



Société Nucléaire Canadienne

Comité de l'éducation et des communications

Feuillet éducatif sur l'énergie et la puissance - et pot-pourri d'unités

www.cns-snc.ca

joule newton

watt calorie

électron-volt

Avez-vous une bonne compréhension de l'énergie et de la puissance ? Ce feuillet éducatif présente quelques concepts simples, mais qui sont importants pour bien comprendre l'énergie et la puissance, et leur relation à la vie de tous les jours.

En physique, l'énergie est définie comme étant la "quantité de travail fait" – c'est-à-dire le produit d'une force (appliquée à une masse) et de la distance couverte. Dans le Système International (SI) d'unités, l'unité d'énergie est le joule (J), défini comme le produit d'1 newton (N) par 1 mètre (m). La puissance est définie comme étant énergie par unité de temps, et le watt (W) est défini comme étant 1 joule par seconde.

$$\begin{aligned} \text{énergie} &= \text{force} \cdot \text{distance} \\ [\text{joule ou J}] & [\text{newton ou N}] \cdot [\text{mètre ou m}] \end{aligned}$$

Tout ceci est très fondamental. Relions-le à la réalité. Une masse d'un kilogramme (kg) à la surface de la terre est sujette à une force gravitationnelle vers le centre de la terre d'environ 9,8 N. Si cette masse, étant à l'origine sur un banc de travail, est soulevée sur une distance verticale de 10,2 cm, son énergie potentielle gravitationnelle augmente d'1 J ($9,8 \text{ N} \cdot 0,102 \text{ m}$). Si ce mouvement est effectué en 1 seconde, la puissance moyenne requise sera d'1 W.

Si on laisse tomber la masse, elle accélère vers le banc de travail, et son énergie potentielle gravitationnelle est transformée en énergie cinétique – l'énergie de mouvement – jusqu'à ce qu'elle heurte le banc.

Mais où est passée l'énergie une fois que la masse s'est arrêtée après avoir heurté le banc ?

La collision avec le banc a fait un bruit – une partie de l'énergie cinétique a été convertie en son. Il se peut que le banc ait été endommagé par la collision, et il se peut donc qu'une partie de l'énergie ait été transformée en travail – le travail fait dans l'endommagement du banc. Ultiment, la plus grande partie de l'énergie cinétique est transformée en chaleur, qui réchauffe le banc de travail, la masse même, et l'air.

D'où est provenue l'énergie requise pour soulever la masse ?

Si c'est une personne qui a soulevé la masse, c'est de l'énergie biochimique qui a été utilisée pour augmenter l'énergie potentielle gravitationnelle de la masse. L'unité communément utilisée quand on parle d'énergie chimique est la calorie (cal). Une calorie vaut environ 4,2 J – c'est l'énergie requise pour augmenter la température d'1 g d'eau d'1°C. (N.B.: l'énergie contenue dans les aliments est souvent donnée en unités de "Calorie"; ceci est en fait une kilocalorie – un millier de calories que nous venons tout juste de définir. Ce feuillet éducatif s'en tient à la définition de la calorie ci-dessus, même dans les discussions sur l'énergie dans les aliments.) La personne qui a soulevé la masse a consommé des aliments qui ont fourni l'énergie biochimique qui a fait agir les muscles. Si l'on suppose que le corps humain peut soulever cette masse d'1 kg avec un rendement parfait, ceci requiert environ 0,24 cal. Les glucides et les protéines fournissent 4 kcal/gramme (kcal/g), tandis que les lipides fournissent 9 kcal/g. Donc, il suffirait d'environ 62 µg (microgrammes) de glucose comme source d'énergie pour cette expérience.

Quand une personne de 50 kg escalade une échelle, et que son centre de masse est soulevé de 8,6 mètres, son énergie potentielle gravitationnelle augmente de 4,2 kJ. En supposant de nouveau un rendement parfait, ceci requiert 1 kcal, ou 0,25 g de glucose.

Une personne moyenne consomme environ 2 000 kcal (2 Mcal) par jour – les athlètes et les personnes obèses consomment plus, tandis qu'une personne à mobilité limitée aura un plus bas niveau métabolique et consommera moins. Les guides alimentaires spécifient le contenu énergétique des différents aliments que l'on consomme. Convertissons ceci en unités « physiques ».

$$2000 \cdot 1000 \cdot \text{calories} \cdot 4,2 \frac{\text{joules}}{\text{calorie}} = 8,4 \text{ MJ}$$

$$24 \text{ heures} \cdot 60 \frac{\text{minutes}}{\text{heure}} \cdot 60 \frac{\text{secondes}}{\text{minute}} = 86\,400 \text{ s}$$

