

Sujet présenté à une assemblée instruite mais des plus diverses.

LA CONQUÊTE DE L'ÉNERGIE

En préambule de mon propos sur l'énergie, il me faut vous entretenir de sa source pour nous terriens : notre Soleil.

Il est une gigantesque chaudière nucléaire qui transforme depuis plus de 4 milliards d'années l'hydrogène dont il était constitué à l'origine. Sous l'énorme pression qui règne en son centre, les noyaux d'hydrogène fusionnent deux à deux pour former des noyaux d'hélium et produire de l'énergie qui se dissipe dans l'univers sous formes de lumière et de chaleur.

Une toute petite partie de cette dissipation nous arrive directement, ou réfléchi par notre Lune. Ces énergies venues du soleil sont pratiquement les seules responsables des vies de toutes natures qui ont existées, ou existent sur notre Terre. C'est le Soleil qui est le créateur du charbon, du pétrole, mais aussi du vent, de la pluie, des saisons, de la photosynthèse des plantes, du rythme circadien des mammifères que nous sommes.

Comme nous allons le voir, l'homme n'est qu'un transformateur d'énergie, mais c'est un transformateur pensant. Une grande partie de son énergie est nécessaire à sa vie, et une petite partie à son confort. Or, il va chercher à améliorer de plus en plus son précieux confort, donc à accaparer de l'énergie hors de sa propre production.

C'est l'histoire de cette conquête dont nous allons parler.

Comme la glace, la neige, la vapeur, l'humidité ou la pluie sont les différentes formes de l'eau, l'énergie se présente sous trois aspects : l'énergie potentielle, la chaleur et le travail.

L'énergie potentielle est l'énergie contenue dans un élément en attente d'utilisation ; par exemples :

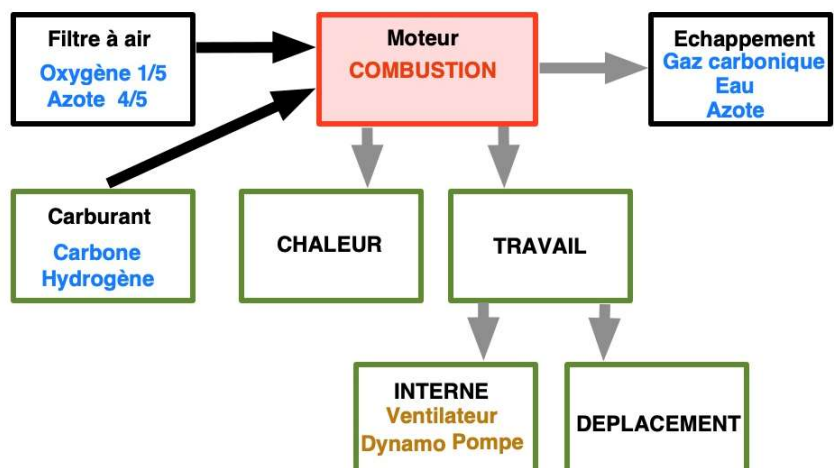
- Pour un morceau de charbon, la chaleur qu'il peut libérer en brûlant.
- Pour un lance-pierre, l'énergie cinétique qu'il peut transmettre à la pierre une fois tendu.

L'énergie réelle est l'énergie contenue dans un élément en action.

