

L'ÉNERGIE, C'EST LA VIE !

1.a. Énergie à tous les étages

L'énergie est une notion que tout le monde comprend mais qu'il n'est pas facile de définir (essayez, pour voir...). Le *Petit Larousse illustré* (2000) en donne les définitions suivantes :

ÉNERGIE n.f. (gr. *energeia* : force en action).

1. Force morale ; fermeté, puissance, vigueur. *L'énergie du désespoir.*
2. Vigueur dans la manière de s'exprimer. *Parler avec énergie.*
3. Force physique ; vitalité. *Un être plein d'énergie.*
4. PHYS. **a.** Grandeur caractérisant un système et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il entre en interaction (unité SI : le joule). **b.** Chacun des modes que peut présenter un tel système. *Énergie mécanique, électrique, magnétique, chimique, thermique, nucléaire.*
5. *Sources d'énergie.* Ensemble des matières premières ou des phénomènes naturels utilisés pour la production d'énergie (*charbon, hydrocarbures, uranium, cours d'eau, marées, vent, etc.*).

Énergie, travail, chaleur, c'est la même chose. La chaleur est la forme la plus dégradée de l'énergie car elle correspond au désordre maximum du milieu considéré (ce qu'on appelle agitation thermique) et nous savons tous qu'il est plus facile de mettre du désordre que de l'ordre dans nos affaires. Le « principe de Carnot » nous dit ainsi qu'il est plus facile de transformer du travail en chaleur que

de faire l'inverse : nous en reparlerons car c'est bien cet inverse que doit réaliser un réacteur nucléaire comme n'importe quelle autre « machine thermique ».

Pour fusionner les points 3 et 4 du petit Larousse, disons que l'énergie, c'est la vie. C'est ce qui transforme une tranche de mammoth dure à mastiquer en bifteck savoureux, ce qui permet de remonter l'eau du puits pour boire et arroser ses légumes, c'est ce qui fit avancer les caravelles pour aller découvrir l'Amérique et permet au TGV de « faire » Paris-Lyon en deux heures chrono, c'est ce qui a permis de s'installer à l'abri des cavernes grâce à la lueur des torches et c'est ce qui éclaire l'écran plat de l'ordinateur où je tape ce texte, c'est ce qui produit le froid qui conserve nos aliments et nos médicaments... Vous voyez ce que je veux dire.

À l'entrée de quelques vieux immeubles, on voit encore une petite plaque émaillée qui annonce fièrement : « *Gaz à tous les étages* ». Nous vivons tous — dans les pays industrialisés où nous avons le privilège d'habiter — avec l'énergie à tous les étages, et beaucoup de livres de science-fiction nous décrivent avec un luxe de détails horribles l'écroulement de notre civilisation urbaine après qu'un phénomène inexplicable nous a privé d'énergie (voire seulement d'électricité). Imaginez simplement ce que serait la vie de nos adolescents sans téléphone portable !

1.b. Les unités (il en faut...)

Même si cela vous semble scolaire, il faut bien parler des unités si on veut se comprendre par la suite. Rassurez-vous, ce ne sera pas long et vous pouvez à la rigueur sauter le paragraphe en haut de la page ci-contre.

Dans le Système international, l'énergie s'exprime en **joules** (J) ou dans ses multiples : kilojoules, mégajoules, gigajoules, etc. Il faut bien ces multiples car le joule est une unité assez petite. C'est, par exemple, l'énergie qu'il faut dépenser pour soulever de 10 centimètres une masse de 1 kilogramme (si on la laisse retomber

sur ses orteils, on trouvera peut-être que le joule n'est pas si petit que cela).

