

1 L'énergie : une définition compliquée

L'énergie est une chose très difficile à définir. Elle prend de multiples formes, en terme macroscopique humain, 6 au total¹.

On peut convertir un type d'énergie dans un autre type d'énergie. **Il y a conservation de la quantité d'énergie.** Mais ceci n'est pas toujours possible totalement ; une certaine partie de l'énergie « se perd » en chaleur.

Toute énergie tend à se transformer en chaleur.

Il existe des énergie de haute qualité qui pourront être transformée en autres énergies avec un bon rendement et des énergies de basse qualité qui deviendront principalement de la chaleur.

2 Les différents types d'énergie

2.1 Énergie calorifique

L'**énergie calorifique** est l'énergie due à la chaleur d'un objet. Cette énergie est mesurée par la température de cet objet. Cette énergie est le stade final de toute transformation énergétique. Alors qu'il est très simple de transformer toute énergie en chaleur, la chaleur se transforme difficilement en un autre type d'énergie.

Exemples : température de tout objet, radiateurs, ...

2.2 Énergie mécanique

L'**énergie mécanique** est l'énergie due à la vitesse d'un corps ou sa hauteur vis-à-vis du sol. Cette énergie correspond à où F est la force qui a été appliquée et d la distance sur laquelle la force a été appliquée.

Exemple : la chute d'un corps, un pendule, le déplacement d'un objet,

2.3 Énergie électrique

L'**énergie électrique** est l'énergie due à un flux d'électrons. Cette énergie correspond à $E_{\text{électrique}} = U \times q$ où U est la tension et q le nombre de charges.

Exemple : électricité domestique, l'éclair, ...

2.4 Énergie rayonnante

L'**énergie rayonnante** est énergie dues aux rayonnement électromagnétiques. Les rayonnements électromagnétiques sont très variés. Il comprennent du moins énergétique au plus énergétique : ondes radio, GSM, Wifi, Radar, Micro-ondes, Lumière visible, Rayon X, Rayon gamma.

L'énergie rayonnante la plus commune est la lumière visible. Son unité est le lumen.

Exemple : GSM, wifi, lumière, Rayon X, Ondes radio

2.5 Énergie chimique

L'**énergie chimique** est l'énergie contenu dans les liaisons chimiques. Cette énergie est libérée lors de la transformation de molécules en d'autres types de molécules.

Exemple : combustion, respiration, piles, batterie, ...

2.6 Énergie nucléaire

L'**énergie nucléaire** est énergie contenue dans la masse de la matière. Elle correspond à la célèbre formule de Einstein $E = m \times c^2$ où m est la masse transformée en énergie et c la vitesse de la lumière (300 000 km/sec).

Exemple : centrale nucléaire, bombe nucléaire, soleil

1. Ces 6 énergies peuvent être ramenées à 4 interactions élémentaires l'interaction nucléaire faible, l'interaction nucléaire forte et l'électro-magnétisme pour l'infiniment petit et la gravitation pour l'infiniment grand.

\rightarrow	Énergie mécanique	Énergie thermique	Énergie électrique	Énergie rayonnante	Énergie chimique	Énergie nucléaire
Énergie mécanique	Boîte à vitesse, poulies, leviers	Frein à disque	Alternateur, dynamo	Étincelle d'un silex, piezo	Allumette	-
Énergie thermique	Machine à vapeur	Échangeur de chaleur	Éclair, Thermomètre électronique	Rayonnement de radiateur	Cryosac (compresse froide instantanée)	-
Énergie électrique	Moteur électrique	Chauffage électrique	Chargeur électrique	Tube d'éclairage, ampoule	Batteries, accumulateurs	-
Énergie rayonnante	-	Panneau solaire thermique	Panneau solaire photovoltaïque	Phosphorescence, ciel bleu	Photosynthèse, bronzage	-
Énergie chimique	Moteur essence/diesel	Combustion, respiration	Batteries, piles	Bioluminescence (vers luisants)	Toutes réactions chimiques	-
Énergie nucléaire	-	Réacteur nucléaire	-	Soleil, radioactivité	Isotopes radioactifs	Chaînes de réactions radioactives

FIGURE 1 – Exemples de transformations énergétiques

3 Conversions d'énergie

On peut convertir une énergie d'une forme dans une autre forme.

- Certaines conversions sont impossibles dans les connaissances actuelles. Par exemple, on ne peut reformer de la masse (énergie nucléaire) avec une autre forme d'énergie.
- Toute conversion produira un peu de chaleur. La chaleur est la forme ultime de transformation de l'énergie.
- Le rendement est le rapport en pourcentage entre énergie secondaire sur l'énergie primaire.

On peut voir tout système (appareil, outils, mais aussi phénomènes naturels) comme une succession de transformation énergétiques.

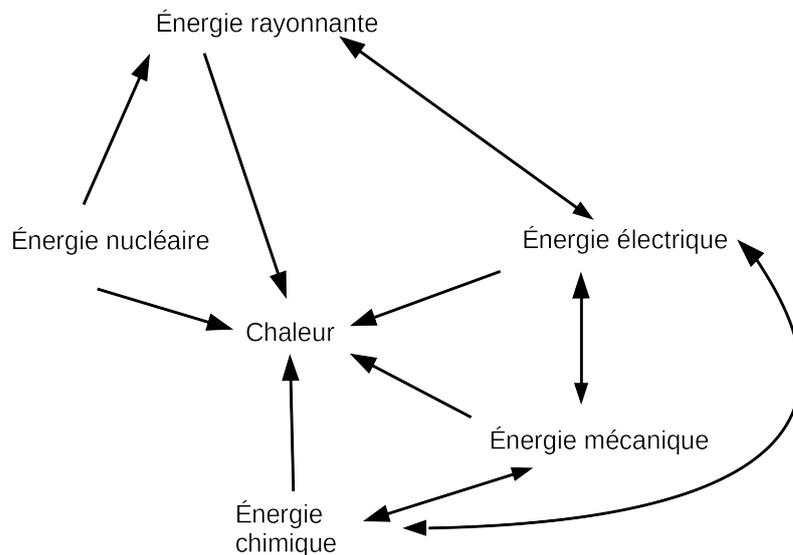


FIGURE 2 – Les transformations énergétiques

3.1 Rendement

On appellera énergie primaire l'énergie initiale et énergie secondaire l'énergie attendue.

La tendance naturelle est de former de plus en plus de chaleur (première loi de la thermodynamique).

Le rendement vaut donc :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Energie}_{\text{secondaire}}}{\text{Energie}_{\text{primaire}}}$$

De nombreux systèmes (appareils, phénomènes naturelles) demandent des conversions « étagées », c-à-d que plusieurs conversions se feront dans un ordre déterminé.

Par exemple :

— une centrale nucléaire suivra la conversion suivante :

$$\text{Masse} \rightarrow \text{Chaleur} \rightarrow \text{Mvmt}_{\text{primaire(eau)}} \rightarrow \text{Mvmt}_{\text{secondaire(turbine-solide)}} \rightarrow \text{Electricité}$$

— une éolienne suivra la conversion suivante :

$$\text{Mvmt}_{\text{primaire(air)}} \rightarrow \text{Mvmt}_{\text{secondaire(turbine - solide)}} \rightarrow \text{Electricité}$$

Le rendement global correspond alors au produit des rendements de chaque conversion.

Pour x conversions :

$$\text{Rdt}_{\text{global}} = \underbrace{\text{Rdt}_1 \times \text{Rdt}_2 \times \dots \times \text{Rdt}_x}_x$$

3.2 Puissance

La puissance est le rapport de l'énergie sur le temps. Un appareil de forte puissance consomme donc beaucoup d'énergie sur peu de temps. Inversement, un appareil de faible puissance consomme peu d'énergie par unité de temps. Mais cela ne signifie pas que peu d'énergie sera consommée ou utilisée.

L'unité de la puissance est le Watt (W) qui correspond à un joule par seconde ou au produit d'un ampère par un volt (VA).

Cette unité est d'autant plus importante que sur les factures électriques la consommation énergétique est exprimée en kiloWattHeure (kWh, c-à-d une consommation de 1000 Watts pendant une heure). Un kiloWattHeure correspond donc à 3,6 millions de joules (MJ).

