

Circuits dans l'ARQS

Ce qu'il faut connaître

- Quelle est la relation entre le courant i et la charge q ? Si le courant dans un fil est positif, cela signifie que les électrons se déplacent dans quel sens? (faire un exemple sur un schéma)
- Savoir que le potentiel V est défini en un point du circuit.
- Quelle est la relation entre la tension aux bornes d'un dipôle et le potentiel de chaque borne? (faire un exemple sur un schéma)
- Qu'est-ce que la masse d'un circuit?
- Quelles sont les unités de la charge, du courant, de la tension?
- Avec quel appareil mesure-t-on une tension? un courant? Comment doivent-ils être branchés dans le circuit? (faire un schéma de mesure de U aux bornes d'une résistance, et un schéma de mesure de I traversant une résistance)
- Comment s'écrit la loi des mailles, des noeuds? (les illustrer par un exemple)
- Savoir que la loi des noeuds provient de la conservation de la charge.
- Schématiser un dipôle en convention récepteur; comment s'exprime la puissance qu'il reçoit?
- Schématiser un dipôle en convention générateur; comment s'exprime la puissance qu'il cède au reste du circuit?
- Quelle est la relation générale entre la puissance et l'énergie?
- Quelle est la loi de comportement (relation entre u et i) d'une résistance lorsqu'elle est en convention récepteur? et en convention générateur?
- Quelle est l'expression de la puissance reçue par une résistance (conv. récepteur)? Savoir que cette puissance est dissipée par effet Joule sous forme de chaleur.
- Quel est le schéma pour une source de tension idéale? et une source de courant idéale?
- Comment modéliser une source de tension réelle (à l'aide de la représentation de Thévenin)? Faire un schéma et donner la relation entre la tension totale U , la tension E de la source idéale, la résistance interne r et le courant débité I .
- Comment doit-être la résistance d'entrée d'un appareil de mesure de tension?

Ce qu'il faut savoir faire

- Utiliser la relation entre courant et charge.
- On considère un fil parcouru par un courant $I = 1$ A. Quelle est la charge débitée par ce fil pendant un temps $t = 10$ s? A combien d'électrons ceci correspond-t-il? (on donne $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)
- Étant donné un circuit de taille typique L et des signaux de fréquence f , comment s'écrit la condition pour être dans le cadre de l'ARQS?
- Appliquer la loi des noeuds, la loi des mailles.
- Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.
- Utiliser les relations des diviseurs de courant et de tension.

Exercices de cours

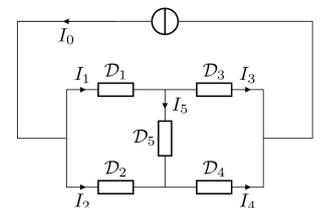
EC1 - Domaine d'application de l'ARQS

- 1 - Rappeler la fréquence de la tension délivrée par EDF sur le réseau électrique. Une ligne électrique de 300 km peut-elle être étudiée dans le cadre de l'ARQS?
- 2 - On considère un circuit électrique étudié en TP. La longueur des fils du circuit est d'un mètre environ. Quelle est la condition sur la fréquence des signaux pour que l'on soit dans l'ARQS?

EC2 - Appliquer la loi des noeuds

Dans le circuit ci-contre, des ampèremètres permettent de mesurer $I_0 = 4$ A, $I_1 = 1$ A et $I_4 = 2$ A.

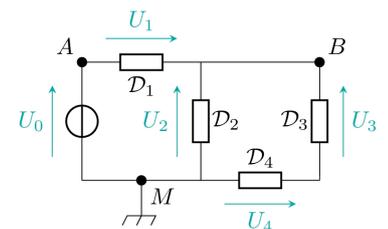
- 1 - Comment faut-il placer les ampèremètres pour effectuer les mesures?
- 2 - Déterminer les intensités I_2, I_3 et I_5 .



