

Circuits électriques dans l'ARQS

Plan du cours

1. Les grandeurs électriques	1
1.1. Intensité du courant électrique	1
1.2. Tension électrique	2
1.3. Puissance électrique	2
2. Circuit électrique	2
2.1. Approximation des régimes quasi-stationnaires	2
2.2. Vocabulaire de base pour la description d'un circuit.....	3
2.3. Lois de Kirchhoff	3
3. Dipôles	4
3.1. Convention récepteur ou générateur.....	4
3.2. Caractéristique statique	4
3.3. Récepteurs usuels	4
3.4. Générateurs usuels.....	5
3.5. Aspects énergétiques.....	5
4. Outils pour l'étude des circuits	6
4.1. Association de conducteurs ohmiques en série.....	6
4.2. Association de conducteurs ohmiques en parallèle.....	6
4.3. Résistance équivalente d'un circuit	7
4.4. Point de fonctionnement d'un circuit.....	7

Pour aller plus loin : <https://femto-physique.fr/electrocinetique/pdf/cours-electrocinetique.pdf>

1. Les grandeurs électriques

1.1. Intensité du courant électrique

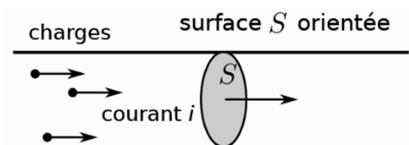
Définition : Courant et Intensité du courant

Le **courant électrique** représente le déplacement d'ensemble de particules chargées.

L'**intensité** i du courant électrique est définie comme le **débit de charges** à travers une section (S) du conducteur.

C'est la charge algébrique dq qui traverse la section pendant l'intervalle de temps dt :

$$i = \frac{dq}{dt}$$



Elle s'exprime en ampère (A), qui correspondent à des coulombs par seconde ($C \cdot s^{-1}$).

Elle est mesurée par un ampèremètre placé en série dans le circuit.

Dans un métal : déplacement des électrons libres, de charge $-e = -1,6 \cdot 10^{-19} C$.

Dans une solution électrolytique : déplacement des ions en solution, dont la charge (positive ou négative) est forcément un multiple entier de e .

On parle de **quantification de la charge**

Convention : Sens du courant électrique

Par convention, le **sens réel** du courant est le sens de **déplacement des charges positives**.

Dans un conducteur métallique, le courant électrique correspond seulement à un déplacement d'électrons. Le sens de déplacement des électrons est alors opposé au sens du courant électrique.

L'intensité est une grandeur algébrique. Après avoir défini un sens du courant, on compte :

- *positivement* les charges positives traversant (S) dans le sens du courant.
- *négativement* les charges négatives traversant (S) dans le sens du courant.
- *positivement* les charges négatives traversant (S) dans le sens opposé au courant.
- *négativement* les charges positives traversant (S) dans le sens opposé au courant.

Ordres de grandeur :

- En électronique : quelques mA
- Démarreur automobile : 100 A
- Foudre : $5 \cdot 10^4$ A
- Appareils ménagers : quelques A
- Lignes à haute tension : 500 A

1.2. Tension électrique

Définition : Potentiel électrique

On associe au mouvement des charges, sous l'action des forces électrostatiques, une énergie potentielle électrique :

$$\mathcal{E}_{p_{elec}}(M) = q \cdot V(M)$$

où q est la charge et $V(M)$ est appelé **potentiel électrique** au point M .

- Le potentiel V est défini en chaque point d'un circuit.
- Il s'exprime en volt (V).
- Il est défini à une constante additive près. Par convention, la **masse** est l'endroit où $V = 0$.

Les charges positives tendent naturellement à se déplacer vers les minimums d'énergie potentielle. Elles se déplacent donc dans le sens des potentiels électriques décroissant. Le courant circule donc dans le sens des potentiels décroissants.

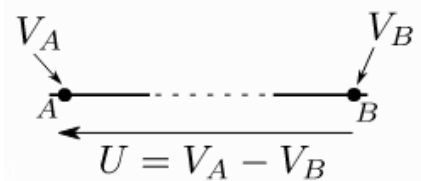
Définition : Tension

La **tension** U est définie entre deux points A et B comme la différence de potentiel entre ces deux points :

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

Elle s'exprime en volt (V).

