

1 L'unité internationale de l'énergie et autres unités non internationales à connaître

1.1 Le joule (J) : unité internationale de l'énergie

L'unité internationale de l'énergie est le joule de symbole J.

1.2 Le kilowattheure (kWh) : unité non internationale de l'énergie, utilisée par EDF pour la facturation de l'énergie électrique

L'EDF utilise le kilowattheure dont le symbole est kWh pour mesurer et facturer l'énergie électrique consommée par un particulier (1 kWh coûte environ 0,15 € TTC).

1.2.1 Différence entre énergie et puissance

La puissance P en watts (W) est un débit d'énergie.

C'est le nombre de joules qui sont échangés par unité de temps donc pas seconde dans l'unité internationale.

Par exemple 1 watt correspond à 1 joule par seconde.

1.2.2 Formule reliant la puissance et l'énergie

$$P = \frac{E}{\Delta t} \text{ et } E = P \cdot \Delta t$$

Remarque : il s'agit de la même formule écrite de deux manières différentes en supposant que la puissance donc le débit d'énergie est constant pendant la durée Δt , avec P : puissance en watts, E : énergie reçue ou perdue, peu importe, en joules et Δt = durée en secondes.

Par exemple pour trouver l'énergie consommée par un appareil de puissance P = 3000 W fonctionnant pendant $\Delta t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ on fait le calcul suivant :

$$E = P \cdot \Delta t = 3000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 10\,800\,000 \text{ J} = 10,8 \text{ MJ} = \frac{10,8 \text{ MJ}}{3,6 \text{ MJ/kWh}} = 3 \text{ kWh}.$$

1.2.3 Méthode de conversion des kilowattheures en joules et calcul d'un prix

$$E = P \cdot \Delta t \text{ donc } 1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}.$$

Donc un kilowattheure est égal à trois millions six cent mille joules soit 3600 kilojoules, soit 3,6 mégajoules. À l'EDF, on paye l'énergie et pas la puissance. En effet, un appareil très puissant mais qui ne fonctionne pas longtemps peut coûter moins cher en électricité qu'un appareil peu puissant fonctionnant très très longtemps.

Pour l'appareil de 3000 W qui fonctionne 1 h, on met P en kilowatts soit 3 kW (3000 W = 3 kW) et on trouve l'énergie directement en kilowattheures en multipliant la puissance en kilowatts par la durée en heures soit : $E = P \cdot \Delta t = 3 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 3 \text{ kWh}$ et on sait que ça va nous coûter $\text{prix} = 3 \text{ kWh} \cdot 0,15 \text{ €/kWh} = 0,45 \text{ €}$

1.3 La calorie (cal) ou la kilocalorie (kcal) pour les aliments

Les diététiciens utilisent la calorie de symbole cal ou la kilocalorie (de symbole kcal) pour mesurer l'énergie apportée à l'organisme par tel ou tel aliment (énergie proportionnelle à la masse d'aliments et dépendant du type d'aliment).

Une calorie est la quantité de chaleur à donner à 1 gramme d'eau pour voir sa température augmenter de un degré Celsius et une kilocalorie = 1000 calories donc c'est la quantité de chaleur qu'il faut apporter à 1 kg d'eau pour voir sa température augmenter de un degré Celsius.

Par exemple 100 g de steak de bœuf apportent 200 kcal à notre organisme.

Remarque : plus l'aliment est gras et/ou sucré, plus l'apport calorique est grand. Par exemple 100 g de pommes de terre frites apportent 420 kcal alors que 100 g de pomme de terres (non frites) apportent 90 kcal.

$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$ et $1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J} = 4,184 \text{ kJ}$ et $1 \text{ kWh} = \frac{3600000}{4184} = 860,42 \text{ kcal}$.

On estime qu'un adulte doit prendre environ 3000 à 4000 kcal par jour et un déménageur ou un travailleur qui travaille à l'extérieur (bâtiment, travaux publics) doit en prendre environ 5000 car il dépense plus d'énergie. Cela représente donc entre 3,5 et 5,8 kWh d'énergie par jour provenant de la nourriture soit de l'ordre de 2 kg de steak (et l'énergie de la nourriture coûte beaucoup plus cher que l'énergie du pétrole ou de l'électricité qui à 10 centimes d'euro du kWh en moyenne correspond à 50 centimes d'énergie par jour alors qu'on achète la nourriture plus de 10 fois plus cher voire 100 fois plus cher sachant que le pétrole est encore moins cher que l'électricité). Donc l'énergie qui alimente une machine coûte beaucoup, beaucoup moins cher que l'énergie qui alimente un homme (dumping énergétique).

1.4 La tonne équivalent pétrole (tep)

En économie on utilise la tonne équivalent pétrole de symbole tep pour comparer les consommations en énergie de différents secteurs économiques et par différentes sources d'énergie comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel, le bois, l'éolien, le solaire, etc...

Une tonne équivalent pétrole correspond à l'énergie dégagée par la combustion d'une tonne de pétrole.

On considère que du point de vue énergétique, 1 t de pétrole correspond à 1,5 t de charbon ou à 1 000 m³ de gaz naturel. (même quantité de chaleur dégagée quand on les brûle).