EC3 - Appliquer la loi des mailles

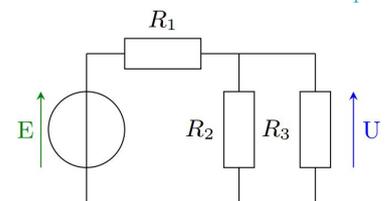
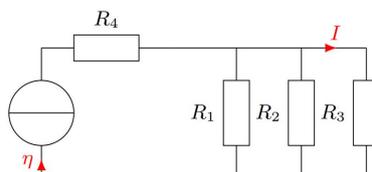
Dans le circuit ci-contre, des voltmètres permettent de mesurer $U_0 = 5$ V, $U_2 = 1$ V et $U_3 = 3$ V.

- 1 - Comment faut-il placer les voltmètres pour effectuer les mesures?
- 2 - Déterminer les tensions U_1, U_4 .
- 3 - Déterminer les valeurs des potentiels aux points A et B.



EC4 - Diviseurs

Déterminer U et I dans les circuits suivants :

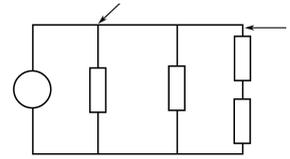


I. Circuits électriques et grandeurs électriques

1. Vocabulaire des circuits

Compléter avec "branche", "nœud", "maille".

- ⎧ Nœud : au moins trois fils
- ⎧ Branche : portion entre deux nœuds
- ⎧ Maille : on part d'un point et on y revient
- ⎧ Dipôle : possède deux bornes



2. Charge électrique

- Charge électrique : unité = le coulomb (C).

- Particules chargées :

- protons, charge $q = +e$, avec $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ charge élémentaire.
- électrons, charge $q = -e$
- Les ions. Ex. : Fe^{2+} , $q = +2e$; MnO_4^- , $q = -e$

Toute charge libre est un multiple entier de e : la charge est **quantifiée**.

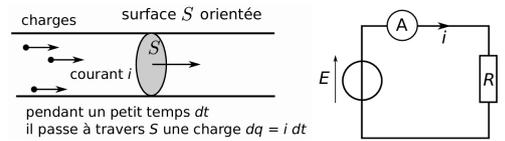
3. Intensité et tension

Courant électrique - intensité

Le courant électrique est un déplacement de charges électriques, d'intensité :

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

Mesure du courant : on utilise un **ampèremètre**, placé **en série** dans le circuit.

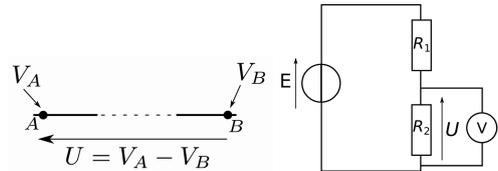


Potentiel V - tension U

Le potentiel est une grandeur liée au champ électrique (cf programme de 2^e année) et à l'énergie des charges (cf chapitre mécanique). Les charges sont mises en mouvement par des différences de potentiel.

- Le potentiel V est défini en un point du circuit, il s'exprime en volt.
- Il est identique en tout point d'un fil idéal.
- Il est défini à une constante additive près. Par convention, la masse est l'endroit où $V = 0$.
- La **tension** U est définie entre deux points **A** et **B** : c'est la différence de potentiel entre ces deux points.

Mesure de la tension : on utilise un voltmètre, placé en parallèle.



Remarque : on peut établir une analogie entre circuit électrique et circuit hydraulique, le second permettant de mieux comprendre le fonctionnement du premier.

Dans la partie gauche du schéma, le débit d'eau à la sortie est d'autant plus élevé que la dénivellation $h = Z_A - Z_B$ est grande.

Aux altitudes Z_A et Z_B correspondent les potentiels V_A et V_B ; la différence de potentiel $u = V_A - V_B$ correspond à la dénivellation $h = Z_A - Z_B$.

Le débit Q et l'intensité I sont deux conséquences analogues de l'existence de h et de u .