Il ne faut pas confondre énergie et puissance : la puissance, c'est l'énergie produite (ou dépensée) par unité de temps, elle s'exprime en **watts** (W), ou kilowatts (kW), mégawatts (MW¹), etc. 1 watt = 1 joule/seconde. Si on multiplie une puissance par une durée de temps, on retrouve donc une énergie. C'est ainsi que 1 watt.heure vaut 3 600 joules, et 1 **kilowattheure** vaut 3,6 millions de joules. Le kilowattheure (kWh) est souvent utilisé car son ordre de grandeur le rend plus pratique à utiliser dans la vie de tous les jours que le joule, qui ne quitte guère les classes de physique.

Mais même le kilowattheure est trop petit pour exprimer simplement la quantité d'énergie consommée par un individu en une année, *a fortiori* celle d'un pays ou celle du monde. C'est pourquoi on a introduit une unité bizarre qu'on appelle **tonne d'équivalent pétrole** (tep) et ses multiples Mtep (1 million de tep) et Gtep (1 milliard de tep). La tep est la quantité d'énergie (de chaleur) libérée par la combustion complète d'une tonne de pétrole.

Pourquoi « bizarre » ? J'aurais dû dire « arbitraire », parce qu'il y a beaucoup de qualités différentes de pétrole avec des formules chimiques plus ou moins compliquées des viscosités variables et des pouvoirs calorifiques divers. On a donc inventé un pétrole-étalon, comme le mètre-étalon, et une tonne de pétrole n'a pas la même valeur en tep suivant le puits d'où on l'a extraite. Il y a aussi beaucoup de charbons différents, de l'antracite à la tourbe en passant par le lignite : on les transforme chacun en tep en fonction de leur pouvoir calorifique (la quantité de chaleur qu'ils dégagent en brûlant). Mais le comble de l'arbitraire, c'est quand on veut exprimer en tep la quantité d'électricité produite par un barrage hydraulique, un panneau solaire photovoltaïque ou une centrale nucléaire. Comme il n'a pas de combustion, donc pas de pouvoir

1. Quand on veut préciser qu'il s'agit de puissance électrique, on note **MWe**.

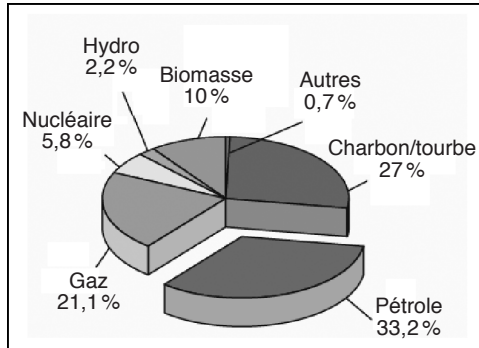
calorifique, on utilise les tableaux de correspondance établis par l'AIE, Agence internationale de l'énergie, que l'on trouvera en annexe.

À l'inverse, quand on veut mesurer les échanges d'énergie au niveau microscopique, comme l'énergie chimique *par molécule* ou l'énergie nucléaire *par noyau*, le joule est beaucoup trop grand. Rappelons nous qu'il y a 6.10^{23} molécules d'eau dans 18 grammes d'eau¹, ce qui fait 33 millions de milliards de milliards de molécules dans un litre ! On utilise alors l'**électronvolt** (eV). $1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19}$ joule, ce qui est un ordre de grandeur caractéristique des réactions chimiques. Pour les réactions nucléaires, beaucoup plus énergétiques, on utilise le **MeV** qui vaut 1 million d'électronvolts.

Quand on parle d'énergie *consommée*, il faut aussi savoir où on la mesure, le long de la chaîne qui va de la source initiale au consommateur final. À la source, on parle d'énergie **primaire** : pétrole ou gaz jaillissant du puits, charbon extrait de la mine, électricité aux bornes de l'alternateur d'une centrale hydraulique, etc. À portée du consommateur, on parle d'énergie **finale** : essence dans le réservoir de la voiture, électricité à la prise de courant, etc. On sent bien qu'entre les deux il y a des pertes dues au transport, à la conversion et à la distribution (pensez par exemple aux supertankers, aux raffineries et aux camions-citernes).