$1 \text{ tep} = 4,187 \cdot 10^{10} \text{ J} = 41,87 \cdot 10^9 \text{ J}$ soit environ 42 GJ (gigajoules, sachant que un giga = 10^9 = 1000 méga) = 11630 kWh = $10^{10} \text{ cal} = 10^7 \text{ kcal} = 10 \text{ Gcal}$.

avec : $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3\,600 \text{ kJ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ et $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$ donc $1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J}$

2 Les formes d'énergie

2.1 L'énergie électrique

C'est l'énergie délivrée par un générateur électrique (continu ou alternatif) ou une prise de courant de l'EDF (alternatif, 230 V, 50 Hz) pour alimenter un appareil électrique. C'est aussi celle délivrée par une batterie (continu, 12 V) ou un turbo alternateur (alternatif), par une éolienne ou un barrage ou un panneau solaire (courant continu 12V ou 24V pour un seul panneau).

2.2 L'énergie mécanique

2.2.1 Définition

C'est l'énergie liée au mouvement de l'air (vent) ou de l'eau (courant), ou d'un objet (rotor d'un moteur en rotation, voiture, train, bateau, avion en translation). L'énergie mécanique est la somme de deux énergies : l'énergie cinétique, due à la vitesse et l'énergie potentielle, due à la position d'un objet dans un champ de pesanteur ou à la déformation comme dans le cas d'un ressort. Plus l'objet a une grande altitude, plus son énergie potentielle (de pesanteur)

est grande. Plus un ressort est comprimé ou tendu, plus son énergie potentielle (élastique) augmente.

2.2.2 Formules à connaître

$E_m = E_c + E_p$ avec $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ pour l'énergie cinétique de translation et

$E_p = m \cdot g \cdot z + cte$ pour l'énergie potentielle de pesanteur.

- m est la masse du corps en mouvement en kilogrammes
- v est sa vitesse en mètres par seconde
- z est son altitude en mètres,
- cte est une constante dépendant de l'origine choisie pour l'énergie potentielle, par exemple si on choisit $E_p = 0J$ à $z = 0m$, c'est à dire au niveau de la mer, alors, on a $cte=0$. On pourrait aussi bien prendre $E_p = 0$ au niveau du sol, même si le sol n'est pas au niveau de la mer avec un référentiel où $z=0$ au niveau du sol et, là encore, on a $cte=0$
- g est appelé "intensité de pesanteur terrestre" en newtons par kilogramme (N/kg) ou encore "accélération de la pesanteur terrestre en mètres par seconde au carré (m/s^2), ce qui revient au même. Au niveau du sol, on prendra $g = 9,81N/kg = 9,81m/s^2$.

2.2.3 Exercices d'application

1. Une voiture de 1 tonne roule sur route horizontale à 90 km/h. Cette route sera considérée comme origine des altitudes et origine de l'énergie potentielle. Calculer l'énergie cinétique E_c de la voiture. En déduire son énergie mécanique E_m . Vous ferez bien attention à utiliser les unités internationales pour obtenir le bon résultat.
2. Un Cessna 152 de masse en charge 700 kg vole horizontalement à une altitude de 5000 pieds et à une vitesse de croisière de 100 nœuds. Calculer son énergie mécanique E_m . On donne : 1 pied = 0,3048 m et 1 nœud = 1,852 km/h.

2.3 L'énergie chimique

C'est l'énergie contenue dans les liaisons chimiques (covalentes ou ioniques) contenues dans les composés moléculaires ou ioniques et qui peut se transformer en chaleur (essence qui brûle) pour pousser un piston et faire tourner un moteur de voiture, camion, bateau, avion ou dans un réacteur d'avion ou alors pour produire de l'électricité dans une batterie.

2.4 L'énergie nucléaire

C'est l'énergie contenue dans les noyaux d'uranium-235 (dans les cœurs des centrales nucléaires par exemple) et provenant des liaisons entre les nucléons : protons, neutrons, avec des noyaux qui vont fissionner en plus petits morceaux (produits de fission) en dégageant de la chaleur ou dans les noyaux d'hydrogène au cœur du soleil et qui vont fusionner en noyaux d'hélium en dégageant de la chaleur et en faisant briller le soleil.

2.5 L'énergie rayonnante

C'est l'énergie que nous envoie le soleil (lumière visible et invisible). On peut recevoir cette énergie rayonnante avec un panneau solaire pour la transformer en énergie électrique ou par un four solaire ou un chauffe-eau solaire pour la transformer en chaleur.

2.6 L'énergie thermique

C'est l'énergie produite par un four (solaire ou non) ou par la combustion d'un combustible et qui permet de faire cuire les aliments et d'avoir de l'eau chaude pour la douche, la vaisselle ou le chauffage de la maison l'hiver (avec une chaudière).

3 Les sources d'énergie

3.1 Définition

Une source d'énergie est de la matière dont on peut extraire l'énergie. Il ne faut pas confondre la forme d'énergie et la source d'énergie. On peut donner une analogie avec le citron et le jus de citron. Le jus de citron est extrait du citron tout comme l'énergie, peu importe sa forme, est extraite de la source d'énergie. La chaleur (forme d'énergie : énergie thermique) est extraite du bois (source d'énergie). La chaleur est obtenue lorsqu'on fait brûler le bois dans la cheminée ou le poêle à bois. Pour avoir la chaleur (la forme d'énergie), il faut acheter, transporter, stocker et brûler le bois (la source d'énergie).