Cette analogie montre aussi une chose : l'altitude Z_B n'a pas d'importance et peut être prise à zéro. Il en est de même pour les potentiels : ce sont les différences qui sont importantes, et non les potentiels eux-mêmes; le potentiel le plus bas peut donc être choisi égal à zéro, c'est la masse du circuit.

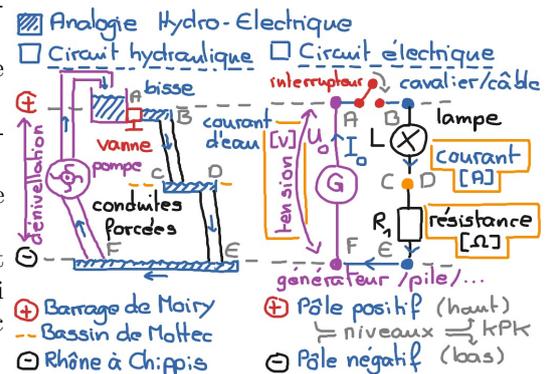
- Ordres de grandeur

Type de circuit	Ordre de grandeur du courant	Ordre de grandeur de la tension
Circuit faible puissance (TP, circuit de commande)	1 à 100 mA	1 mV à 10 V
Réseau domestique habitation	1 à 10 A	220 V (valeur efficace)
Ligne haute tension	kA	100 à 1000 kV

Remarque : Les répercussions sur le corps humain sont liées au courant le traversant : le seuil létal est de 40 mA pendant 3 s.

4. Approximation des régimes quasi-stationnaires

Dans un fil, il y a propagation du courant et de la tension sous forme d'ondes $i(x, t)$ et $u(x, t)$, à la vitesse de la lumière $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.
→ compliqué!



ARQS

L'ARQS (Quasi-stationnaire = presque stationnaire = variant très lentement) consiste à négliger les phénomènes de propagation.

- Soit T le temps de variation de la source (ex : le GBF délivre $e(t) = E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$).

- Soit τ le temps de propagation de i et de u dans le circuit. \Rightarrow L'ARQS est valide si $\tau \ll T$ (propagation instantanée).

Or

On se placera toujours dans l'hypothèse de l'ARQS. \rightsquigarrow EC1.

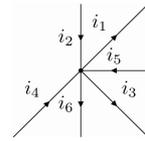
II. Lois fondamentales (de Kirchhoff)

Loi des nœuds

En un point quelconque d'un circuit, la somme des courants qui arrivent est égale à la somme des courants qui repartent.

Par exemple dans le cas ci-contre, on a :

(Elle traduit la conservation de la charge électrique, qui ne peut être ni créée ni détruite)

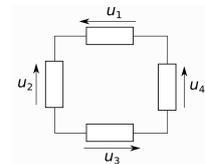


Loi des mailles

La somme des tensions (comptées algébriquement) rencontrées dans une maille est nulle.

Par exemple dans le cas ci-contre, on a :

(Elle découle de l'existence du potentiel électrique)



III. Dipôles passifs et sources

1. Convention générateur ou récepteur, puissance

Convention récepteur	Convention générateur
$\mathcal{P}_r = u \times i$	$\mathcal{P}_e = u \times i$
est la puissance reçue par le dipôle. (elle provient des charges qui le traversent)	est la puissance émise par le dipôle. (elle est cédée aux charges qui le traversent)
- Si $\mathcal{P}_r > 0$, le dipôle reçoit effectivement de la puissance - Si $\mathcal{P}_r < 0$, le dipôle émet en fait une puissance $-\mathcal{P}_r$	- Si $\mathcal{P}_e > 0$, le dipôle émet effectivement de la puissance - Si $\mathcal{P}_e < 0$, le dipôle reçoit en fait une puissance $-\mathcal{P}_e$

2. Puissance, Énergie

Rappelez l'unité de l'énergie, celle de la puissance, et le lien entre les deux :

3. Exemples de dipôles

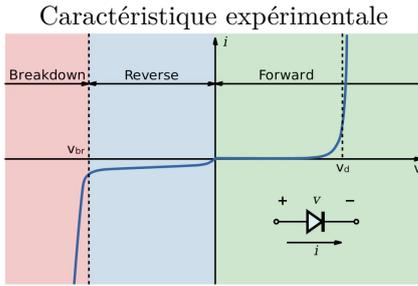
\Rightarrow **Caractéristique d'un dipôle** : on représente $I=f(U)$ (Attention au choix de la convention !)