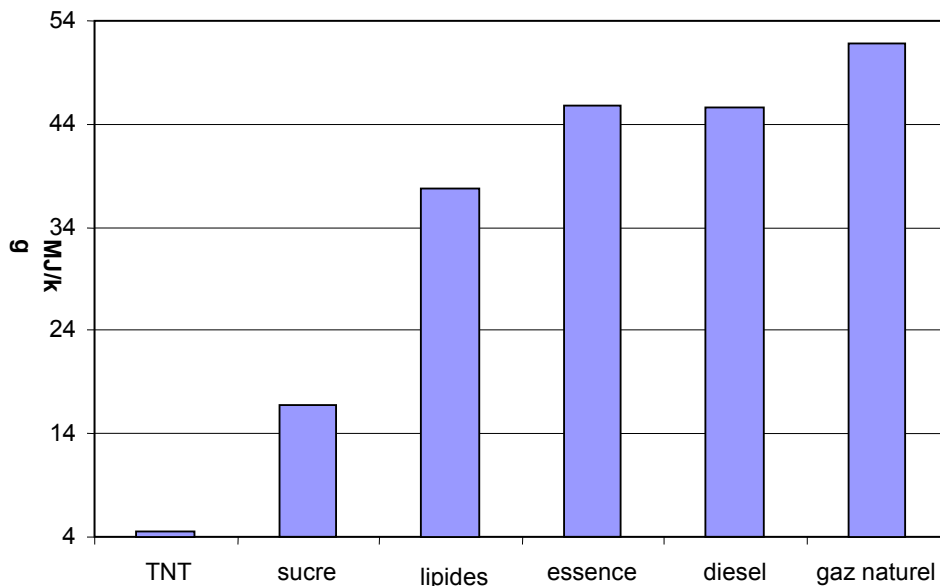
En moyenne, si le corps humain pouvait convertir avec un rendement parfait l'énergie biochimique des aliments en chaleur, les 2 Mcal correspondraient à 8,4 MJ – et, si dépensée sur 24 heures, le rendement en puissance serait 97,2 W en moyenne. Ce dernier nombre est intéressant – il ressort que les systèmes d'air climatisé dans les établissements tels les cinémas sont dimensionnés pour un rendement d'environ 100 W de chaleur par personne dans la salle. En fait, c'est également la chaleur produite par une ampoule incandescente de 100 W (la lumière qui ne s'échappe pas par la fenêtre est ultimement transformée en chaleur).

D'où vient cette énergie biochimique ?

Ce sont les réactions entre les sucres et les matières lipides qui permettent au corps humain de libérer de l'énergie chimique. Les produits de ces réactions sont le dioxyde de carbone et l'eau. Les sucres et les lipides sont des molécules organiques, très grandes et complexes, avec plusieurs liens carbone-carbone et carbone-hydrogène. Ces réactions sont au rang des réactions chimiques les plus énergétiques du point de vue d'énergie libérée par masse de combustible. Le diagramme de barres ci-dessous démontre que la densité d'énergie libérée dans l'oxydation des lipides se rapproche de celle de l'essence, tandis que l'explosif trinitrotoluène -2,4,6 (TNT) a une densité énergétique beaucoup moindre. Les sucres et les matières lipides contiennent un petit montant d'oxygène, qui est requis pour la combustion – le corps doit y ajouter. (Le TNT contient tout l'oxygène requis pour la combustion. Malgré sa densité énergétique comparativement basse, sa capacité d'exploser quand amorcé le rend utile.)

Le graphique montre aussi que le gaz naturel, dont le constituant principal est le méthane, a une densité énergétique (spécifique) plus élevée, 52 MJ/kg. L'hydrogène, qui n'est pas inclus dans le diagramme, a une valeur spécifique encore plus élevée, environ 120 MJ/kg.

