

**Ordres de grandeur à retenir :**

- ☞ charge élémentaire :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;
- ☞ courant électrique : domestique  $\sim \text{mA}$ , alimentation ferrovière 1000 A, fibrillation  $\sim 80 \text{ mA}$  ;
- ☞ tension électrique : appareils nomades quelques V, tension domestique 220 V, ligne haute tension 500 kV ;
- ☞ résistances : de l'ordre du  $\text{k}\Omega$  en TP ; sortie d'un GBF  $\sim 50 \Omega$  ; entrée d'un oscilloscope :  $\sim 1 \text{ M}\Omega$  ; voltmètre numérique :  $\sim 10 \text{ M}\Omega$  ; ampèremètre numérique :  $\sim 10 \text{ A}$  ;

**I] Circuits électriques, grandeurs électriques**

1. Vocabulaire

• **Dipôle** : composant électrique connecté au reste du circuit par deux bornes.

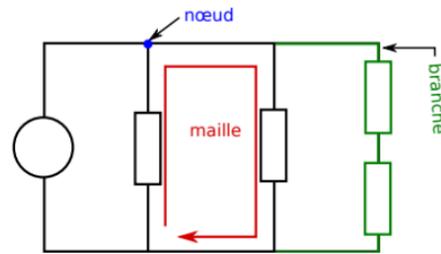
• **Nœud** : borne commune à plus de deux dipôles.

• **Branche** : portion d'un circuit entre deux nœuds consécutifs.

• **Maille** : parcours fermé, constitué de branches successives, qui ne passe qu'une seule fois par les nœuds rencontrés.

• **Dipôles en série** : ils appartiennent à une même branche, ils ne sont séparés par aucun nœud.

• **Dipôles en parallèle (ou en dérivation)** : les dipôles sont connectés aux deux mêmes nœuds



2. Intensité du courant électrique ★

**Exercice 2**

**Enoncé :**

1. Calculer l'intensité du courant électrique créé par un flux constant de  $1,0 \cdot 10^{20}$  électrons par seconde dans un circuit. On rappelle la valeur de la charge élémentaire  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .
2. Combien d'électrons traversent un fil parcouru par un courant d'intensité constante  $I = 1,0 \text{ A}$  pendant 1,0 minute ?

**Correction :**

1.  $I = \frac{N \times e}{dt} = \frac{1,0 \cdot 10^{20} \times 1,602 \cdot 10^{-19}}{1} = 1,602 \cdot 10^1 \text{ A}$

2. La quantité de charges totale traversant une section de fil pendant une durée  $\tau$  est  $Q = \int \delta q = \int_{t=0}^{t=\tau} I dt$ . Comme  $I$  est constante, alors  $Q = I \times \tau$ . Par ailleurs,  $Q = N' \times e$  soit finalement :

$$N' = \frac{I\tau}{e} \quad \text{A.N : } N' = \frac{1,0 \times 60}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,7 \cdot 10^{20} \text{ électrons}$$

Ce nombre considérable d'électrons justifie que l'on traite l'intensité (et plus généralement les grandeurs électriques) comme une grandeur continue du temps (les détecteur font des moyennes).

3. Tension électrique ★

4. Approximation des régimes quasi-stationnaire (ARQS)

Lors de l'allumage d'un générateur de tension branché dans un circuit, il y a propagation du courant et de la tension sous forme d'onde électrique ( $u(x, t)$ ,  $i(x, t)$ ) à une vitesse proche de celle de la lumière dans le vide  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ .

**L'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)** consiste à considérer que dans un circuit électrique, le **temps de propagation du signal est négligeable** (c'est-à-dire très faible) **devant le temps de variation caractéristique de ce signal**.

Exemple : Soient :

- $T$  le temps de variation d'une source de tension (ex :  $e(t) = E_0 \cos(\frac{2\pi}{T} t)$ )
- $\tau$  le temps de propagation de  $i$  et de  $u$  dans un circuit de longueur  $L$ .

L'ARQS est valide si  $\tau \ll T$  (propagation instantanée).

Or  $\tau = L/c$  et  $T = 1/f$ .

L'ARQS est valable si  $\frac{L}{c} \ll \frac{1}{f}$  soit  $f \ll \frac{c}{L}$

**Exercice 1**

**Enoncé** : Dans le circuit ci-dessous, quels sont les dipôles en série ? en parallèle ?

**Correction** : En série :  $D_1$  et  $D_2$  ;  $D_3$  et  $D_8$  . En parallèle :  $D_6$  et  $D_4$  .

**Exercice 3**

**Énoncé :**

- 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 ?
- 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 ?

