

LP 7 – Energie électrique

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 21 mai 2020

Merci à Solène Legrand, Lucile Favreau et Joachim Galiana pour leur précieuse aide.

Mots-clé : intensité, charge, source réelle de tension, bilan de puissance, effet Joule, convertisseur.

Niveau : 1^{re} enseignement de spécialité

Pré-requis :

- Représentation des circuits électriques [collège]
- Loi d'Ohm, dipôle linéaire [collège]
- Montages en série et en dérivation [collège]
- Notion d'énergie [collège]
- Electron, charge élémentaire [seconde]

Bibliographie :

- *Physique-Chimie, 1^{re}, enseignement de spécialité*, Belin
- *Physique-Chimie 1^{re}*, Lelivrescolaire

Plan proposé

I - Origine du courant et source de tension	3
A/ Le mouvement des porteurs de charge	3
B/ Sources de tension	4
II - Puissance et énergie électrique	6
A/ Puissance et énergie consommée par un appareil	6
B/ Bilan de puissance	7
III - Convertisseurs d'énergie	8
A/ Principe du convertisseur	8
B/ Rendement d'un convertisseur	8

Liste de matériel

Tracé de la caractéristique d'une source réelle de tension continue

- générateur réel de tension ;
- ampèremètre ;
- voltmètre ;
- résistance variable.

Rendement d'une cellule photovoltaïque

- cellule photovoltaïque ;
- lampe de bureau ;
- deux multimètres ;
- résistance variable ;
- luxmètre ou application sur smartphone.

Introduction pédagogique

Ce cours s'inclut dans le thème "L'énergie : conversions et transferts", et correspond au point "Aspects énergétiques des phénomènes électriques". Il permet de revenir avec les élèves sur ce qui a été vu au collège en électricité, mais également de définir proprement l'intensité, les sources réelles de tension, et d'appréhender les échanges d'énergie au sein d'un circuit.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Porteur de charge électrique. Lien entre intensité d'un courant continu et débit de charges. Modèle d'une source réelle de tension continue comme association en série d'une source idéale de tension continue et d'une résistance.	Relier intensité d'un courant continu et débit de charges. Expliquer quelques conséquences pratiques de la présence d'une résistance dans le modèle d'une source réelle de tension continue. <i>Déterminer la caractéristique d'une source réelle de tension et l'utiliser pour proposer une modélisation par une source idéale associée à une résistance.</i>
Puissance et énergie. Bilan de puissance dans un circuit. Effet Joule. Cas des dipôles ohmiques. Rendement d'un convertisseur.	Citer quelques ordres de grandeur de puissances fournies ou consommées par des dispositifs courants. Définir le rendement d'un convertisseur. <i>Évaluer le rendement d'un dispositif.</i>

Figure 1 – Extrait du programme de physique-chimie de première générale.

Ce cours permet d'aborder un certain nombre d'enjeux actuels autour des sources d'énergie (énergies renouvelables, efficacité, rendement, pertes, ...).

Difficultés :

- distinguer puissance et énergie, comprendre quand il faut utiliser l'une ou l'autre de ces notions et convertir l'une en l'autre ;
- premier bilan d'énergie → comprendre ce qui se conserve, ce qui se convertit, où sont les pertes ;
- les électrons ne sont pas les seuls porteurs de charges (les ions en sont un autre exemple).

Exemples de TD :

- effectuer des bilans de puissance ou d'énergie ;
- calculer le rendement d'un convertisseur ;
- étude de documents sur les panneaux solaires, les éoliennes, ...

Exemples de TP : déterminer la caractéristique d'une source réelle, évaluer le rendement d'un dispositif.

Introduction

La production d'électricité est un enjeu actuel dans la préservation de nos ressources. En France, la majorité de l'électricité est produite par le nucléaire. Elle est ensuite majoritairement consommée au quotidien chez nous (résidentiel) mais aussi pour l'agriculture ou l'industrie. On voit ainsi que la France a consommé 474 TWh d'électricité en 2017. A quoi cela correspond-il ?