Par exemple, l'énergie primaire consommée par les 6,7 milliards d'habitants de ce monde en 2008 a totalisé 12,3 milliards de tonnes d'équivalent pétrole (12,3 Gtep), dont les sources se répartissaient comme suit :

1. C'est ce qu'on appelle le nombre d'Avogadro, et 18 grammes est la masse d'une *mole* d'eau.



La consommation moyenne d'un individu est donc de 1,9 tep/an, mais ce chiffre varie fortement d'une région à l'autre : 0,53 en Inde, 1,23 au Brésil, 1,48 en Chine, 3,55 pour l'Union européenne, 4,02 au Japon, 4,15 en France, 7,75 aux États-Unis et 8,17 au Canada¹.

Par comparaison, en l'an 2000, 6 milliards d'êtres humains avaient consommé 10 Gtep : notre consommation croît encore à un rythme **double** de celui de la démographie...

1.c. Pas d'énergie sans nuisances

Il faut bien se l'avouer, aucune activité humaine n'est totalement dépourvue d'impact sur notre environnement, mais cet impact était évidemment moins important il y a encore deux siècles, quand l'humanité totalisait 1 milliard d'individus, qu'aujourd'hui où nous dépassons les 6 milliards et demi, avec la perspective d'atteindre 9 milliards en 2050.

Entendons-nous bien : contrairement à certains slogans à la mode, la planète n'est pas en danger. Elle en a vu bien d'autres au cours des quatre milliards et demi d'années qu'elle tourne autour du Soleil ! Il y a eu l'univers de lave en fusion et la planète boule-de-

1. Parmi les extrêmes, on relève 0,22 au Sénégal et 26,54 au Qatar. Plus d'un facteur 100 entre les deux !

neige, les continents se sont rassemblés et séparés, les océans se sont ouverts et refermés, l'histoire de la Terre n'a pas été un long fleuve tranquille, mais elle est toujours là, et la présence de son gros satellite, la Lune, nous rappelle qu'elle a survécu à au moins une catastrophe qui défie l'imagination... Mais nous, les humains, sommes autrement fragiles, et c'est **nous** que la dégradation de notre environnement met en danger.

Prenons, l'une après l'autre, les sources d'énergie qu'utilise l'humanité, en commençant par le Roi Pétrole.

Au cours de l'été 2010, une fuite de pétrole au fond du golfe du Mexique a affolé les États-Unis, et le terme « marée noire » nous semble faire partie de notre quotidien de toujours, alors qu'il ne remonte qu'au naufrage du *Torrey Canyon* en 1967. 97 % de l'énergie consommée dans le monde par les transports de toutes natures provient des produits pétroliers : l'utilisation du pétrole est donc à l'origine de beaucoup de pollution atmosphérique « classique ». En outre, la concentration des ressources conventionnelles de pétrole dans la région du Moyen-Orient produit ce qu'on pourrait baptiser une pollution politique permanente aux conséquences planétaires (guerres militaires ou économiques, terrorismes, etc.). La « pollution politique » du gaz s'apparente à celle du pétrole, et les fuites de gaz occasionnent de nombreux accidents chez l'utilisateur final (ou ses infortunés voisins).

Je n'ai pas besoin de m'étendre sur les nuisances de la production et de l'utilisation du charbon (qui reste la source principale de la production d'électricité dans le monde) : accidents miniers, silicose et autres maladies pulmonaires, pollution atmosphérique et pluies acides. Sans oublier que les combustibles solides ne sont pas d'utilisation facile et que leur transport consomme une énergie non négligeable.