Elle est mesurée par un voltmètre placé en parallèle.



Ordres de grandeur – Tensions continues :

- Appareils nomades : quelques Volts (les piles AA fournissent une tension de 1,5 V).
- Alimentation du métro parisien : 750V
- Tension nuage-terre lors d'un orage : supérieur à 10^9 V

Ordres de grandeur – Tensions alternatives :

- Prises secteur : 220V de tension efficace
- Ligne TGV : 25 kV de tension efficace
- Lignes à haute tension : 150~500 kV de tension efficace

1.3. Puissance électrique

Définition : Puissance électrique

La **puissance électrique** \mathcal{P}_{elec} est le taux, par unité de temps, auquel l'énergie électrique \mathcal{E}_{elec} est transférée par un circuit électrique : $\mathcal{P}_{elec} = \frac{d\mathcal{E}_{elec}}{dt}$.

Elle s'exprime en watt (W), équivalent à des $J \cdot s^{-1}$.

Elle dépend de la tension u et de l'intensité du courant électrique selon la relation suivante i :

$$\mathcal{P}_{elec} = u \cdot i$$

Le signe de la puissance donne le sens de transfert de l'énergie (voir convention récepteur et générateur).

L'énergie électrique transférée vaut $\mathcal{E}_{elec} = \int_0^t \mathcal{P}_{elec} \cdot dt$ qui pour une puissance constante se simplifie en $\mathcal{E}_{elec} = \mathcal{P}_{elec} \cdot \Delta t$

2. Circuit électrique

2.1. Approximation des régimes quasi-stationnaires

Définition : Régime stationnaire

On dit qu'un système physique est en **régime stationnaire** si les différentes grandeurs décrivant le système (tensions et courants dans le cas d'un circuit électrique) sont **indépendantes du temps**.

Le courant électrique et le potentiel ne se propagent pas instantanément dans les conducteurs mais à la vitesse de la lumière dans le vide $c = 3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹. Cela complique *a priori* l'étude des circuits électriques : pour un courant variable, cela signifie que le courant n'est pas la même en tout point d'un fil électrique à un instant donné. Pour travailler dans les conditions d'un régime « quasi-stationnaire », on va se placer dans des conditions permettant de négliger le terme de retard dû à la propagation de la perturbation, c'est-à-dire une perturbation qui se propagerait quasi-instantanément dans le circuit.

Théorème : ARQS : Approximation des régimes quasi-stationnaires

Lorsque le temps caractéristique T d'évolution de l'intensité (par exemple la période du signal) et la dimension caractéristique d du circuit respectent la condition $d \ll c.T$, le temps de propagation des variations de courant est négligeable.

Le circuit fonctionne alors dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires, on considérera qu'à tout instant :

- l'intensité du courant i est la même en tout point d'un fil ;
- le potentiel électrique V est le même en tout point d'un fil.

2.2. Vocabulaire de base pour la description d'un circuit

Un **circuit électrique** est un ensemble de conducteurs reliés entre eux par des fils de jonction et dans lequel circule un courant électrique.

Définitions :

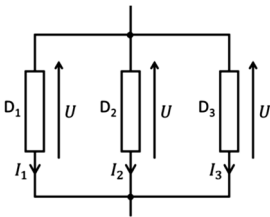
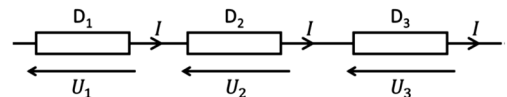
Dipôle : Composant électrique connecté au reste du circuit par deux bornes.

Nœud : Un nœud est un point commun à plus de deux dipôles.

Branche : Une branche est une portion de circuit électrique située entre deux nœuds consécutifs

Maille : Une maille est un chemin fermé, dans un circuit électrique, le long duquel toutes les tensions sont annotées.

En série : Plusieurs dipôles sont dits « en série » lorsqu'ils sont parcourus par un même courant.



En parallèle : Plusieurs dipôles sont dits « en parallèle » lorsqu'ils présentent la même tension à leurs bornes.