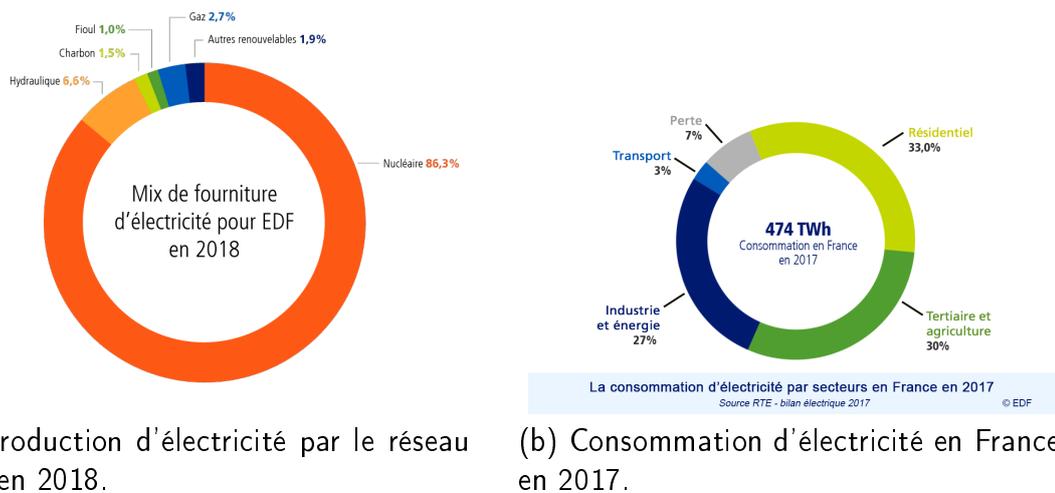


Figure 2 – L'électricité en France (**Source** : EDF).

Dans ce cours, on va présenter à quoi correspond l'électricité et comment déterminer l'énergie transférée dans un circuit.

- Objectifs** – Connaître l'origine microscopique du courant.
- Savoir qu'il y a des pertes énergétiques dans un circuit électrique, notamment par effet Joule.
- Calculer le rendement énergétique d'un convertisseur.

I - Origine du courant et source de tension

A/ Le mouvement des porteurs de charge

Définition – Porteur de charges : particules responsables du déplacement de la charge électrique.

Ces particules dépendent du milieu considéré. Par exemple, dans un conducteur métallique, les porteurs de charges peuvent être les **électrons**. En solution aqueuse, il s'agit des **ions**.

Définition – Courant électrique : déplacement d'ensemble, ordonné, de particules chargées.

On définit alors l'*intensité du courant électrique* comme le débit de charges électriques :

$$I = \frac{|Q|}{\Delta t} \quad (1)$$

avec Q la charge ayant circulé dans le circuit pendant un temps Δt . L'intensité du courant s'exprime en ampère ($A = C \times s$).

Application numérique – Quelle charge un chargeur de téléphone fournit-il pendant 30 s ?

$$|Q| = I \times \Delta t = 0,5 \times 30 = 15 \text{ C.}$$

Cela représente la circulation de $N = \frac{Q}{e} = 9,4 \times 10^{19}$. C'est énorme !



Par convention, le sens du courant (et donc le signe de l'intensité) est fixé dans le sens de déplacement des porteurs de charges **positives**.

B/ Sources de tension

Le courant dans le circuit est produit par un **générateur** (une pile, un accumulateur, ...). Par convention, il circule de la borne positive vers la borne négative du générateur.

On va étudier deux types de générateurs :

- **Source de tension continue idéale** : elle délivre une tension constante quelle que soit l'intensité du courant qui la traverse. Il existe toutefois une valeur maximale d'intensité à ne pas dépasser pour ne pas endommager l'appareil.