3.2 Les sources non renouvelables d'énergie, mettant plus que la vie d'un homme à se régénérer

3.2.1 Le pétrole

Le pétrole est la source d'énergie la plus utilisée par l'homme sur la planète. Elle provient de la fossilisation pendant des millions d'années d'algues microscopiques. (matière organique). On le trouve sous 5 000 m de fond dans des roches sédimentaires, piégé par des couches imperméables au pétrole, gaz naturel et eau (roche réservoir). Il contient des hydrocarbures extrêmement nombreux et variés (molécules faites de H et C) saturés, insaturés, linéaires, ramifiés, cycliques, polycycliques, aromatiques, polyaromatiques,...). On parle de source fossile d'énergie (matière organique fossilisée pendant plusieurs millions d'années), de stock (avec des stocks qui s'épuisent). Il est importé des pays arabes. Cela creuse notre déficit et finance le terrorisme.

3.2.2 Le charbon

Même chose que le pétrole sauf que la matière organique provient des arbres venant de forêts extrêmement anciennes et non d'algues extrêmement anciennes. C'est aussi une source fossile d'énergie (de stock) que l'on doit importer. On n'a plus de charbon en France (toutes nos mines sont épuisées).

3.2.3 Le gaz naturel

Se forme en même temps que le pétrole et le charbon. Composé principalement de méthane de formule CH_4 . C'est le gaz de ville (importé de Russie). On n'a plus de gaz naturel en France. C'est une source fossile de stock (tous nos gisements sont épuisés). Le gaz russe finance la guerre de Poutine en Ukraine.

3.2.4 L'uranium

C'est ce qu'on utilise, entre autres dans nos centrales nucléaires (la France est le pays le plus nucléarisé du monde par rapport à sa superficie). On importe l'uranium de Russie (Kazakhstan) et d'Afrique (Mali) car on n'en a pas chez nous (toutes nos mines sont épuisées). C'est une

source fissile, non renouvelable, de stock. L'uranium de Poutine finance la Guerre en Ukraine et il fait du chantage nucléaire à la centrale de Zaporijia car on redoute un accident nucléaire comme à Tchernobyl ou Fukushima. Le nucléaire militaire est lié à l'industrie du nucléaire civil. Lors de la fission de l'uranium-235, du plutonium-239 n'existant pas dans la nature apparaît et on ne sait qu'en faire (à part des bombes atomiques). On ne sait pas quoi faire des produits de fission. On appelle cela des "déchets nucléaires" mais contrairement à des "déchets", on n'a pas le droit de les jeter dans la nature car ils sont beaucoup trop dangereux sur un laps de temps beaucoup trop long (des centaines de milliers d'années).

3.3 Les sources renouvelables d'énergie, mettant moins que la vie d'un homme à se régénérer

3.3.1 Le soleil (rayonnement solaire)

Les rayons du soleil traversent 150 millions de kilomètres de vide intersidéral et mettent 8 minutes pour faire le trajet du soleil à la Terre. Il en arrive une quantité prodigieuse qui pourrait très largement suffire à l'homme pour avoir toute l'énergie dont il a besoin. C'est une source renouvelable, de flux, qui ne s'épuise jamais, gratuite que l'on reçoit très bien chez nous. Le soleil en produit depuis 5 milliards d'années et en produira encore pendant 5 milliards d'années. Les plantes l'utilisent avec la photosynthèse pour fabriquer de la nourriture à partir du dioxyde de carbone CO_2 présent dans l'air (atmosphère terrestre). Les plantes servent de nourriture aux animaux (donc la photosynthèse des plantes donc l'énergie solaire est la base de la chaîne alimentaire).

3.3.2 La lune (marées)

La marée haute et la marée basse sont dues à l'attraction de la Lune et à la rotation de la Terre autour de son axe (deux marées hautes et deux marées basse en un tour de Terre de 24 heures autour de son axe). Cela crée des courants parfois très forts et des différences de niveau qui permettent de faire tourner des turbines et des alternateurs pour produire de l'électricité.

3.3.3 La géothermie (chaleur de la Terre)

On peut aller chercher la chaleur (donc l'énergie) dans le sous-sol en chauffant un fluide caloporteur (la température augmente en profondeur et le fluide se réchauffe donc emmagazine l'énergie que l'on peut récupérer en surface en faisant circuler ce fluide en circuit fermé).

3.3.4 L'eau dans le champ de pesanteur terrestre (hydraulique)

Une chute d'eau possède de l'énergie mécanique que l'on peut utiliser pour faire tourner des turbines et des alternateurs pour produire de l'électricité ou stocker de l'énergie (barrages, STEP : station de transfert d'énergie par pompage). C'est une source renouvelable, de flux basée sur le cycle de l'eau donc l'énergie solaire.