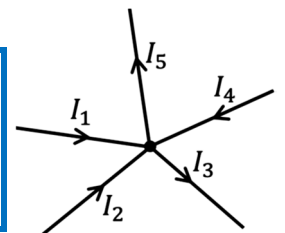
2.3. Lois de Kirchhoff

2.3.1. Loi des nœuds

Théorème : Loi des nœuds

La somme des courants arrivant à un nœud est égale à la somme des courants qui en partent.

Dans l'ARQS, il n'y a ni accumulation ni disparition de charge : il y a **conservation de la charge**. La **loi des nœuds** traduit la loi de conservation de la charge.

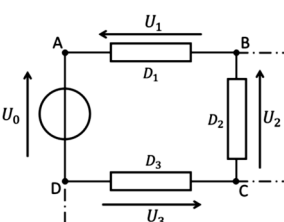


2.3.2. Loi des mailles

Théorème : Loi des mailles

On choisit arbitrairement un sens de parcours (sens horaire ou anti-horaire).

La somme des tensions aux bornes des dipôles d'une maille est nulle :



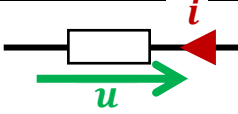
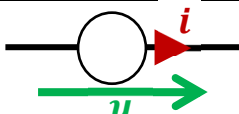
$$\sum_{\text{le long de la maille}} \epsilon_k \cdot U_k = 0$$

avec :
 $\epsilon_k = +1$ si la tension est fléchée dans le sens défini positif pour la maille,
 $\epsilon_k = -1$ si la tension est fléchée en sens opposé.

La loi des mailles peut être vue comme une relation de Chasles.

3. Dipôles

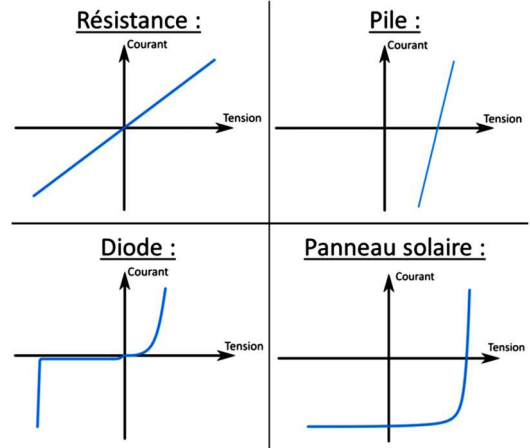
3.1. Convention récepteur ou générateur

Convention récepteur	Convention générateur
 <p>Avec cette convention, la tension u et le courant i sont supposés de sens opposés : si ces deux grandeurs sont positives alors la puissance électrique est reçue par le composant.</p>	 <p>Avec cette convention, la tension u et le courant i sont supposés de même sens : si ces deux grandeurs sont positives alors la puissance électrique est fournie par le composant.</p>

3.2. Caractéristique statique

Définition : Caractéristique statique d'un dipôle

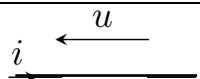
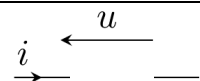
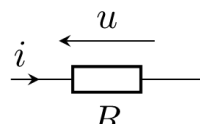
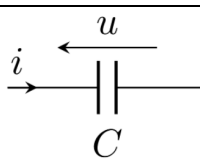
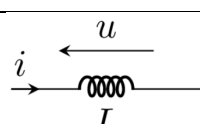
La caractéristique statique tension-courant d'un dipôle s'obtient en relevant l'ensemble des points ($U ; I$) de fonctionnement statique. Pour la tracer, on fait varier « très lentement » la valeur de la tension aux bornes du dipôle et on relève les valeurs du courant le traversant.



