

L'ENERGIE

L'EVOLUTION DE LA PRODUCTION ET DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE MONDE¹

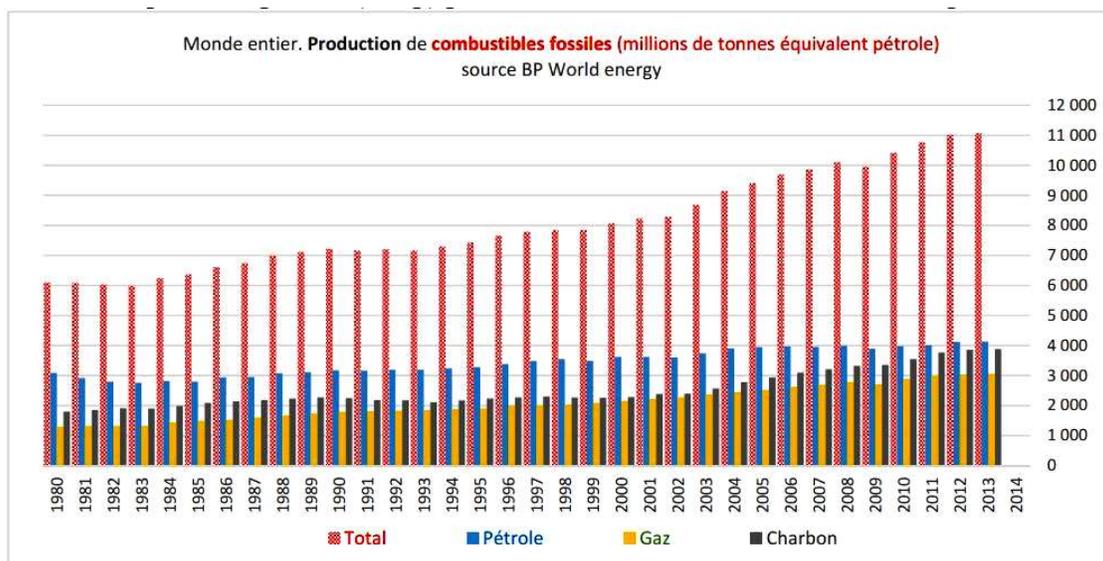
La question des ressources énergétiques, de leur exploitation et de la consommation d'énergie dépasse largement les frontières nationales pour être maintenant planétaire. La production d'énergie d'un pays donné peut assurer une partie de ses propres besoins mais rarement leur totalité. A l'inverse une production d'énergie excédentaire constitue une richesse exportable.

Les données utilisées sont empruntées à la publication annuelle de British Petroleum (BP) : Statistical Review of world energy, édition 2014. On y trouve les émissions calculées de dioxyde de carbone (CO₂), la production et la consommation d'énergie exprimées en « tonne équivalent pétrole » (tep).

La **tonne d'équivalent pétrole** (symbole **tep**) est une unité de mesure de l'énergie. Elle est notamment utilisée dans l'industrie et l'économie. Elle vaut, selon les conventions, 41,868 GJ parfois arrondi à **42 GJ**, ce qui correspond au **pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole**.

EVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ENERGIES FOSSILES

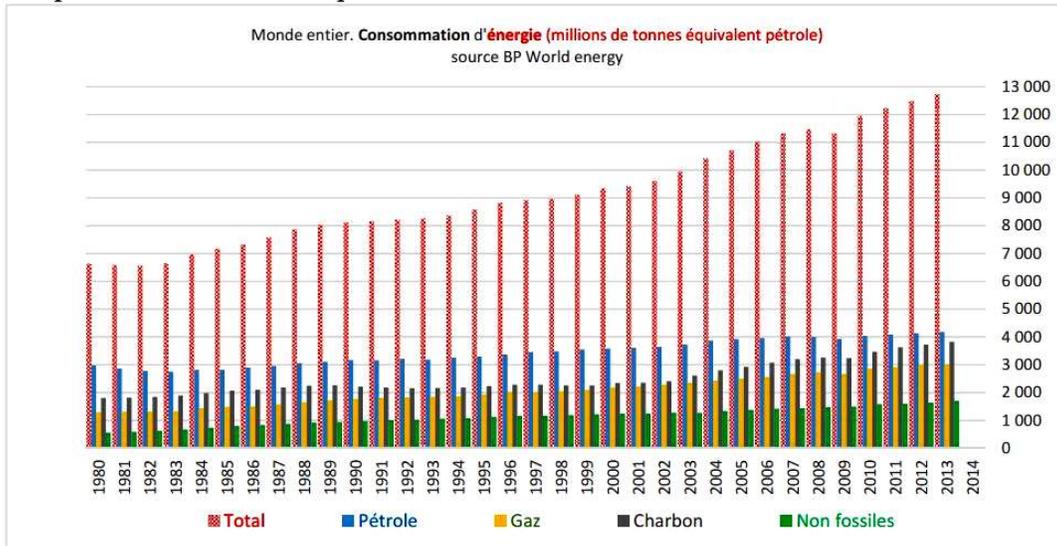
Le graphique ci-dessous retrace l'évolution de la production d'énergies fossiles depuis 1980. On voit que le pétrole, qui était largement prépondérant jusqu'à l'année 2000, est peu à peu rejoint par le charbon et le gaz naturel. Malgré quelques fluctuations, la **production d'énergies fossiles augmente tendanciellement d'environ 230 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) par an**. En 2013, elle était de **11 100 Mtep**.