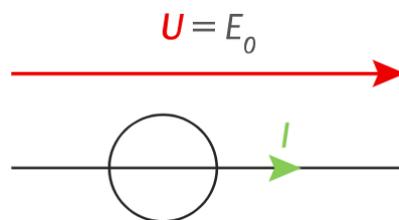


Figure 3 – Représentation schématique d'une source de tension continue idéale (Source : Lelivrescolaire).

On peut tracer la **caractéristique** de cette source, à savoir la variation de la tension à ses bornes en fonction de l'intensité du courant qui la traverse. On obtient alors le graphique suivant :

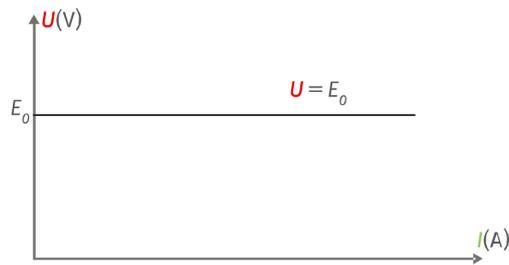


Figure 4 – Caractéristique d'une source de tension continue idéale (**Source** : Lelivrescolaire).

- **Source de tension continue réelle** : elle délivre une tension qui diminue lorsque l'intensité du courant qui la traverse augmente. Elle peut être modélisée par l'association en série d'une source idéale de tension continue E_0 et d'une **résistance interne** r . Sa tension s'exprime alors $U = E_0 - r \times I$. On comprend alors la décroissance en intensité.

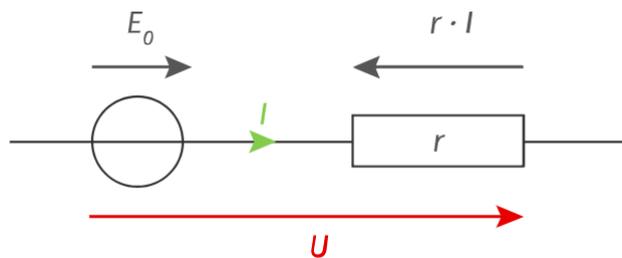


Figure 5 – Représentation schématique d'une source de tension continue réelle (**Source** : Lelivrescolaire).

On peut également tracer la **caractéristique** :

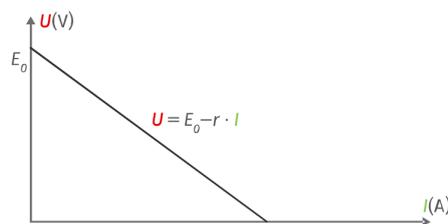


Figure 6 – Caractéristique d'une source de tension continue réelle (**Source** : Lelivrescolaire).

Expérience – Tracé de la caractéristique d'un générateur de tension réel. *En déduire la valeur de la résistance interne du générateur.*

II - Puissance et énergie électrique

A/ Puissance et énergie consommée par un appareil

Définition – Puissance électrique : débit d'énergie électrique, quantité d'énergie électrique à fournir par unité de temps :

$$\mathcal{P} = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t} \quad (2)$$

Une puissance s'exprime en watt ($W = J/s$).

Pour un dipôle électrique parcouru par un courant d'intensité I et de tension aux bornes U , la puissance électrique s'exprime :

$$\mathcal{P} = U \times I \quad (3)$$

Application numérique – Un chargeur de téléphone reçoit un courant d'intensité $I = 2,0 \text{ A}$ et une tension de $U = 5,0 \text{ V}$ de la part de la prise. Il reçoit ainsi une puissance $\mathcal{P} = 10 \text{ W}$.

