



Activités humaines et besoins en énergie

1 – Qu'est-ce que l'énergie ?

« En ce moment, je manque d'énergie... » : c'est l'hiver. Au quotidien, l'énergie correspond à une *réserve de pouvoir*. Elle permet d'agir.

L'énergie est un concept ancien. Après exploité sa propre force et celle des animaux, l'Homme a appris à exploiter celles de la Nature afin de lui fournir une quantité croissante de travail mécanique par l'emploi de machines : machines-outils, chaudières, moteurs...

L'existence de l'énergie peut apparaître sous des masques divers et on peut ainsi sentir de quelle manière elle dépend de la situation.

- Une voiture possède une énergie d'autant plus élevée qu'elle roule plus vite ; cette énergie est inférieure à celle d'un camion allant à la même vitesse.
- Un ressort, lorsqu'il est comprimé, a une énergie plus grande que lorsqu'il est détendu.
- L'énergie d'une pile électrique avant sa mise en service est plus grande que lorsqu'elle est déchargée.
- L'énergie d'une casserole d'eau augmente lorsqu'on la chauffe.

L'énergie se présente ainsi sous des formes très diverses. Pour chacune d'entre elles, les comparaisons effectuées montrent que l'énergie d'un système physique **dépend de l'état** dans lequel il se trouve. Dans les exemples ci-dessus, cet état est caractérisé par la vitesse et la masse du véhicule, la déformation du ressort, la charge électrique, la température. Nous allons le voir, les divers types d'énergie peuvent, au moins partiellement, prendre bien d'autres formes. Ces transformations de l'énergie sont utilisées dans la vie courante, mais chacune d'entre elles génère des pertes.

1.1 – Une grandeur qui se conserve

Au sens physique, il n'existe pas de « source » d'énergie ou de « perte » d'énergie à proprement parler, car l'énergie ne peut ni se créer ni disparaître : c'est une grandeur fondamentalement conservative.

Richard Feynman, prix Nobel de Physique en 1965, explique dans le Tome I de son Cours de Physique :

« Nous allons maintenant examiner l'une des lois les plus fondamentales de la physique, la conservation de l'énergie. C'est un fait, ou si vous voulez une loi, qui gouverne tous les phénomènes naturels connus à ce jour. Il n'y a pas d'exception connue à cette loi – elle est exacte pour autant que nous le sachions. La loi est appelée conservation de l'énergie. Elle affirme qu'il y a une certaine quantité que nous appelons énergie qui ne change pas dans les multiples modifications que peut subir la nature. »

Le concept lui-même a été inventé à cette fin. Toute la question énergétique repose, aujourd'hui, sur les transformations de l'énergie.

**A** Qu'est-ce que l'énergie ?

« L'énergie, c'est ce qui permet de créer du chaud à la place du froid (ou inversement), de déplacer des objets ou des personnes là où ils ne pourraient être autrement, ou encore d'éclairer une scène qui resterait sinon dans le noir...

Souvent, cette manière « intuitive » d'aborder l'énergie nous fait oublier qu'il s'agit aussi, et avant tout, d'une grandeur physique, qui s'exprime en joules...

L'énergie a cependant la très mauvaise idée d'être gouvernée par deux lois bien connues en physique, les premier et second principes de la **thermodynamique** : d'une part, il n'est pas possible de créer de l'énergie, mais seulement de la transformer (premier principe)

et, d'autre part, toutes les transformations ne sont pas **réversibles** (second principe).

Les conséquences de ces deux lois ne sont pas anodines : l'impossibilité de créer de l'énergie nous rend tributaires de divers stocks existants, certes aux possibilités inégales, et le second principe gouverne les **rendements** maximaux des transformations que nous souhaitons parfois faire, par exemple pour convertir une partie d'une énergie thermique en énergie électrique. »

Extrait de l'article de J.-M. Jancovici, *Énergie et développement durable*, Découverte, n° 310, Juin-août-septembre 2003.

Voir Lexique page 253.