¹ <http://www.climat-optimistes.com>

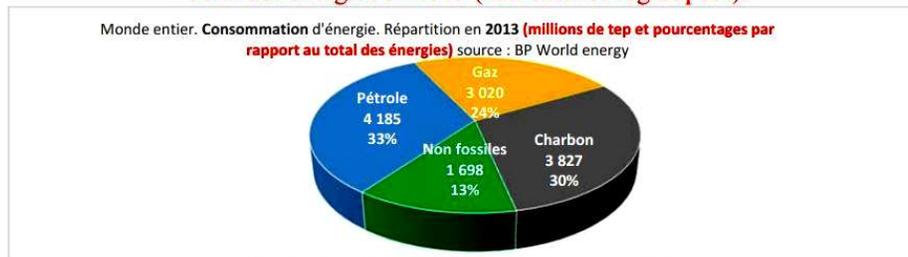
EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Le graphique ci-dessous retrace la consommation d'énergie depuis 1980, cette fois pour toutes les énergies y compris les énergies « non-fossiles », regroupées pour ne pas alourdir le graphique. L'énergie produite et l'énergie consommée sont pratiquement identiques à tout moment car l'énergie une fois produite n'est pas stockable. **La consommation totale d'énergie augmente tendanciellement d'environ 260 Mtep par an. En 2013, elle était de 12 700 Mtep.**

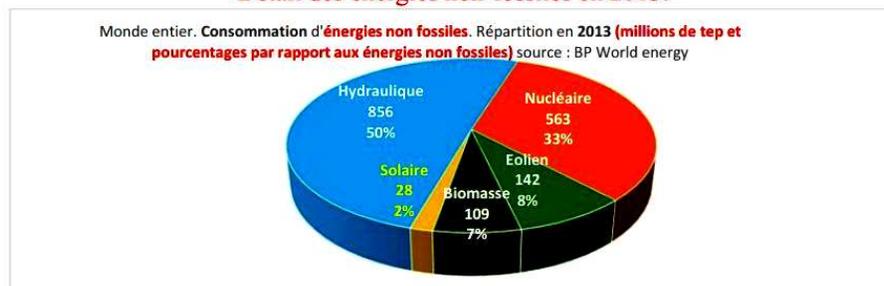


Depuis vingt ans, la part des énergies non fossiles n'a pas significativement augmenté : **elle est restée de l'ordre de 13% de la consommation totale**. Les graphiques ci-dessous indiquent la répartition en 2013 des consommations d'énergies.

Total des énergies en 2013 (non-fossiles regroupées).



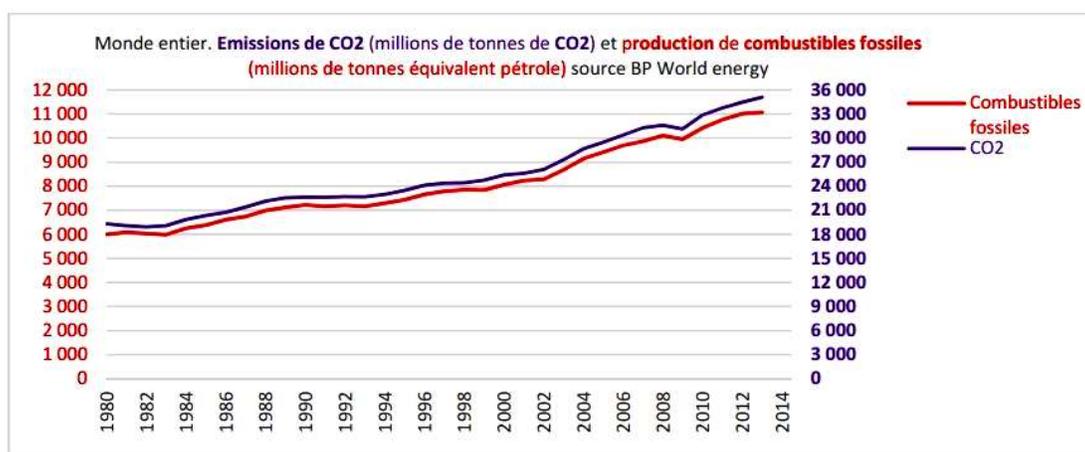
Détail des énergies non-fossiles en 2013.



Le nucléaire a évidemment pâti du tsunami de Fukushima, qui a entraîné la fermeture des centrales japonaises, mais aussi celle, progressive, des centrales allemandes. **Les énergies intermittentes, éolienne et solaire, assurent actuellement 1,3% de la consommation mondiale** mais l'éolien progresse assez vivement.

LES EMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE

Parmi les inconvénients résultant de la production des énergies fossiles, le plus cité est l'émission de dioxyde de carbone (CO₂) qui est censé influencer défavorablement sur le climat. Les masses de CO₂ émises par les sources d'énergies fossiles ne sont pas directement mesurées, mais calculés en appliquant à chaque type de combustible un coefficient d'émission. Compte tenu de la répartition actuelle entre les trois énergies fossiles, 1 tonne équivalent pétrole émet environ 3,14 tonne de CO₂. Le graphique ci-dessous retrace les émissions calculées de CO₂ depuis 1980, ainsi que les productions d'énergies fossiles. Les deux courbes sont évidemment parallèles.



Les **émissions de CO₂ dues aux combustibles fossiles augmentent tendanciellement d'environ 700 MtCO₂ par an**. En 2013, elles étaient de 35 000 MtCO₂.

La production et la consommation mondiales d'énergie progressent linéairement au rythme moyen de 260 millions de tep par an, ce qui, rapporté à la consommation de 2013, représente + 2% par an. tendance linéaire moyenne est observée depuis près de vingt ans.

LES FORMES PRINCIPALES D'ÉNERGIE

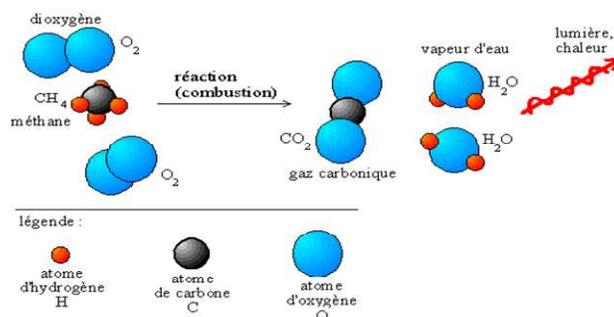
L'énergie est définie en physique comme étant la capacité d'un système à produire un travail, entraînant un mouvement ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité. L'unité du SI (Système International) de l'énergie est le **Joule** (J).