**Correction :**

- EDF délivre une tension de 220 V avec une fréquence  $f = 50$  Hz. On est dans l'ARQS (donc on peut négliger les phénomènes de propagation) si  $L \ll \frac{c}{f}$ . Or ici  $c/f = 6000$  km, donc on est dans l'ARQS tant que  $L \ll 6000$  km. C'est bien le cas ici avec  $L = 300$  km.
- On est dans l'ARQS si  $f \ll \frac{c}{L}$ . Or ici  $c/L = 3 \times 10^8$  Hz = 300 MHz, donc on est dans l'ARQS tant que  $f \ll 300$  MHz.

**II] Lois de l'électrocinétique**

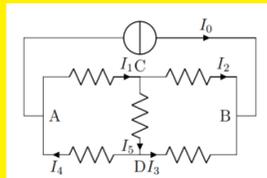
1. Loi des nœuds ★

**Savoir faire - Utiliser la loi des nœuds**

- Sur le schéma du circuit, placer une intensité dans chaque branche reliée au nœud étudié et les nommer ( $i_1, i_2, \dots$ ).
- Appliquer la loi des nœuds en mettant :
  - un  $\langle + \rangle$  devant les noms des intensités des courants qui arrivent au nœud ;
  - un  $\langle - \rangle$  devant les noms des intensités des courants qui partent du nœud.

**Exercice 4**

**Énoncé :** On considère le circuit ci-dessous constitué de dipôles inconnus.



Le symbole  est celui d'un générateur idéal de courant, qui délivre un courant d'intensité  $I_0$ . On donne  $I_0 = 4,0$  A ;  $I_1 = 1,0$  A et  $I_3 = 2,0$  A.

- Écrire la loi des nœuds en chacun des nœuds du circuit.
- En déduire la valeur de tous les courants inconnus.

**Correction :**

- $I_0 + I_2 + I_3 = 0$ ,  $I_5 = I_4 + I_3$ ,  $I_1 = I_5 + I_2$ ,  $I_4 = I_1 + I_0$
- $I_2 = -I_0 - I_3 = -6$  A,  $I_5 = I_1 - I_2 = 7$  A,  $I_4 = I_5 - I_3 = 5$  A

2. Lois des mailles

**Savoir - Loi des mailles**

**Loi des mailles :** Dans une **maille orientée**, la somme algébrique des tensions est nulle :

$$\sum \epsilon_k \cdot u_k = 0$$

avec  $\epsilon_k = +1$  si la tension  $u_k$  est dans le sens de parcours de la maille, et  $\epsilon_k = -1$  dans le cas contraire.

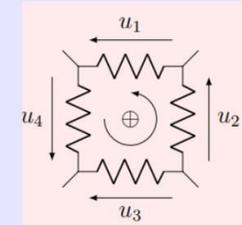


FIGURE 9 – Maille orientée

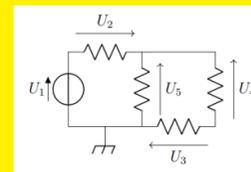
**Attention :** la valeur de  $\epsilon_k (\pm 1)$  n'est pas liée au signe de la tension  $u_k$  mais uniquement au sens de la flèche par rapport au sens de parcours de la maille.

**Savoir faire - Utiliser la loi des mailles**

- Sur le schéma du circuit, mettre une flèche orientée aux bornes de TOUS les dipôles présents et nommer les tensions.
- Orienter la maille dans un sens positif choisi et l'indiquer sur la maille étudiée.
- Appliquer la loi des mailles en mettant :
  - un  $\langle + \rangle$  devant les noms des tensions situées dans le sens positif choisi ;
  - un  $\langle - \rangle$  devant les noms des tensions situées dans le sens opposé au sens positif choisi.

**Exercice 5**

**Énoncé :** On donne  $U_1 = 2,0$  V ;  $U_2 = -3,0$  V ;  $U_3 = -5,0$  V .



- Écrire deux lois des mailles.
- Déterminer les tensions inconnues.

**Correction :**

- $U_1 + U_2 - U_5 = 0$ ,  $U_1 + U_2 - U_4 + U_3 = 0$ .
- $U_5 = -1$  V,  $U_4 = -6$  V.