C'est donc par abus de langage que les journaux, les économistes ou les hommes politiques parlent de « production d'énergie », ou de « pertes d'énergie », puisque l'énergie ne peut être ni créée ni perdue. En réalité, dans une centrale thermoélectrique, on ne « **produit** » pas d'énergie, mais on **transforme** de l'énergie chimique (par combustion) ou nucléaire (par fission) en énergie électrique et calorifique. **Le bilan global de cette conversion est caractérisé par un rendement.** Celui d'une centrale représente 33 %, ce qui signifie que pour envoyer sur le réseau 33 unités d'énergie électrique, il a fallu consommer 100 unités d'énergie nucléaire, tout en dégageant 67 unités de chaleur ; cette chaleur, évacuée dans l'environnement, par exemple par la vapeur d'eau sortant des tours de refroidissement, est donc, en général, perdue pour nous. Certaines centrales en récupèrent toutefois une partie pour chauffer des habitations ou des serres. Nous verrons plus loin que, si l'énergie se conserve toujours, ses diverses formes ne sont pas équivalentes, car toutes les transformations concevables ne sont pas réalisables.

1.2 - Différentes formes d'énergie

1.2.1 - Energies mécaniques

Energie cinétique

C'est l'énergie associée au **mouvement** d'un objet. On a vu qu'elle était proportionnelle à la masse "m" et au carré de la vitesse "v" de l'objet (à condition que cette vitesse soit faible devant celle de la lumière, 300 000 km/s).

Energie de gravitation

Deux corps massifs s'attirent. Cette force, dite de gravitation, est faible pour de petits objets, mais devient importante pour des astres. Ainsi le Soleil et la Terre, la Terre et la Lune, s'attirent ; la pesanteur n'est autre que la force de gravitation exercée par la Terre sur les objets dans son voisinage. À cette force correspond une énergie de gravitation, plus élevée lorsque les corps sont éloignés l'un de l'autre que lorsqu'ils sont proches. L'énergie de gravitation est dite potentielle, parce qu'elle ne se manifeste à nous que lorsqu'elle se convertit en une autre forme d'énergie. L'énergie **potentielle** d'une cabine d'ascenseur est plus grande au sixième étage qu'au rez-de-chaussée, car elle est alors plus éloignée du centre de la Terre qui l'attire. Si l'on coupait le câble en neutralisant les freins de sécurité, la cabine tomberait en s'accélération, son énergie potentielle se transformerait alors en énergie cinétique, plus visible. De même, l'énergie d'une masse de 1 kg d'eau à la surface d'un lac de barrage est plus élevée que son énergie lorsqu'elle est au pied du barrage. En effet, pour une différence d'altitude de 100 m, la



différence d'énergie potentielle est de 981 J. C'est cette énergie qui est exploitée dans une centrale hydroélectrique, où la chute de l'eau actionne des turbines qui entraînent des alternateurs.

Energie élastique

Il s'agit encore d'une énergie potentielle, associée cette fois aux déformations des objets élastiques, par exemple à la tension d'un ressort ou à la compression d'un gaz.

Travail

Ce terme désigne un transfert d'énergie réalisé en exerçant une force dont le point d'action se déplace. En soulevant un poids, par exemple en remontant de l'eau depuis la base jusqu'au sommet d'un barrage, on lui fournit un travail, qui lui permet d'acquérir une énergie potentielle plus élevée ; le travail fourni à une pompe qui comprime un gaz accroît l'énergie élastique de celui-ci et contribue à l'échauffer.

1.2.2 – Energie calorifique

A l'échelle atomique, la chaleur se traduit par un mouvement désordonné et plus ou moins rapide des molécules (que mesure la température). À notre échelle, elle constitue la forme d'énergie mise en jeu lorsque la température varie ou lorsqu'un matériau change d'état (fusion de la glace, évaporation de l'eau). Elle peut se transférer de proche en proche sans se transformer en une autre forme d'énergie (conduction calorifique). Elle peut aussi se convertir en énergie mécanique, dans une turbine, une machine à vapeur, ou un réacteur d'avion, mais cette conversion ne peut être que partielle.

1.2.3 – Energie électrique

Les particules chargées exercent les unes sur les autres des forces électriques. De même qu'une énergie potentielle de gravitation était associée aux forces de gravitation ou de pesanteur, une énergie potentielle électrique est associée aux forces électriques entre charges. Le déplacement de celles-ci dans un circuit s'accompagne de transferts plus ou moins rapides d'énergie, mesurés par la puissance électrique. Une énergie électrique peut se transformer en chaleur dans une résistance (radiateur, réchaud), en travail dans un moteur.