L'ÉNERGIE CHIMIQUE

Il s'agit de l'énergie stockée dans les liaisons chimiques regroupant des atomes dans une molécule. Dans des réactions chimiques où se reconstituent de nouvelles molécules fréquemment plus stables chimiquement que les molécules initiales, se dégage une quantité de chaleur. C'est elle qui est libérée dans la **combustion** d'une bûche par exemple dans un foyer. Les **énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon)** sont une forme particulière d'énergie chimique. L'énergie issue de la biomasse est également d'origine chimique.

L'énergie chimique

L'énergie chimique est liée à la structure de la matière, aux liaisons entre atomes et molécules.

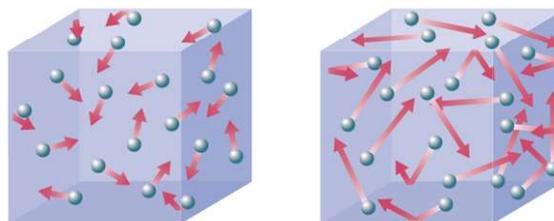


L'ÉNERGIE THERMIQUE

L'énergie thermique est la manifestation de l'énergie sous forme de chaleur. Dans tous les matériaux, les atomes qui forment leurs molécules sont en mouvement constant puisqu'ils continuent à se déplacer ou à vibrer. Quand un corps est froid, les molécules sont animées de mouvements incessants. Si la température augmente, le mouvement des particules va augmenter et elles auront une plus grande énergie cinétique moyenne. Vu que la masse des particules restent constante et que la vitesse moyenne des particules augmente avec la température, nous pouvons dire que l'énergie cinétique augmente avec la température.

L'énergie thermique (Chaleur)

L'énergie thermique ou calorifique est liée aux mouvements des particules (atomes et molécules) constituant un corps.

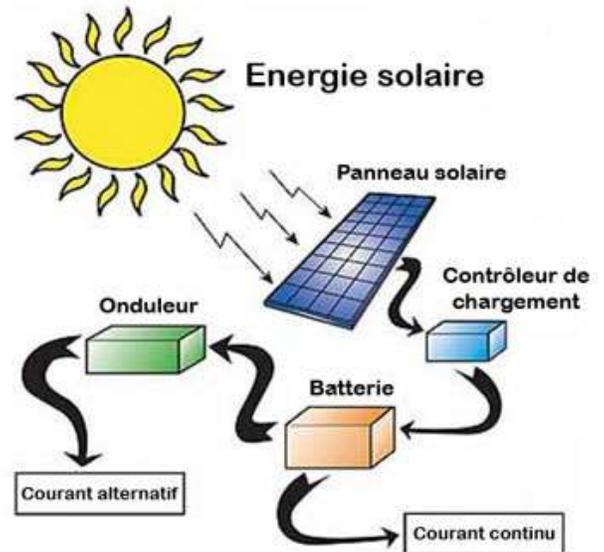


Copyright © Addison Wesley

L'ÉNERGIE RAYONNANTE

L'énergie rayonnante se propage dans le vide, en l'absence de matière. Il s'agit d'onde électromagnétique basée sur le déplacement de photons. Les photons sont des « paquets » d'énergie élémentaires.

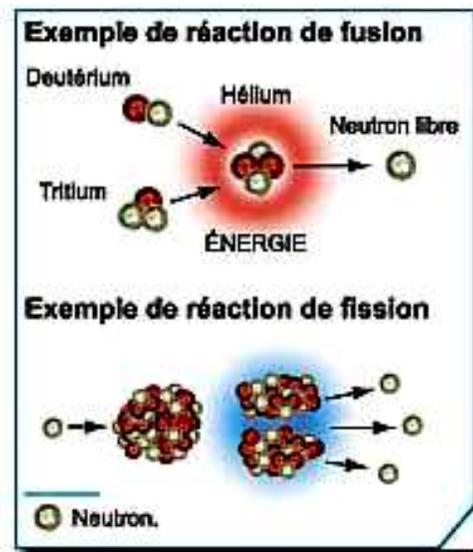
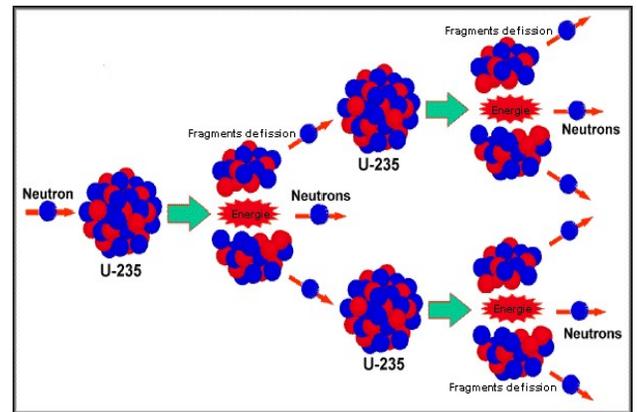
Au quotidien, l'énergie rayonnante est très présente ; c'est ainsi que le soleil nous éclaire, qu'un radiateur nous chauffe ou encore qu'un micro-onde réchauffe nos aliments. Environ 1000 W d'énergie radiative touchent chaque m² de la Terre (le jour). Le rayonnement électromagnétique se déplace à la vitesse de la lumière soit près de 300 000 km/s.



L'ÉNERGIE NUCLEAIRE

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 des neutrons en noyaux par des forces nucléaires est la source de l'énergie nucléaire.