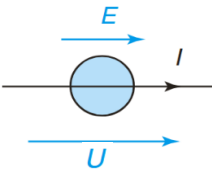
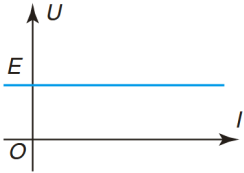
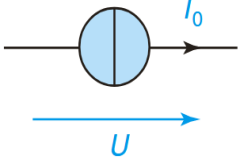
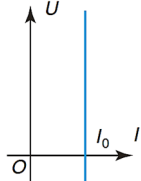
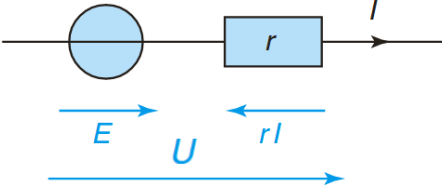
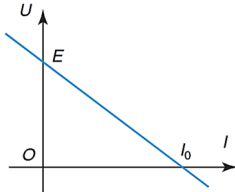
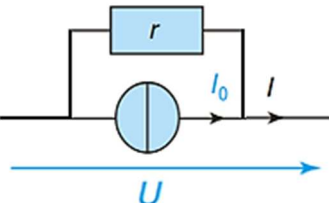
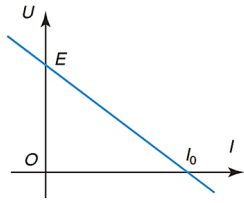
Définitions : Classification des dipôles

- Les **dipôles passifs** sont tels que leur caractéristique courant-tension passe par l'origine : la tension à leurs bornes est nulle lorsqu'aucun courant ne les traverse. Dans le cas contraire ils sont dits « **actifs** ».
- Les caractéristiques courant-tension des **dipôles linéaires** sont des droites. Les autres dipôles sont dits « **non-linéaires** ».

3.3. Récepteurs usuels

Dipôle	Schéma	Loi de comportement	Grandeur associée (et unité)	Ordre de grandeur en TP
Fil		$u = 0$	Résistance nulle $R = 0 \Omega$	
Circuit ouvert		$i = 0$	Résistance infinie $R = \infty \Omega$	
Conducteur ohmique		Loi d'Ohm $u = R \cdot i$	Résistance R en ohm (Ω)	1Ω à plusieurs $M\Omega$
Condensateur		$i = C \cdot \frac{du}{dt}$ <small>Soit Q la charge électrique stockée sur l'armature : $Q = C \cdot u$</small>	Capacité C en farad (F)	100 nF à 100 mF
Bobine		$u = L \cdot \frac{di}{dt}$	(auto-)inductance L en henry (H)	1 mH à 1 H

3.4. Générateurs usuels

Type de générateur	Schéma	Caractéristique
Source idéale de tension		
Source idéale de courant		
Source réelle (modèle de Thévenin)		
Source réelle (modèle de Norton)		

Modèle : Modèle de Thévenin

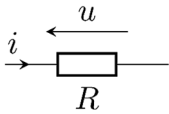
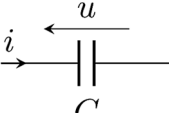
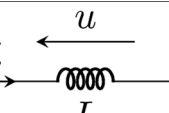
Tout réseau électrique linéaire (constitué de générateurs parfaits et de résistances) compris entre 2 points peut être remplacé par une **source idéale de tension** associée à une **résistance câblée en série**. Ce montage est appelé « **Modèle de Thévenin** ».

La tension U aux bornes du générateur de Thévenin vaut (voir schéma ci-dessus) :

$$U = E - r \cdot I$$

- La force électromotrice E de la source idéale est égale à la différence de potentiels à vide (pas de charge) entre les deux points considérés,
- La résistance de Thévenin r est égale à celle que l'on mesure entre les deux points lorsque les générateurs indépendants compris dans le circuit sont rendus passifs (source de tension \rightarrow fil et source de courant \rightarrow circuit ouvert).

3.5. Aspects énergétiques

Dipôle	Schéma	Puissance consommée	Energie stockée
Conducteur ohmique		<u>Effet Joule</u> $\mathcal{P}_J = R \cdot i^2$	<u>Effet Joule</u> Dissipée sous forme de chaleur
Condensateur parfait		$\mathcal{P} = u \cdot i$	$\mathcal{E}_{\text{stocké}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$
Bobine parfaite		$\mathcal{P} = u \cdot i$	$\mathcal{E}_{\text{stocké}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$