1.2.4 – Energie radiative

Un rayonnement transporte de l'énergie, même à travers le vide. Le Soleil nous transmet une puissance de l'ordre de 1 kW par mètre carré, sous forme de lumière visible et de rayonnement infrarouge. Un radiateur nous communique sa chaleur par l'intermédiaire de l'air ambiant, mais aussi directement sous forme de rayonnement infrarouge. Dans le filament d'une ampoule électrique, l'énergie électrique se transforme en chaleur, puis cette chaleur est évacuée principalement sous forme d'énergie radiative, lumineuse et infrarouge. Un four à micro-ondes communique de la chaleur aux aliments à partir d'une énergie électrique, par l'intermédiaire d'un rayonnement dit de micro-ondes, analogue à celui d'un radar. Inversement, on peut convertir en énergie électrique une partie de l'énergie lumineuse en provenance du Soleil à l'aide de photopiles solaires. Les ondes radio transportent aussi une énergie, certes faible, mais suffisante pour véhiculer du son, des images ou de l'information.

1.2.5 – Energie chimique



L'énergie chimique est associée à la liaison des atomes dans les molécules. Elle est plus élevée lorsque ces atomes sont séparés que lorsqu'ils sont liés en molécules, et cet écart est d'autant plus grand que la liaison est plus forte. Puisqu'elle modifie l'énergie chimique des corps, une réaction chimique s'accompagne d'une transformation de cette énergie en une autre forme d'énergie, le plus souvent en chaleur. Un réchaud à gaz produit ainsi une certaine quantité d'énergie calorifique, égale à la différence entre l'énergie chimique du gaz et de l'oxygène consommés et celle des produits de combustion (vapeur d'eau et dioxyde de carbone). Dans une centrale thermique au charbon ou au fioul, une fraction de la chaleur de combustion est transformée en énergie électrique. Dans un accumulateur ou une pile électrique, une partie de l'énergie chimique libérée par la réaction est directement récupérée sous forme électrique.

Bien que d'apparence dissemblable, les énergies calorifique, électrique, radiative et chimique ont une origine commune : à l'échelle microscopique, toutes sont reliées aux forces électriques entre des particules chargées.

1.2.6 – Energie nucléaire

L'énergie nucléaire est localisée dans les noyaux des atomes. Ces noyaux, 100 000 fois plus petits que les atomes eux-mêmes, sont constitués de particules plus élémentaires – les protons et les neutrons – très fortement liés entre eux. De même que la liaison des atomes en molécules est la source de l'énergie chimique, la liaison des protons et neutrons en noyaux par des forces nucléaires est la source de l'énergie nucléaire. Une réaction nucléaire, en transformant les édifices des noyaux atomiques, s'accompagne ainsi d'un dégagement de chaleur. C'est ce mécanisme qui produit au cœur du Soleil, par fusion des noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium, la chaleur qui sera ensuite rayonnée. Dans nos centrales électronucléaires, nous utilisons une autre réaction nucléaire, la fission des noyaux d'uranium, qui les transforme chacun en deux autres noyaux environ deux fois plus petits ; une partie de la chaleur produite (de l'ordre de 33 %) est convertie en électricité.

1.3 – Conversion et dégradation de l'énergie

L'expérience montre qu'un système physique livré à lui-même tend à devenir spontanément de plus en plus désordonné ; c'est le second principe de la thermodynamique, ou principe d'entropie.

Parmi les diverses formes de l'énergie, **la chaleur correspond à des mouvements désordonnés des molécules**. Au contraire, les autres formes d'énergie, que l'on peut qualifier de "nobles", sont ordonnées à l'échelle microscopique. Elles ont donc tendance à **se changer en chaleur**. Ce phénomène est appelé la **dissipation**, et l'on dit que **la chaleur est une forme dégradée de l'énergie**.