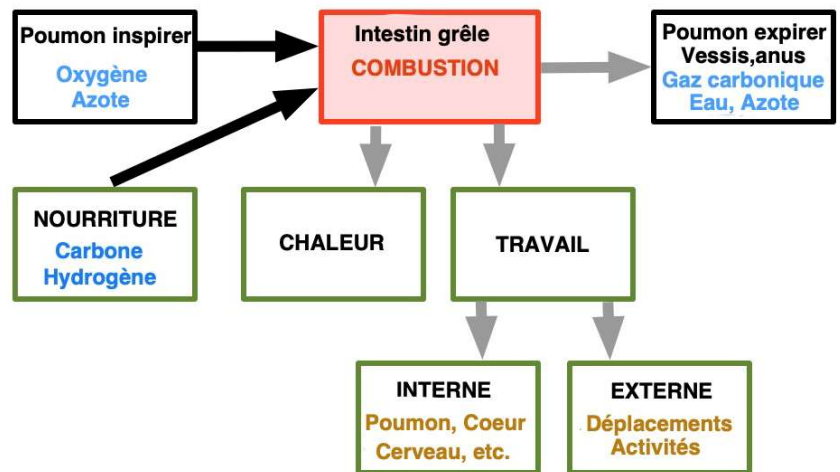
- Si elle ne modifie pas la nature de l'élément, elle sera dite « énergie cinétique » ;
- Si elle détruit la structure de l'élément en modifiant seulement les molécules mais en respectant les atomes, elle sera dite « énergie chimique ».
- Si enfin elle détruit les atomes, elle prendra le nom d'« énergie nucléaire ».

Pour nous familiariser avec ce qui précède, voyons comment fonctionne notre automobile.

Elle dispose d'un réservoir où est stockée son énergie, faite de composés du



carbone et d'hydrogène, un carburateur qui apporte l'air et un moteur qui brûle le mélange air-carburant et fournit de la chaleur et du travail pour propulser notre bolide. Au fur et à mesure que le chemin parcouru s'allonge, le niveau de notre réservoir descend.



Voyons à présent comment « marche » notre corps. Il fonctionne de la même façon, à ceci près qu'il ne s'arrête jamais.

Nous faisons régulièrement un plein d'énergie, par la nourriture que nous absorbons, puis nous la brûlons grâce à l'air apporté par nos poumons. Donnons-nous quelques repères énergétiques.

Si nous escaladons l'escalier pour monter jusqu'au sommet de la Tour Eiffel, nous brûlons l'équivalent de 10 grammes de chocolat noir ; et si nous grimpons trop vite, la combustion aura besoin de beaucoup d'air que nos poumons auront du mal à fournir, nous nous essoufflerons. En revanche, si nous ne brûlons pas toute la nourriture absorbée, à cause de la petite sieste par exemple, nous la stockons sous forme de graisse...

Quand nous dormons, l'activité de la combustion est au ralenti : pesez-vous avant de vous endormir et au réveil ; vous serez surpris de l'écart, certainement supérieur à 500 grammes, correspondant en gros à l'eau que vous avez expirée durant votre sommeil.

Toute l'énergie contenue dans nos nutriments se transforme préférentiellement en chaleur pour notre chauffage central intérieur (avec son thermostat réglé à 37°C), puis en travail biologique de notre corps et enfin, avec ce qui reste, en travail musculaire pour agir.

Ce fonctionnement n'a jamais évolué depuis que l'homme existe.

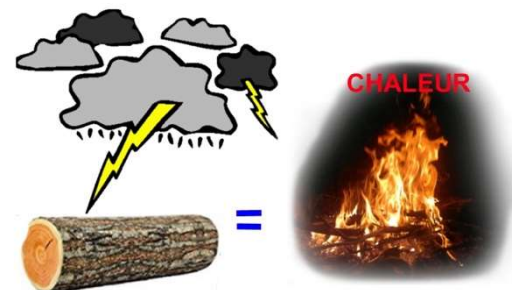
Pour vous donner une idée du carburant nécessaire à notre corps j'ai rapporté du Japon la mesure de la nourriture pour une journée, attribuée au XIXème siècle, à un coolie : 125 grammes d'un riz médiocre...

Sur chaque contenant alimentaire, est indiquée sa quantité d'énergie exprimée soit en travail (en kilojoules), soit en chaleur (en kilocalorie), nous en reparlerons.

Nous allons maintenant parler de la plus importante conquête faite par notre lointain ancêtre : **le feu**.

