

Chapitre 14

Aspects énergétiques des phénomènes électriques

14.1 Définitions et lois de base au sein d'un circuit électrique	100
14.1.1 Définitions	100
14.1.2 Lois élémentaires de l'électricité	100
14.1.3 Générateur de tension	101
14.2 Puissance et énergie électrique	102
14.2.1 Puissance électrique	103
14.2.2 Énergie électrique	103
14.2.3 Effet Joule	103
14.2.4 Conversion d'énergie et rendement	104

EN physique, le fonctionnement des phénomènes électriques est un domaine d'étude ayant beaucoup d'applications, notamment depuis l'avènement des circuits électriques. La première section de ce chapitre introduit les grandeurs physiques d'intérêt en électricité, en rappelant les lois de base du nouveau programme de seconde, permettant de comprendre le fonctionnement d'un circuit électrique. Les sections suivantes s'attachent à découvrir et comprendre le fonctionnement de ces circuits d'un point de vue énergétique. On définira l'énergie et la puissance électrique d'un dipôle, ainsi que le rendement énergétique d'un système.

14.1 Définitions et lois de base au sein d'un circuit électrique

14.1.1 Définitions

Un **circuit électrique** est un ensemble de composants électriques reliés entre eux sous la forme d'un circuit fermé, parcouru par un courant électrique.

Un **porteur de charge** est une entité chargée (positivement ou négativement), pouvant circuler librement au sein d'un circuit électrique. Les électrons sont les porteurs de charges dans les circuits électroniques. Les ions peuvent également assurer ce rôle dans une solution.

Un **milieu conducteur** est un milieu au sein duquel des porteurs de charges peuvent circuler. Les métaux sont des solides ayant des propriétés conductrices, tout comme les solutions ioniques.

La **tension électrique** (souvent notée U_{AB}) entre un point A et un point B d'un circuit électrique, est une grandeur exprimée en volts (V), qui caractérise grossièrement la différence entre le nombre de porteurs de charges présents entre les points A et B . La définition exacte de cette grandeur n'est pas triviale à expliquer et nécessite la connaissance de notions hors programme.

L'**intensité** (notée I) du **courant électrique** est une grandeur exprimée en ampères (A), qui caractérise le débit de porteurs de charges circulant dans un circuit électrique par unité de temps.

Intensité électrique : débit de charge

L'intensité du courant électrique exprime le nombre de porteurs de charges circulant par unité de temps au sein d'un circuit électrique :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

I l'intensité du courant (en A)
 Q la quantité de charges (en C)
 Δt la durée (en s)

On appelle **convention générateur** le cas où la tension aux bornes d'un dipôle est dans le même sens que l'intensité. Un générateur est un **dipôle actif**, il fournit de l'énergie au circuit.

On appelle **convention récepteur** le cas où la tension aux bornes d'un dipôle est dans le sens contraire de l'intensité. Un récepteur est un **dipôle passif**, il consomme l'énergie électrique.

14.1.2 Lois élémentaires de l'électricité

Loi des mailles

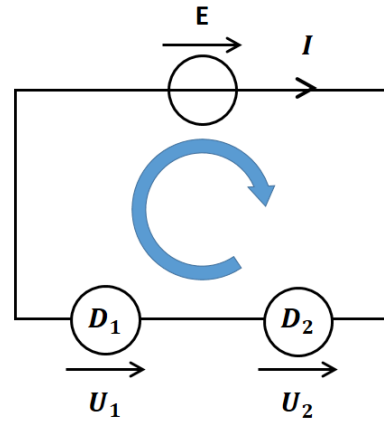
La somme algébrique des tensions électriques au sein d'une maille d'un circuit électrique est nulle.

$$E - U_1 - U_2 = 0$$

$$E = U_1 + U_2$$

Remarque :

Attention à tenir compte du sens des tensions électriques en fonction de la convention générateur ou récepteur.



