u_k = 0 \text{ V}$ avec les u_k représentent les différentes tensions de la maille.

MÉTHODE

Appliquer la loi des mailles

1. Sur la maille étudiée, mettre une flèche orientée aux bornes de tous les dipôles présents et nommer les tension ($u_1 ; u_{AB} \dots$) ;
2. Orienter la maille dans le sens positif ;
3. Appliquer la loi des mailles en mettant un "+" devant les tensions dans le sens positif et un "-" devant celles dans le sens contraire.



III Puissance et énergie électrique

Dans le cadre de l'ARQS, un dipôle ne stocke pas de charge électrique : l'intensité entrant dans le dipôle est égale à celle en sortant. L'état d'un dipôle est déterminé par trois grandeurs :

- l'intensité du courant I qui le traverse ;
- la tensions U entre ses bornes ;
- la puissance \mathcal{P} qu'il échange avec le reste du circuit.

1 Puissance reçue par un dipôle

DÉFINITION

La puissance électrique reçue par un dipôle, en convention récepteur est

$$\mathcal{P} = u \times i$$

avec u la tension aux bornes de ce dipôle en V, i l'intensité du courant électrique traversant le dipôle en A. La puissance électrique s'exprime en watt (W).

2 Convention générateur : puissance fournie par un dipôle

En convention générateur la tension aux bornes d'un dipôle et le courant qui le traverse sont dans le même sens. Dans ce cas le courant se dirige vers les hauts potentiels et le dipôle fournit de l'énergie au circuit et sa puissance est négative : $\mathcal{P}_{\text{fournie}} = -\mathcal{P}_{\text{reçue}} > 0$

3 Caractère physique récepteur ou générateur ?

Le sens des tensions et des courants électriques est a priori arbitraire, la convention récepteur ou générateur ne traduit donc par forcément la réalité physique du caractère du dipôle.

4 Energie électrique

DÉFINITION

Soit un dipôle qui reçoit une puissance \mathcal{P} . Ce dipôle absorbe pendant une intervalle de temps Δt une **énergie électrique** E qui s'exprime :

- $E = \mathcal{P} \Delta t$ en régime **stationnaire**

- $E = \int_0^{\Delta t} \mathcal{P}(t) dt$ en régime **variable**

Unités : E en J, \mathcal{P} en W, Δt en s.

5 Puissance échangée dans un circuit

PROPRIÉTÉ

La somme des puissances reçues par les différents éléments d'un circuit est nulle.

ou

La somme des puissances fournies par les dipôles générateurs est égale à la somme des puissances reçues par les dipôles récepteurs.

IV Caractérisique courant-tension

1 généralités

DÉFINITION

- **Caractéristique** : la **caractéristique** d'un dipôle en ARQS est la relation mathématique liant l'intensité i du courant traversant ce dipôle à la tension u à ses bornes, ainsi que leurs dérivées par rapport au temps.

On parle de **caractéristique statique** en **régime continu** : on relève l'ensemble des points (U, I) en prenant différentes valeurs de U .

On parle de **caractéristique dynamique** quand on trace $i(u)$ en **régime variable**.



La convention adoptée (récepteur ou générateur) doit impérativement être précisée !

- **Point de fonctionnement** : le **point de fonctionnement** M d'un (U_M, I_M) qui vérifie simultanément la caractéristique des deux dipôles. Ce point, s'il existe, se trouve forcément à l'intersection des deux courbes caractéristiques des deux dipôles.

- **Courant de court-circuit** : le **courant de court-circuit** i_0 est la valeur du courant à tension nulle dans la caractéristique statique d'un dipôle. C'est l'intensité du courant qui traverserait un fil de résistance nulle branché aux deux bornes du dipôle.

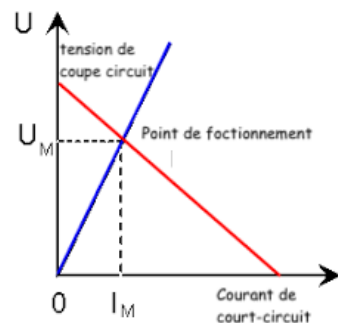
- **Tension de coupe-circuit** : la **tension de coupe-circuit** u_0 est la valeur de la tension à courant nul, dans la caractéristique statique d'un dipôle.

- Un dipôle est **passif** si sa caractéristique passe par l'origine. son intensité de court-circuit et sa tension de coupe-circuit sont nuls. Il n'est pas capable de fournir de l'énergie au circuit (résistor, diode...).

Dans le cas contraire le dipôle est **actif** (pile, GBF...).

- Un dipôle est **linéaire** lorsque sa caractéristique statique est une **droite affine**.

- Un dipôle est **symétrique** si sa caractéristique est **impaire** : $i(-u) = -i(u)$. Dans le cas contraire le dipôle est non symétrique.