4. Outils pour l'étude des circuits

4.1. Association de conducteurs ohmiques en série

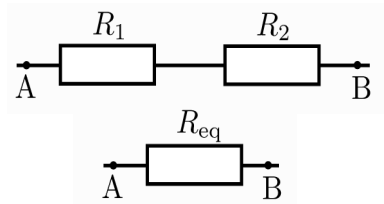
4.1.1. Résistance équivalente

Propriété : Association en série de résistances

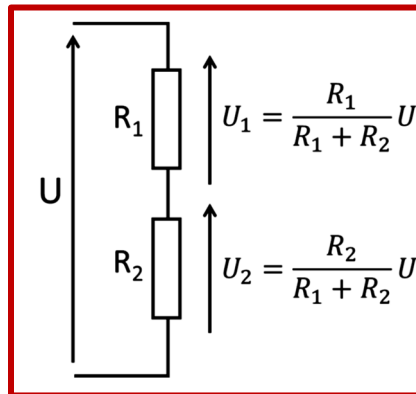
Deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 placés **en série** sont équivalents à un conducteur ohmique de résistance R_{eq} valant :

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Pour n résistances en série : $R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$



4.1.2. Pont diviseur de tension



4.2. Association de conducteurs ohmiques en parallèle

4.2.1. Résistance équivalente

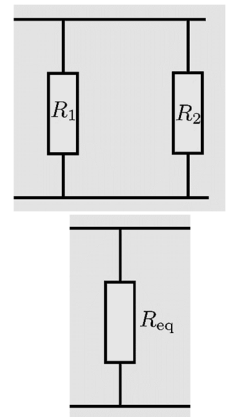
Propriété : Association en parallèle de résistances

Deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 placés **en parallèle** (on dit également **en dérivation**) sont équivalents à un conducteur ohmique de résistance R_{eq} donnée par :

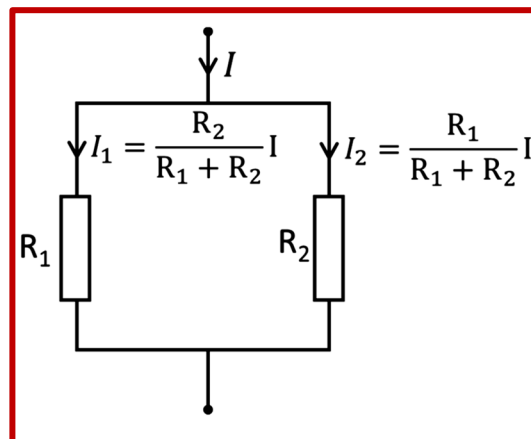
$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Pour n résistances en parallèle :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$



4.2.2. Pont diviseur de courant



4.3. Résistance équivalente d'un circuit

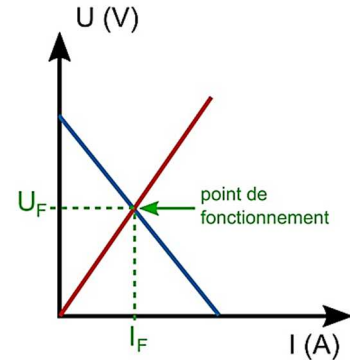
Méthode : Déterminer la résistance équivalente d'un circuit

1. Déterminer la résistance équivalente **de chaque branche** du circuit à l'aide de la règle concernant l'association **en série** de résistances.
2. Regrouper alors les branches en parallèles grâce à la règle concernant l'association **en parallèle** de résistances.
3. Si le circuit ne se réduit pas à une seule résistance équivalente, recommencer à l'étape 1 en utilisant le circuit simplifié.

4.4. Point de fonctionnement d'un circuit

Définition : Point de fonctionnement

Le **point de fonctionnement** d'un circuit contenant un générateur et un récepteur correspond à la tension U_F et à l'intensité I_F aux bornes de chacun des deux dipôles. Il s'agit des coordonnées du point d'intersection des caractéristiques statiques de ces dipôles.



AU PROGRAMME

Notions et contenus	Capacités exigibles	Dans les exercices
Charge électrique, intensité du courant. Potentiel, référence de potentiel, tension. Puissance.	<ul style="list-style-type: none"> Justifier que l'utilisation de grandeurs électriques continues est compatible avec la quantification de la charge électrique. Exprimer l'intensité du 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 grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application. 	
Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser les relations entre l'intensité et la tension. Citer des ordres de grandeurs des composants R, L, C. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine. Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin. 	
Association de deux résistances.	<ul style="list-style-type: none"> Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations des diviseurs de tension ou de courant. 	
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	<ul style="list-style-type: none"> Évaluer une résistance d'entrée ou de sortie à l'aide d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit. Étudier l'influence des résistances d'entrée ou de sortie sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre. 	