Lorsqu'un neutron percute le noyau, il existe une probabilité que le noyau impacté se scinde en deux noyaux plus légers. Cette réaction, qui porte le nom de **fission nucléaire**, se traduit par un dégagement d'énergie très important. Cette fission s'accompagne de l'émission de plusieurs neutrons qui, dans certaines conditions, percutent d'autres noyaux et provoquent ainsi une réaction en chaîne. Dans un réacteur nucléaire, cette réaction en chaîne se déroule à vitesse lente et contrôlée. Dans une bombe, elle se propage si rapidement qu'elle conduit à une réaction explosive. La **fusion nucléaire** est un processus où deux noyaux atomiques légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd.



L'ENERGIE ELECTRIQUE

On définit l'énergie électrique comme la forme d'énergie résultant de l'existence d'une différence de potentiel entre deux points. Lorsque on met ces deux points en contact avec un conducteur électrique on obtient un courant électrique. Du point de vue physique, l'énergie électrique est des charges électriques négatives (électrons) qui se déplacent à travers d'un conducteur électrique, généralement métallique, en raison de la différence de potentiel entre ses extrémités. La raison pour laquelle les conducteurs sont souvent utilisés d'origine métallique est parce qu'ils ont plus d'électrons libres pouvant ainsi se déplacer.

ENERGIE MECANIQUE

Lors de la chute d'un corps, son énergie potentielle se convertit en énergie cinétique. Cet exemple témoigne du lien qui existe entre ces deux énergies et qui conduit à définir l'énergie mécanique.

Par définition l'énergie mécanique d'un corps « E_m » est la somme de son énergie potentielle « E_p » et de son énergie cinétique « E_c » :

$$E_m = E_c + E_p$$

L'énergie potentielle de pesanteur est l'énergie que possède un corps du fait de sa position dans un champ de pesanteur.

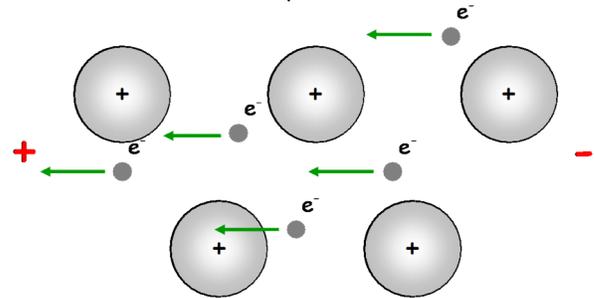
$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

L'énergie cinétique est l'énergie que possède un corps grâce à son mouvement. Cette énergie correspond notamment à sa vitesse de déplacement.

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

L'énergie électrique

L'énergie électrique est liée aux déplacements d'électrons dans un conducteur électrique.



L'énergie mécanique

$$E_m = E_p + E_c$$

L'énergie mécanique est liée aux mouvements des corps et donc à leur vitesse (Energie cinétique E_c) ainsi qu'à leur position, leur forme et à leurs interactions (Energie potentielle E_p).



Signification des symboles :

m = masse du corps (kg)

g = accélération de pesanteur = $9,81 \text{ m/s}^2$

h = Hauteur du corps (m)

v = Vitesse du corps (m/s)

Comment passer d'une vitesse en km/h en m/s ?

PRINCIPE DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

Durant le transfert ou la transformation de l'énergie, sa valeur totale reste toujours identique. En d'autres termes, aucune énergie n'est créée, aucune énergie n'est perdue. C'est le principe de conservation de l'énergie.

On ne peut pas créer de l'énergie, on ne peut pas perdre de l'énergie. L'énergie totale de l'univers a toujours été et va rester constante.

$$E_{m \text{ totale}} = E_{c0} + E_{p0} = E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2} = E_{c3} + E_{p3}$$

Lors du transfert ou de la transformation de l'énergie, une partie de l'énergie initiale est convertie en énergie thermique. Il s'agit d'une énergie « perdue » sous forme de chaleur (Energie dissipée).

Exemple 1 :

Si on fixe le niveau de référence au niveau du sol, une tablette de chocolat de masse $m = 102 \text{ g}$, soulevée à une hauteur $h = 1 \text{ m}$, possède une énergie potentielle de pesanteur de :

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 0,102 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