4 Quelques situations

4.1 Frigo

Un système frigorifique fonctionne grâce à la détente et à la compression d'un gaz. En effet, lors d'une détente, la température diminue et lors d'une compression, la température augmente.

Si la détente se fait à l'intérieur du frigo et la compression à l'extérieur, le résultat sera un transport de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur du frigo.

Les conversions en jeu sont :

$$\text{Electricité}(e) \rightarrow \text{Mouvement}(compresseur) \rightarrow \text{Transport de chaleur.}$$

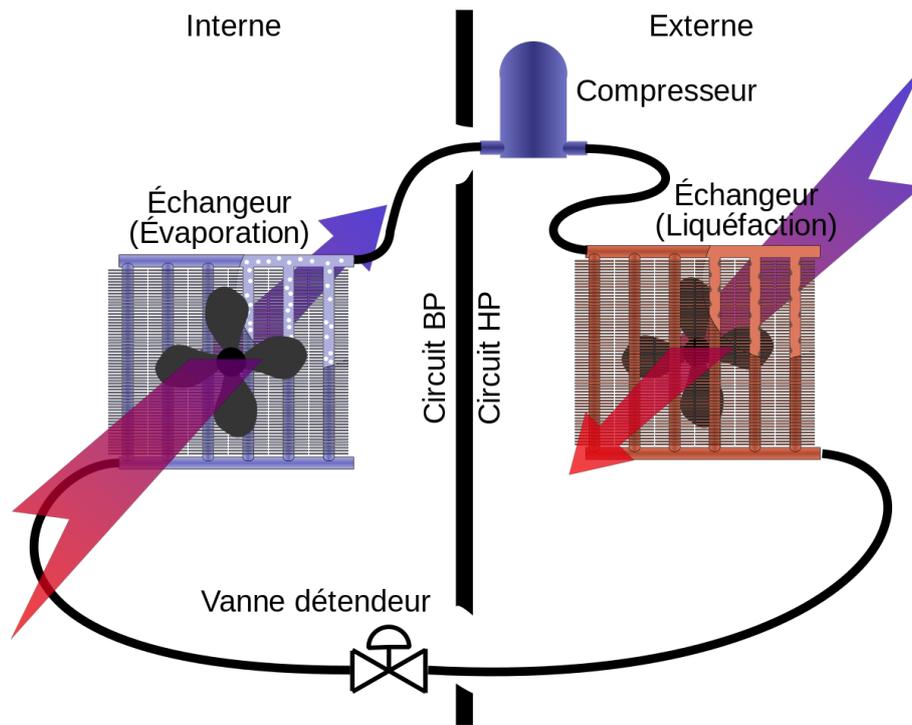


FIGURE 3 – Un circuit frigorifique.

4.2 Transport et transformateur électrique

Le transport d'électricité se fait sous forme de courant alternatif et à haute tension. L'« effet Joule » correspond à une perte de chaleur due au passage de l'électricité. Il s'agit de minimiser cette perte d'énergie.

Or, le courant alternatif diminue l'« effet Joule » par rapport au courant continu. De plus, une haute tension permet de diminuer également cet « effet Joule ».

Pour des raisons de sécurité (formation d'arc électrique), l'électricité est ramenée à une tension plus faible (230 volts en Belgique). La conversion en courant continu se fait directement avant son utilisation (adaptateur secteur, chargeur, ...).

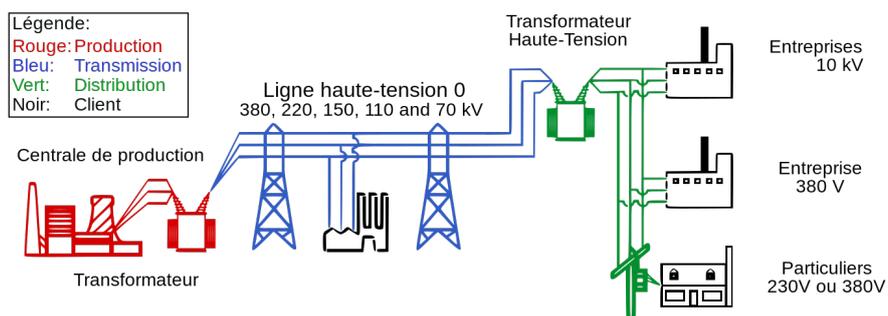


FIGURE 4 – Transport électrique.

4.3 Moteur à combustion

Un moteur à combustion² utilise un carburant (essence, diesel, gaz naturel, ...) qu'il fait exploser. L'explosion repousse un piston, ce qui produit le mouvement.

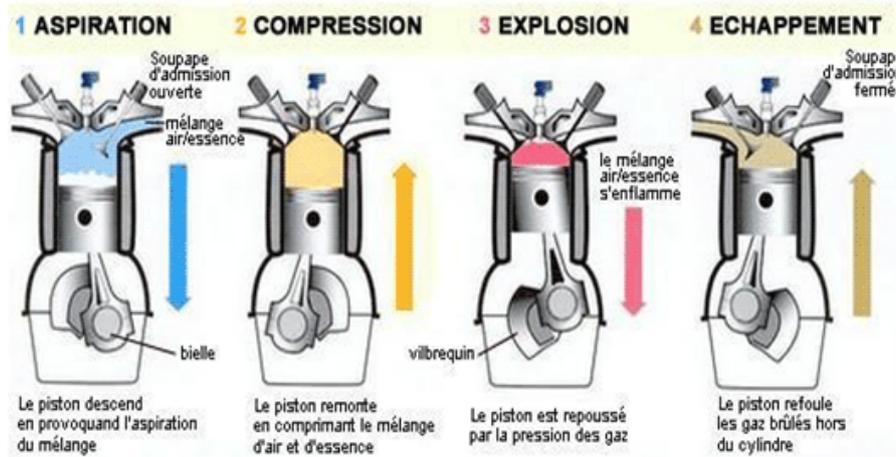


FIGURE 5 – Moteur à combustion.

5 Énergie et environnement

5.1 Énergies fossiles

On appelle combustible fossile tous les combustibles riches en carbone — essentiellement des hydrocarbures — issus de la méthanisation d'êtres vivants morts et enfouis dans le sol depuis plusieurs millions d'années, jusqu'à parfois 650 millions d'années. Il s'agit du pétrole, du charbon, de la tourbe et du gaz naturel. Parmi ces derniers, le méthane (CH_4) présente le rapport H/C le plus élevé, alors que l'antracite et certaines houilles sont composés de carbone presque pur.

Ces sources d'énergie ne sont pas renouvelables car elles demandent des millions d'années pour se constituer et elles sont utilisées beaucoup plus rapidement que le temps nécessaire pour recréer des réserves. L'utilisation de combustibles fossiles a plus que doublé entre les années 1970 et 2019.

5.2 Énergies renouvelables et non-renouvelables

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants induits par les astres : le Soleil essentiellement pour la chaleur et la lumière qu'il génère, mais aussi l'attraction de la Lune (marées) et la chaleur générée par la Terre (géothermie). Leur caractère renouvelable dépend d'une part de la vitesse à laquelle la source est consommée, et d'autre part de la vitesse à laquelle elle se renouvelle.

L'expression « énergie renouvelable » est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergie renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue physique.

La part des énergies renouvelables dans la consommation finale mondiale d'énergie était estimée en 2018 à 17,9 %, dont 6,9 % de biomasse traditionnelle (bois, déchets agricoles, etc.) et 11,0 % d'énergies renouvelables « modernes » : 4,3 % de chaleur produite par les énergies renouvelables thermiques (biomasse, géothermie, solaire), 3,6 % d'hydroélectricité, 2,1 % pour les autres renouvelables électriques (éolien, solaire, géothermie, biomasse, biogaz) et 1 % pour les biocarburants ; leur part dans la production d'électricité était estimée en 2018 à 26,4 %.

