

# ÉNERGIE : CONVERSION ET TRANSFERT

## 14. Études énergétiques en électricité

### *Mise en situation*

Aujourd'hui, en dehors des véhicules automobiles qui y viennent lentement, nous « consommons » principalement de l'énergie qui nous arrive sous forme électrique par l'impressionnant maillage de lignes qui couvrent la planète presque tout entière. Cette énergie électrique est produite par la conversion d'énergies primaires comme nous l'avons vu dans un chapitre précédent.

Lorsque nous devons payer cette énergie électrique, les producteurs nous facturent des kWh . A quoi correspond cette notion ? En quoi est-elle liée à la puissance électrique indiquée sur les appareils de la maison ? Nous verrons également la façon dont se fait la conversion d'énergie dans les générateurs et les récepteurs ainsi que la notion de rendement de conversion qui est un des facteurs essentiel que les scientifiques et les industriels essaient d'améliorer pour réduire notre consommation d'énergie.

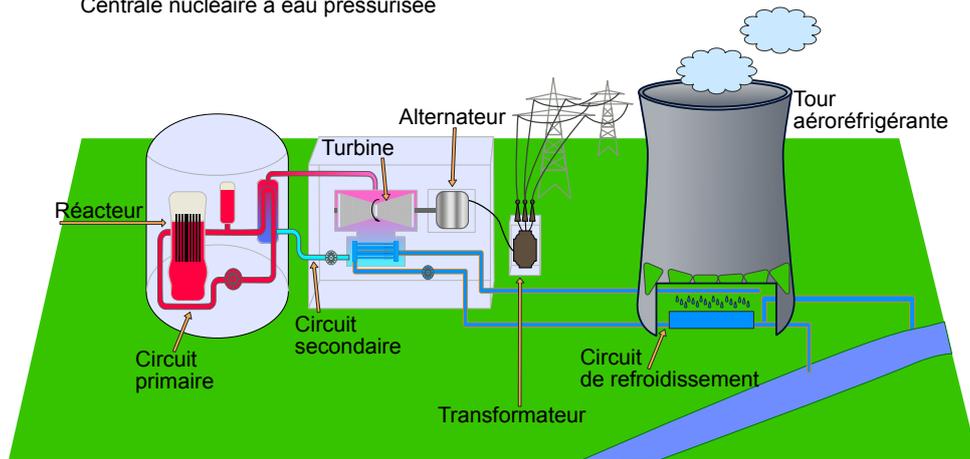
Il faudra ici faire attention au fait que la force électromotrice  $E$ , qui est une tension, s'écrit avec la même lettre qu'une énergie mais ne représente pas du tout la même chose. Pour éviter les confusions nous utiliserons donc  $W$  pour représenter l'énergie dans ce chapitre.

### *Production électrique*

Au collège vous avez vu que la production industrielle de courant électrique passe principalement par la conversion d'une énergie thermique (issue de combustibles fossiles ou fissiles) en énergie mécanique puis en énergie électrique. Dans des centrales solaires thermiques, à biomasse ou en géothermie on utilise le même procédé, tandis que les éoliennes ou les centrales hydroélectriques se contentent de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique.

La conversion d'une énergie thermique en énergie mécanique se fait principalement en utilisant cette énergie pour chauffer de l'eau jusqu'à ce qu'elle s'évapore. Cette vapeur est alors contenue dans un réservoir fermé, ce qui fait monter la pression du gaz. On utilise alors cette pression pour faire tourner une turbine qui va générer un mouvement de rotation.

Centrale nucléaire à eau pressurisée



La rotation du rotor dans l'alternateur va alors produire du courant électrique alternatif aux bornes de ce dernier, de la même façon que dans une dynamo de vélo par rotation d'un aimant près d'une bobine. Cela permet de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique.

Ce courant alternatif va alors transiter sur le réseau électrique après être passé par un transformateur qui élève la tension pour limiter les pertes en lignes dues à l'effet joule sur les fils conducteurs.

### Quelques rappels d'électricité

Le courant électrique est dû au mouvement de porteurs de charge négatives, les électrons, dans des conducteurs de courant électrique. Deux grandeurs caractérisent ce phénomène : **l'intensité (en Ampère - A)** du courant et sa **tension (en volt - V)**.

Le courant électrique circule dans des circuits schématisés à l'aide de **symboles**.