3.3.5 La biomasse

La biomasse est l'ensemble des matières organiques issues des plantes ou des animaux. On peut citer le bois, les algues, les déjections animales, les tontes d'herbes, les tiges des plantes, le biogaz, le biocarburant. Et pour les biocarburants, il y a trois générations : la première qui utilise la partie noble des plantes en concurrence avec l'alimentation humaine comme le bio-éthanol à partir de la betterave ou de la canne à sucre, la seconde génération utilisant les parties non nobles des plantes comme les tiges et la troisième génération à partir d'algues

monocellulaires. Les deux dernières n'étant pas en concurrence avec l'alimentation humaine et la troisième ne nécessitant pas d'engrais ni de pesticides qui pourraient contaminer les nappes phréatiques et nous empoisonner. Ce sont des sources renouvelables, de flux, que l'on a chez nous. C'est basé sur la photosynthèse des plantes donc l'énergie solaire.

3.3.6 Le vent

Le vent permet de faire tourner les éoliennes pour fabriquer de l'électricité. C'est une source renouvelable, de flux, inépuisable., basée sur la différence de température des différentes masses d'air sous l'effet du rayonnement solaire.

3.4 Un vecteur d'énergie : le dihydrogène

Le dihydrogène H_2 n'existe pas dans la nature, donc ce n'est pas une source d'énergie puisqu'il faut de l'énergie pour le fabriquer (électrolyse de l'eau). On parle de vecteur d'énergie.

On peut l'utiliser pour stocker de l'énergie venant de panneaux photovoltaïques ou d'éoliennes lorsqu'il y a du vent ou du soleil et le brûler ensuite pour produire de l'énergie lorsqu'il n'y a pas de soleil ou pas de vent. Les panneaux et l'électrolyseur transforment l'énergie rayonnante en énergie électrique puis l'énergie électrique en énergie chimique en décomposant l'eau grâce à l'énergie électrique, selon la réaction : $2H_2O \longrightarrow 2H_2 + O_2$

L'hydrogène est dit "vert" lorsqu'il est produit à partir de sources renouvelables (soleil, vent, biomasse, etc.). Ceux qui disent que l'hydrogène produit avec l'énergie électrique d'une centrale nucléaire est "vert" ou "écologique" mentent (déchets radioactifs, risque de contamination sur des millénaires). L'hydrogène obtenu par transformation chimique à partir de pétrole, de gaz naturel ou de charbon n'est pas "vert" ni "écologique" non plus (source fossile, non renouvelable, polluante, responsable du réchauffement climatique).

3.5 Nécessaire transition énergétique des sources non renouvelables vers les sources renouvelables d'énergie

En France, on n'a ni pétrole, ni charbon, ni gaz naturel, ni uranium et on importe toutes ces sources d'énergie de l'étranger (Afrique, Russie).

En France, on a du soleil, du vent, de la biomasse mais on ne les utilise pas.

Le pétrole, le charbon, le gaz, l'uranium sont des énergies de stock et les stocks se vident et c'est égoïste et irresponsable par rapport à nos enfants (générations futures) de vider tous les stocks car ces stocks ne nous appartiennent pas plus à nous qu'aux générations futures qui pourraient en faire un meilleur usage.

Les énergies renouvelables sont des énergies de flux et on peut en prélever autant que l'on en veut sans en enlever à nos enfants. C'est beaucoup moins égoïste et beaucoup plus responsable. Le pétrole, le charbon, le gaz et l'uranium polluent énormément. Le pétrole, le charbon, le gaz naturel dégagent du dioxyde de carbone CO_2 responsable du réchauffement climatique quand on les brûle.

La fission de l'uranium-235 est risquée (Fukushima, Tchernobyl) et génère plein de pollution et de déchets qui sont des poisons chimiques et radioactifs indestructibles pendant des centaines de milliers d'années.

La France a 30 ans de retard à cause du lobby de l'industrie de la fission de l'uranium-235. Entre l'EDF (État Français) et le peuple Français, c'est le pot de fer contre le pot de terre. Tout l'argent public (l'argent du peuple) sert à financer le fissile et le fossile (stock) et pas le renouvelable (flux). D'ailleurs l'état veut nationaliser EDF qui est en déficit en injectant plusieurs dizaines de milliards d'argent public dans l'opération (parce que ça coûte énormément)

et privatiser le renouvelable parce que ça va rapporter énormément. Le gouvernement français a fait en sorte que la "taxonomie" européenne considère le nucléaire et le gaz naturel comme "verts" . Le gouvernement allemand s'y est opposé (à cause du nucléaire et pas pour le gaz russe). C'est un mensonge, contraire à la science. Ce n'est donc pas un choix scientifique mais un choix politique (mauvaise pioche).

3.6 Nécessaire sobriété énergétique

La meilleure énergie est toujours celle que l'on ne gaspille pas. Gaspiller, c'est polluer et c'est risqué pour la survie de l'humanité. Voici quelques pistes pour économiser l'énergie :

- Isolation des bâtiments ;
- Moyens de transport plus sobres et moins polluants en améliorant le rendement des convertisseurs d'énergie ;
- Lutte contre les trajets inutiles des personnes et des marchandises ;
- Circuit court (moins de transports inutiles de marchandises dans les bateaux, les camions, les avions) ;
- Relocalisation de la production ;
- Consommation de produits locaux et de saison (agriculture biologique avec vente directe du producteur au consommateur) ;
- Lutte contre la publicité (journaux, télévision, informatique, courriels) ;
- Recyclage, réparation des machines, lutte contre l'obsolescence programmée ;
- Lutte contre la recherche utopique d'une croissance infinie dans un monde fini (qui est contraire aux lois de la physique) ;
- Recherche du "toujours mieux" plutôt que du "toujours plus" ;
- Lutte contre le dumping (énergétique, social, fiscal, écologique) qui crée la délocalisation donc le chômage, le gaspillage et la pollution à outrance pour payer moins à court terme mais pas à long terme car il faudra payer la note un jour et nos enfants paieront à notre place (effets pervers de la mondialisation et de l'ultralibéralisme dérégulé).