On sous-estime généralement les nuisances de la biomasse traditionnelle (bois de chauffe, déjections animales et résidus agricoles ou urbains utilisés en foyers ouverts) qui produit 10 % de l'énergie

primaire mondiale et constitue la seule source d'énergie pour presque un quart de l'humanité. Chez nous, la biomasse c'est souvent un feu de bois odorant dans la cheminée d'une résidence secondaire. Sympathique, n'est-ce pas ? Quand c'est la seule source d'énergie d'une famille du Sahel, ça veut dire douze ou treize heures de ramassage de bois sur des kilomètres, suivies des heures de cuisine ; il reste peu de temps pour l'éducation des enfants. Mais le pire, c'est la pollution de l'air à l'intérieur des habitations, responsable — selon l'Organisation mondiale de la santé — de 1,6 million de morts chaque année, 1 toutes les 20 secondes, surtout des femmes et des enfants, plus que la malaria !

La nuisance spécifique de l'énergie nucléaire, c'est la radioactivité. L'industrie nucléaire produit, manipule et transporte une grande quantité de substances radioactives, matières et déchets, qui émettent des rayonnements ionisants. Ceux-ci peuvent être dangereux pour la santé si leur dose est excessive et la protection inadéquate : nous y reviendrons en détail au chapitre 6, en approfondissant notamment l'impact des grands accidents. Nous parlerons aussi du risque de prolifération des armes atomiques.

L'hydraulique, de loin la source la plus importante d'énergie renouvelable après la biomasse, n'est pas dépourvue de nuisance. Les ruptures de barrage, heureusement peu fréquentes, sont presque toujours meurtrières, et les retenues elles-mêmes ont nécessité l'inondation de terres fertiles et l'évacuation forcée de populations parfois nombreuses (on pense au million et demi de Chinois déplacés pour la mise en eau du barrage géant des Trois-Gorges). Elles modifient aussi les paysages, mais pas forcément en mal : des goûts et des couleurs...

On pourrait aussi énumérer des nuisances de l'éolien, du solaire et de la géothermie, mais leur contribution encore marginale à la consommation mondiale d'énergie limite leur impact. En revanche, nous n'avons pas encore abordé ce qui constitue sans doute la nuisance principale des énergies fossiles, pétrole charbon

et gaz, c'est-à-dire leur contribution au dérèglement climatique *via* l'augmentation de *l'effet de serre*.

La Terre reçoit du Soleil une grande quantité d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Du fait de la température de la surface solaire, l'essentiel de ce rayonnement est de la lumière visible. Pour garder un équilibre thermique, la Terre à son tour rayonne la même quantité d'énergie vers l'espace, mais comme sa température est beaucoup plus basse, il s'agit de rayonnement infrarouge. Une partie de ce rayonnement est absorbé dans l'atmosphère, qui rayonne à son tour, vers l'espace mais aussi vers la surface terrestre, accroissant ainsi sa température. C'est l'effet de serre. L'effet de serre est indispensable à la vie sur Terre : en son absence, la température moyenne de la surface terrestre serait de -18°C . À -18°C , pas d'eau liquide, pas de sève, pas de sang, pas de vie. Grâce à l'effet de serre, la température moyenne de la surface terrestre, voisine de $+15^{\circ}\text{C}$, est propice à la vie végétale, animale et humaine. Le principal responsable de l'absorption d'une partie du rayonnement infrarouge par l'atmosphère est un gaz présent dans celui-ci, la vapeur d'eau qui provient de l'évaporation des océans.

La contribution à l'effet de serre de certains autres gaz, notamment le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O) est un fait avéré et connu depuis le XIX^e siècle¹. Depuis le début de l'ère industrielle, mais surtout depuis la deuxième moitié du vingtième siècle, les activités humaines ont été à l'origine d'émissions supplémentaires de gaz à effet de serre (GES) en très forte croissance, et la consommation d'énergie est la principale contributrice à ces émissions « anthropiques² ».

-
1. La vapeur d'eau est transparente aux infrarouges dont la longueur d'onde est comprise entre 5 et 20 microns. Ce sont les gaz qui absorbent les infrarouges dans cette « fenêtre de l'eau » qui augmentent l'effet de serre.
 2. C'est-à-dire liées aux activités humaines.