Densité énergétique dans l'oxydation de certaines substances

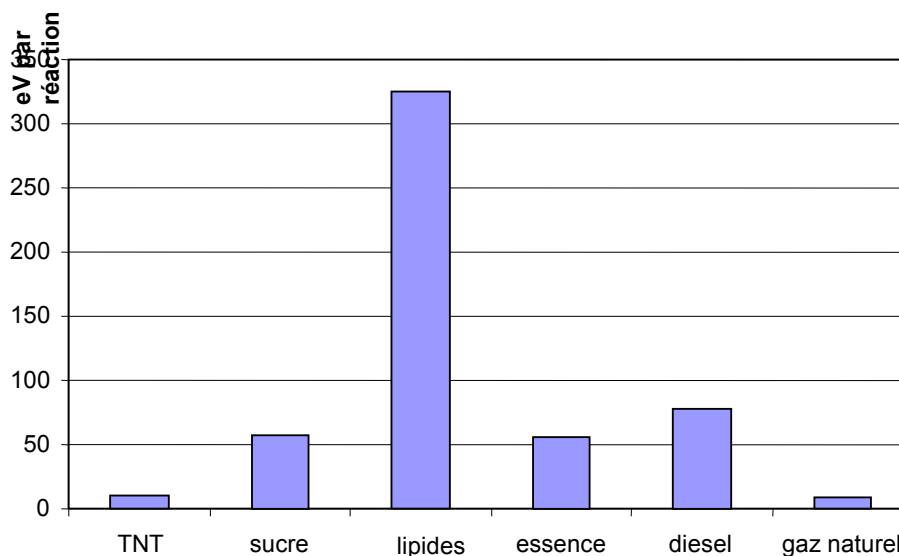


Afin de comparer les réactions chimiques, exprimons ces données en fonction de l'énergie par molécule oxydée. Le sucres, les lipides et l'essence représentent chacun un groupe de masses moléculaires différentes. Mais en utilisant des valeurs représentatives, il est possible d'avoir une comparaison indicative. On utilise souvent l'unité électron-volt [eV] en discutant des énergies des réactions atomiques ou moléculaires. Cette unité représente la quantité d'énergie qu'un électron acquiert en passant à travers une différence de potentiel électrique d'1 V.

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Le diagramme de barres ci-dessous compare ces substances. La valeur de 325 eV pour l'oxydation d'une molécule de lipide représente le total de plusieurs étapes biochimiques intermédiaires. Une valeur plus appropriée à comparer avec les autres est la valeur par étape biochimique, qui est environ 100 eV. Chaque atome d'hydrogène contribue environ 1 eV (ceci n'est pas illustré).

Énergie d'oxydation de certaines substances, en se basant sur des masses moléculaires représentatives



L'énergie nucléaire

Les valeurs d'énergie pour les réactions moléculaires se rapportent aux interactions entre les nuages d'électrons d'atomes et de molécules, c'est-à-dire que c'est la force électromagnétique qui en est la source. Il est intéressant de comparer les énergies moléculaires avec celles qui ont leur origine dans la force nucléaire (ou interaction forte), associée aux interactions nucléaires. Les désintégrations radioactives individuelles par émission de particule alpha libèrent des énergies allant jusqu'à environ 10 millions d'électron-volts (MeV): 100 000 fois plus que les réactions chimiques les plus énergétiques. La fission d'un seul noyau d'²³⁵U libère une énergie d'environ 200 MeV au total: 2 millions de fois plus que les réactions chimiques les plus énergétiques. De ce total, environ 180 MeV sont disponibles instantanément. (Sur l'échelle du diagramme ci-dessus, la barre de la fission aurait une hauteur de 30 km !)

Il est important de noter que l'énergie libérée dans les réactions chimiques tant bien que nucléaires provient de la conversion d'une partie de la masse des atomes, molécules, ou noyaux en énergie – ceci est résumé dans la célèbre équation d'Einstein, qui exprime l'équivalence entre masse et énergie: $E = mc^2$. Cette équation est souvent faussement supposée s'appliquer exclusivement aux réactions nucléaires, mais elle s'applique également aux réactions chimiques (sauf que les énergies chimiques sont plusieurs ordres de grandeur plus petites, comme on l'a vu plus haut.)

Moteurs thermiques – accomplissant des choses utiles avec la chaleur

L'énergie thermique chauffe les immeubles et les maisons. Certaines fournaies résidentielles à haut rendement fonctionnent à un rendement supérieur à 90%. Les pertes d'énergie incluent l'admission d'air pour la combustion, une combustion imparfaite, la conduite des gaz d'échappement vers l'extérieur, et le pompage de l'eau de condensation à partir de l'échangeur de chaleur vers un canal de drainage.

Les moteurs thermiques transforment la chaleur en énergie mécanique. Tous les "moteurs thermiques" fonctionnent en transportant de l'énergie d'une "source" à haute température vers un "puits de chaleur", tout en transformant une fraction de la chaleur de la source en énergie mécanique.

Un moteur à essence ou un à moteur diesel employé dans un véhicule utilise l'expansion des gaz chauds de combustion pour actionner un piston qui tourne un vilebrequin, qui enfin tournent les roues ou l'hélice du véhicule. La transformation de la chaleur en énergie mécanique est intrinsèquement inefficace. La physique des moteurs thermiques fait partie de la science nommée thermodynamique. Les moteurs d'auto typiques ont un rendement maximum d'environ 20%. Il est possible d'utiliser la chaleur résiduelle de certains moteurs pour d'autres usages. En hiver, le système de chauffage d'une auto utilise la chaleur du moteur pour réchauffer l'air à l'intérieur de l'auto. En été, le moteur actionne le compresseur d'un climatiseur d'air pour refroidir l'air à l'intérieur de l'auto (de ce fait réduisant le rendement du combustible), et rejette plus de la chaleur résiduelle à l'air ambiant.