On ne pourra pas réussir la transition énergétique vers le 100 % renouvelable sans la sobriété énergétique. Sobriété (donc lutte contre le gaspillage) n'est pas forcément synonyme de malheur et, au contraire, peut conduire au bonheur en permettant de créer de l'emploi non délocalisable et de faire des bénéfices. Gaspillage n'est pas forcément synonyme de bonheur et, au contraire, conduit au malheur (pollution, contamination généralisée de l'eau, de l'air et de la terre et réchauffement climatique global, conditions de survie extrêmement difficiles sur la planète Terre). En détruisant l'écosystème, l'homme, qui est un sous-système de l'écosystème, se détruit lui-même. Nous sommes en train de couper la branche sur laquelle nous sommes assis (cercle vicieux). Il faut donc arrêter de couper la branche le plus vite possible avant qu'elle ne tombe et nous avec. Nous n'avons pas le choix.

4 Le convertisseur d'énergie

4.1 Principe de conservation de l'énergie

L'énergie ne peut ni être détruite, ni être créée, elle ne peut que changer de forme (se transformer ou se convertir). Par conséquent, elle se conserve au cours de ses différentes transformations.

4.2 Définition et exemples

Un convertisseur d'énergie convertit une forme d'énergie (énergie absorbée E_a) en une autre forme d'énergie (énergie utile E_u) et une partie de l'énergie absorbée est perdue dans l'environnement

sous forme de chaleur le plus souvent mais ça peut être aussi du bruit ou du rayonnement ou la somme de tout cela et on la note E_p . En vertu du principe de conservation de l'énergie, on a la relation :

$$E_a = E_u + E_p$$

Voici quelques exemples de convertisseurs :

- Un moteur électrique convertit l'énergie électrique en énergie mécanique (de rotation) ;
- Un moteur thermique convertit l'énergie chimique en énergie mécanique (de rotation) ;
- Une batterie convertit l'énergie chimique en énergie électrique ;
- Une turbine convertit l'énergie mécanique de translation en énergie mécanique de rotation ;
- Un alternateur convertit l'énergie mécanique (de rotation) en énergie électrique ;
- Une chaudière à gaz convertit l'énergie chimique en énergie thermique ;
- Une plaque électrique convertit l'énergie électrique en énergie thermique ;
- Un électrolyseur convertit l'énergie électrique en énergie chimique ;
- Une pile classique ou à combustible convertit l'énergie chimique en énergie électrique ;

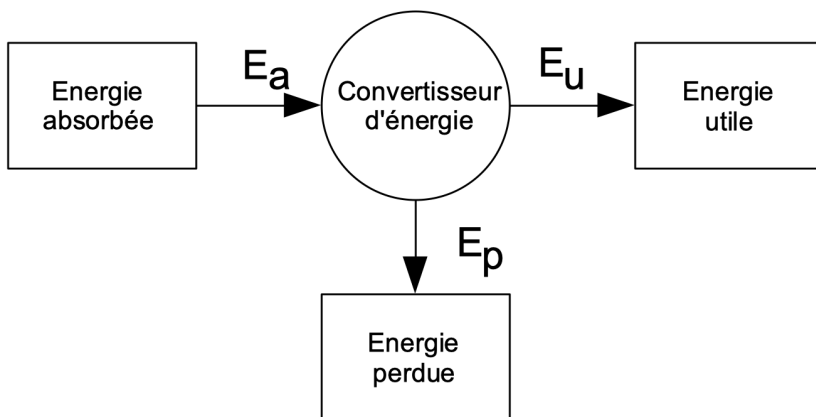
4.3 Rendement d'un convertisseur

4.3.1 Définition du rendement d'un convertisseur

Le rendement d'un convertisseur est un nombre sans dimension, noté η , compris entre 0 et 1 (ou 0% et 100%), égal à l'énergie sortant du convertisseur (énergie utile E_u) divisée par l'énergie entrant dans le convertisseur (énergie absorbée E_a).