C'est la foudre venue des nuages qui le lui a apporté, sous la forme d'incendies. Notre très vieux grand-père a compris l'intérêt de cette flamme qui le chauffait. Il l'a récupérée

| Déclaration nutritionnelle | |
|----------------------------|---------------------|
| | Pour 100 g |
| Energie | 277 kcal 1149 kJ |
| Matières grasses | 23 g |
| Dont acides gras saturés | 9 g |
| Glucides | 0,5 g |
| Dont sucres | 0,2 g |
| Protéines | 17 g |
| Sel | 1,5 g |



et l'a nourrie pour qu'elle ne meure pas. Si la flamme mourait, comment la ressusciter ? Nous savons aujourd'hui que le bois sec chauffé à 260°C s'enflamme spontanément, mais lui ne le savait pas. Il fit le rapport entre flamme, chaleur et frottement et trouva la solution, qui plus est de manière simple : il fallait frotter vigoureusement le bois jusqu'à ce qu'un petit point rouge apparaisse, puis il l'enfermait dans des herbes bien sèches et soufflait pour faire naître la divine flamme. Ce fut pour lui une victoire fantastique. La chaleur produite lui permettait de réduire ses déperditions de chaleur et donc de disposer de plus de travail musculaire. Le **foyer** où se réchauffaient tous les membres de la famille, devint notre **foyer familial**. Cette découverte capitale met bien en valeur les capacités cognitives exceptionnelles de nos lointains ancêtres.

Le principal souci de notre brillant ingénieur était de courir après tout ce qui était énergétiquement mangeable (il mangeait 3 fois plus que nous, 25 000 kilojoules, car il courait beaucoup); un morceau de mammouth tué ou trouvé mort, même un peu faisandé, quelques racines fautes de mieux, peut être à la rigueur un parent défunt (il y a quelques années, un livre est paru sous le titre évocateur : « j'ai mangé mon père »). L'énergie étant rare pour lui ; il lui fallait donc l'économiser.

Durant les millénaires qui vont suivre, il va enrichir peu à peu la panoplie de ses outils pour améliorer son rendement. La fin de l'ère glaciaire va le favoriser par un climat plus modéré. Vers 8 000 avant JC, il se lance dans l'agriculture qui demande beaucoup plus de travail qu'il n'en peut fournir. Il va imaginer l'usage de l'esclave, faute de mieux. Faute de mieux, car il faut nourrir suffisamment l'esclave pour qu'il travaille efficacement. Il va domestiquer le cheval de trait harnaché de la « **bricole** » qui l'étrangle mais qui triple cependant la capacité de travail de son propriétaire.

Vers 3 500 ans avant JC, nos cousins sumériens inventent la **roue**. Cette rondelle associée à un essieu est une énorme découverte pour l'humanité. Dès lors, on ne porte plus, on ne traîne plus les charges, on les roule !

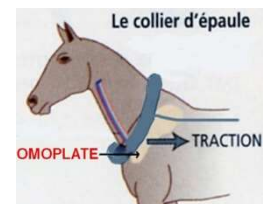
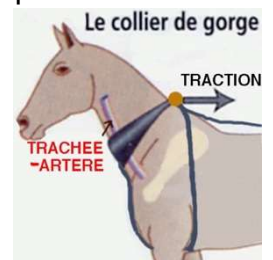
La maîtrise du feu permettra d'accéder, plus de 2 000 ans avant JC à la métallurgie du bronze, et vers 1 000 ans avant JC, à celle du fer. Ces matériaux seront la base de la fabrication d'outils de plus en plus performants. Au début de l'ère chrétienne, le **collier d'épaule** remplace la bricole et triple les capacités de traction de l'animal qui ne s'étrangle plus en tirant. La métallurgie du fer, maîtrisée plus d'un millénaire auparavant, lui permet de créer la charue, laquelle, tirée par le cheval, va lui permettre de décupler ses surfaces cultivées.

Trois siècles plus tard, nous sommes au début de l'ère chrétienne, le **moulin à eau** voit le jour, construit avec le seul matériau aisément façonnable : le bois. Son principe est d'entraîner en rotation un élément par le courant de la rivière. Cet élément majeur d'entraînement sera baptisé arbre de transmission car il est façonné dans un tronc d'arbre. Le nom perdurera.