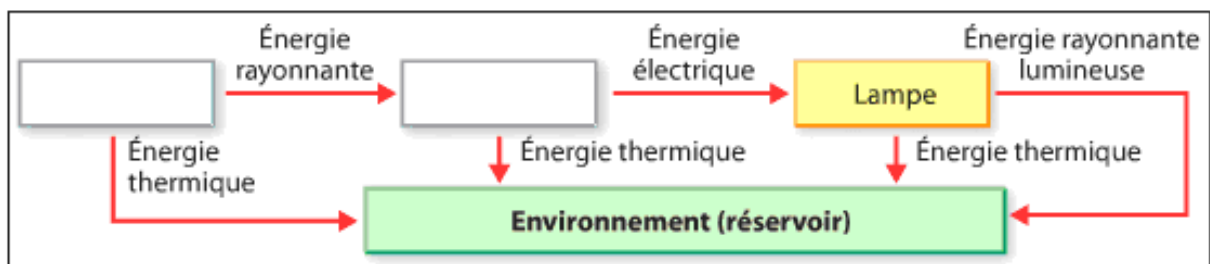
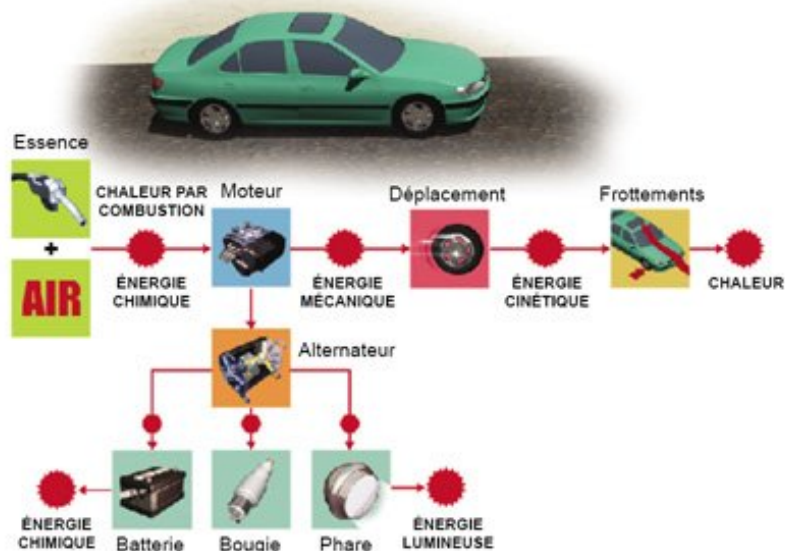
Il est facile de produire de la chaleur à partir d'une quantité équivalente d'énergie noble, par exemple dans des fours et chaudières, électriques ou à combustion, ou des capteurs solaires pour chauffe-eau. Mais les transformations inverses sont impossibles : si l'on dispose d'une certaine quantité de chaleur, on ne peut pas la convertir intégralement en énergie mécanique, électrique ou chimique à l'aide d'un appareil qui fonctionnerait en cycle fermé, en revenant périodiquement à son état initial. Cette « interdiction » constitue l'une des grandes lois de la physique, confirmée par d'innombrables expériences : la nature ne nous autorise à convertir en une autre forme d'énergie qu'une fraction de la chaleur disponible, et elle impose à cette fraction de ne pas dépasser une certaine valeur maximale. C'est ce qui limite le rendement des



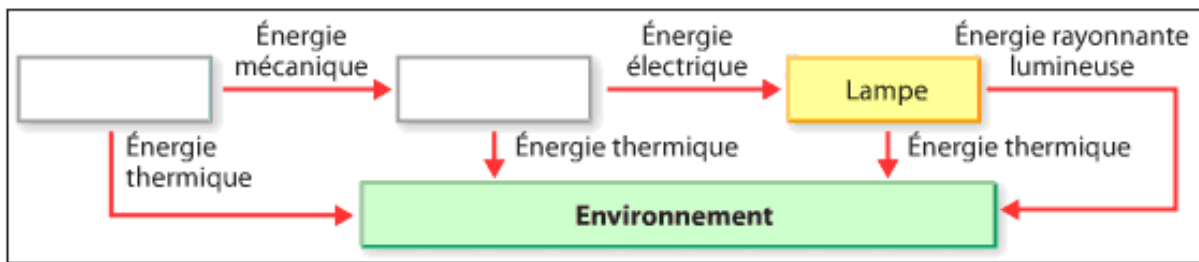
turbines à vapeur dans les centrales électriques, des moteurs de voiture et d'avion, et de tous les engins délivrant de l'énergie mécanique à partir de l'énergie calorifique d'un gaz chaud.