2. Un moteur à combustion est aussi appelé moteur thermique car il produit beaucoup de chaleur

5.3 Énergie grise

L'énergie grise est la quantité d'énergie consommée lors du cycle de vie d'un matériau ou d'un produit : la production, l'extraction, la transformation, la fabrication, le transport, la mise en œuvre, l'entretien et enfin le recyclage, à l'exception notable de l'utilisation. L'énergie grise est en effet une énergie cachée, indirecte, au contraire de l'énergie liée à l'utilisation, que le consommateur connaît, ou peut connaître aisément. Chacune des étapes mentionnées nécessite de l'énergie, qu'elle soit humaine, animale, électrique, thermique ou autre. En cumulant l'ensemble des énergies consommées sur l'ensemble du cycle de vie, on peut prendre la mesure du besoin énergétique d'un bien.

Une réduction très significative des déchets, telle que la propose la démarche « zéro déchet », aurait pour avantage de réduire l'énergie grise. Les low-techs permettent également la diminution de l'énergie grise, les techniques de pointe, telles que celles mises en œuvre pour produire les puces électroniques, nécessitant au contraire une grande quantité d'énergie.

L'obsolescence programmée constitue un grave problème, qu'il convient de résoudre si l'on veut réduire la part de l'énergie grise dans la consommation totale d'énergie.

5.4 Bilan radiatif de la Terre / Effet de serre

La majorité de l'énergie terrestre vient des radiations solaires à courte longueur d'onde (rayonnement visible et ultra-violet)³.

L'émission du rayonnement solaire est très stable et correspond à $1361 \frac{\text{watts}}{\text{mètre}^2}$ à la distance orbitale de la Terre. Tenant compte que la moitié du globe terrestre est éclairé et qu'il s'agit d'une sphère, la moyenne de flux solaire à la surface terrestre est de $341 \frac{\text{watts}}{\text{mètre}^2}$.

Un tiers ($102 \frac{\text{watts}}{\text{mètre}^2}$) de cette énergie est directement réfléchi vers l'espace. Le reste est absorbé par l'atmosphère terrestre ou la surface terrestre.

Cette énergie absorbée est réémise sous forme de rayonnement infra-rouge à courte longueur d'onde. Les gaz à effet de serre⁴ sont des gaz qui « laissent passer » le rayonnement visible. Par contre, ces gaz absorbent fortement les rayonnements infra-rouges et les renvoient vers la surface terrestre.

Le résultat est de maintenir une certaine quantité d'énergie « piégée » entre la surface et l'atmosphère terrestre. Grâce à cet effet de serre, la température moyenne mondiale est de $14,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ⁵, alors que, sans cet effet de serre, elle serait de -18°C (en gel permanent).

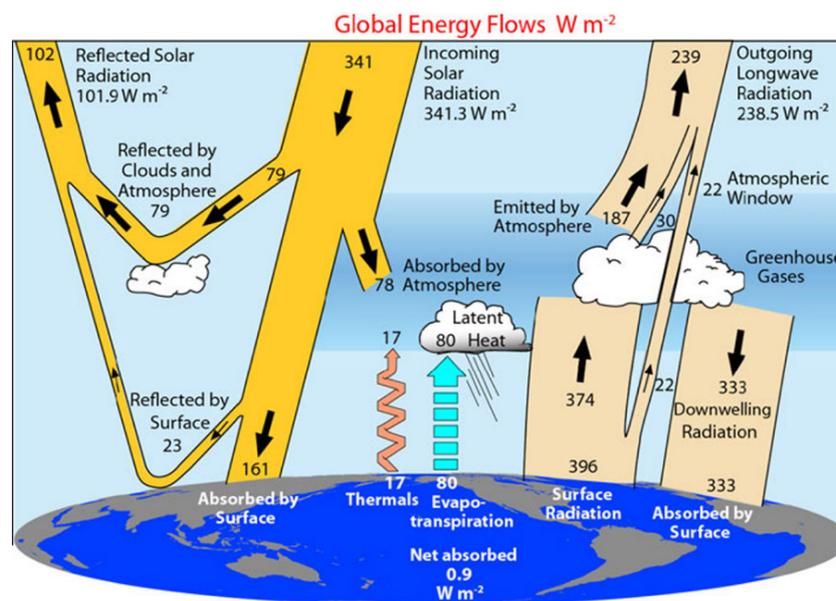


FIGURE 6 – Bilan radiatif de la Terre et effet de serre

3. Une faible partie (0,025 %) vient de la chaleur émise par le noyau terrestre (géothermie ou par la gravité (marée)).

4. Les principaux gaz à effet de serre sont l'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2) et le méthane (CH_4).

5. Elle était de $13,7^\circ\text{C}$ vers 1900.

6 Les « sources » d'énergie

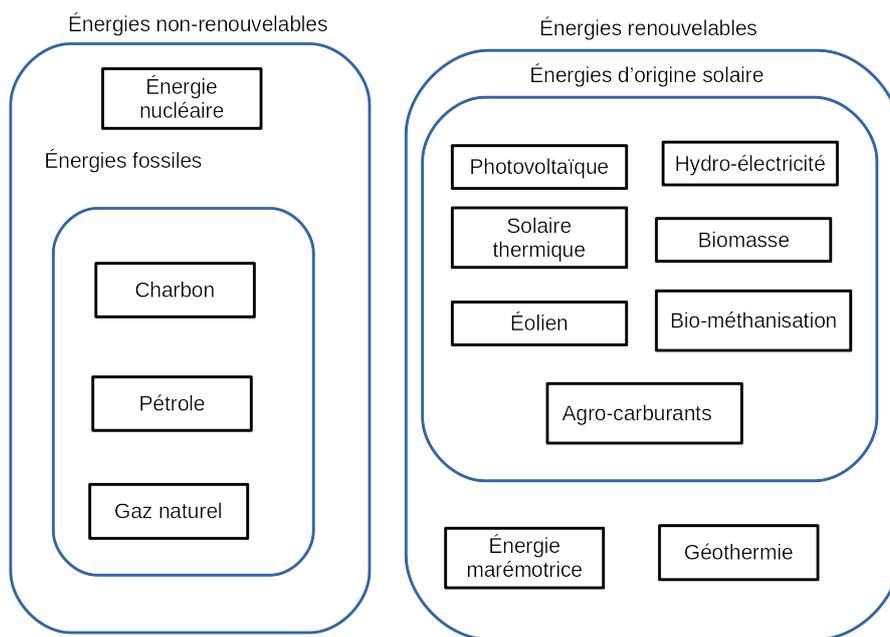


FIGURE 7 – Classification des énergies suivant leur source

6.1 Énergies fossiles

6.1.1 Charbons

Le charbon est une roche sédimentaire combustible, riche en carbone, de couleur noire ou marron foncé, formée à partir de la dégradation partielle de la matière organique des végétaux. Il est exploité dans des mines appelées charbonnages en tant que combustible.

Couvrant 26,9 % des besoins énergétiques mondiaux en 2018, le charbon est la seconde ressource énergétique de l'humanité, derrière le pétrole (31,6 %), et la première source d'électricité avec 38,2 % de la production d'électricité en 2018, part estimée par BP à 36 % en 2019.

Plus de 70 % de la consommation mondiale en 2019 sont concentrés sur trois pays : Chine 51,7 %, Inde 11,8 % et États-Unis 7,2 %.

Souvent appelé houille, il était autrefois appelé charbon de terre en opposition au charbon de bois.

Au cours de plusieurs millions d'années, l'accumulation et la sédimentation de débris végétaux dans un environnement de type tourbière provoque une modification graduelle des conditions de température, de pression et d'oxydo-réduction dans la couche de charbon qui conduit, par carbonisation, à la formation de composés de plus en plus riches en carbone : la tourbe (moins de 50 %), le lignite (50 à 60 %), la houille (60 à 90 %) et l'antracite (93 à 97 %). La formation des plus importants gisements de charbon commence au Carbonifère, environ de -360 à -295 Ma.

6.1.2 Pétrole

Le pétrole (en latin *petroleum*, du grec *petra*, « roche », et du latin *oleum*, « huile »), dit aussi naphte dans l'antiquité, est une huile minérale d'origine naturelle¹ composée d'une multitude de composés organiques, essentiellement des hydrocarbures, piégée dans des formations géologiques particulières.