Dipôle	Schéma	Caractéristique	Puissance
Interrupteur ouvert			
Interrupteur fermé (ou fil)			
Générateur idéal de tension			

Générateur idéal de courant			
Résistance (conducteur ohmique)			
Générateur réel, modèle de Thevenin			

Remarque : Source idéale de $\begin{cases} \text{tension} \Rightarrow \text{Le courant est inconnu (il dépend du reste du circuit)} \\ \text{courant} \Rightarrow \text{La tension est inconnue (elle dépend du reste du circuit)}. \end{cases}$

Exemple de dipôle non linéaire : la diode (pas à apprendre) :

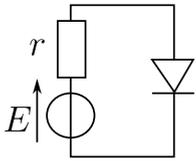


	Caractéristique idéalisée avec seuil	Caractéristique idéalisée sans seuil
Caractéristique		
Schéma équivalent diode passante		
Schéma équivalent diode bloquée		

4. Point de fonctionnement

Soit un dipôle (ou une association de dipôles) de caractéristique $i = f(u)$ connue (en convention récepteur), relié à un générateur de Thevenin $u = E - R_T i$ (convention générateur).

On appelle point de fonctionnement du circuit le couple (u, i) valeurs de la tension aux bornes du circuit et de l'intensité le traversant. On peut déterminer ce point graphiquement en superposant les deux caractéristiques. Prenons l'exemple d'une diode :



IV. Outils d'étude des circuits (A SAVOIR et SAVOIR UTILISER !)

Règles de base :

- Ne JAMAIS se lancer tête baissée dans lois des mailles et lois des nœuds, en couvrant les dessins de courants et tensions inconnus.
- Pour appliquer Kirchoff, il est préférable de minimiser le nombre d'inconnues DIRECTEMENT, SUR LE DESSIN, en faisant de tête lois des mailles et lois des nœuds. D'où l'intérêt de faire des GRANDS dessins propres (à main levée !)
- Chercher à appliquer les méthodes suivantes (classées par importance/utilité) peut être utile....

1. Association de résistances

Association de résistances

- En série, on somme les résistances :

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- En parallèle, ce sont les inverses qui s'ajoutent :

$$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Pour deux résistances on a donc $R_{\text{éq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$,

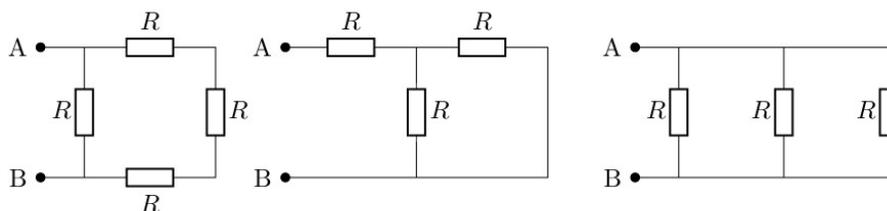
mais attention sous cette forme la formule n'est valable que pour deux résistances (pour trois on n'a pas $R_1 R_2 R_3 / (R_1 + R_2 + R_3)$, ce n'est même pas homogène!).

Si vous vous posez des questions :

- deux dipôles en série sont parcourus par le même courant

- deux dipôles en parallèles ont leurs quatre bornes reliées 2 à 2 par des fils (on peut "colorier" les fils si besoin). Ils sont alors soumis à la même tension.