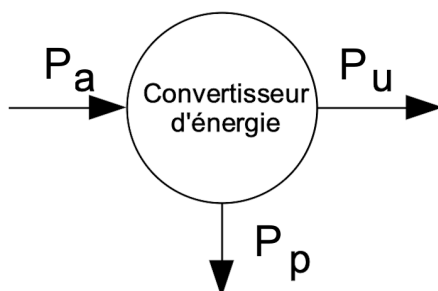
$$\eta = \frac{E_u}{E_a} \quad (1) \text{ on peut aussi écrire } \eta = \frac{E_u}{E_a} = \frac{P_u \cdot \Delta t}{P_a \cdot \Delta t} = \frac{P_u}{P_a} \text{ soit : } \eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (2)$$

4.3.2 Diagramme d'énergie d'un convertisseur



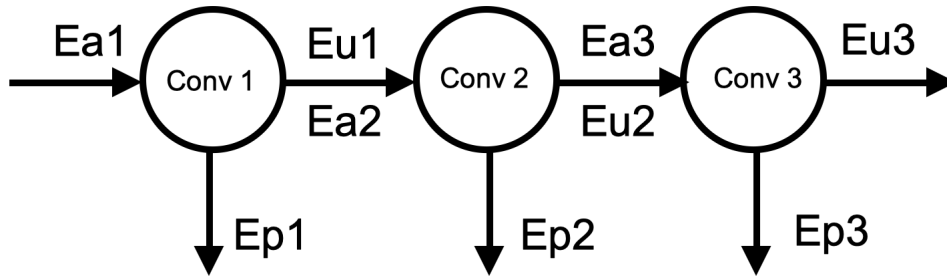
$$\eta = \frac{E_u}{E_a} \quad (1)$$

4.3.3 Diagramme de puissance d'un convertisseur



$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (2)$$

4.3.4 Rendement d'une chaîne de convertisseurs

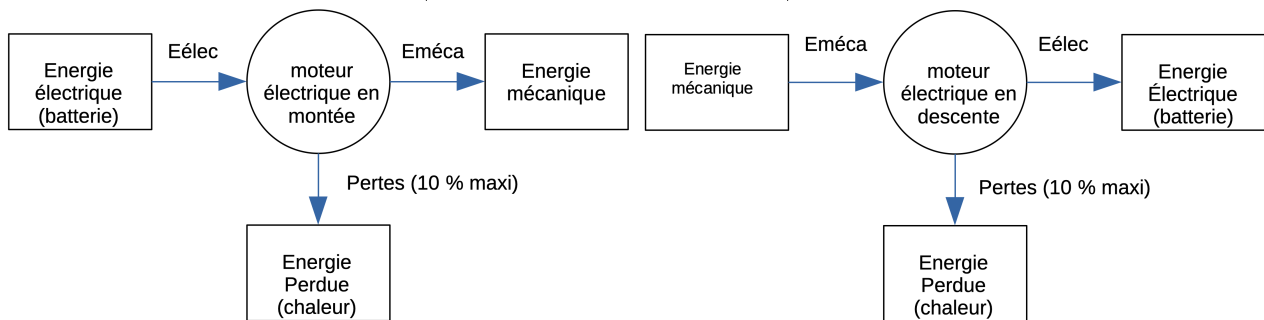


$$\eta = \frac{E_{u3}}{E_{a1}} = \frac{E_{u3}}{E_{u2}} \cdot \frac{E_{u2}}{E_{u1}} \cdot \frac{E_{u1}}{E_{a1}} = \frac{E_{u3}}{E_{a3}} \cdot \frac{E_{u2}}{E_{a2}} \cdot \frac{E_{u1}}{E_{a1}} = \eta_3 \cdot \eta_2 \cdot \eta_1 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

Le rendement d'une chaîne de convertisseurs est égal au produit des rendements de tous les convertisseurs. Comme tous les rendements sont inférieurs à 1, le rendement de la chaîne est forcément inférieur au rendement du maillon le plus faible.

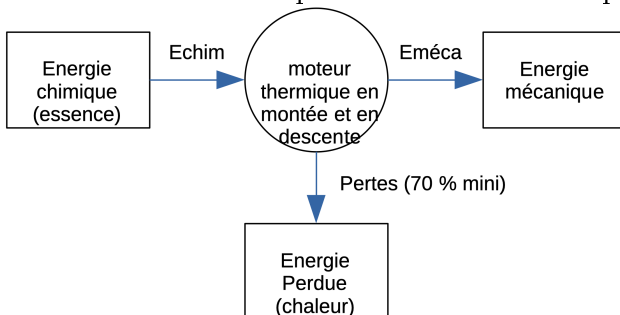
4.4 Convertisseur réversible, convertisseur non réversible

Un convertisseur est dit réversible lorsqu'il peut convertir l'énergie dans les deux sens. Par exemple, le moteur électrique est un convertisseur réversible puisqu'il convertit l'énergie électrique en énergie mécanique (ce qui vide la batterie) en montée et il convertit l'énergie mécanique en énergie électrique en descente (ce qui recharge la batterie).



$$\eta_1 = \frac{E_{meca}}{E_{elec}} > 90\% \text{ et } \eta_2 = \frac{E_{elec}}{E_{meca}} > 90\%$$

Par contre, un convertisseur est dit non réversible lorsqu'il dégrade la majorité de l'énergie qu'il reçoit en chaleur, perdue aux 2/3. Par exemple, le moteur thermique est un convertisseur non réversible. Il convertit l'énergie chimique (de l'essence) en énergie thermique puis mécanique, aussi bien en montée qu'en descente car il ne peut pas refabriquer de l'essence lors de la descente.



$$\eta = \frac{E_{meca}}{E_{chim}} < 30\%$$

La conséquence directe est que le rendement d'un convertisseur électrique est bien supérieur au rendement d'un moteur thermique. Une autre conséquence est que le moteur électrique est silencieux, que le freinage est meilleur (moins d'usure des freins) et qu'il y a beaucoup moins de pertes sous forme de chaleur dans l'environnement.