L'exploitation de cette source d'énergie fossile et d'hydrocarbures est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine, car le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides — fioul, gazole, kérosène, essence, GPL — tandis que le naphtha produit par le raffinage est à la base de la pétrochimie, dont sont issus un très grand nombre de matériaux usuels — plastiques, textiles

synthétiques, caoutchoucs synthétiques (élastomères), détergents, adhésifs, engrais, cosmétiques, etc. — et que les fractions les plus lourdes conduisent aux bitumes, paraffines et lubrifiants. Le pétrole dans son gisement est fréquemment associé à des fractions légères qui se séparent spontanément du liquide à la pression atmosphérique, ainsi que diverses impuretés comme le dioxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène, l'eau de formation et des traces métalliques.

Avec 31,6 % de l'énergie primaire consommée en 2018, le pétrole est la source d'énergie la plus utilisée dans le monde devant le charbon (26,9 %) et le gaz naturel (22,8 %), mais sa part a fortement reculé : elle atteignait 46,2 % en 1973.

En 2019, selon BP, les réserves mondiales prouvées de pétrole atteignaient 244,6 Gt (milliards de tonnes), en progression de 13,2 % par rapport à 2009 et de 35,8 % par rapport à 1999. Elles représentaient 49,9 années de production au rythme de 2019, soit 4,48 Gt, dont 37,5 % produits par les pays membres de l'OPEP ; les trois principaux producteurs totalisaient 42,4 % de la production mondiale : États-Unis 17,9 %, Russie 12,1 % et Arabie saoudite 12,4 %. Les principaux importateurs de pétrole sont l'Europe, la Chine, les États-Unis, l'Inde et le Japon ; les principaux exportateurs sont l'Arabie saoudite, la Russie, l'Irak, le Canada, les Émirats arabes unis et le Koweït.

6.1.3 Gaz « naturel »

Le gaz naturel, ou gaz fossile, est un mélange gazeux d'hydrocarbures constitué principalement de méthane, mais comprenant généralement une certaine quantité d'autres alcanes supérieurs, et parfois un faible pourcentage de dioxyde de carbone, d'azote, de sulfure d'hydrogène ou d'hélium. Naturellement présent dans certaines roches poreuses, il est extrait par forage et est utilisé comme combustible fossile ou par la carbochimie. Le méthane est généralement valorisé par le gaz de synthèse en méthanol. La déshydrogénation oxydative de l'éthane conduit à l'éthylène, qui peut être converti en époxyde d'éthylène, éthylène glycol, acétaldéhyde² ou autres alcènes³. Le propane peut être converti en propylène^{4,5,6} ou peut être oxydé en acide acrylique^{7,8,9} et acrylnitrile.

En 2018, le gaz naturel est la troisième source d'énergie primaire utilisée dans le monde, représentant 22,8 % de la consommation, après le pétrole (31,6 %) et le charbon (26,9 %) ; sa part progresse rapidement (16 % seulement en 1973), de même que sa production mondiale (+234 % en 46 ans, de 1973 à 2019, dopée par l'exploitation des gaz non conventionnels).

Corrélativement, les émissions mondiales de CO₂ dues au gaz naturel s'élevaient à 6 743 Mt (millions de tonnes) en 2017, en progression de 83,4 % depuis 1990 selon l'Agence internationale de l'énergie. Elles représentent 21,2 % des émissions dues à l'énergie en 2017, contre 44,0 % pour le charbon et 34,1 % pour le pétrole. Le secteur pétrolier et gazier engendre en outre plus de 20 % des émissions mondiales de méthane, gaz dont le potentiel de réchauffement global est 25 fois plus élevé que celui du CO₂.

Le gaz naturel se développait vite dans l'industrie, les usages domestiques puis la production d'électricité, depuis les années 1970, pour pratiquement devancer le charbon. Mais le renchérissement du début du XXI^e siècle, les tassements de consommation des pays développés, les besoins des pays émergents et les progrès réalisés dans le traitement du charbon ont redonné au charbon un certain essor. Après une baisse de 2010 à 2014, la consommation mondiale de gaz naturel a repris sa progression depuis 2015, tirée par la Chine (+18 % en 2017, soit deux fois la croissance moyenne de 2010 à 2016) et l'Europe, qui remplacent des centrales électriques au charbon par des centrales au gaz.

6.2 Énergie nucléaire

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité et dont la chaudière est constituée d'un ou plusieurs réacteurs nucléaires ayant pour source d'énergie un combustible nucléaire. La puissance électrique d'une centrale varie de quelques mégawatts à plusieurs milliers de mégawatts en fonction du nombre et du type de réacteur en service sur le site.

L'énergie d'une centrale nucléaire provient de la fission de noyaux d'atomes lourds. Celle-ci dégage de la chaleur, qui sert dans un premier temps à vaporiser de l'eau, comme dans toute centrale électrique thermique conventionnelle, puis la vapeur d'eau produite entraîne en rotation une turbine accouplée

à un alternateur qui produit à son tour de l'électricité. C'est la principale application de l'énergie nucléaire dans le domaine civil.

On compte dans le monde environ 250 centrales nucléaires qui ont produit 10,3 % de l'électricité mondiale en 2017. Ces centrales comptent en juillet 2020 un total de 441 réacteurs opérationnels (y compris 33 réacteurs japonais dont les deux tiers sont en attente d'autorisation de redémarrage), dont la puissance atteint 390 GW (885 MW en moyenne par réacteur) et 54 réacteurs en cours de construction.

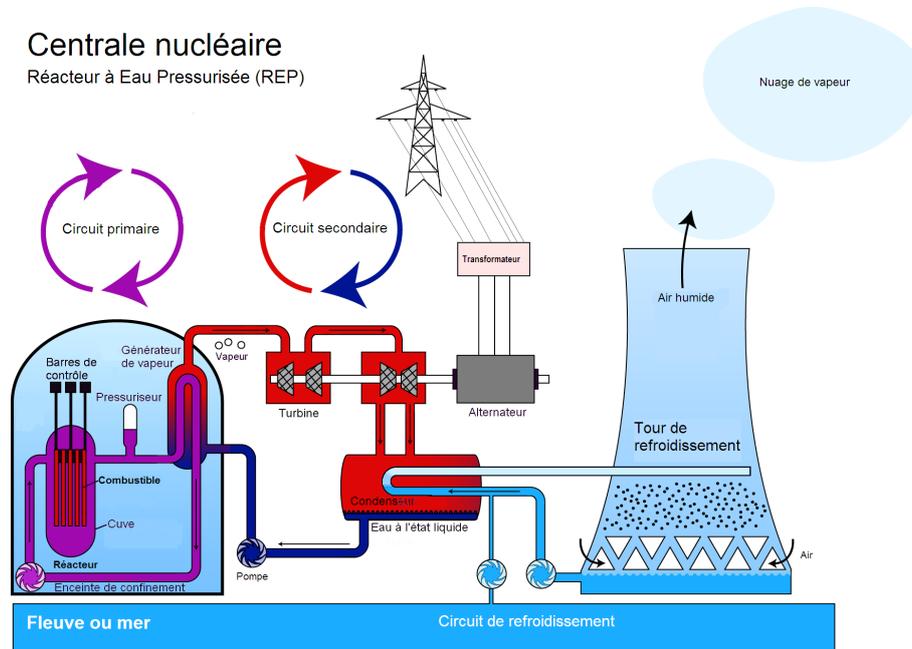


FIGURE 8 – Structure d'une centrale nucléaire

6.3 Énergies renouvelables

6.3.1 Énergie éolienne

Les éoliennes sont des systèmes permettant de convertir l'énergie cinétique de l'atmosphère (le vent) en électricité. Elle est composée de pales entraînées par le vent qui actionnent des alternateurs produisant de l'électricité.

On distingue les éoliennes « offshore » posée en mer, souvent beaucoup plus puissantes, des éoliennes terrestres.

Des éoliennes peuvent être installées par des particuliers si ils disposent des surfaces suffisantes.

