

Conversion et rendement

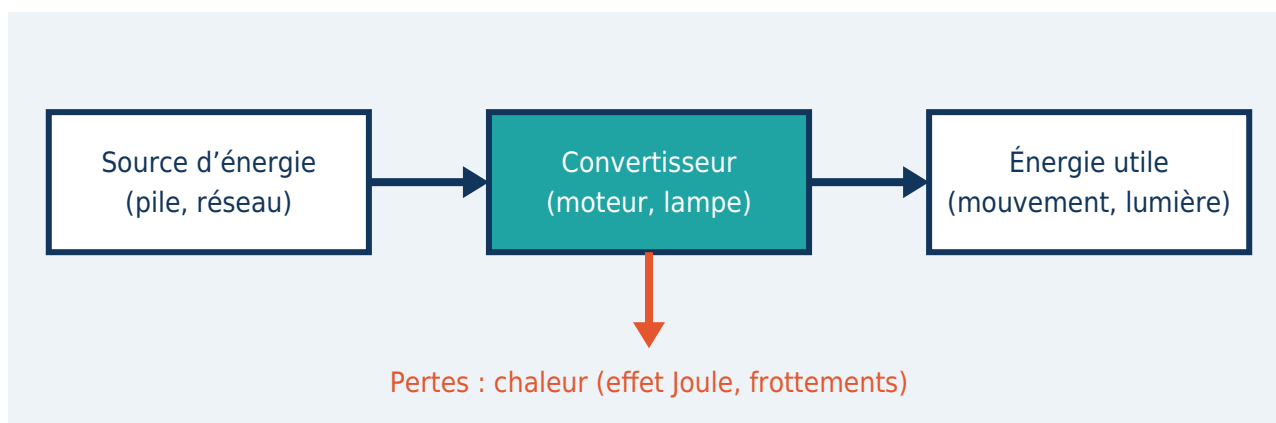
Cours de sciences physiques - niveau 1re

Une perceuse sans fil devient tiède, une ampoule à filament brûle les doigts, un chargeur de téléphone chauffe sur la table de nuit : partout, l'énergie électrique se transforme, mais pas entièrement en effet utile. Ce chapitre sur la **conversion d'énergie et le rendement** apprend à chiffrer ce qui est utile, ce qui est perdu, et à comparer rigoureusement deux appareils.

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Conversion d'énergie et rendement : la chaîne énergétique

Un système qui **convertit** de l'énergie reçoit une forme d'énergie et en restitue une autre : une pile convertit de l'énergie chimique en énergie électrique, un moteur convertit de l'énergie électrique en énergie mécanique, une résistance chauffante convertit de l'énergie électrique en énergie thermique. On représente l'enchaînement par une **chaîne énergétique**.



Chaîne énergétique d'un convertisseur : une partie de l'énergie reçue est utile, le reste est dissipé sous forme de chaleur.

Dans toute conversion, l'énergie se **conserve** : l'énergie reçue est égale à l'énergie utile plus l'énergie perdue. Les pertes ne « disparaissent » pas, elles passent dans l'environnement, le plus souvent sous forme de transfert thermique.

DÉFINITION

Un **convertisseur** est un système qui reçoit de l'énergie sous une forme et la restitue, en partie, sous une autre forme. L'énergie restituée sous la forme recherchée est dite

utile ; le reste constitue les **pertes**.

Puissance et énergie électriques

Pour un dipôle fonctionnant en **convention récepteur** (la flèche de la tension U est opposée à celle de l'intensité I), la puissance électrique reçue vaut le produit de la tension à ses bornes par l'intensité qui le traverse. L'énergie transférée pendant une durée Δt s'en déduit.

FORMULE À RETENIR

$$P = U \times I \quad \text{et} \quad E = P \times \Delta t$$

P en watts (W), U en volts (V), I en ampères (A), E en joules (J) et Δt en secondes (s). En pratique, on utilise aussi le wattheure (Wh) et le kilowattheure (kWh).