Les moteurs plus gros, qui ne sont pas mobiles et qui ne fonctionnent pas dans des environnements contraires, peuvent atteindre des rendements plus élevés. Les centrales électriques à combustible fossile ou nucléaire font bouillir de l'eau

et produisent de la vapeur à haute pression qui actionne une turbine et un générateur électrique. Elles atteignent couramment un rendement d'un peu plus de 30%. La vapeur est menée de la turbine à un condenseur à basse pression. La chaleur résiduelle est absorbée par le condenseur et est rejetée à l'environnement – soit à des masses d'eau, soit à l'atmosphère, soit à des tours de refroidissement par évaporation d'eau. Afin d'augmenter le rendement encore plus, il faut augmenter la température et la pression de la vapeur. Les centrales où l'eau est poussée à une pression plus élevée que la pression critique (l'eau devient donc un fluide supercritique) atteignent des températures et des pressions plus élevées et un rendement supérieur à 40%. (Au delà de la pression critique, il n'y a pas de bulles de vapeur qui se forment dans l'eau.) Dans les centrales à cycle combiné, une turbine à gaz (au gaz naturel) entraîne un alternateur, mais en plus la chaleur des gaz d'échappement est utilisée pour bouillir de l'eau et produire de la vapeur, qui est ensuite détendue dans une autre turbine qui elle aussi entraîne un alternateur. Ces centrales peuvent atteindre un rendement supérieur à 60%.

Conversion directe

Les dispositifs tels les piles à combustible transforment directement l'énergie chimique libérée par oxydation en énergie électrique ; le combustible est de l'hydrogène. Cette conversion peut atteindre des rendements d'environ 50%. Cependant, l'hydrogène n'est pas disponible comme combustible naturel ; il n'est donc pas classifié comme source énergétique de base, mais plutôt comme « devise énergétique ». L'hydrogène peut être produit à partir de gaz naturel ou de pétrole, en utilisant la combustion comme source d'énergie nécessaire, ou bien il peut être produit par électrolyse de l'eau, en utilisant de l'énergie électrique fournie par une autre source.

Les panneaux solaires photovoltaïques transforment l'énergie solaire directement en énergie électrique. Les piles solaires à haute performance atteignent un rendement de 25%. On s'attend à ce que les piles solaires multicouche (piles superposées, sensibles à des longueurs d'onde différentes) soient capables d'un rendement approchant 50%.

Le stockage d'énergie

Les technologies qui sont disponibles pour le stockage d'énergie ne sont pas nombreuses.

- L'énergie électrique peut être stockée comme énergie chimique en pile, pour usage ultérieur.
- Les combustibles chimiques, tel l'hydrogène, servent comme source d'énergie stockée.
- Certaines centrales hydroélectriques ont la capacité de pomper de l'eau à une hauteur plus élevée quand il y un excès de puissance installée ; cette eau peut ensuite être utilisée produire de l'électricité quand elle est requise.
- L'on peut pomper de l'air à haute pression dans des structures souterraines ; l'air sera évacué plus tard (semblable à l'action de pomper de l'eau à une hauteur plus élevée).
- Certaines machines, tels les volants d'inertie, peuvent stocker des quantités limitées d'énergie.

Toutes technologies de stockage d'énergie ont un rendement limité.

Disponibilité

Pour certains usages, il est important que l'énergie soit disponible sur demande. Ceci est spécialement le cas de l'énergie électrique, qui ne peut être stockée en grandes quantités. Les exemples sont nombreux ; ils incluent les ascenseurs, les feux de circulation, les équipements médicaux. Par contre, d'autres usages peuvent être interrompus quand l'énergie requise n'est pas disponible.

Tous les moyens de production d'électricité ont une disponibilité limitée. L'équipement peut requérir de l'entretien, ou bien tomber en panne. Les barrages hydroélectriques peuvent manquer d'eau en saison sèche. Les éoliennes peuvent manquer de vent pendant plusieurs jours. Le rendement des panneaux solaires est limité par les périodes ennuagées et les heures de nuit. Les services d'électricité doivent avoir des sources variées afin de subvenir à la demande attendue, avec un rendement fiable.

Références

- www.turborick.com/gsxr1127/gasoline.html
- hypertextbook.com/facts/
- chemistry.about.com/library/weekly/aa021403a.htm
- www.hc-sc.gc.ca/fn-an/food-guide-aliment/index_e.html
- www.wikipedia.org