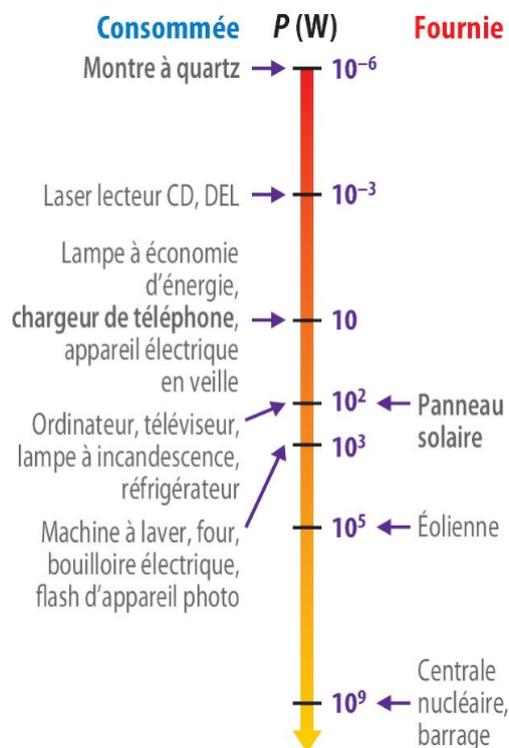


Figure 7 – Ordres de grandeurs de puissances d'appareil du quotidien (**Source** : Belin).

On peut comparer les consommations d'un four et d'un réfrigérateur au cours d'une journée. Pour cela, on compare les énergies électriques qu'ils consomment.

Un réfrigérateur consomme une puissance de 150 W et est fonctionne en continue. Cela représente donc une énergie $\mathcal{E}_r = \mathcal{P}_r \times \Delta t = 150 \times 24 \times 3\,600 = 1,3 \times 10^7$ J.

Un four est utilisé 30 min dans la journée. Il consomme une puissance de 3 000 W et donc une énergie : $\mathcal{E}_f = 5 \times 10^6$ J.

On remarque alors que même si un objet nécessite une grande puissance pour fonctionner, c'est son temps d'usage qui compte le plus sur la facture d'électricité. D'ailleurs, les prix sont donnés au kilowatt heure ($1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3,6 \times 10^6$ J) sur la facture EDF. Si on prend 15,5 centimes le prix du kW·h, on voit que le fonctionnement du réfrigérateur nous coûte 17 € et celui du four 7 €.

B/ Bilan de puissance

On peut chercher à effectuer des bilans de puissance pour comprendre comment est transférée l'énergie au sein d'un circuit. Alors,

$$\mathcal{P}_{gene} = \sum \mathcal{P}_{dipole} \quad (4)$$

avec \mathcal{P}_{gene} la puissance fournie par le générateur et \mathcal{P}_{dipole} celle reçue par les différents dipôles du circuit appelés récepteurs.

Prenons l'exemple du circuit suivant :

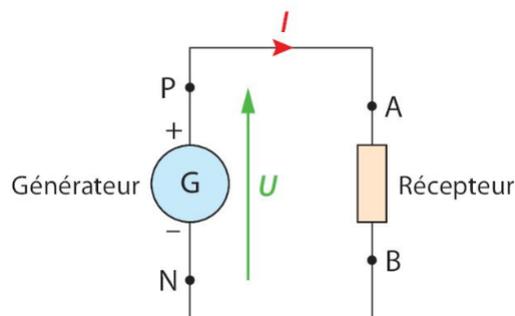


Figure 8 – Circuit constitué d'un générateur et d'un récepteur (**Source** : Belin).

Si l'on considère que le générateur est une source réelle de tension continue, la puissance qu'il fournit $\mathcal{P}_{gene} = E_0 I$ est inférieure à celle qui est reçue par le récepteur $\mathcal{P}_{recep} = UI = E_0 I - rI^2$. Une partie de l'énergie est ainsi dissipée par **effet Joule** : la résistance interne de la source chauffe et dissipe une puissance $u_r I = rI^2$. C'est à cause de cet effet que les appareils électroniques chauffent lorsqu'on les utilise beaucoup.

Remarque – L'effet Joule n'est pas toujours un effet indésirable. Le radiateur électrique ou la bouilloire permettent de chauffer une pièce ou de l'eau en faisant chauffer une résistance traversée par un courant.