Vers 700, apparaît en Iran le premier moulin à vent à axe vertical. Les croisés nous ramènent le **moulin à vent** à axe horizontal que nous connaissons.

L'ennui, c'est que l'énergie mécanique obtenue par les moulins évoqués, n'est utilisable que sur place.

Nous arrivons à quelques siècles de la naissance de Jésus-Christ.



Une petite pause pour un peu d'histoire.

Quelques siècles avant JC, la civilisation grecque se répand dans tout l'Orient. Elle jouit partout d'un grand prestige du fait de ses savants, ses artistes et ses philosophes :

Pythagore, Euclide, Hippocrate, Aristote et bien d'autres.

*Face aux mystères de la nature, ils ne se contentent pas de chercher des explications dans les **mythes de leurs dieux** : « aide-toi, le ciel t'aidera ». Ils réfléchissent, ils raisonnent et vérifient par l'expérience la justesse de leurs conclusions. Le résultat est un essor sans précédent de la civilisation qui, malheureusement, va s'éteindre au profit de la civilisation romaine, beaucoup moins créatrice. Quelques siècles plus tard arrive le christianisme qui va engendrer un obscurantisme dommageable. Dès lors, on ne cherche plus à élucider les lois de la nature, puisqu'elles sont l'œuvre de Dieu, donc, par essence, impénétrables ; on se contente d'en constater les effets. Tout mystère devient miracle. Le clergé se proclame, bûcher à l'appui, dépositaire exclusif du savoir. Une seule science se pratique : la théologie.*

Cet obscurantisme sera secoué, au milieu du XV^{ème} siècle, par la conséquence d'un fait également militaire : Constantinople tombe aux mains des ottomans. De nombreux artistes et hommes de science byzantins se réfugient en Italie. Ils apportent leurs connaissances, leurs idées et leurs bibliothèques. Ainsi renaît en occident le besoin d'explorer les secrets de la nature, et de découvrir ses lois au grand dam de l'Église de Rome. Les savants vont maîtriser des techniques nouvelles, inventer des machines étonnantes ; Galilée, Léonard de Vinci.

Cette évolution aboutit, au XVIII^{ème} siècle, le « Siècle des lumières ». Il s'agit d'un mouvement culturel lancé en Europe (1715-1789), dont le but est de promouvoir les connaissances. Des philosophes (Montesquieu, Diderot, Voltaire, Rousseau) et des intellectuels encouragent la science, s'opposent à l'intolérance et aux abus de l'Église. La Révolution française en sera la conséquence directe. L'église catholique, qui prônait la « Sainte ignorance » perd le monopole de la connaissance. Enfin les savants vont chercher à comprendre par le raisonnement tous les phénomènes de la nature (Newton, Lavoisier).

Avec le « Siècle des lumières » la science et les découvertes qui en découlent se développent à une vitesse fulgurante pour libérer l'homme en lui donnant accès aux moyens de profiter des énergies que lui offre la nature.

Revenons à notre sujet : **l'énergie**.

Un chercheur rêve, pendant que sa soupe cuit dans la marmite, accrochée à la crémaillère au-dessus d'un bon feu. Le silence est rompu par un bruit régulier : pfuitt, tac, pfuitt tac, pfuitt... Le couvercle se soulève, pfuitt, en évacuant un jet de vapeur, puis il retombe, tac, et ainsi de suite... Euréka !

Il vient de découvrir que la vapeur est capable de soulever le couvercle, donc de créer une force, donc de fournir du travail. Mais qui produit cette précieuse vapeur sinon le feu ?

Prise de conscience de la force de la **vapeur**. Un ingénieur nommé Watt, en 1769, concrétise la découverte en créant une machine à vapeur. Celle-ci va trouver un développement dans tous les secteurs industriels et agricole, par exemple pour le battage des moissons ; qu'on en juge.

Depuis des siècles le battage se faisait manuellement par une dizaine d'ouvriers



qui maniaient le fléau. La

« trépigieuse », mue par un seul cheval, remplace les hommes, avant que la machine à vapeur prenne le relai avec une efficacité décuplée. Le grand avantage de cette machine est qu'elle ne consomme rien au repos. Pour définir sa puissance, on parlera de cheval-vapeur !