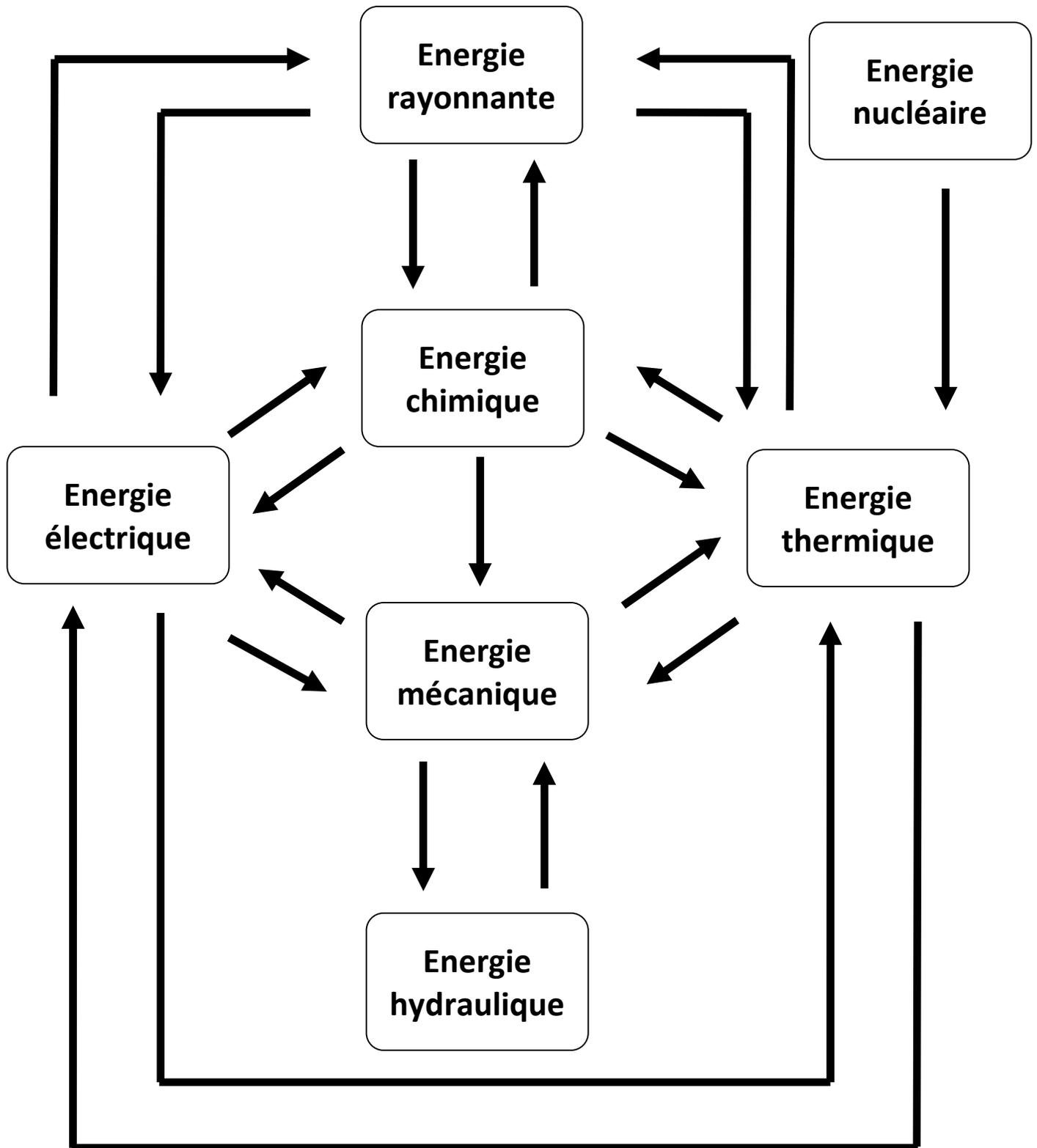
Exemple 2 :

Une voiture de masse $m = 1,2 \text{ t}$ qui se déplace à une vitesse de 60 km/h possède une énergie cinétique de :

$$v = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{60\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 16,667 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot 1200 \text{ kg} \cdot (16,667)^2 = 167\,667 \text{ J}$$

CONVERSION DES 7 FORMES PRINCIPALES D'ENERGIE



LES CENTRALES ENERGETIQUES

Une **centrale électrique** est un site industriel destiné à la production d'électricité. Les centrales électriques alimentent en électricité, au moyen du réseau électrique, les consommateurs, particuliers ou industriels éloignés de la centrale. La production d'électricité y est assurée par la conversion en énergie électrique d'une énergie primaire qui peut être soit mécanique (force du vent, force de l'eau des rivières, des marées...), soit chimique (réactions d'oxydoréduction avec des combustibles, fossiles ou non tels que la biomasse), soit nucléaire, soit solaire...

Ces énergies primaires peuvent être renouvelables (biomasse) ou quasiment inépuisables (énergie solaire) ou au contraire peuvent constituer des ressources dont la disponibilité est limitée dans le temps (combustibles fossiles).

La centrale thermique

Dans une chaudière, une **source d'énergie chimique** telle que le charbon, le gaz naturel ou le fuel (**combustible**) est utilisée en présence d'**air (comburant)** pour réaliser une réaction de combustion. Les **gaz de combustion sont évacués par une cheminée**. La source chaude chauffe de l'eau qui passe de l'état liquide à l'état vapeur (transformation de l'énergie chimique en énergie thermique).

La vapeur haute pression (vapeur HP) ainsi produite est admise dans une turbine à vapeur où sa détente provoque la rotation des roues de la turbine (transformation de l'énergie thermique à l'énergie mécanique), accouplée à un alternateur qui transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique.

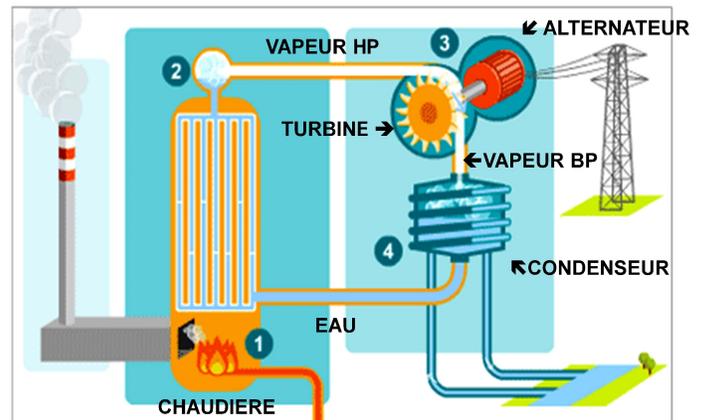
À la sortie de la turbine, la vapeur basse pression (vapeur BP) est condensée dans un condenseur alimenté par une source froide (eau de mer, eau de rivière...), elle se retrouve à l'état liquide et ce condensat est renvoyé dans le système d'alimentation en eau pour un nouveau cycle de vaporisation.