La chaleur apparaît souvent comme une « perte » lorsqu'on manie les autres formes d'énergie (sauf, bien entendu, si l'on a en vue le chauffage domestique ou industriel). Afin d'exploiter l'énergie nucléaire ou l'énergie chimique dans une centrale électrique ou une automobile, on commence par produire de la chaleur par réaction nucléaire ou chimique ; seule une partie de cette chaleur peut ensuite être reconvertie en énergie électrique ou mécanique. La situation la plus favorable est celle de la conversion directe d'énergie mécanique en énergie électrique, et vice versa. Mais même dans ce cas, il est difficile en pratique d'éviter de détourner une part de ces énergies nobles vers de la chaleur. Si l'arbre d'un moteur entraîne celui d'un alternateur, le premier transforme de l'énergie électrique en énergie mécanique, et c'est l'alternateur qui reconvertit celle-ci en énergie électrique. Mais **on récupère au total moins d'énergie électrique qu'on n'en a fourni ; la différence consiste en un dégagement de chaleur** par effet joule, dans les bobinages ou par frottement, dans les paliers, impossible à éliminer totalement. Cette équivalence entre les énergies est comparable à celle qui existe entre des monnaies convertibles, 1 dollar valant par exemple 0,98 euro. La dissipation en chaleur joue alors le rôle des frais bancaires qui nous empêchent de recouvrer le montant initial si nous changeons des euros en dollars, puis ceux-ci à nouveau en euros. La valeur comme l'énergie sont bien conservées au total... mais pas pour nous.

Transformation de l'énergie



A Chaîne énergétique (1).

**B** Chaîne énergétique (2).

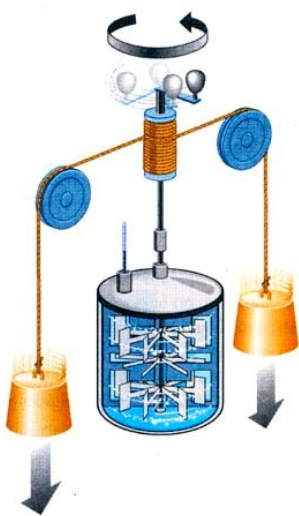
2 – Quantification des échanges énergétiques : l'énergie se mesure

C'est la propriété de conservation de l'énergie qui nous permet de mesurer, à l'aide d'une seule et même unité, les diverses formes de l'énergie. L'énergie, dite cinétique, associée au mouvement d'un objet de masse m et de vitesse v vaut

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Lorsque la masse est exprimée en **kilogrammes** et la vitesse en **mètres par seconde**, cette formule donne l'énergie en **joules (J)**, unité légale dans le Système International (SI). À l'époque où l'on n'avait pas encore reconnu que la chaleur était une forme de l'énergie, l'étude des échanges thermiques avait conduit à introduire une unité de chaleur, la **calorie**, définie comme la quantité de chaleur à fournir à 1 gramme d'eau pour élever sa température de 1 degré Celsius.

L'expérience a montré que les transformations d'énergie mécanique en chaleur, ainsi que **les transformations inverses, se faisaient toujours avec le même rapport, à savoir 1 calorie pour 4,18 joules**. Il y a donc équivalence entre ces deux formes d'énergie (mécanique et chaleur). Ceci a permis d'abandonner la calorie et de mesurer la chaleur et toutes les autres formes d'énergie en joules.



En 1843, un certain James Prescott Joule propose une expérience fondamentale, visant à transformer l'énergie mécanique en chaleur.

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/thermo/joule.html>

Les échanges d'énergie sont caractérisés, non seulement par la quantité d'énergie transférée ou transformée, mais aussi par la durée du processus. **La notion de puissance est ainsi définie**



comme une quantité d'énergie échangée par unité de temps. L'unité de puissance, le watt, est donc le joule par seconde.

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

Un radiateur électrique de 1 500 W consomme durant chaque seconde une énergie électrique de 1 500 J, et par suite, durant chaque heure (3 600 secondes), une énergie électrique de
 $3\,600 \times 1\,500 \text{ J} = 5\,400\,000 \text{ J}$

transformée en énergie calorifique.