De même pour le transport fluvial, seul moyen de transporter de très



lourdes charges.

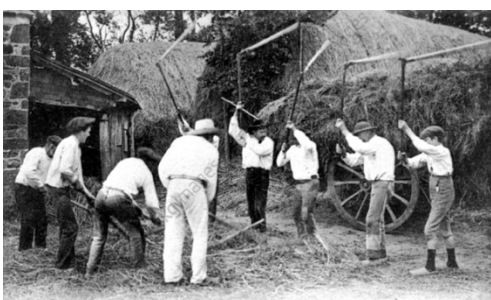
Mettre des roues motrices à la machine à vapeur fut un pas rapidement sauté ; la **voiture à vapeur** voyait le jour à la fin du XIXème siècle en remplacement de la traction hippomobile.

Un dénommé Ader va réussir l'exploit de construire le premier **avion avec un moteur à vapeur** de 20 CV chauffé à l'alcool !

L'engouement pour la vapeur deviendra parfois comique. De passage au palais d'Udaipur en Indes, j'ai pu admirer un ventilateur à vapeur chauffé à l'alcool !



La locomotive à vapeur voit le jour en 1814 avec une puissance qui deviendra énorme. Elles seront parfois des objets d'art admirées à juste titre comme la « Pacific 231 » de 1901, immortalisée musicalement par le compositeur Arthur Honegger.



Le transport maritime fera de la résistance partout où la voile peut être utilisée, pour des raisons économiques, car le vent est gratuit et que le carburant embarqué prend partiellement la place du fret. Sur les grands fleuves, la transition est immédiate.

Toutes les machines à vapeur évoquées sont des **moteurs à combustion externe**, car on peut voir le feu externe au système.

En 1859 surgissent les puits de pétrole ; ce combustible liquide, une fois raffiné, est beaucoup plus maniable que son ancêtre le charbon.

Les combustibles employés sont faits des produits issus, soit d'un passé récent comme le bois, soit d'un passé très ancien comme le charbon ou le fioul issus de la décomposition d'éléments fossiles.

Des ingénieurs ingénieux se disent alors que si la combustion se faisait directement à l'intérieur du cylindre moteur, les forces de pression agiraient directement sur le piston. Ils remplacent donc la vapeur par un mélange air-carburant et y mettent le feu : ça marche.

Le nouveau **moteur à combustion interne** brûle le carburant, de manière explosive, dans ses entrailles. Débuts pénibles, suivi très rapidement d'un développement fulgurant à partir du début du XXème siècle.



Au début de ce siècle, on pense que les ressources énergétiques sont inépuisables et que la Nature sait absorber la pollution engendrée ; tout est donc pour le mieux dans le meilleur des mondes.



Depuis le début du « siècle des lumières », deux phénomènes intéressaient les savants : le magnétisme et surtout l'électricité. Les pêcheurs avaient constaté que certains poissons envoyaient, à quiconque les touchait, des impulsions brutales, aussi étranges que douloureuses.

Et puis il y avait, par mauvais temps, ces étranges éclairs, ce terrifiant tonnerre et la foudre parfois mortelle ou incendiaire. Mon arrière-grand-mère prétendait que, par temps d'orage, Dieu faisait son ménage.



En 1750 **Benjamin Franklin** identifie l'électricité naturelle de la foudre (au risque de se faire électrocuter).

En 1799 **Volta** crée la première pile électrique.

En 1820 **Oersted** découvre les lois du magnétisme et Ampère les lois de l'électrodynamisme.

Après avoir constaté qu'un barreau de fer placé au centre d'une bobine de fil conducteur devient un aimant quand un courant électrique circule dans la bobine, Gramme, en 1868, réalise la première dynamo électrique, notre futur alternateur. Les connaissances du magnétisme et de l'électricité fusionnent à la fin du XIXème siècle pour donner naissance à une science nouvelle : l'**électromagnétisme** qui va accoucher des alternateurs et des moteurs électriques.