Le rendement d'un moteur électrique est de l'ordre de 90% alors que le rendement d'un moteur thermique est inférieur à 30%. Il chauffe et fait du bruit et des gaz d'échappement bien plus

qu'il ne fait avancer la voiture. Il y a un énorme gaspillage d'énergie.

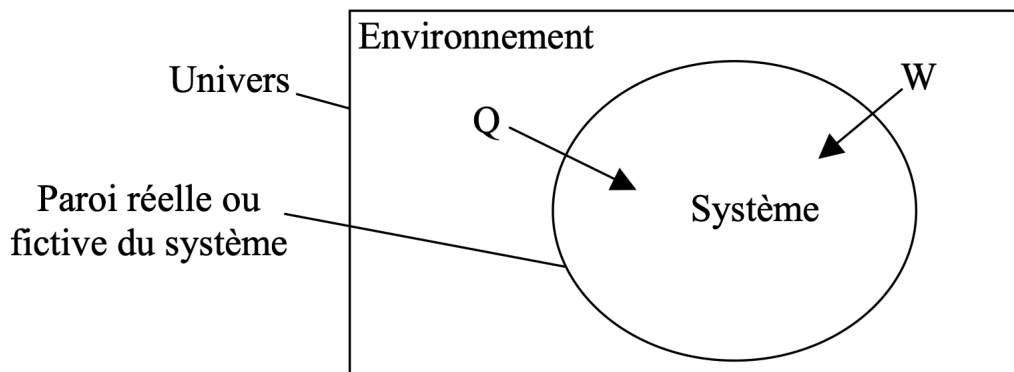
Une voiture électrique, en ville, consomme de l'ordre de 10 kWh/100 km, ce qui correspond à ce qu'il y a comme énergie dans 1L d'essence au lieu de 8 L/100 km. Il consomme donc de l'ordre de 8 fois moins d'énergie pour la même distance parcourue. C'est beaucoup plus économique et beaucoup plus respectueux des habitants des villes. De plus, si on place des panneaux solaires sur le toit de son garage, on peut produire soi-même l'énergie électrique pour alimenter sa voiture (et comme on ne paye pas les rayons du soleil qui arrivent chez nous, on devient les rois du pétrole... sans pétrole et... sans nucléaire).

5 Notion de système

5.1 Définition

Un système est un ensemble de particules de matière entouré par une paroi réelle ou fictive qui le sépare de son environnement. L'environnement étant lui même défini par l'univers moins le système (c'est tout ce qui, dans l'univers, n'est pas le système). On peut retenir que $\{\text{univers}\} = \{\text{système}\} + \{\text{environnement}\}$. On s'intéressera aux échanges d'énergie entre le système et son environnement à travers la paroi du système. C'est au physicien de définir son système.

5.2 Schéma explicatif



5.3 Exemples

- La liberté n'est pas un système car ce n'est pas de la matière.
- La statue de la liberté est un système car elle contient de la matière.
- De l'eau dans une casserole est un système et dans ce cas la casserole fait partie de l'environnement et la paroi du système est fictive.
- Si je choisis de prendre l'eau et la casserole comme système, la casserole ne fait plus partie de l'environnement mais du système. Par contre, la flamme qui chauffe la casserole fait partie de l'environnement.
- Si on met une pomme de terre à cuire dans l'eau de la casserole, je peux choisir la pomme de terre comme système. Dans ce cas, l'eau, la casserole et la gazinière font partie de l'environnement.
- Je pourrais aussi prendre comme système l'eau sans la pomme de terre ni la casserole ni tout le reste.
- Je ne peux pas changer de système sans prévenir car ça change tout. Pour la révision de mon vélo, c'est +60 € sur le compte en banque du magasin de vélo et -60 € sur le mien.

C'est la même somme mais pas le même signe en fonction du compte choisi (le système à bien définir est soit mon compte en banque soit celui de mon magasin de vélo).

- Tout sous-système d'un système est un système.
- Si on assemble plusieurs sous-systèmes d'un système, on obtient encore un système.

6 Transfert ordonné W et désordonné Q entre un système et son environnement

6.1 Schéma explicatif



6.2 Différence entre "énergie" et "transfert d'énergie"

L'énergie est un nombre positif alors que le transfert d'énergie est un nombre algébrique pouvant être soit positif, lorsque l'énergie est reçue par le système soit négatif, lorsque l'énergie est donnée par le système.

6.3 Transfert ordonné d'énergie entre le système et son environnement : le travail W (première lettre de "work" qui signifie "travail" en anglais)

Dans le cas de notre dessin, tous les points du solide vont voir leur vitesse augmenter mais de manière coordonnée et si c'est une translation, tous les points auront exactement le même mouvement et les vecteurs vitesse seront tous égaux avec la même direction, le même sens et la même norme. C'est ce qui se passe lorsqu'on pousse une voiture en exerçant une force dessus, par exemple.

6.4 Transfert désordonné d'énergie entre le système et son environnement : la chaleur Q (première lettre du mot quantité pour la "quantité de chaleur")

Dans le cas de notre dessin, toutes les molécules vont voir leur vitesse augmenter mais de manière désordonnée et les vecteurs vitesse seront tous différents avec une direction, un sens, une norme différente pour chaque molécule. C'est ce qui se passe lorsqu'on chauffe l'eau dans une casserole, par exemple.