Cet exemple montre que le joule est une unité d'énergie trop petite pour nos usages courants. On emploie souvent en pratique le kilowattheure (kWh), quantité d'énergie mise en jeu par un appareil d'une puissance de 1 kW = 1 000 W pendant un délai d'une heure. Ainsi,

$$1 \text{ kWh} = 3\,600 \times 1\,000 \text{ J} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

Le radiateur électrique considéré ci-dessus consomme, en une heure de fonctionnement, 1,5 kWh et rayonne évidemment pendant la même durée une énergie calorifique de 1,5 kWh.

Activité 2 p. 212-213

Comparer des performances.

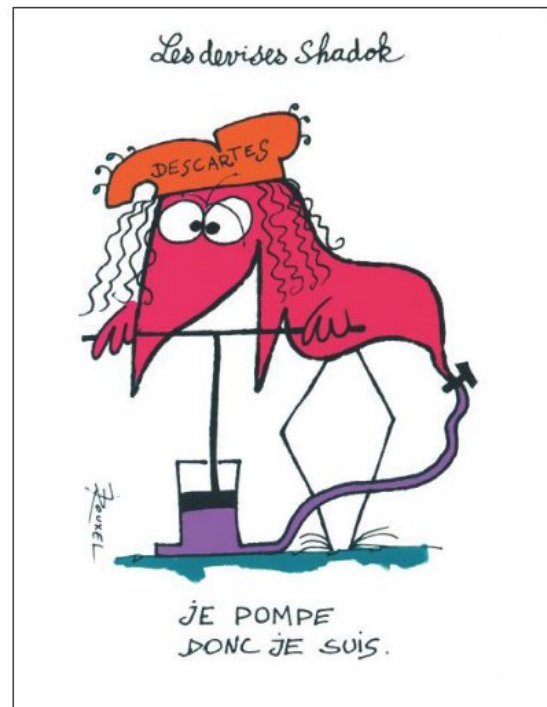
À la fin du XVIII^e siècle, la puissance des machines à vapeur (capacité à fournir un certain travail, donc une certaine forme d'énergie, en un temps donné) était évaluée en « chevaux-vapeur », c'est-à-dire par le nombre de chevaux qu'elles pouvaient remplacer.

Une étude réalisée en 1752 compare les performances d'une machine à vapeur de Newcomen et d'un manège de chevaux, installés dans le même puits de mine à 73 mètres de profondeur :

– en une journée de travail (12 heures), les chevaux hissent 305 tonnes d'eau, ce qui correspond à une énergie de 218 MJ, et il en coûte 24 schillings ;

– dans le même temps, la machine à vapeur fournit une énergie de 816 MJ en hissant 1 140 tonnes d'eau, pour la somme de 20 schillings.

Autrement dit, la puissance de la machine de Newcomen est 3,7 fois supérieure à celle du manège, et son rendement économique 4,5 fois meilleur.



Pour la machine de Newcomen, $P_1 = \frac{E_1}{\Delta t}$

Pour les chevaux, $P_2 = \frac{E_2}{\Delta t}$

Pendant le même intervalle de temps Δt , on peut donc écrire :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{816 \cdot 10^6}{218 \cdot 10^6} \approx 3,7$$

Pour le rendement économique, il faut considérer que la machine de Newcomen hisse 1 140 t d'eau pour 20 schillings alors que les chevaux hissent 305 t d'eau pour 24 schillings :

$$\frac{1140 / 20}{305 / 24} = 4,5$$



Lampe basse consommation	Lampe classique à incandescence
9 W	30 W
11 W	40 W
15 W	60 W
20 W	75 W
23 W	100 W

B Correspondances entre les puissances des lampes basse consommation et celles des lampes classiques à incandescence pour un même flux de lumière.