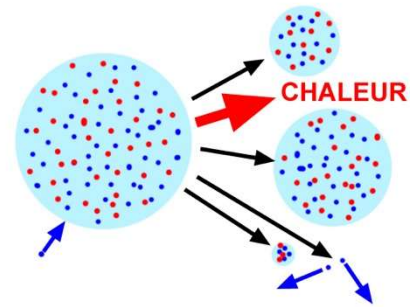
Comme la vapeur avait créé le lien entre l'énergie calorifique et l'énergie mécanique ; l'énergie électrique va créer un lien similaire entre énergie produite ici et l'énergie consommée ailleurs, éloigné autant que de besoin. Il suffit d'entraîner mécaniquement une dynamo (alternateur) pour créer du courant et le transporter sur son lieu d'utilisation puis de le retransformer en une toute autre énergie.

ENERGIE MECANIQUE \Rightarrow ENERGIE ELECTRIQUE TRANSPORTABLE \Rightarrow ENERGIE MECANIQUE OU CHALEUR

Cette nouvelle énergie électrique que l'on fabrique avec des énergies déjà existantes, répond aux besoins modernes par sa souplesse d'utilisation. La production électrique est aujourd'hui essentiellement assurée par des alternateurs qu'il faut entraîner en rotation pour les rendre producteurs.

On fait donc appel à tous les producteurs d'énergie mécanique connus :

- Les centrales hydro-électriques qui captent la vitesse de l'eau des fleuves ou des barrages par des turbines comme le faisaient les moulins à eau de nos ancêtres.
- Les centrales thermiques (machines à vapeur modernes) qui utilisent du fioul, du charbon ou du gaz pour produire de la vapeur d'eau et entraîner des turbines accouplées aux alternateurs électriques.

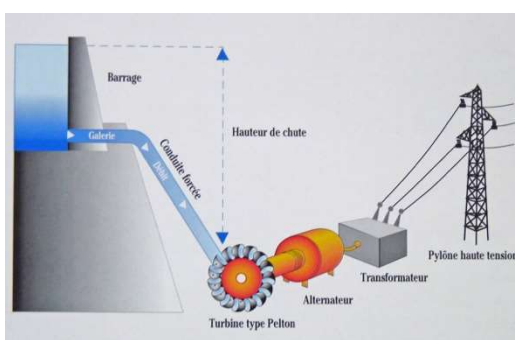


Malheureusement, dès le milieu du XX^{ème} siècle, une évidence se fait jour : les besoins des hommes augmentent inéluctablement alors que les ressources énergétiques fossiles s'épuisent tout aussi inéluctablement. Il faut donc trouver rapidement de nouvelles sources d'énergie.

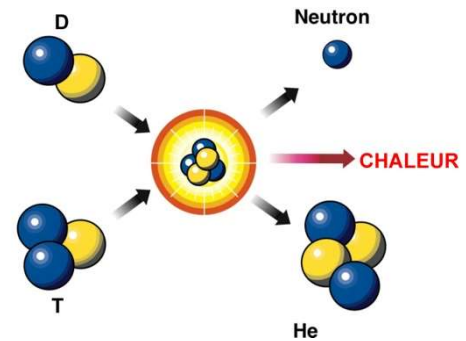
Une première opportunité se fait jour au lendemain de la seconde guerre mondiale.

Il convient de la finir par un beau feu d'artifice à la mémoire des 60 millions de morts qu'elle a fait. Pour cela, les Américains vont utiliser, en 1945, un gros pétard : la bombe atomique qui utilise une énergie nouvelle : **l'énergie nucléaire de fission**.

De quoi s'agit-il ? Les savants avaient constaté que certaines très grosses molécules sont tellement obèses qu'il suffit d'une chiquenaude pour les faire éclater. Quand l'une de ses molécules ventruées éclate, elle dégage énormément de chaleur et ses éclats viennent frapper deux ou trois de ses voisins qui éclatent à leur tour, lesquelles font de même et ainsi de suite ; c'est ce qui s'appelle une **réaction en chaîne**.