### Symboles

Générateurs	Générateur de tension alternative	Pile
	Générateur de tension continue	
Récepteurs	D.E.L.	Lampe
	Diode	Résistance
	Résistance réglable	Electrolyseur
Appareils de mesure	Voltmètre	Ampèremètre
	Interrupteur	Fermé

- **Circuits en série**

Dans un montage en série, les récepteurs sont placés les uns à la suite des autres. Si un récepteur est retiré du circuit, le circuit est ouvert et le courant ne circule plus.

**L'intensité est la même en tous points d'un circuit série.**

**La tension aux bornes du générateur d'un circuit en série est égale à la somme des tensions aux bornes des récepteurs : c'est la loi d'additivité des tensions.**

- **Circuits en dérivation**

Dans un montage en dérivation (en parallèle), les bornes de chaque branche du circuit sont reliées par des points appelés nœuds. Si le circuit est ouvert dans une branche, les autres branches fonctionnent toujours.

L'intensité du circuit principal est égale à la somme des intensités dans chaque branche : c'est la loi des nœuds.

**La tension est la même dans chaque boucle.**

Une tension continue est une tension qui garde la même valeur au cours du temps, une tension alternative change alternativement de sens.

Les lois sur les tensions et intensités, qui s'appliquent en courant continu, restent valables en courant alternatif si on les applique aux tensions et intensités efficaces. La tension efficace est celle qui est indiquée sur les appareils électriques (230V en France par exemple).

### ***Intensité : débit de charge***

Nous avons rappelé plus haut que l'intensité était due au passage des électrons dans les conducteurs. Plus précisément, l'intensité traduit le nombre d'électrons qui circulent dans le conducteur par unité de temps. On parle du débit de charges et on peut l'exprimer de la façon suivante :

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

Avec :

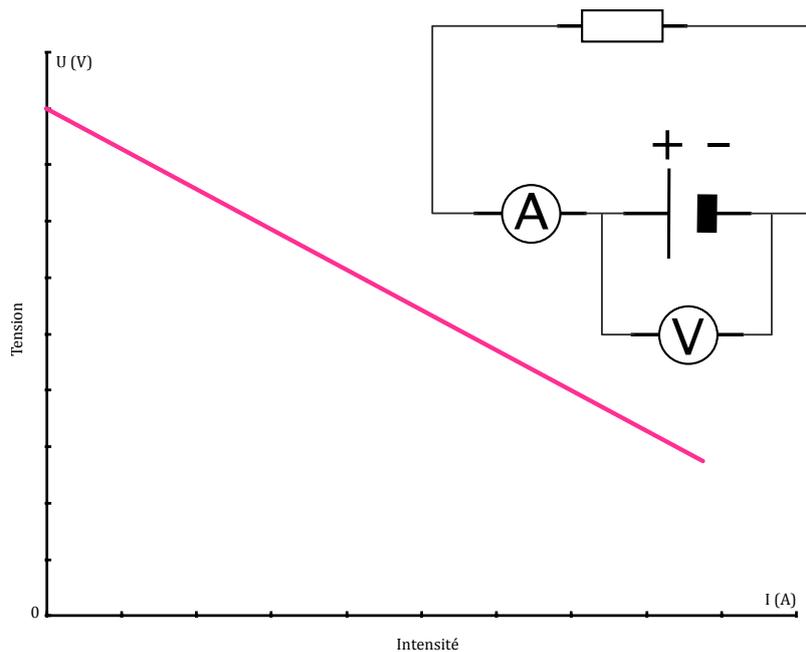
- I : l'intensité du courant en Ampère (A) équivalent à des Coulomb par seconde (C.s<sup>-1</sup>)
- $\Delta q$  : le débit d'électrons en Coulombs (C)
- $\Delta t$  : l'intervalle de temps en secondes (s)

### ***Conversion d'énergie dans un générateur***

Pour étudier la façon dont évolue l'énergie au cours du fonctionnement d'un système électrique, on fait une mesure simultanée de la tension aux bornes de l'élément en fonction de l'intensité qui le traverse. La courbe de la tension U en fonction de l'intensité I ( $U = f(I)$ ) est appelée caractéristique du dipôle.

On peut tracer la caractéristique d'une pile branchée sur une résistance (aussi appelée « conducteur ohmique » comme vous l'avez vu au collège) :

## Caractéristique d'un générateur



On constate que la tension de départ de cette pile va diminuer progressivement au cours de son fonctionnement à mesure que la pile transforme son énergie chimique en énergie électrique.