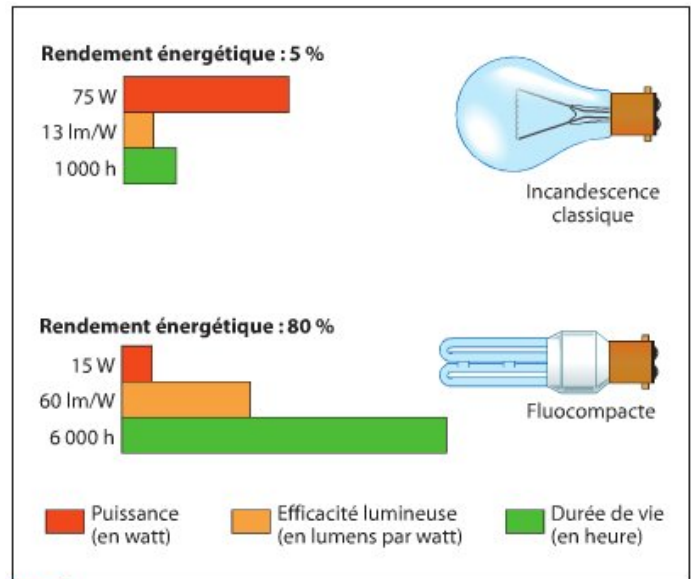
La lampe fluocompacte

- Consomme 3 à 4 fois moins d'énergie électrique qu'une lampe classique pour un même flux de lumière (doc B)
- Possède un bien meilleur rendement énergétique (80% contre 5%) et cède moins d'énergie thermique à l'environnement
- Dure 6 fois plus longtemps en moyenne

Pour une lampe à incandescence de 75 W, le rendement énergétique de 5% indique sa puissance lumineuse est de $5 \times 75 / 100 = 3,75$ W ; son flux lumineux est de $13 \times 75 = 975$ lumens.

Pour une lampe fluocompacte de 15 W, le rendement énergétique de 80 % indique que sa puissance lumineuse est de $80 \times 15 / 100 = 12$ W pour un flux lumineux de $15 \times 60 = 900$ lumens. Ainsi, la lampe fluocompacte émet une puissance lumineuse nettement supérieure à la lampe classique, bien que son flux lumineux soit légèrement plus faible : il faut tenir compte de ces deux données pour remplacer une lampe classique par une lampe fluocompacte.

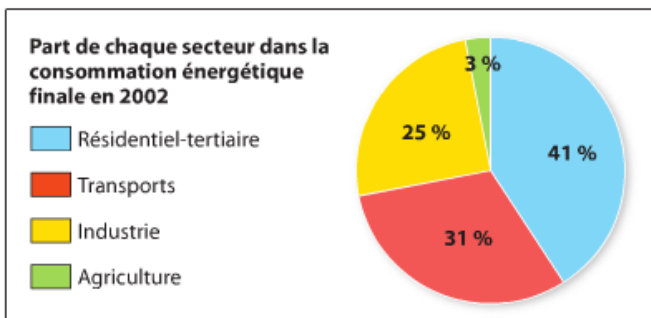
Pour éviter le gaspillage d'énergie, il faut veiller à utiliser les appareils lorsqu'on en a réellement besoin et adapter leur puissance à l'usage désiré.



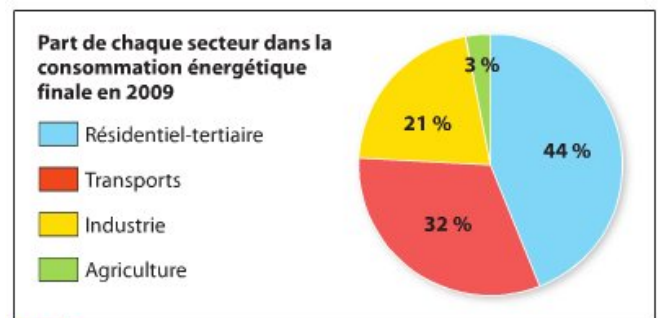
C Comparaison de deux lampes : classique à incandescence et fluocompacte.

Le rendement énergétique est le rapport de la puissance lumineuse sur la puissance électrique de la lampe. Les rendements énergétiques ne dépendent que du type de lampe.

3 - Besoins en énergie et adaptation des installations



B Part de chaque secteur en 2002.



C Part de chaque secteur en 2009.