Après des débuts prometteurs à Hiroshima et Nagasaki, cette nouvelle énergie a pu être domestiquée et donner naissance à nos actuelles centrales électriques thermonucléaires. Celles-ci sont similaires à nos centrales électriques thermiques, à ceci près que la chaleur nécessaire à la production de la vapeur ne provient pas de la combustion d'un carburant fossile, mais d'une fission exothermique d'atomes d'uranium ou de plutonium. Et ça marche très bien en France depuis 1956. En l'an 2000, les 3/4 de notre énergie électrique provenaient de ces centrales thermiques électronucléaires qui ont cependant deux défauts : elles ont un mauvais rendement (5%) et elles produisent des déchets dont on ne sait aujourd'hui que faire.



Il faut l'admettre, nous sommes devenus des énergivores extrêmement voraces ; des boulimiques d'énergie.

Rendez-vous compte, en admettant que la puissance moyenne d'un homme soit de 50 watts :

Votre belle voiture de seulement 75 CV a une puissance équivalente à celle des centaines d'hommes.

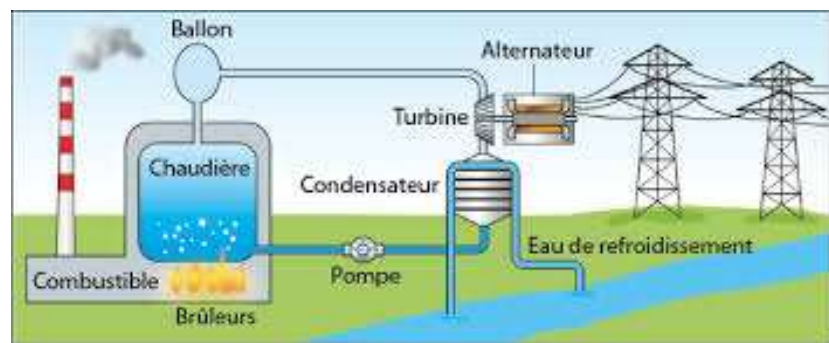
Votre aspirateur, celui de 30 balayeurs.

Votre batteur ménager, celui de 5 marmitons.

Votre tondeuse à gazon remplace une vingtaine de jardiniers.

Vous comprenez aisément que, face à cette constatation, il est devenu impératif de rechercher de nouvelles sources énergétiques. Mais où les trouver ?

Beaucoup de chercheurs ont eu l'idée de s'intéresser à l'origine de toutes les formes d'énergie existantes sur notre planète : le rayonnement solaire. Crânement, ils ont voulu fabriquer un petit, tout petit soleil sur notre Terre, dès lors qu'ils en connaissaient le mécanisme.



Notre soleil était à son origine essentiellement constitué d'hydrogène, l'élément le plus simple de tous les atomes. Pour vivre, il « brûle » peu à peu son hydrogène pour en faire de l'hélium et de la chaleur dont une infime partie nous parvient sous forme de rayonnement.

Cette « combustion » est une réaction nucléaire exothermique de fusion de 2 atomes d'hydrogène pour n'en faire qu'un seul d'hélium ; elle se produit au cœur même du soleil, là où la pression est énorme et la température colossale. Pourquoi ne pas tenter de copier le principe et de récupérer la chaleur produite pour faire de la vapeur et alimenter les turbines de nos centrales thermiques ?

Nous disposons abondamment de la matière première dans nos océans, l'hydrogène, à raison de 33 grammes par m³, lequel renferme une énergie thermique potentielle équivalente à ... 700 tonnes de pétrole !

Il ne reste plus qu'à réaliser un four capable d'obtenir une température, de plusieurs millions de degrés, nécessaire pour déclencher la réaction. Une bagatelle qui pose tout de même quelques problèmes technologiques. Problèmes évacués par les militaires par les militaires qui utilisent une bombe atomique à fission comme four !