On peut représenter le transfert énergétique dans le circuit par le schéma suivant :

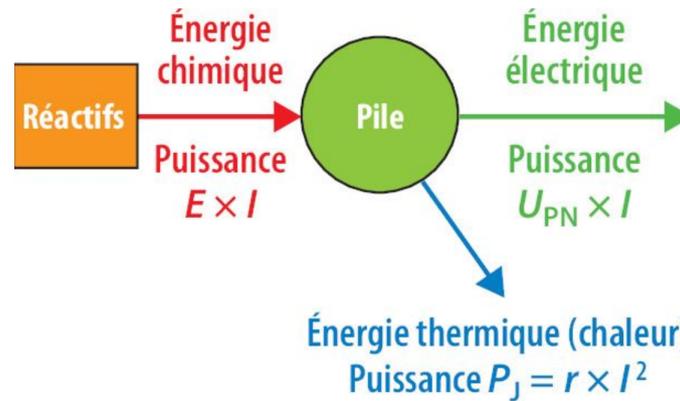


Figure 9 – Bilan de puissance du circuit (Source : Belin).

III - Convertisseurs d'énergie

A/ Principe du convertisseur

Définition – Convertisseur : dispositif qui convertit une énergie entrante en une autre forme d'énergie sortante.

Convertisseur	Énergie	
	entrante	sortante
Panneau photovoltaïque	lumineuse	électrique
Pile électrochimique	chimique	électrique
Lampe	électrique	lumineuse
Radiateur	électrique	thermique
Voiture électrique	électrique	mécanique

Figure 10 – Exemples de convertisseurs du quotidien (Source : Belin).

On comprend alors qu'on ne peut pas "produire de l'énergie". Elle est sans cesse convertie d'une forme à une autre.

B/ Rendement d'un convertisseur

Définition – Rendement d'un convertisseur : $\eta = \frac{P_{utile}}{P_{conso}}$, avec P_{utile} la **puissance utile**, utilisée par le convertisseur pour effectuer la conversion, et P_{conso} la **puissance consommée**, fournie par initialement au convertisseur.

Un rendement est une grandeur **adimensionnée** et toujours comprise entre 0 et 1 : on a toujours $P_{utile} \leq P_{conso}$ car une partie de l'énergie consommée peut être perdue.

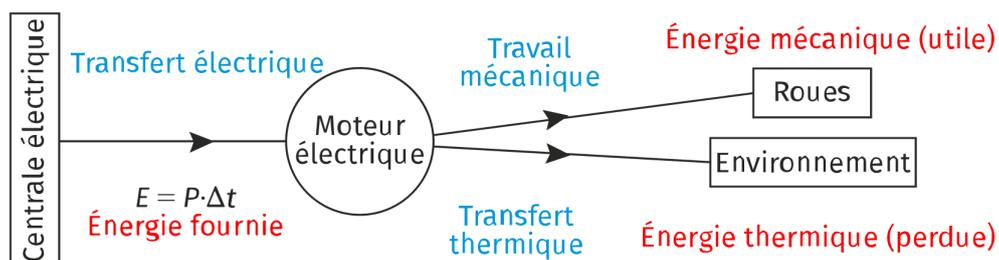


Figure 11 – Bilan d'énergie d'un moteur électrique (Source : Lelivrescolaire).

Expérience – Détermination du rendement d'une cellule photovoltaïque (Source : Belin).

Conclusion

Le courant électrique est dû au déplacement de porteurs de charges (électrons dans un conducteur métallique, ions en solution aqueuse, ...).

Dans un circuit électrique, on peut effectuer un bilan de puissance pour déterminer quelles sont les pertes, par exemple par effet Joule.

Enfin, on utilise de nombreux convertisseurs au quotidien pour passer d'une forme d'énergie à une autre. De nouveau, ces convertisseurs induisent des pertes, que l'on peut estimer à partir du rendement du convertisseur.

Remarque – Il y a beaucoup de ressources sur les différentes sources d'énergie pour les élèves sur le site de EDF.