2 Les conducteurs ohmiques

DÉFINITION

Le conducteur ohmique ou résistor est un dipôle qui vérifie la loi d'Ohm : $U = RI$ avec R la résistance en Ohm (Ω), U la tension aux bornes du dipôle et I le courant électrique le traversant.

On définit la conductance $G = \frac{1}{R}$, elle s'exprime en Siemens (S).

PRINCIPE

Effet Joule.

La puissance instantanée reçue par un résistor (en convention récepteur) est toujours positive :

$$\mathcal{P} = u(t)i(t) = Ri^2(t) = \frac{u^2(t)}{R}$$

Un résistor absorbe toujours de la puissance et n'en restitue pas au circuit. Cette puissance électrique est transformée en chaleur : le conducteur ohmique chauffe l'environnement par transfert thermique. C'est l'effet Joule.

Ordre de grandeur de résistances de quelques dipôles :

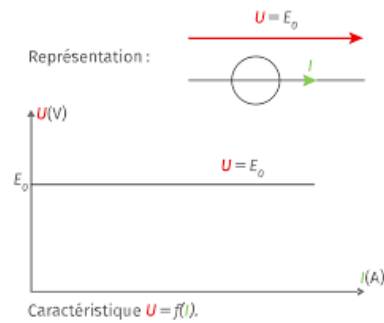
Résistance	Dipôle
1 Ω	fil, entrée d'un ampèremètre
50 Ω	sorti GBF
10 M Ω	entrée voltmètre ou oscilloscope

3 Générateurs

a. Générateurs de tension, représentation de Thévenin.

DÉFINITION

Une source idéale de tension impose à ses bornes une tension E_0 appelée **force électromotrice (f.é.m.)** indépendante du courant qui la traverse.

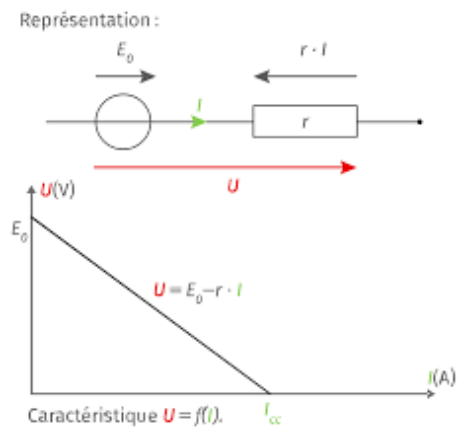


Une source idéale de tension n'existe pas. Les générateurs de tension réel peuvent être modélisés par le **modèle de Thévenin** qui associe **en série** une source idéale de tension de f.é.m E_0 à un résistor de résistance r .

Du fait de la loi d'additivité des tensions, la tension U aux bornes d'un générateur de Thévenin parcouru par un courant I est $U = E_0 - rI$.

La **force électromotrice** E_0 est la tension à vide, la tension quand aucun courant n'est débité.

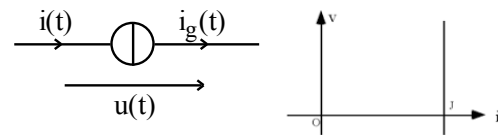
A cause de la **résistance interne** r du générateur, plus le courant délivré est fort, plus la tension du générateur chute.



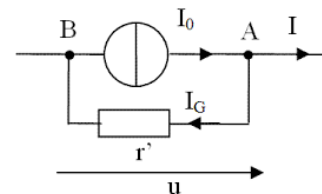
b. Générateurs de courant, équivalence

DÉFINITION

Une source idéale de courant délivre un courant i_g appelé courant électromoteur, indépendant de la tension à ses bornes.



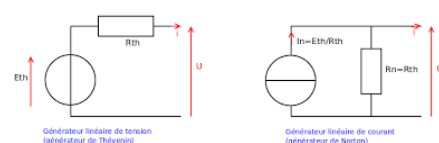
Comme précédemment, une source de courant idéale n'existe pas, on modélise les générateurs de courant réel comme l'association en parallèle d'une source de courant idéale de courant i et un résistor de résistance R_g . C'est le **modèle de Norton**.



PROPRIÉTÉ

Les représentations des générateurs réels sont équivalentes. Un générateur réel peut toujours être modélisé par un générateur de Thévenin.

Les modèles de Thévenin et de Norton sont équivalents si les résistances internes sont égales : $r_g = R_g$ et si la fem e et le courant électromoteur i sont reliés par la loi d'Ohm : $e = r_g \times i$

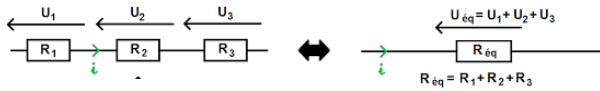


V Associations de résistances

1 en série

PROPRIÉTÉ

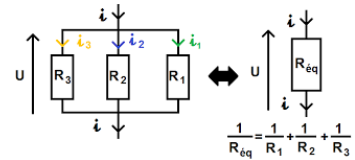
En **série** les **résistances s'ajoutent**, quelque soit leur nombre.