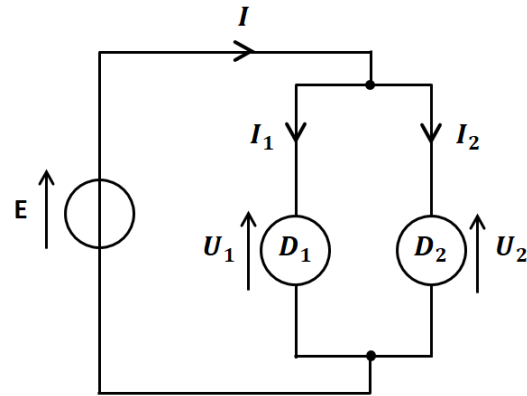
Loi des nœuds

La somme des intensités entrantes au niveau d'un nœud est égale à la somme des intensités sortantes.

$$I = I_1 + I_2$$

Remarque :

Attention à tenir compte du sens du courant dans chaque branche arrivant au niveau du nœud.



Loi d'Ohm

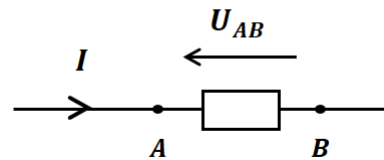
La tension aux bornes d'une résistance électrique est proportionnelle au courant qui la traverse :

$$U_{AB} = RI$$

U la tension (en V)

I l'intensité (en A)

R la résistance (en Ohms Ω)



14.1.3 Générateur de tension

Caractéristique tension-courant d'un dipôle

La **caractéristique tension-courant** d'un dipôle est le tracé de la courbe représentant la tension à ses bornes en fonction de l'intensité qui le traverse.

Générateur de tension idéal

Un générateur de tension idéal est une source qui fournit une tension constante au circuit. Cette tension est indépendante de l'intensité du courant électrique qui traverse le générateur. Elle est notée E et appelée force électromotrice. La caractéristique tension-courant d'un tel générateur sera donc une fonction constante, comme le montre la figure 14.2

Générateur de tension réel

Contrairement au générateur de tension idéal, le générateur réel voit la tension à ses bornes varier en fonction de l'intensité qui le traverse.

Générateur réel de tension

On peut modéliser un générateur réel de tension par l'association d'un générateur idéal de tension de force électromotrice E et d'une **résistance interne** notée r . Ainsi, à l'aide de la loi des mailles et de la loi d'Ohm, on obtient :

$$U_g = E - rI$$

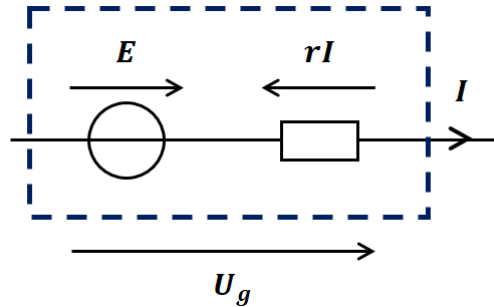


Figure 14.1 – Schéma modélisant un générateur réel de tension

La caractéristique d'un tel générateur réel est représentée sur la figure 14.2.

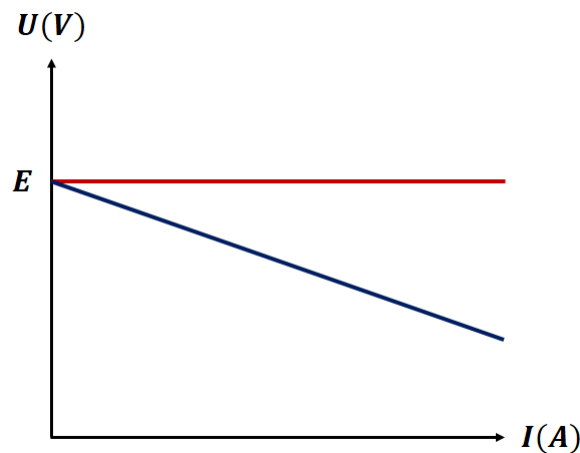


Figure 14.2 – Caractéristique tension-courant pour un générateur idéal de tension (en rouge) et pour un générateur réel de tension (en bleu).