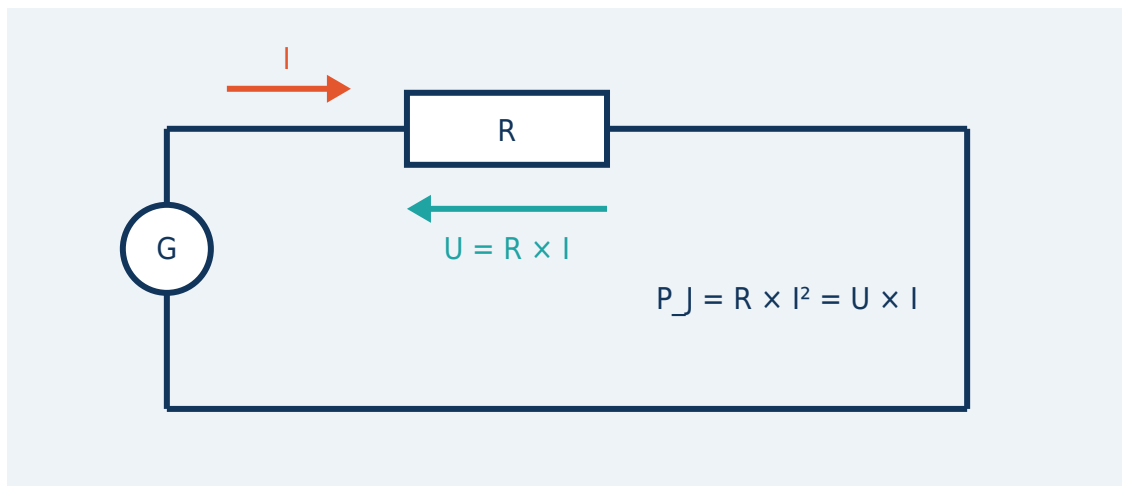
Grandeur	Symbole	Unité du SI	Autre unité usuelle
Puissance	P	watt (W)	kilowatt (kW) : 1 kW = 1 000 W
Énergie	E	joule (J)	kilowattheure : 1 kWh = $3,6 \times 10^6$ J
Durée	Δt	seconde (s)	heure (h) : 1 h = 3 600 s

APPLICATION NUMÉRIQUE

Une lampe sous $U = 12$ V est traversée par $I = 0,50$ A. Sa puissance est $P = 12 \times 0,50 = \mathbf{6,0 \text{ W}}$. Allumée 3,0 h, elle reçoit $E = 6,0 \times 3,0 = \mathbf{18 \text{ Wh}}$, soit $18 \times 3\,600 = 6,5 \times 10^4$ J.

L'effet Joule

Quand un courant traverse un conducteur ohmique de résistance R , l'énergie électrique reçue est **entièrement transférée sous forme thermique** à l'environnement : c'est l'**effet Joule**. Avec la loi d'Ohm $U = R \times I$, la puissance $P = U \times I$ devient $P_J = R \times I^2$.



Conducteur ohmique en convention récepteur : la puissance reçue est intégralement dissipée par effet Joule.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Un conducteur ohmique de résistance $R = 10 \, \Omega$ est parcouru par $I = 2,0 \, \text{A}$. Sa tension est $U = 10 \times 2,0 = 20 \, \text{V}$ et la puissance dissipée $P_J = R \times I^2 = 10 \times (2,0)^2 = \mathbf{40 \, \text{W}}$, ce que confirme $P = U \times I = 20 \times 2,0 = 40 \, \text{W}$. En 5,0 min (300 s), l'énergie dissipée est $E = 40 \times 300 = \mathbf{1,2 \times 10^4 \, \text{J}}$.

ERREUR FRÉQUENTE

La puissance dissipée par effet Joule est proportionnelle à I^2 , et non à I : doubler l'intensité multiplie la puissance dissipée par **4**.

Le rendement d'un convertisseur

Le **rendement** compare ce que l'on obtient d'utile à ce que l'on a dû fournir. Il se calcule avec des puissances ou avec des énergies, sur la même durée.