Avantages :

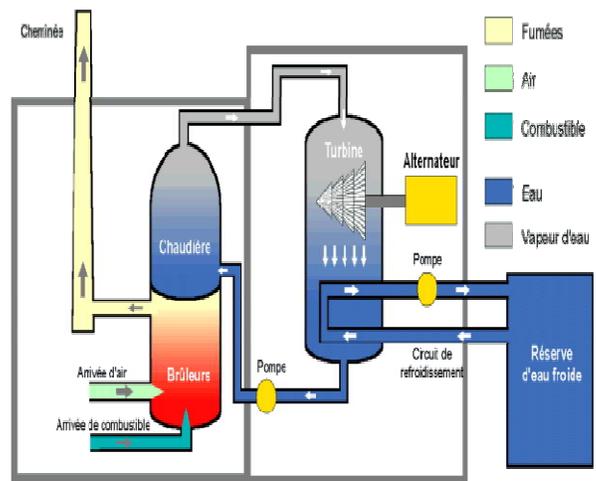
- facile à construire et à utiliser
- indépendante des conditions météorologiques
- énergie thermique produite permet de chauffer des usines, des habitations

Inconvénients :

- utilise une énergie non renouvelable
- dépendance par rapports aux pays producteurs de pétrole, gaz naturel et charbon
- pollue (dioxyde de carbone, oxydes de soufre ...)



Si vous ne voyez pas l'animation, téléchargez le plug-in Flash [rubrique Aide]



La centrale nucléaire

La fission des atomes d'uranium produit de la chaleur, chaleur qui transforme alors de l'eau en vapeur et met en mouvement une turbine reliée à un alternateur qui produit de l'électricité.

Le circuit primaire

Dans le **réacteur**, la fission des atomes d'uranium produit une **grande quantité de chaleur**. Cette chaleur fait augmenter la **température de l'eau** qui circule autour du réacteur, à 320 °C (à environ 150 bars de pression). L'eau est maintenue sous pression pour l'empêcher de bouillir grâce à un pressuriseur. Ce circuit fermé est appelé **circuit primaire**.

Le circuit primaire communique avec un deuxième circuit fermé, appelé **circuit secondaire** par l'intermédiaire d'un **générateur de vapeur**. Dans ce générateur de vapeur, l'eau chaude du circuit primaire chauffe l'eau du circuit secondaire qui se transforme en **vapeur**. La pression de cette vapeur fait tourner une **turbine** qui entraîne à son tour un **alternateur**. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'**alternateur** produit un **courant électrique alternatif**.

Un **transformateur** élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement **transporté dans les lignes très haute tension**.

Le circuit de refroidissement

À la sortie de la turbine, la vapeur du circuit secondaire est à nouveau **transformée en eau** grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide en provenance de la mer ou d'un fleuve. Ce troisième circuit est appelé « **circuit de refroidissement** ».

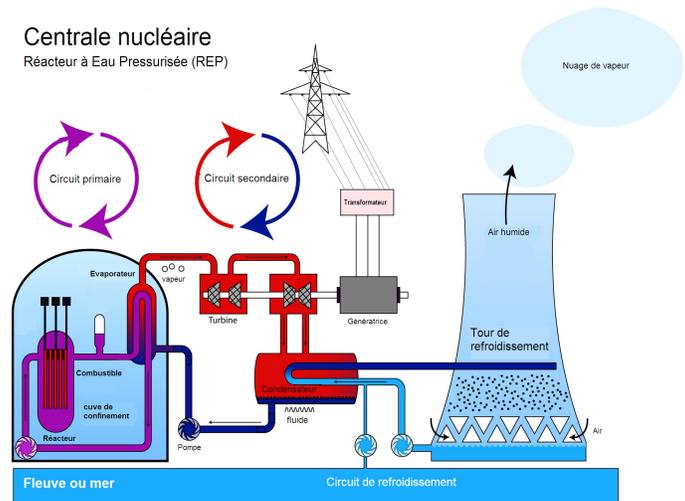
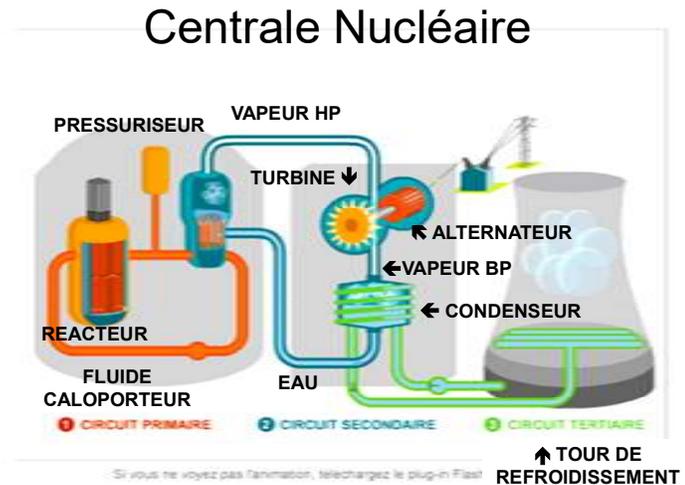
En bord de rivière, l'eau de ce 3^e circuit peut alors être refroidie au contact de l'air circulant dans de grandes tours, « **tours de refroidissement** ». Les 3 circuits d'eau sont étanches les uns par rapport aux autres.

- **Avantages :**

- indépendante des conditions météorologiques
- énergie thermique produite permet de chauffer des usines, des habitations
- **1 g d'uranium produit autant d'énergie que 2 tonnes de pétrole**

- **Inconvénients :**

- utilise une énergie non renouvelable
- déchets radioactifs à très longue durée de vie
- accidents graves possibles
- demande un certain niveau de technologie qui n'est pas accessible à tous les pays du monde



LA TURBINE

Une **turbine** est un dispositif rotatif destiné à utiliser l'énergie cinétique d'un fluide liquide comme l'eau ou gazeux (vapeur, air, gaz de combustion), pour faire tourner un arbre supportant les aubes de la turbine. Cette énergie mécanique est transférée à un alternateur qui produira une énergie électrique sous forme de courant alternatif.