Exemple : Calculer R_{AB} dans les 3 cas suivants :

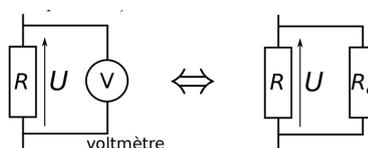
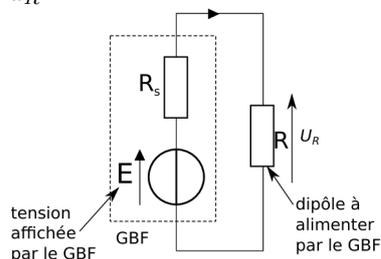


2. Diviseurs de tension et de courant : A reconnaître absolument !

3. Application : Résistances d'entrée d'un voltmètre et de sortie d'un générateur

Exprimer u_R en fonction de E . Sous quelle condition a-t-on $u_R \simeq E$?

Ci-dessous, exprimer la résistance équivalente à R et R_e .
À quelle condition est-elle environ égale à R (donc circuit non perturbé) ?

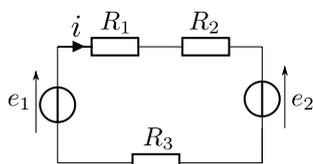


A retenir

- La **résistance de sortie** d'une source de tension n'est pas nulle (50Ω pour un GBF). On peut l'ignorer si elle est **petite** devant la résistance équivalente du circuit qu'elle alimente.
 - La **résistance d'entrée** d'un appareil de mesure de tension doit être **grande** devant la résistance équivalente du circuit auquel il est branché.
- Pour un voltmètre : $R_e \simeq 10M\Omega$, pour un oscilloscope : $R_e \simeq 1M\Omega$.

4. Loi de Pouillet

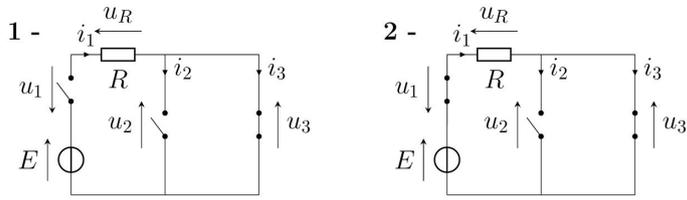
Calculer i dans le circuit suivant :



Généralisation : Dans un circuit à une maille ne comportant que des sources de tension et des résistors, le courant vaut

$$I = \frac{\sum \pm e}{\sum R}$$

Exemple : Dans chaque cas, exprimer toutes les tensions et intensités en fonction des résistances et de E si besoin.

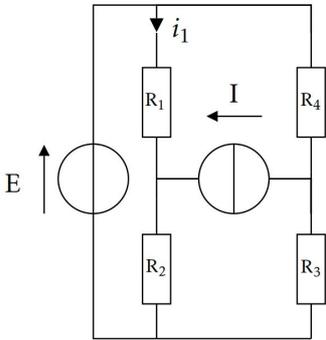


5. Théorème de superposition

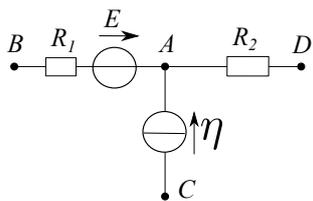
Dans un circuit linéaire à plusieurs générateurs, les tensions et courants inconnus sont la somme des solutions trouvées en ne considérant qu'un générateur à la fois. Méthode :

A l'exception de la source considérée, remplacer chaque $\left\{ \begin{array}{l} \text{source de tension parfaite par un fil} \\ \text{source de courant par un interrupteur ouvert} \end{array} \right. \Leftrightarrow$ "On enlève les ronds".

Exemple : Peut-on identifier ici des associations série ou parallèle de résistances ? Déterminer i_1 par Kirchoff et le théorème de superposition.



6. Loi des noeuds en termes de potentiel (LNP)



Exemple : Exprimer le courant dans la résistance de droite avec Kirchoff, puis la LNP, puis enfin le théorème de superposition.