Cette tension de départ est appelée « **force électromotrice** », notée  $E_o$ , de la pile et le facteur de décroissance de le courbe dépend de sa « résistance interne », notée  $r$ , selon la relation suivante qui est parfois appelée loi d'ohm pour les générateurs :

$$U = E_o - r \times I$$

### Unités :

- $U$  : Tension de la pile en Volt (V).
- $E_o$  : Force électromotrice en Volt (V).
- $r$  : Résistance interne de la pile en Ohm ( $\Omega$ )
- $I$  : Intensité du courant en Ampère (A).

**Rappel** : Il faudra ici faire attention au fait que la force électromotrice  $E_o$ , qui est une tension, s'écrit avec la même lettre qu'une énergie mais ne représente pas du tout la même chose.

### Puissance et énergie

**La puissance est la capacité d'un système à convertir l'énergie.** Plus un système possède une puissance élevée, plus il va convertir d'énergie, d'une sorte vers une autre. La puissance est donc utilisable pour la « consommation » d'énergie électrique ainsi que pour sa « production », qui ne sont que deux manières de convertir cette énergie.

**La puissance est notée P et s'exprime en Watt**, en hommage à James Watt, qui a popularisé la machine à vapeur par ses améliorations apportées au système. Dans un dipôle électrique (qui possède donc deux bornes) en tension et courant continu, la puissance s'exprime par la relation :

$$P = U \times I$$

**Unités :**

- P : Puissance en Watt (W).
- U : Tension aux bornes du dipôle en Volt (V).
- I : Intensité du courant qui traverse le dipôle en Ampère (A).

Voici quelques ordres de grandeur de puissance électrique pour des systèmes courants :

Système électrique	Puissance en Watt (W)
Calculatrice	$10^{-3}$
Lampe de bureau à LED / smartphone	$10^0$
Lampe à incandescence / ordinateur	$10^2$
Four électrique	$10^3$
Motrice de TGV	$10^6$
Centrale nucléaire	$10^9$

**L'énergie électrique E consommée ou produite par un appareil de puissance P constante est égal au produit de sa puissance par la durée t de fonctionnement.**

En physique, l'unité d'énergie du système international est le joule (J) :

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

**Unités :**

- E : Énergie en Joule (J).
- P : Puissance en Watt (W).
- $\Delta t$  : durée de fonctionnement en seconde (s).

Dans la vie courante on exprime aussi cette puissance en kilowattheure (kWh) avec un calcul où la puissance est en kilowatt (kW) et la durée de fonctionnement en heure (h).

**Effet Joule et dipôle ohmique**

Nous avons vu au collège et en seconde qu'un dipôle ohmique est caractérisé par la relation entre l'intensité qui le traverse et la tension à ses bornes, appelée **loi d'ohm** :

$$U = R \times I$$

Un tel dipôle est également caractérisé par le fait **qu'il converti intégralement l'énergie en chaleur** (d'où son utilisation en chauffage et en cuisine).

Sa puissance s'exprime donc :  $P = U \times I = R \times I \times I$  d'où  $P = R \times I^2$  ou  $P = \frac{U^2}{R}$

Avec R en ohm ( $\Omega$ )

L'énergie convertie par un conducteur ohmique peut, elle, se calculer avec :

$$E = R \times I^2 \times \Delta t$$

**Bilan Puissance et Énergie**

Dans un circuit électrique, l'énergie se conserve et l'énergie délivrée par le générateur est intégralement transmise aux dipôles du circuit, indépendamment de l'agencement du circuit.

Donc si un circuit comprend un générateur et trois dipôles on pourra écrire :

$$E_{\text{générateur}} = E_1 + E_2 + E_3$$

La puissance étant une énergie « instantanée », en divisant par l'intervalle de temps on en déduit que :

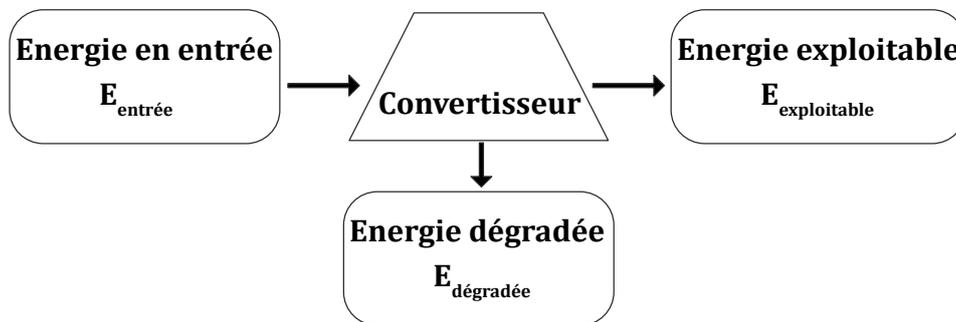
$$P_{\text{générateur}} = P_1 + P_2 + P_3$$