2 en parallèle

PROPRIÉTÉ

En **parallèle** les **conductances s'ajoutent**, quelque soit leur nombre.



VI Lois des circuits électrique linéaires

Un circuit électrique linéaire est un circuit ne comportant que des dipôles linéaires des des sources de courant ou de tension idéales.

1 Les ponts diviseur de tensions

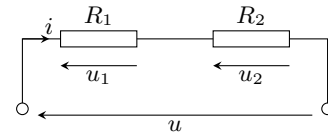
PROPRIÉTÉ

La loi du pont diviseur de tension :

On considère deux résistances R_1 et R_2 en série et on connaît la tension u aux bornes de la résistance équivalente $R_1 + R_2$.

La tension U_1 aux bornes de la résistance R_1 vaut

$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u$$



MÉTHODE

Appliquer le pont diviseur de tension

1. Reconnaître un pont diviseur de tension : 2 résistances en série et on souhaite déterminer la tension aux bornes de l'une d'elle ;
2. Nommer la tension que l'on cherche à déterminer et la tension aux bornes de l'ensemble des 2 résistances ;
3. Ecrire la relation du pont diviseur de tension, en faisant attention aux sens des tensions et donc de leurs signes.

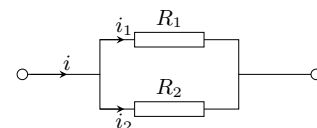
2 Les ponts diviseur de courant

PROPRIÉTÉ

La loi du pont diviseur de courant :

On considère deux résistances R_1 et R_2 en parallèle et on connaît le courant i arrivant sur le nœud. Le courant i_1 traversant R_1 vaut

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i$$



MÉTHODE

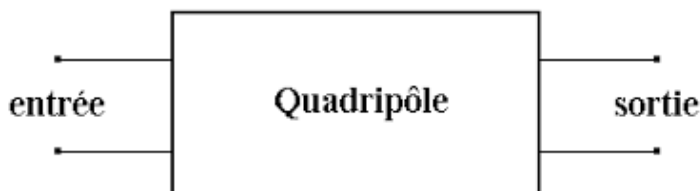
Appliquer le pont diviseur de courant

1. Reconnaître un pont diviseur de courant : 2 résistances en parallèle et on souhaite déterminer l'intensité du courant traversant l'une d'elle ;
2. Nommer l'intensité que l'on cherche à déterminer et l'intensité qui arrive sur l'association des 2 résistances ;
3. Ecrire la relation du pont diviseur de courant, en faisant attention aux sens des intensités et donc de leurs signes.

3 Quadripôle

DÉFINITION

- un quadripôle est un circuit électrique relié à l'extérieur par quatre bornes : 2 entrées et 2 sorties :

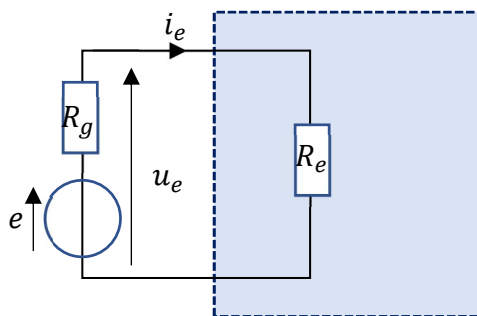


4 maille d'entrée

$$R_e = \frac{u_e}{i_e}$$

$$u_e = \frac{R_e}{r + R_e} e$$

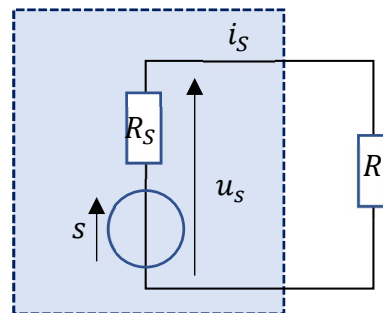
Donc si $R_e \gg r$, $u_e = e$



5 maille de sortie

$$u_s = \frac{R}{R + r_s} s < s$$

Donc si $R \gg r_s$, alors $u_s = s$: la tension de sortie mesurée en sortie d'un quadripôle branché sur un dipôle ohmique est égale à la tension à vide si la résistance branchée est très supérieure à la résistance de sortie du quadripôle



6 Résistance de sortie d'un générateur, et d'entrée d'un voltmètre

Ordre de grandeur des résistances de sortie d'une GBF et d'entrée d'un voltmètre ou un oscilloscope :

résistance	valeur
sortie d'un GBF	50 Ω
entrée d'un voltmètre ou d'un oscilloscope	> 10 M Ω