**III] Dipôles linéaires en régime continu**

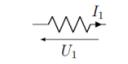
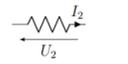
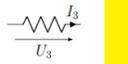
1. Vocabulaire

- On appelle **caractéristique** d'un dipôle la courbe représentant les variations de l'intensité le traversant en fonction de la tension à ses bornes. Tout point sur cette courbe correspond à un couple (I, U) possible pour ce dipôle.
- Un dipôle sera dit **actif** lorsque sa caractéristique ne passe pas par l'origine.
- Un dipôle sera dit **passif** si sa caractéristique passe par l'origine.
- Un dipôle sera dit **linéaire** si sa caractéristique est une droite ou si la relation qui lie l'intensité et la tension est une équation différentielle linéaire à coefficients constants (cf cours de maths et chapitres suivants) .

2. Convention générateur et récepteur ★

**Exercice 6**

**Énoncé :** Dans les trois cas suivants, déterminer la puissance reçue ou fournie par les dipôles et commenter le signe. On a  $I_1 = 5,0 \text{ mA}$ ;  $I_2 = -1,0 \text{ A}$ ;  $I_3 = 1,0 \text{ mA}$ ;  $U_1 = 5,0 \text{ V}$ ;  $U_2 = 7,0 \text{ V}$ ;  $U_3 = 10 \text{ V}$ .

**Correction :**  
 $p_{r1} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ W} \Rightarrow$  de la puissance est reçue;  $p_{r2} = -7 \text{ W} \Rightarrow$  de la puissance est cédée;  $p_{r3} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ W} \Rightarrow$  de la puissance est cédée.

3. Fil électrique

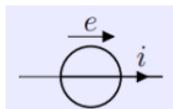
**Savoir - Intensité du courant et tension électrique aux bornes d'un fil**

- La tension électrique aux bornes d'un fil parfait (de résistance nulle) ou d'un interrupteur fermé est nulle.
- L'intensité du courant électrique à travers un interrupteur ouvert (symbole : ) est nulle.

4. Générateurs

**Source idéale de tension :**

Une source idéale de tension impose à ses bornes une tension  $e$  appelée force électromotrice indépendante du courant qui la traverse.



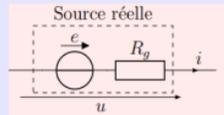
**Source réelle de tension :**

En pratique lorsqu'on relève la caractéristique courant-tension d'une source réelle de tension, on constate que la tension délivrée diminue lorsque l'intensité du courant débitée augmente.

**Savoir - Modèle de Thévenin d'une source de tension non idéale**

**Modèle de Thévenin d'une source non idéale de tension :** une source réelle de tension est modélisée par l'association série d'un générateur idéal de force électromotrice  $e$  (ou tension à vide) et d'une résistance  $R_g$ .

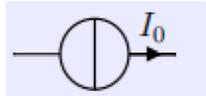
En convention générateur, la source réelle de tension est schématisée comme :



La relation courant/tension est :  $u = e - R_g \times i$

**Source idéale de courant :**

Une source idéale de courant délivre un courant d'intensité  $I_0$ , indépendante de la tension à ses bornes.



5. Conducteur ohmique (résistance) ★

**Exercice 7**

**Énoncé :** Les résistances sont souvent étudiées en convention récepteur. On note  $u$  la tension aux bornes de la résistance,  $i$  l'intensité du courant à travers.

1. Exprimer la puissance instantanée reçue par la résistance en fonction de  $R$  et de  $i$ , puis de  $R$  et de  $u$ .
2. Quel est le signe de cette puissance? La résistance reçoit-elle ou cède-t-elle réellement de la puissance au reste du circuit? En quoi est transformée la puissance reçue? Dans quelles applications de la vie courante utilise-t-on ce phénomène? Dans quelles applications ce phénomène est-il néfaste?
3. Exprimer l'énergie reçue par une résistance  $R$ , traversée par un courant  $I$  permanent (c'est-à-dire indépendant du temps) pendant une durée  $\Delta t$ .