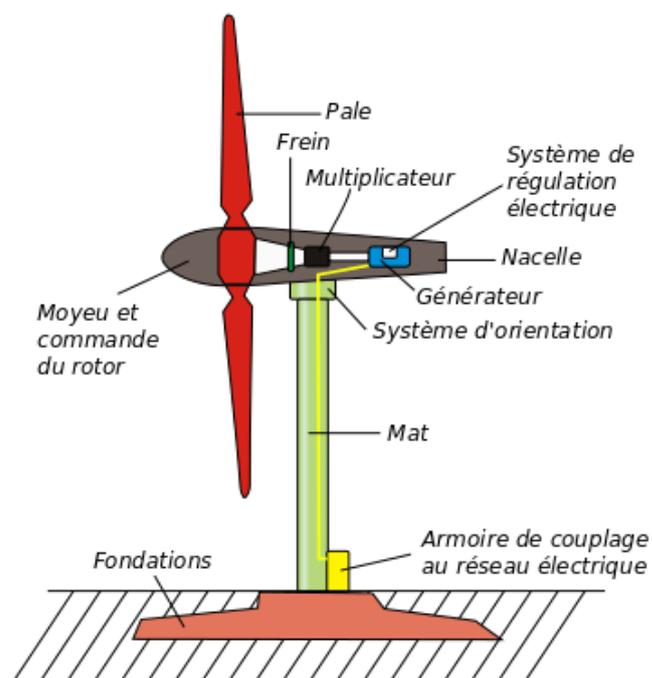


FIGURE 9 – Structure d'une éolienne

6.3.2 Énergie hydro-électricité

L'hydro-électricité consiste à utiliser l'énergie potentielle de l'eau pour en retirer de l'électricité. Il s'agit donc de barrages forçant le passage par des turbines actionnant des alternateurs. Ces barrages peuvent servir aussi de lieu de stockage d'énergie électrique en pompant l'eau en hauteur durant les moments de faible consommation.

Des micro-centrales peuvent également être installées sur de petits ruisseaux.

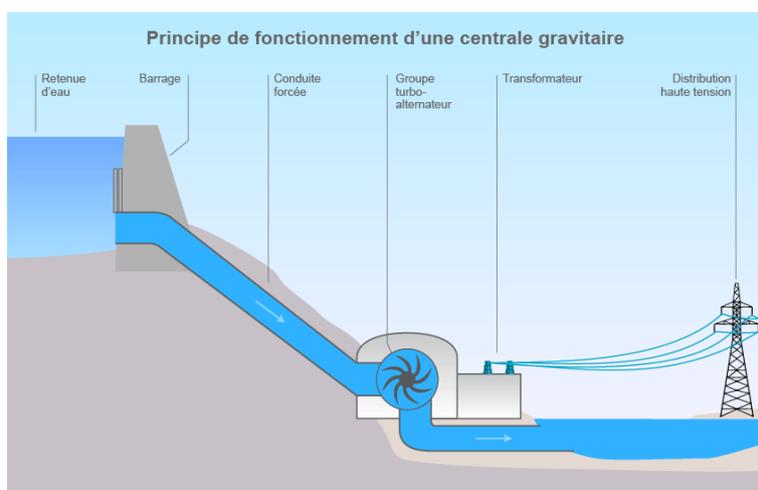


FIGURE 10 – Fonctionnement d'un barrage hydro-électrique

6.3.3 Panneau solaire photovoltaïque

Un capteur solaire photovoltaïque est un module photovoltaïque qui fonctionne comme un générateur électrique de courant continu en présence de rayonnement solaire. Constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, il sert de module de base pour les installations photovoltaïques et notamment les centrales solaires photovoltaïques.

Ces panneaux sont installés sur la toiture ou à même le sol chez les particuliers. Certains panneaux sont montés sur rotule pour suivre la révolution journalière du soleil.

Toute connexion de panneaux solaires au réseau électrique nécessite un onduleur et un compteur séparé ou communicant en cas de revente.

Le rendement varie de 20 à 25 %.

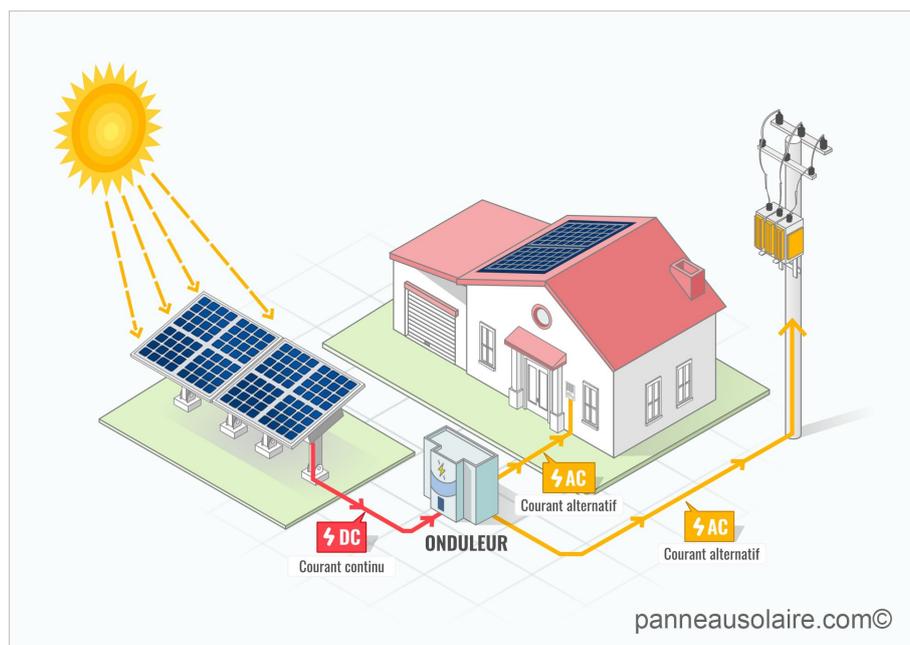


FIGURE 11 – Fonctionnement d'un système de panneaux photovoltaïques

6.3.4 Panneau solaire thermique

Un capteur solaire thermique (ou capteur solaire, ou capteur hélio-thermique, ou encore panneau solaire 1,n 2) est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie solaire transmise par rayonnement et la transférer à un fluide caloporteur (gaz ou liquide) sous forme de chaleur. Cette énergie thermique peut ensuite être utilisée pour le chauffage de bâtiments, pour la production d'eau chaude sanitaire ou encore dans divers procédés industriels.

Cette technologie est différente de celle des panneaux photovoltaïques, qui transforment la lumière (les photons) en électricité.

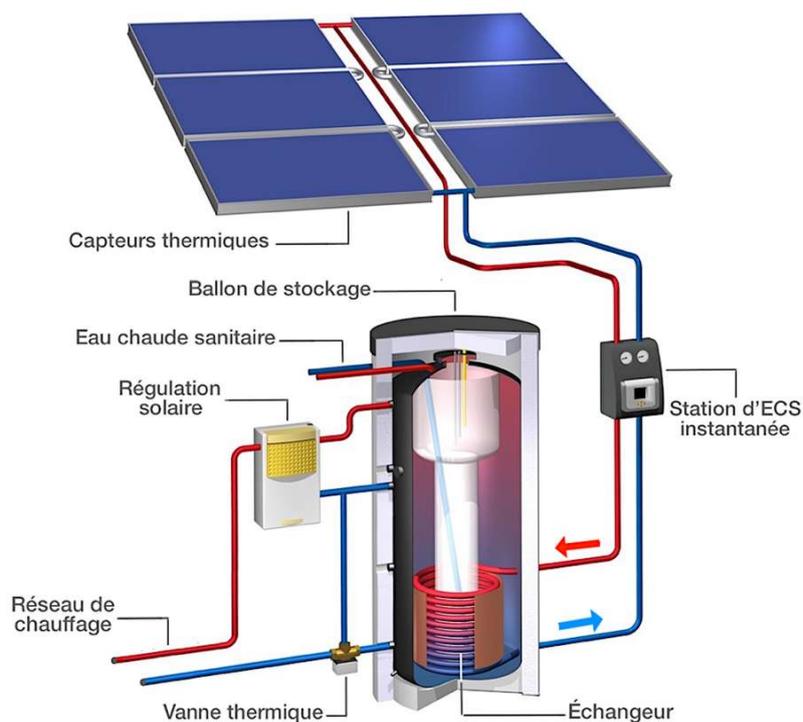


FIGURE 12 – Fonctionnement d'un système solaire thermique



FIGURE 13 – Capteur thermique

6.3.5 Biomasse

Dans le domaine de l'énergie, la biomasse est la matière organique d'origine végétale (microalgues incluses), animale, bactérienne ou fongique (champignons), utilisable comme source d'énergie (bio-énergies). Cette énergie peut en être extraite par combustion directe (ex : bois énergie) ou après transformation (pellets, ...). Il peut s'agir d'une production directe (champs, coupe de haies, coupe de bois) ou d'utilisation de résidus de scieries ou de papeteries.