FORMULE À RETENIR

$$\eta = P_{\text{utile}} \div P_{\text{absorbée}} = E_{\text{utile}} \div E_{\text{reçue}}$$

Le rendement η n'a pas d'unité ; il est toujours compris entre 0 et 1 (ou entre 0 % et 100 %). Les pertes valent $P_{\text{perdue}} = P_{\text{absorbée}} - P_{\text{utile}}$.

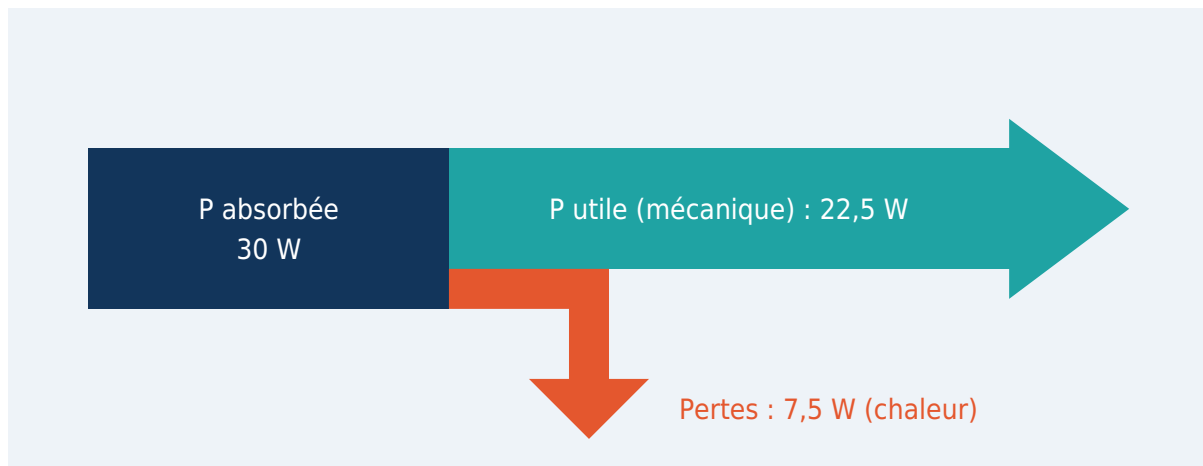


Diagramme de Sankey : la largeur de chaque flèche est proportionnelle à la puissance. Ici $\eta = 22,5 \div 30 = 0,75$.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Un moteur alimenté sous $U = 12 \text{ V}$ est traversé par $I = 2,5 \text{ A}$ et fournit une puissance mécanique de $22,5 \text{ W}$. Puissance absorbée : $P = 12 \times 2,5 = 30 \text{ W}$. Rendement : $\eta = 22,5 \div 30 = \mathbf{0,75}$, soit 75% . Pertes : $30 - 22,5 = \mathbf{7,5 \text{ W}}$.

Quand plusieurs convertisseurs se suivent, les **rendements se multiplient** : $\eta_{\text{global}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$. Une chaîne de trois maillons à $0,90$ chacun ne dépasse pas $0,90^3 \approx 0,73$.