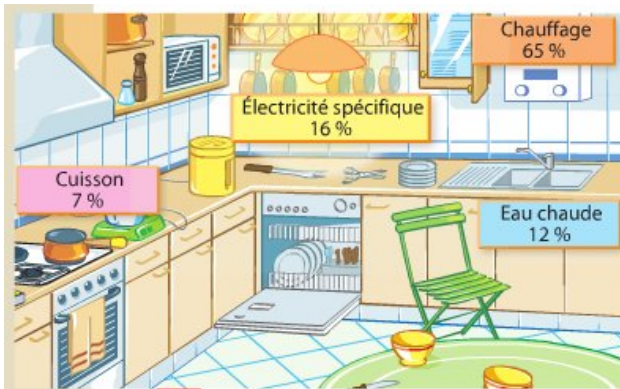


Entre 2002 et 2009,

- La consommation du secteur résidentiel a augmenté, de 770 à 797 TWh
- La consommation du secteur des transports a diminué, de 580 à 577 TWh
- La consommation du secteur industriel a diminué, de 464 à 387 TWh
- La consommation du secteur agricole a diminué, de 51,0 à 47,5 TWh

Remarque : le secteur industriel régresse au profit du tertiaire et tend à diminuer sa consommation d'énergie par l'amélioration des installations... ce qui peut expliquer les différences observées.

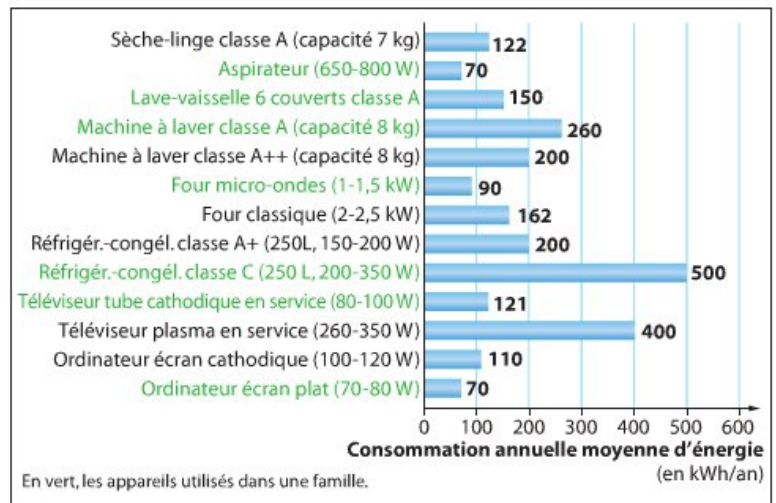
Globalement, l'énergie consommée augmente de 3 % dans le secteur résidentiel et tertiaire, et de 1 % dans le secteur des transports.



A Consommation d'énergie dans les résidences principales en France.

Dans le secteur résidentiel–tertiaire, l'énergie est consommée pour deux tiers dans les logements.

Source : CEREN, Les chiffres clés du bâtiment, ADEME.



B Consommation annuelle moyenne d'énergie par type d'appareil.

La consommation d'énergie des logements représente les deux tiers de la consommation du secteur tertiaire et résidentiel, soit $\frac{2}{3} \times 44 = 29\%$ de l'énergie totale consommée. Dans le logement, la consommation se fait à hauteur de 16 % sous forme électrique et $65 + 12 + 7 = 84\%$ sous forme d'énergie thermique ; cette dernière énergie représente $0,84 \times 29 = 25\%$ du total consommé en France en 2009, c'est-à-dire davantage que le secteur industriel (21 %).

Pour les sept appareils sélectionnés par la famille (en vert), la consommation annuelle est de 1 261 kWh/an ; pour l'automobile, à raison de 15 000 km/an, si la consommation est de 45 kWh aux 100 km, cela représente une dépense de 6,8 MWh/an... soit environ 5 fois plus que la consommation précédente !

Il est évident que l'utilisation d'appareils économes en énergie (classes A, A+, etc.) pèse vite lourd dans la balances ; par ailleurs, la recherche de solutions thermiques plus économiques ou le développement de solutions électriques est l'avenir des modes de transports individuels ; en ville, là où la consommation des véhicules est la plus grande, le recours aux transports en commun devient aujourd'hui une nécessité, d'où les choix de certaines municipalités d'interdire les centres-villes aux voitures.

NB : pour une voiture, la puissance peut varier entre 40 et 200 kW ; un moteur TGV a une puissance de 1 MW et celui d'un bateau de type ferry peut atteindre la dizaine de MW.