En 2018, selon l'Agence internationale de l'énergie, la biomasse fournissait 1 327 Mtep d'énergie, soit 9,3 % environ de l'énergie primaire consommée dans le monde, 518,5 TWh d'électricité, soit 1,9 % de la production mondiale d'électricité, et 4 % environ des carburants routiers. La biomasse fournit 80 % environ du total des énergies renouvelables produites dans l'UE, et 8 % de l'énergie consommée.

Selon un rapport de la Commission européenne, la bioénergie pourrait couvrir jusqu'à 13 % de la demande énergétique de l'UE.

6.3.6 Bio-méthanisation

La méthanisation est un processus biologique de dégradation des matières organiques. Elle est appelée aussi biométhanisation ou digestion anaérobie. La digestion anaérobie est le processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène (anaérobie); les polluants organiques sont convertis par des micro-organismes anaérobies en un produit gazeux (compris le méthane) et une boue résiduelle, le digestat, qui ont un potentiel de réutilisation.

La méthanisation se produit naturellement dans certains sédiments, les marais, les rizières, les décharges, ainsi que dans le tractus digestif de certains animaux, comme les insectes (termites) ou les ruminants. Une partie de la matière organique est dégradée en méthane, et une autre est utilisée par les micro-organismes méthanogènes pour leur croissance et reproduction. La décomposition n'est pas complète et laisse le digestat (en partie comparable à un compost).

La méthanisation est aussi une technique mise en œuvre dans des méthaniseurs où l'on accélère et entretient le processus pour produire un gaz combustible (biogaz, dénommé bio-méthane après épuration). Des déchets organiques (ou produits issus de cultures énergétiques, solides ou liquides) peuvent ainsi être valorisés sous forme d'énergie.

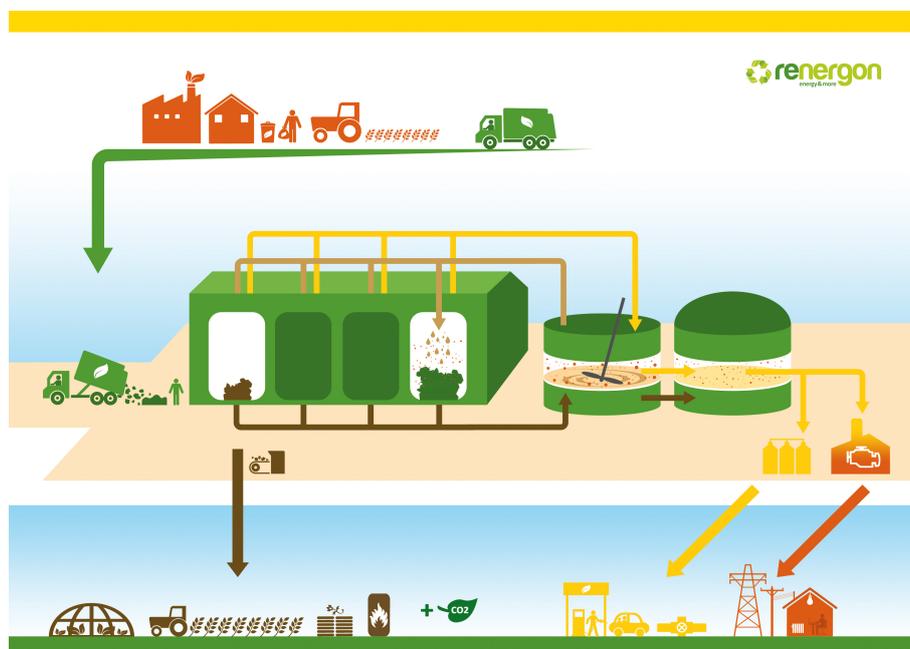


FIGURE 14 – Centrale de biométhanisation

6.3.7 Agro-carburants

Les agro-carburants sont des carburants issus de l'agriculture.

Il en existe de deux types :

- les bio-diesels : il s'agit de la production d'huiles végétales (colza, arachide, ...) que l'on extrait de fruits de la plante qui peuvent être utilisés en substitut du diesel. Des tests sont actuellement en cours pour des utilisations dans le secteur aéronautique en substitut du kérosène. L'utilisation comme substitut pour le diesel terrestre est ou pourrait être généralisée.
- les bio-éthanol : il s'agit d'une fermentation alcoolique d'une production agricole (graines, ..) produisant de l'éthanol. Cet éthanol peut être utilisé en substitut de l'essence.

Le plus gros désavantage des agro-carburants est la concurrence qu'elle exerce sur la production alimentaire (humaine et animale) par son utilisation des sols.

C'est pourquoi actuellement les agro-carburants des sous-produits, des déchets agricoles plutôt qu'une production alimentaire en tant que tel.

6.3.8 Géothermie

La géothermie est le fait d'utiliser la chaleur contenue dans le sol.

On peut distinguer une utilisation à grande échelle par rapport à une utilisation réservée au particulier.

Dans son utilisation la plus ancienne, il s'agit d'utiliser des eaux souterraines chaudes souvent profondes comme source de chaleur (chauffage). On réinjecte alors une eau plus froide. Ce type de dispositif existe en Belgique à Saint-Ghislain près de Mons où l'on chauffe un quartier d'habitation.

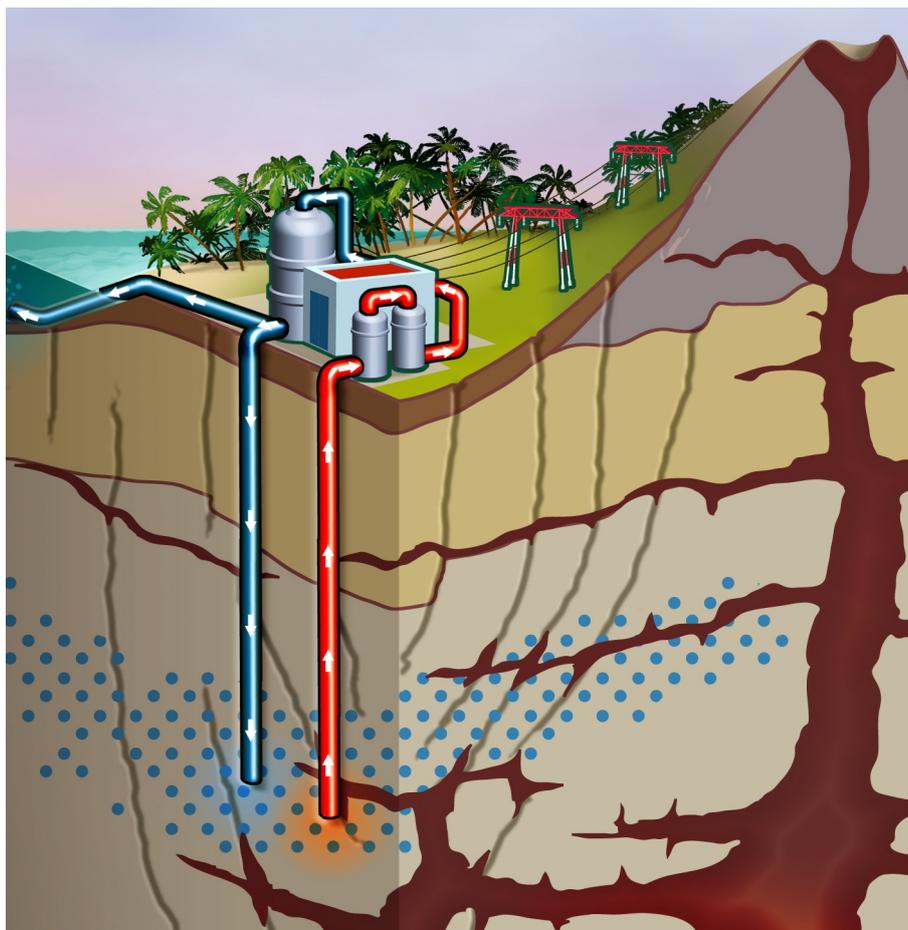


FIGURE 15 – Centrale géothermique

Une deuxième possibilité est l'utilisation d'un échangeur de chaleur par un particulier. Ceci peut se faire pour une nouvelle construction. Le principe de base est celui d'un « frigo à l'envers ». On réchauffe l'intérieur de la maison en refroidissant une partie du sol connexe. Il faut évidemment que le bilan final soit positif, c-à-d que la consommation d'énergie du système soit inférieure au gain de chaleur obtenu.