L'ALTERNATEUR

Il s'agit d'un générateur électrique permettant de **produire de l'énergie électrique sous forme de courant alternatif lorsque le rotor est entraîné dans un stator par une turbine (énergie mécanique)**. L'alternateur peut ainsi fournir de l'électricité à une batterie pour la maintenir en charge.

Le stator est la partie fixe d'une machine rotative. La partie rotative d'une machine, dite rotor, tourne dans le stator.

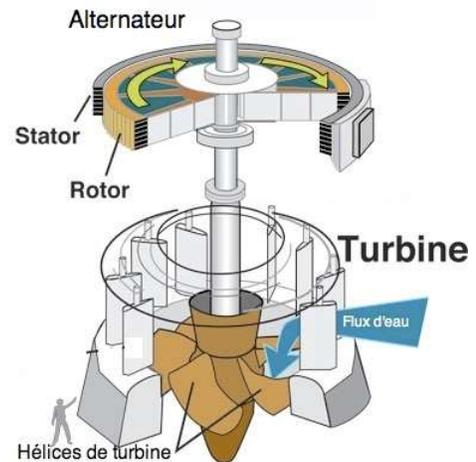
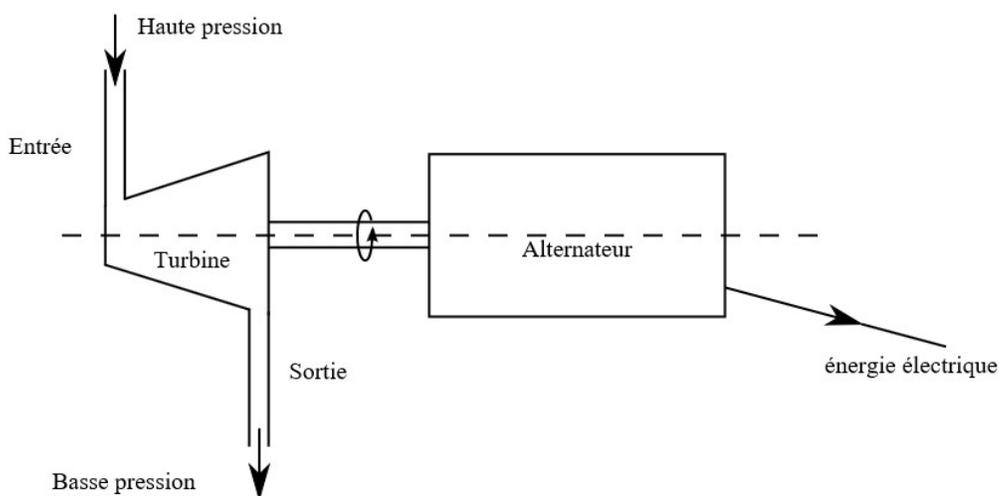


Schéma de principe d'une turbine

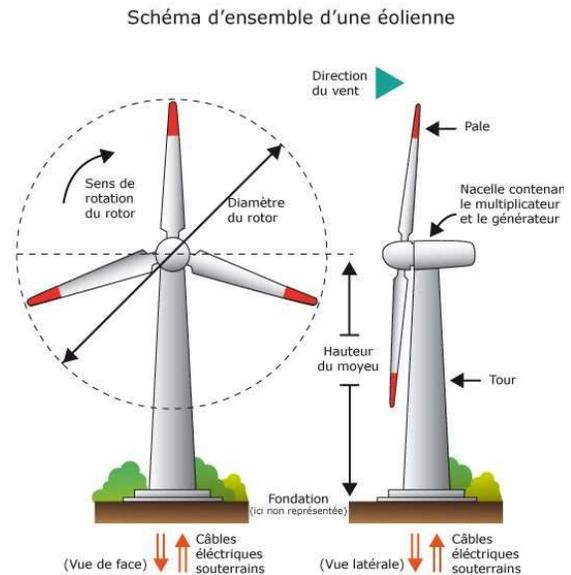


Les éoliennes

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire. L'absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère engendre des différences de température et de pression qui mettent les masses d'air en mouvement, et créent le vent. On utilise un aérogénérateur, plus communément appelé « éolienne ». Son fonctionnement est simple et s'inspire de la technologie des moulins à vent. La machine se compose de 3 pales (en général) portées par un rotor et installées au sommet d'un mât vertical. Cet ensemble est fixé par une nacelle qui abrite un générateur. Un moteur électrique permet d'orienter la partie supérieure afin qu'elle soit toujours face au vent.

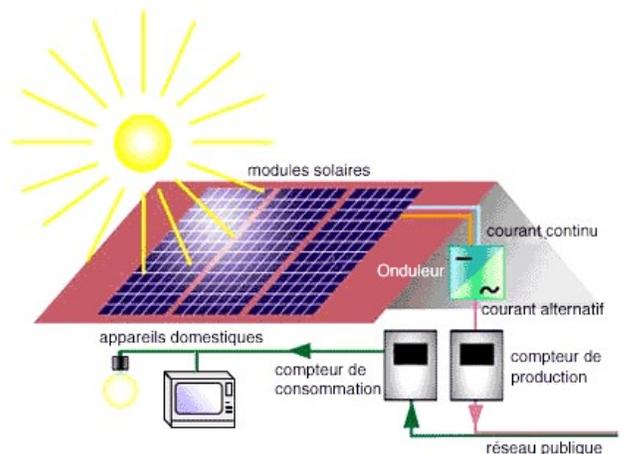
Les pales permettent de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Le vent fait tourner les pales. Le générateur (l'alternateur) transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Ainsi, le multiplicateur a pour rôle d'accélérer le mouvement lent des pales.