7 Débit d'énergie : la puissance, en électricité

En électricité, en courant continu, la puissance P est égale à $P = U \cdot I$ avec :

- P : puissance électrique en watts (W)
- U : tension électrique en volts (V)
- I : intensité du courant électrique en ampères (A)

Pour une résistance, on a la relation $U = R \cdot I$ appelée loi d'Ohm avec :

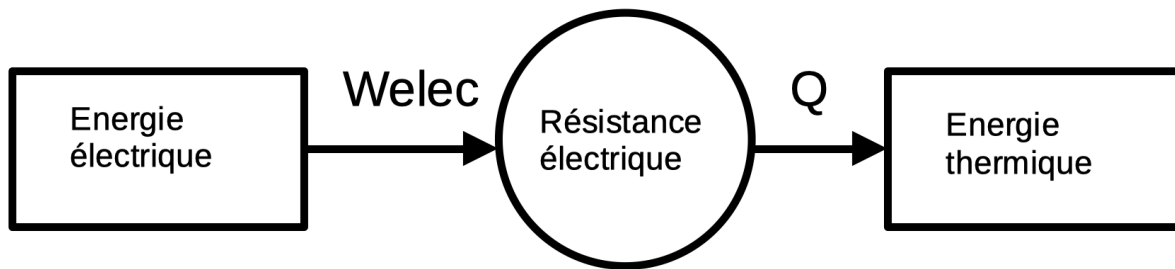
— R : résistance électrique en ohms (Ω).

On obtient $W_{elec} = U \cdot I \cdot \Delta t = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$ soit $W_{elec} = R \cdot I^2 \cdot \Delta t = Q$ (loi de Joule)

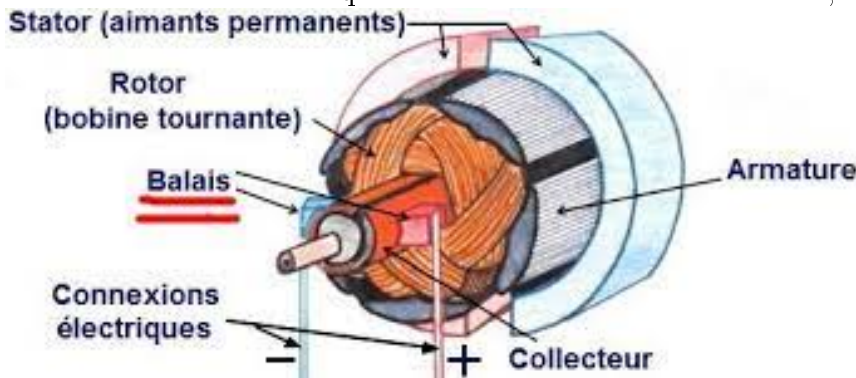
La loi de joule $Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$ s'exprime donc ainsi : tout conducteur traversé par un courant électrique produit une quantité de chaleur égale au produit de la résistance du conducteur par le carré du courant qui le traverse et par le temps d'utilisation.

On interprétera cette loi en disant que la résistance est un convertisseur d'énergie qui convertit intégralement l'énergie électrique qu'elle reçoit en énergie thermique. C'est le principe des radiateurs électriques, des bouilloires électriques, des plaques électriques et des fours électriques.

$$W_{elec} = Q$$



L'effet joule, dû à la circulation du courant électrique dans les fils qui ont une résistance faible mais non nulle et qui augmente avec la longueur des fils, est le siège de perte de rendement dans les moteurs électriques qui chauffent (pertes dans le cuivre). Il y a aussi les pertes dans le fer (courants électriques induits dans les noyaux de fer des bobines, encore appelées armatures, même si elles sont feuilletées pour minimiser au maximum de tels courants) et aussi les pertes par frottement des roulements et éventuellement des balais frotteurs qui alimentent le rotor en électricité dans le cas des moteurs électriques à courant continu. Ceci dit, les moteurs de vélos, voitures et tondeuses électriques à batterie sont des "brushless", c'est à dire sans balais.



Exercices :

1. Calculez la quantité de chaleur produite par une résistance de 50Ω traversée par un courant de $4,4 \text{ A}$ pendant 10 minutes. Quel est la tension d'alimentation ?
2. Un radiateur électrique a une puissance de 3000 W . Il fonctionne pendant 50 minutes. Calculez l'énergie électrique consommée en kilowattheures et en déduire le prix à payer à EDF. Convertir cette énergie en unité internationale.
3. Dans le cas des voitures la puissance est exprimée en cheval-vapeur (CV). Sachant que 1 CV correspond à 736 W , calculez la puissance d'une voiture de 90 CV en watts. À quoi correspond cette puissance ?
4. Une voiture électrique développe, pour rouler à 100 km/h , une puissance de 15 CV . Elle roule sur une distance de 100 km . Calculez en kWh l'énergie électrique consommée sachant que le rendement est de 95% ainsi que son prix de revient (au prix de 15 centimes le kWh TTC). Comparer avec le prix de l'essence pour le même trajet. Conclure.