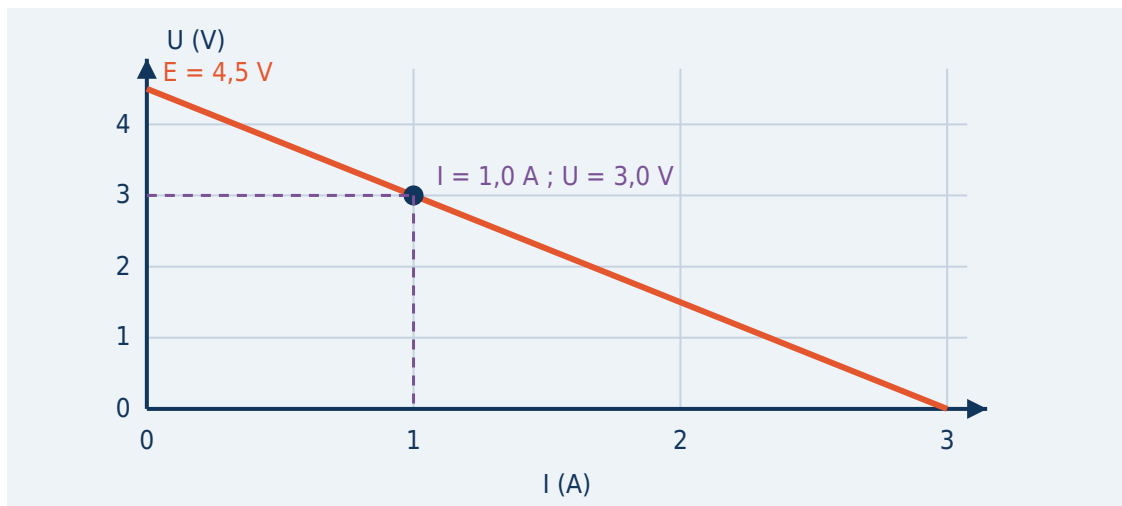
Le générateur réel : des pertes dans la source

Une pile n'est pas un générateur parfait : elle possède une **résistance interne** r . Sa tension aux bornes, quand elle débite un courant d'intensité I , est inférieure à sa force électromotrice E .

FORMULE À RETENIR

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

U et E en volts (V), r en ohms (Ω), I en ampères (A). La puissance fournie au circuit est $P = U \times I$; la puissance totale produite est $E \times I$; la puissance dissipée dans la source est $r \times I^2$.



Caractéristique d'une pile : $U = E - r \times I$, droite de pente $-r = -1,5 \Omega$.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Une pile de $E = 4,5 \text{ V}$ et $r = 1,5 \Omega$ débite $I = 1,0 \text{ A}$. Tension : $U = 4,5 - 1,5 \times 1,0 = \mathbf{3,0 \text{ V}}$. Puissance fournie au circuit : $3,0 \times 1,0 = 3,0 \text{ W}$. Puissance dissipée dans la pile : $1,5 \times (1,0)^2 = 1,5 \text{ W}$. Puissance totale : $E \times I = 4,5 \text{ W} = 3,0 + 1,5 \checkmark$. Rendement du générateur : $\eta = U \div E = 3,0 \div 4,5 = \mathbf{0,67}$.

Le panneau photovoltaïque

Un panneau reçoit une puissance lumineuse $P_{\text{reçue}} = \text{éclairage} \times \text{surface}$, avec l'éclairage en W/m^2 . Son rendement vaut $\eta = P_{\text{électrique}} \div P_{\text{reçue}}$. Pour $S = 1,6 \text{ m}^2$ sous un éclairage de $1\,000 \text{ W/m}^2$, la puissance reçue est $1\,600 \text{ W}$; si le panneau délivre 272 W , alors $\eta = 272 \div 1\,600 = \mathbf{0,17}$. Les 83 % restants sont réfléchis ou dissipés en chaleur.

Erreurs fréquentes

- Confondre puissance (W) et énergie (J ou Wh) : un kilowattheure est une énergie, pas une puissance.
- Oublier de convertir les durées en secondes avant de calculer une énergie en joules.
- Calculer un rendement supérieur à 1 : c'est la preuve que le numérateur et le dénominateur ont été inversés.
- Utiliser $U = R \times I$ pour un moteur ou un générateur : cette loi ne vaut que pour un conducteur ohmique.

L'essentiel à retenir

- Un convertisseur transforme l'énergie reçue en énergie utile et en pertes thermiques ; l'énergie totale se conserve.
- $P = U \times I$ (en W) et $E = P \times \Delta t$ (en J ; $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$).
- Effet Joule : $P_j = R \times I^2$ dans un conducteur ohmique.
- Rendement : $\eta = P_{\text{utile}} \div P_{\text{absorbée}}$, sans unité, toujours inférieur à 1 ; en chaîne, les rendements se multiplient.

- Générateur réel : $U = E - r \times I$; rendement du générateur $\eta = U \div E$.