- **Avantages :**
 - facile à construire et à utiliser
 - utilise une énergie renouvelable
- **Inconvénients :**
 - dépendante des conditions météorologiques
 - pollution lors de la conception
 - pollution visuelle et sonore

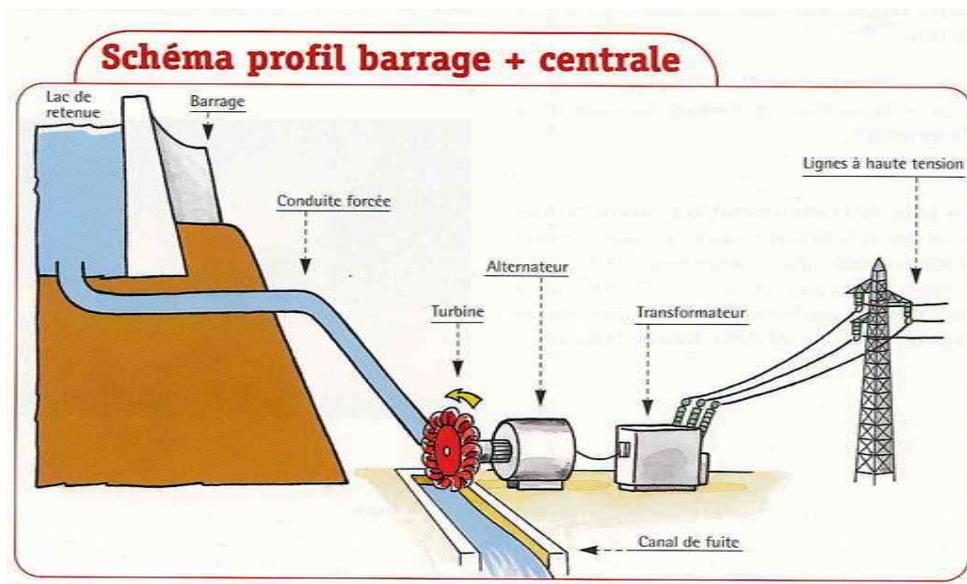


Les installations héliovoltaïques

Une **cellule photovoltaïque** est un composant électronique qui, exposé à la **lumière (photons)**, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. Le **courant obtenu est proportionnel à la puissance lumineuse** incidente. La cellule photovoltaïque **délivre une tension continue**.



Les centrales hydroélectriques



Fonctionnement d'un barrage

Le barrage retient une partie de l'eau qui s'écoule et crée un lac de retenue. Ce lac constitue un stock d'eau, c'est donc un moyen de stocker de l'énergie renouvelable. Dans le cas de centrales au fil de l'eau, cette réserve n'existe pas et il n'est pas possible de moduler le débit de l'eau en fonction des besoins.

Le débit du cours d'eau ou l'ouverture des vannes du barrage entraîne l'eau dans **une conduite forcée** jusqu'aux **turbines** électriques. **Plus le débit et la hauteur de chute d'eau sont importants**, plus l'eau transporte d'énergie.

Cette eau actionne **les turbines** qui entraînent à leur tour **des alternateurs** pour produire du courant électrique. Un transformateur injecte ensuite cette électricité dans le réseau, où elle est transportée par des lignes à haute tension.

Avantages :

- "facile" à construire et à utiliser.
- utilise une énergie renouvelable.

Inconvénients :

- un peu dépendante des conditions météorologiques (problème lors des sécheresses)
- nécessite l'inondation de vallée (villages évacués) en amont.
- en cas de défaillance du barrage, les conséquences peuvent être graves en aval.

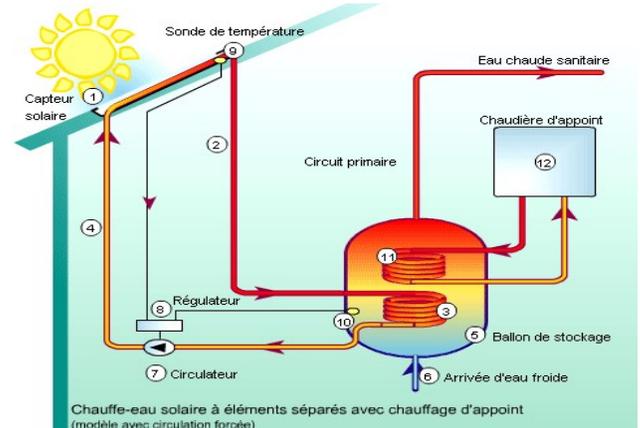
Les installations solaires

Les panneaux solaires thermiques transforment la **lumière en chaleur**, le plus souvent pour des chauffe-eaux. Pour cela, les rayons du soleil passent d'abord par une plaque de verre transparente à la lumière. Sous ce verre, un **absorbeur noir absorbe 80 à 90% des rayons lumineux**.

Dans l'**accumulateur**, le **liquide caloporteur chaud** parcourt un circuit et **transfère sa chaleur à l'eau domestique (de distribution)**.

Ensuite, le liquide caloporteur chaud qui sort des tuyaux va dans le chauffe-eau et **transmet son énergie thermique (chaleur) à l'eau sanitaire** présente dans le chauffe-eau.

Lorsque l'ensoleillement n'est pas suffisant pour amener l'eau à bonne température, le chauffe-eau est aussi relié à une chaudière d'appoint pour suppléer le panneau. Mais celle-ci fonctionne uniquement en cas d'insuffisance énergétique du panneau.



Les installations géothermiques

La **géothermie** étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur. Pour capter l'énergie géothermique, on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la Terre.

Ce fluide peut être de l'eau injectée sous pression pour fracturer une roche chaude et imperméable. Dans les deux cas, le fluide se réchauffe et remonte chargé de calories. Ces calories sont utilisées directement ou converties partiellement en électricité. Il existe dans la croûte terrestre, épaisse en moyenne de 30 km, un gradient de température appelé gradient géothermique qui définit que plus on creuse et plus la température augmente ; en moyenne de 3°C par 100 mètres de profondeur.