### **Rendement d'une chaîne énergétique**

Lors de son fonctionnement, l'électrolyseur a converti une partie de l'énergie qu'il a reçue en énergie thermique par effet Joule. Ce sera également le cas pour le moteur ou pour une lampe car tous les circuits parcourus par un courant vont subir cet effet Joule ! Cela implique qu'on aura toujours une partie de l'énergie convertie en chaleur, qu'on le veuille ou non. Par conséquent, seule une partie de l'énergie électrique fournie initialement sera utilisable.

Pour savoir quelle partie de l'énergie fournie au départ va être réellement exploitable, on peut modéliser la chaîne énergétique de la façon suivante :

#### **Chaîne énergétique**



On retrouve ici le principe de conservation de l'énergie : il n'y a pas véritablement de « perte » d'énergie, mais la partie de l'énergie qui n'est pas exploitée pour l'usage auquel on destine le système est dite « dégradée ».

De fait, le rendement d'une chaîne énergétique,  $\eta$  (éta), va être exprimé par la relation suivante :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{fournie}}} = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{fournie}}}$$

le rendement, est une grandeur sans unité qui ne peut jamais être supérieur à 1 et qui sera généralement inférieur à cette valeur car une partie de l'énergie est dégradée lors de la conversion.

**Exemple** : considérons la transformation d'énergie dans une pile chimique :

Caractéristiques de la pile :

$$U = E_0 - r \times I$$

La partie  $r \times I$  correspond à la perte par effet Joule (échauffement de la pile)

Puissance de la pile, avec  $P = U \times I$

$$P = (E_0 - r \times I) \times I = E_0 \times I - r \times I^2$$

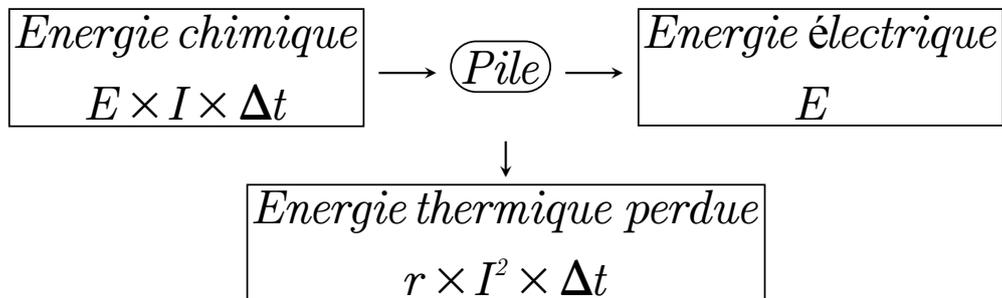
$P$  est la puissance électrique de la pile, celle qui sera utilisable dans le circuit.  $E \times I$  correspond à la puissance chimique dans la pile, qui permet la mise en mouvement des électrons dans le circuit et  $r \times I^2$  sera la perte par effet Joule.

Énergie convertie par la pile avec  $E = P \times \Delta t = U \times I \times \Delta t$

$$E = (E_0 \times I - r \times I^2) \times \Delta t = E_0 \times I \times \Delta t - r \times I^2 \times \Delta t$$

Le premier terme de l'énergie correspond à l'énergie électrique  $E$ , le second à l'énergie chimique ( $E \times I \times \Delta t$ ) et le dernier à l'énergie thermique (la pile chauffe)  $r \times I^2 \times \Delta t$

La chaîne énergétique s'écrira donc :



D'où l'on peut déduire le rendement de la pile :

$$\eta = \frac{E_0 \times I \times \Delta t - r \times I^2 \times \Delta t}{E_0 \times I \times \Delta t} = 1 - \frac{r \times I^2 \times \Delta t}{E_0 \times I \times \Delta t} = 1 - \frac{r \times I}{E_0}$$

si on considère  $P = U \times I$ , alors  $\eta = \frac{U}{E_0}$

Le rendement d'une pile est donc toujours inférieur à 1 à cause des pertes par effet Joule.