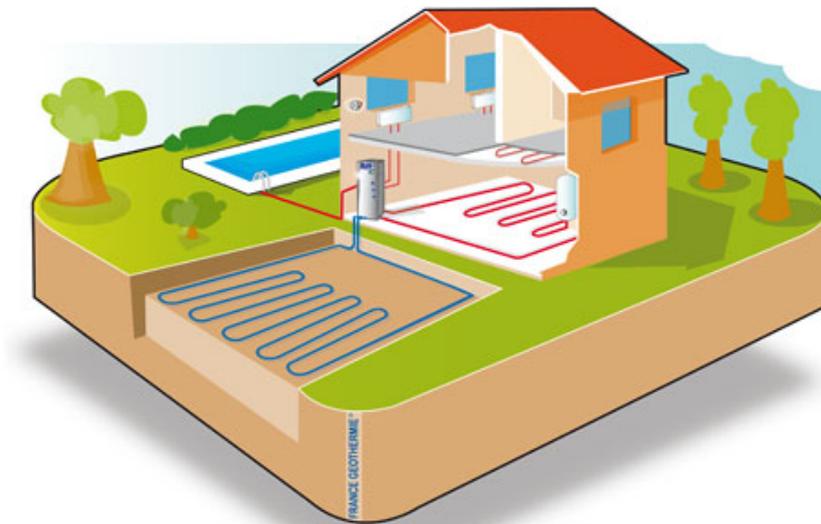


FIGURE 16 – Échangeur de chaleur

6.3.9 Énergie marémotrice

L'énergie marémotrice est une énergie mécanique due à l'action de la gravitation de la Lune et du Soleil sur les océans. Les marées modifient de façon cyclique la hauteur du niveau de la mer. Cette différence de hauteur d'eau peut être utilisée pour actionner une turbine-alternateur permettant de produire du courant.

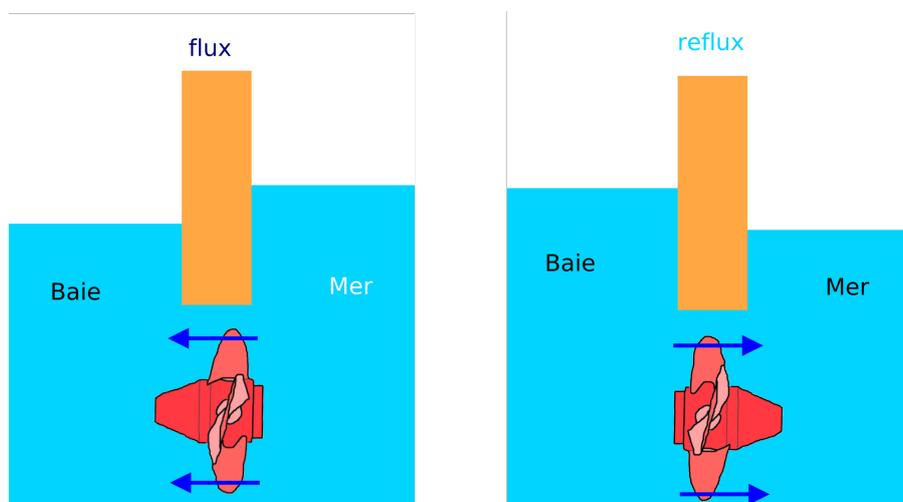


FIGURE 17 – Fonctionnement d'une unité marémotrice

7 Impact mondial

7.1 Consommation mondiale d'énergie

La consommation mondiale a plus que doublé entre 1973 et 2018. Pour contrer le réchauffement climatique, il est nécessaire de stabiliser cette consommation.

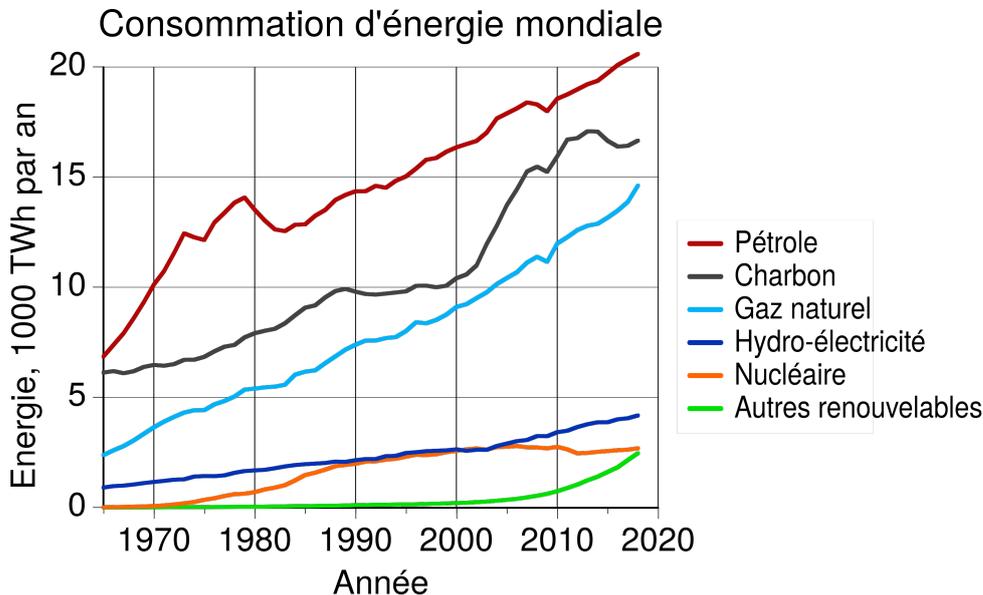


FIGURE 18 – Évolution de la consommation mondiale

La consommation mondiale est (en 2017) de $5,656869216 \times 10^{20}$ joules par an.

Le flux solaire génère en moyenne 341 W/m^2 , ce qui correspond à $1,377031831 \times 10^{24} \frac{\text{joules}}{\text{an}}$.

Il ne faudrait donc capter que 0,0410802 % de l'énergie solaire touchant la Terre pour satisfaire les besoins actuels de l'humanité.

Ceci correspond à moins de 4 heures sur une année totale d'énergie totale reçues sur Terre.