14.2 Puissance et énergie électrique

De manière générale en physique, l'**énergie** représente le stock disponible alors que la puissance représente la vitesse à laquelle ce stock est utilisé. Ici en électricité, l'énergie électrique correspond au nombre de porteurs de charges disponibles, alors que la puissance électrique donnera le débit d'énergie, la vitesse à laquelle ces porteurs de charge sont transférés.

14.2.1 Puissance électrique

Puissance électrique

Pour un dipôle à travers lequel passe un courant d'intensité I , et ayant une tension U à ses bornes, la puissance électrique est donnée par la relation suivante :

$$P = U \times I$$

P la puissance électrique (en W)

U la tension (en V)

I l'intensité (en A)

Remarque : Si le dipôle est un générateur, P représente la puissance fournie par ce dernier au circuit. Si le dipôle est un récepteur, alors P représente la puissance reçue.

Exemple : Un dipôle est traversé par un courant électrique d'intensité $I = 25$ mA et possède une tension à ses bornes de $U = 1,5$ V. La puissance reçue par ce dipôle est alors de $P = U \times I = 1,5 \times 25 \cdot 10^{-3} = 3,8 \cdot 10^{-2}$ W = 38 mW.

14.2.2 Énergie électrique

Énergie électrique

L'énergie électrique d'un dipôle recevant une puissance P pendant une durée Δt est donnée par la relation suivante :

$$E = P \times \Delta t$$

E l'énergie électrique (en J)

P la puissance électrique (en W)

Δt la durée (en s)

Remarque : En électricité, on utilise souvent le « W.h » comme unité pour l'énergie à la place du « J ». En effet, puisque $E = P \times \Delta t$, on peut exprimer la puissance P en W et la durée Δt en h.

Exemple : Une ampoule à incandescence de 60 W fonctionne pendant deux heures. L'énergie consommée est :

$$E = 60 \times 2 \times 3600 = 432 \text{ kJ}$$

14.2.3 Effet Joule

Effet Joule

Lorsqu'une résistance électrique reçoit une puissance P , elle la dissipe sous forme de chaleur. C'est ce qu'on appelle l'**effet Joule** :

$$P = U \times I = RI^2$$

U la tension (en V)

I l'intensité (en A)

R la résistance (en Ω)

P la puissance électrique (en W)

14.2.4 Conversion d'énergie et rendement

Dans la nature, tout système possédant de l'énergie peut utiliser cette énergie en la transférant à un autre système, ou bien en la convertissant sous une autre forme d'énergie. Par exemple, une éolienne reçoit de l'énergie mécanique lorsque le vent fait tourner les pales, et convertit une partie de cette énergie en énergie électrique. En électricité, les résistances convertissent l'énergie électrique reçue sous forme de chaleur.

Lorsque qu'un système reçoit de la puissance, il peut la convertir sous plusieurs formes à la fois. On distinguera la **puissance utile** de la puissance perdue (ou dissipée). Dans l'exemple de l'éolienne, l'énergie mécanique apportée par la rotation des pales est convertie en grande partie en énergie électrique, mais un certain pourcentage est perdu par dissipation de chaleur. Il faut alors définir le rendement du système convertisseur comme le rapport entre la puissance utile et la puissance totale apportée.

Rendement

Le rendement η d'un système convertisseur est défini comme étant le rapport entre la puissance utile P_u sur la puissance totale apportée P_{tot} :

$$\eta = \frac{P_u}{P_{tot}}$$

η le rendement (sans unité ou en pourcentage)

P_u la puissance utile (en W)

P_{tot} la puissance totale (en W)

Remarque : Le rendement est un nombre sans dimension compris entre 0 et 1.