**Correction :**

1.  $p_r = u \times i = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$
2.  $p_r > 0$  donc la résistance reçoit bien de la puissance électrique. La puissance reçue est transformée en puissance thermique. Exemple d'application : radiateur, four, bouilloire... Exemple d'effets néfastes : surchauffe, détérioration de composant électroniques...
3.  $\mathcal{E}_r = \int_{t_1}^{t_2} p_r dt = p_r \int_{t_1}^{t_2} dt = RI^2 \Delta t$

6. Diviseur de tension

**Savoir faire - Exercice 14**

**Remplacer une association série de deux résistances par une résistance équivalente**

**Enoncé :** On considère deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  en série. On note  $u_1$  la tension aux bornes de  $R_1$  et  $u_2$  la tension aux bornes de  $R_2$ . La tension aux bornes de l'ensemble est notée  $u$ , et l'intensité du courant à travers les deux résistances est notée  $i$ . On se place en convention récepteur.

- Établir la relation entre  $u$  et  $i$  en faisant intervenir  $R_1$  et  $R_2$  uniquement.
- En déduire que l'association des deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  en série est équivalente à une unique résistance  $R_S$  dont on donnera l'expression.

**Correction :**

- $u = u_1 + u_2 = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2) i$
- $u = (R_1 + R_2) i = R_S i$  avec  $R_S = R_1 + R_2$ .

**Savoir faire - Exercice 15**

**Établir la relation du pont diviseur de tension**

**Enoncé :** On reprend la situation précédente avec deux résistances en série. On cherche à exprimer la tension aux bornes d'une des résistances ( $u_1, u_2$ ) en série en fonction de la tension aux bornes de l'ensemble ( $u$ ) et des deux résistances.

- Exprimer  $u_1$  en fonction de  $i$  et de la résistance  $R_1$ . Exprimer  $u$  en fonction de  $i$  et des deux résistances.
- En déduire l'expression de  $u_1$  en fonction de  $u$  et des résistances. Que dire de  $u_2$  en fonction de  $u$  ?

**Correction :**

- $u_1 = R_1 \times i$  et  $u = R_S \times i$  ; 2.  $u_1 = \frac{R_1}{R_S} u$  et  $u_2 = \frac{R_2}{R_S} u$ .

**Exercice 16**

**Enoncé :** Pour chaque circuit ci-dessous, donner la tension  $u$  en fonction de  $\epsilon$ .

1.

2.

**Correction :** 1.  $u = \frac{\epsilon}{2}$  ;  $u = -\frac{\epsilon}{4}$

7. Diviseur de courant

**Savoir faire - Exercice 17**

**Remplacer une association parallèle de deux résistances par une résistance équivalente**

**Enoncé :** On considère deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  en parallèle. On note  $i_1$  l'intensité du courant à travers  $R_1$  et  $i_2$  l'intensité du courant à travers  $R_2$ . La tension aux bornes de l'association parallèle est notée  $u$ , et l'intensité du courant qui arrive en entrée de l'association parallèle est notée  $i$ . Tous les composants sont en convention récepteur.

- En utilisant une loi des nœuds, établir l'expression de  $i$  en fonction de  $u$ .
- Montrer que cette expression peut s'écrire sous la forme  $i = \frac{u}{R_{||}}$ , où on exprimera  $\frac{1}{R_{||}}$  en fonction de  $R_1$  et  $R_2$ .

**Correction :**

- $i = i_1 + i_2 = u \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ .
- $i = u \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{u}{R_{||}}$  avec  $\frac{1}{R_{||}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

**Savoir faire - Exercice 18**

**Établir la relation du pont diviseur de courant**

**Enoncé :** On reprend la situation précédente. On cherche à exprimer l'intensité du courant à travers une des deux résistances en parallèle en fonction de l'intensité qui arrive sur l'association.

- Exprimer  $i_1$  en fonction de  $u$  et de  $R_1$ . Exprimer  $i$  en fonction de  $u$  et des deux résistances.
- En déduire l'expression de  $i_1$  en fonction de  $i$  et des résistances. Que dire de  $i_2$  en fonction de  $i$  ?

**Correction :**

- $i_1 = \frac{u}{R_1}$  ;  $i = \frac{u}{R_{||}} = u \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ .
- $i_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i$  et  $i_2 = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i$

**Exercice 19**

**Enoncé :**

Exprimer les intensités  $i$  et  $i_1$  en fonction de  $i_0$  sans faire de calculs.

**Correction :**  $i = \frac{1}{\frac{1}{3R} + \frac{1}{R}} i_0 = \frac{1}{4} i_0$  et  $i_1 = -\frac{1}{\frac{1}{3R} + \frac{1}{R}} i_0 = -\frac{3}{4} i_0$