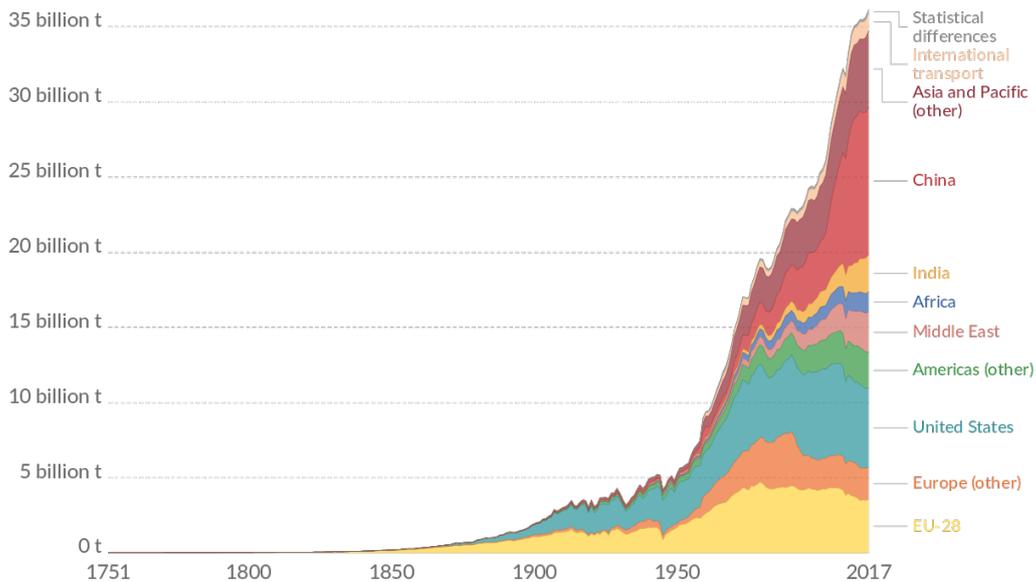
7.2 Émission de gaz à effet de serre

Les principaux gaz à effet de serre (GES) naturellement présents dans l'atmosphère sont :

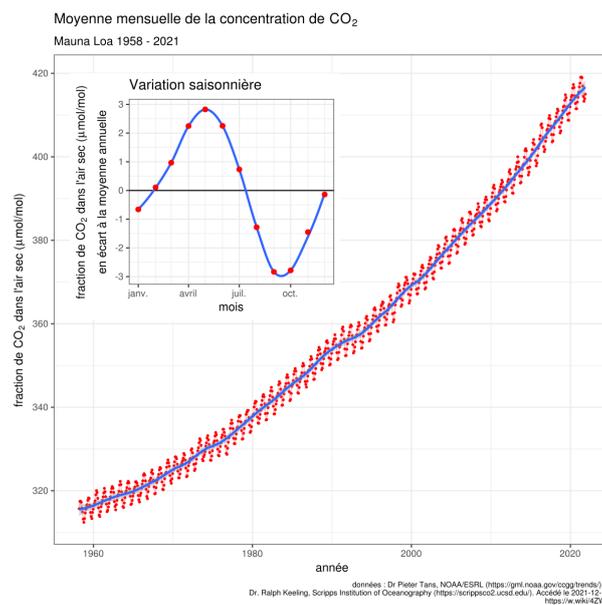
- la vapeur d'eau (H_2O) et les gouttelettes d'eau des nuages, qui sont à l'origine de 72 % de l'effet de serre naturel. Le réchauffement climatique accentue l'évaporation de l'eau, ce qui assèche les terres, accroît l'effet de serre et le réchauffement des océans ;
- le dioxyde de carbone (CO_2), responsable de près de 65 % de l'effet de serre d'origine anthropique, dont la concentration a augmenté de 47 % depuis 1750 ;
- le méthane (CH_4), qui est responsable de 17 % de l'effet de serre anthropique du fait de son potentiel de réchauffement global élevé, égal à 34 fois celui du CO_2 à cent ans (en prenant en compte les rétroactions climatiques), mais qui persiste moins de dix ans dans l'atmosphère. Il est rejeté pour les trois quarts par les humains ;
- le protoxyde d'azote (N_2O) ;
- l'ozone troposphérique (O_3)
- et, dûs aux activités humaines, des chloro ou fluorocarbones

Les concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre augmentent depuis le XIXe siècle pour des raisons essentiellement anthropiques, avec un nouveau record en 2012 selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM)12.

En 2017, la répartition des émissions atmosphériques de gaz à effet de serre dans le monde s'établissait à : dioxyde de carbone (CO_2) 81 %, méthane (CH_4) 11 %, protoxyde d'azote (N_2O) 5 % et hydrofluorocarbures 2 %.

Annual total CO₂ emissions, by world region

Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC); Global Carbon Project (GCP)
 Note: The difference between the global estimate and the sum of national totals is labeled "Statistical differences".

FIGURE 19 – Évolution mondiale de l'émission de CO₂FIGURE 20 – Mesure du CO₂ atmosphérique par l'observatoire de Mauna Loa à Hawaï.

7.3 Augmentation de température

Le réchauffement climatique comprend à la fois le réchauffement induit par les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine et les changements de régimes météorologiques à grande échelle qui en résultent. Bien qu'il y ait eu des périodes précédentes de changement climatique, depuis le milieu du XXe siècle les activités humaines ont eu un impact sans précédent sur le système climatique de la Terre et ont provoqué des changements à l'échelle mondiale.

Le principal facteur du réchauffement est les émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines, dont plus de 90 % sont le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄). La combustion

de combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel pour la consommation d'énergie est la principale source de ces émissions, avec des contributions supplémentaires de l'agriculture, de la déforestation et de la production industrielle. La cause humaine du changement climatique n'est contestée par aucun organisme scientifique de renommée nationale ou internationale. L'augmentation de la température est accélérée ou tempérée par les rétroactions climatiques, telles que la perte de couverture de neige et de glace réfléchissant la lumière du soleil, l'augmentation de la vapeur d'eau (un gaz à effet de serre lui-même) et les modifications des puits de carbone terrestres et océaniques.

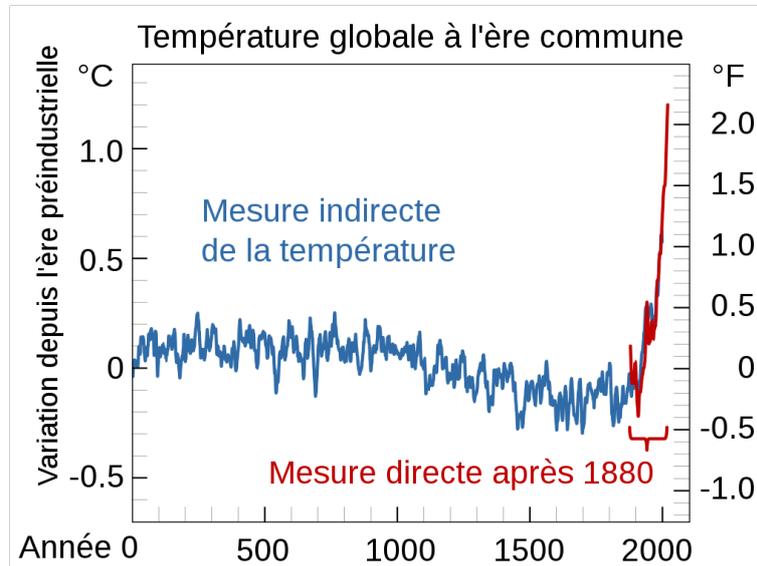


FIGURE 21 – Évolution de la variation de température moyenne mondiale

Table des matières

1	L'énergie : une définition compliquée	1
2	Les différents types d'énergie	1
2.1	Énergie calorifique	1
2.2	Énergie mécanique	1
2.3	Énergie électrique	1
2.4	Énergie rayonnante	1
2.5	Énergie chimique	1
2.6	Énergie nucléaire	1
3	Conversions d'énergie	2
3.1	Rendement	3
3.2	Puissance	3
4	Quelques situations	3
4.1	Frigo	3
4.2	Transport et transformateur électrique	4
4.3	Moteur à combustion	5
5	Énergie et environnement	5
5.1	Énergies fossiles	5
5.2	Énergies renouvelables et non-renouvelables	5
5.3	Énergie grise	6
5.4	Bilan radiatif de la Terre / Effet de serre	6
6	Les « sources » d'énergie	7
6.1	Énergies fossiles	7
6.1.1	Charbons	7
6.1.2	Pétrole	7
6.1.3	Gaz « naturel »	8
6.2	Énergie nucléaire	8
6.3	Énergies renouvelables	9
6.3.1	Énergie éolienne	9
6.3.2	Énergie hydro-électricité	10
6.3.3	Panneau solaire photovoltaïque	11
6.3.4	Panneau solaire thermique	11
6.3.5	Biomasse	12
6.3.6	Bio-méthanisation	13
6.3.7	Agro-carburants	13
6.3.8	Géothermie	14
6.3.9	Énergie marémotrice	15
7	Impact mondial	16
7.1	Consommation mondiale d'énergie	16
7.2	Émission de gaz à effet de serre	16
7.3	Augmentation de température	17