La bombe H est née ; elle sera testée avec succès, en 1952, sur l'atoll de Bikini. Comme pour l'énergie de fission, cette étape franchie, il ne reste plus qu'à en maîtriser la réaction pour la rendre civilement exploitable. Dans ce but, en 1985, le monde entier se fédère pour fabriquer ce fameux four à des millions de degrés. En 2007, sa construction débute en France à Cadarache. Mais ce n'est qu'un projet à long terme, dont l'issue reste très incertaine.

D'autres chercheurs, plus pragmatiques, souhaitent exploiter les rayonnements qui nous parviennent de la grande fournaise solaire.

Une solution élégante consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière de notre soleil et de se passer de la vapeur. La découverte des **cellules photovoltaïques** ouvre cette possibilité.

Et il y a un projet chinois très ambitieux qui envisage de capter l'énergie solaire par des panneaux placés sur orbite géostationnaire avec un rendement 4 fois supérieur à celui des panneaux au sol.

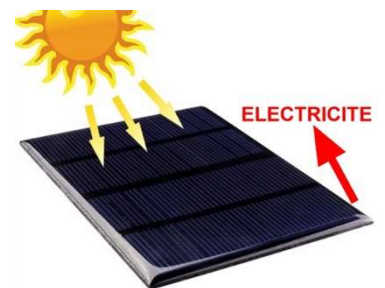
Nous envisageons aussi, de faire du carburant à partir d'algues bouillottes par des enzymes glutons.

A quelques dizaines de kilomètres sous terre règnent des températures de plusieurs centaines de degrés ; pourquoi ne pas les utiliser ?

Et puis il y a le vent, surtout en haute altitude, et puis il y a les courants sous-marins, et puis, et puis, et puis.

En résumé, il faut retenir les maîtrises majeures qui ont contribué, à ce jour, à la conquête de l'énergie : **le feu** il y a 100 000 ans ; **la vapeur** il y a 250 ans ; **l'électricité** il y a 120 ans ; **la fission de l'atome** il y a 70 ans ; les **cellules photovoltaïques** hier. Demain, peut-être, **la fusion de l'hydrogène**. Tout s'accélère !

Sans oublier les économies d'énergie : l'isolation, les diodes, la miniaturisation, etc.



Mais pourquoi cette question pourtant simple de l'énergie est si difficile à comprendre en pratique.

De mon point de vue, deux causes en sont responsables

1°) Le vocabulaire.

Les mots : énergie, travail, chaleur, énergie électrique, énergie mécanique, énergie potentielle, énergie cinétique ne sont que les avatars d'une seule énergie, mais ne sont pas perçus comme tels.

2°) Les unités de mesure de l'énergie.

Au XIXème siècles, chacun créa l'unité de mesure adaptée à ses besoins. Ceux qui parlaient chaleur dans les laboratoires utilisaient la **calorie**, mais les industriels de la chaleur, eux, employaient la **thermie** ; les mécaniciens l'**erg** ou le **kilogrammètre**, les

diététiciens la **grande calorie** ; quant aux électriciens : le **kilowattheure**. Sans oublier la **tonne d'équivalent pétrole**. De quoi s'y perdre.

Pourtant, la seule et unique unité internationale de mesure est le **Joule**, adopté voilà plus de 70 ans, et obligatoire sous peine de sanctions !

En conclusion, car il faut bien conclure ; nous pouvons rester optimistes car si nous risquons de manquer d'énergie, nous ne manquons pas d'idées pour découvrir de nouvelles ressources énergétiques. Il nous faut espérer que la sagesse des hommes, dans cette course vitale, ne nous conduira pas au désastre.

Quoi qu'il en soit nous devons avoir une infinie reconnaissance à notre Soleil qui est la source de toutes les énergies que nous dévorons allègrement à qui nous devons d'exister.

Je vous dois une excuse ; celle de n'avoir pas évoqué les éoliennes. Pourquoi cette omission volontaire ? Parce que, selon moi, cette solution est discutable pour diverses raisons : son coût énergétique, son intégration difficile dans la gestion du réseau électrique national et ses nuisances sonores.

Je vous remercie de votre bienveillante attention.

Daniel Géry ing. AM et ENSPM