

# Les énergies renouvelables

## 1) Situation actuelle par rapport aux ressources énergétique

Comme tous les êtres vivants présents à la surface de la planète, l'homme ne pourrait pas vivre sans énergie. Les plantes ont besoin de l'énergie du soleil (ou d'une autre source si elles ne sont pas chlorophylliennes) pour croître et subsister, et tous les animaux ont besoin d'énergie pour se mouvoir ou se développer. L'énergie est l'un des moteurs du développement des sociétés. La civilisation industrielle s'est bâtie autour de l'exploitation des énergies fossiles. Après le premier choc pétrolier de 1973, la France opte pour une nouvelle énergie, l'énergie fissile, contrairement aux autres pays du globe qui exploitent les ressources fossiles en priorité. Les menaces sur le climat et l'environnement sont pour une grande part dues à l'utilisation des énergies fossiles et fissiles et comme la consommation d'énergie ne cesse d'augmenter. Les énergies renouvelables apparaissent dans ce contexte comme une alternative intéressante pour préserver à la fois le confort des êtres humains et la qualité de la terre.

### 1) Quelles sont les énergies et leurs vies que nous consommons ?

Notre consommation énergétique est actuellement très largement dominée par les hydrocarbures, qui fournissent plus des trois quarts de l'approvisionnement mondial en énergie primaire (graphique ci-dessous).

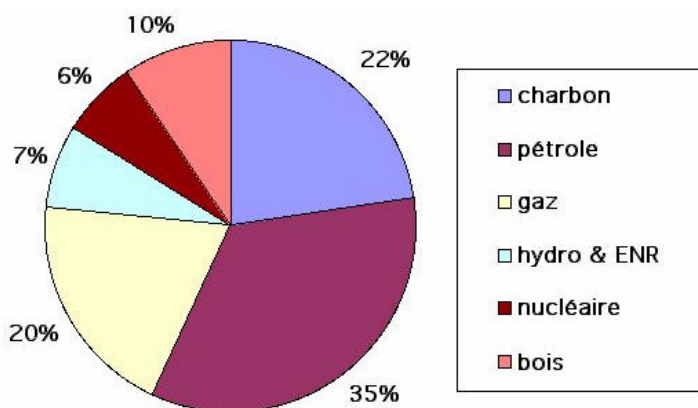
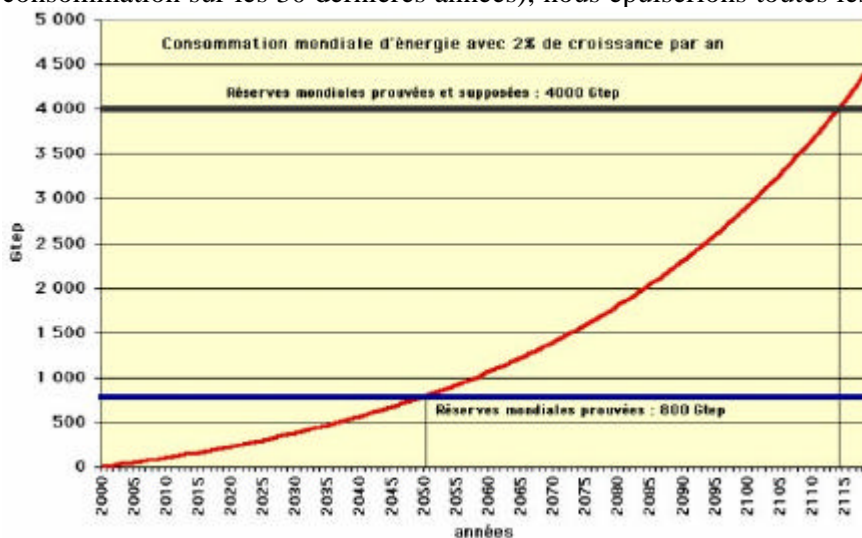


Figure : Décomposition de l'approvisionnement énergétique mondial en 2000 par source

La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter. Voici un tableau qui par la magie des exponentielles, avec 2% de croissance par an de la consommation de combustibles fossiles (prolongation de la croissance de la consommation sur les 30 dernières années), nous épuiserions toutes les réserves connues en 50 ans



## 2) L'enjeu politique

L' économie d'énergie, une priorité nationale , la consommation d'énergie française ne cesse d'augmenter. Cette hausse des consommations est suffisamment inquiétante dans un contexte de flambée des prix de l'énergie, de raréfaction de la ressource et de lutte contre l'effet de serre, pour que la maîtrise des consommations d'énergie soit affichée comme une priorité nationale dans la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique du 13 juillet 2005.

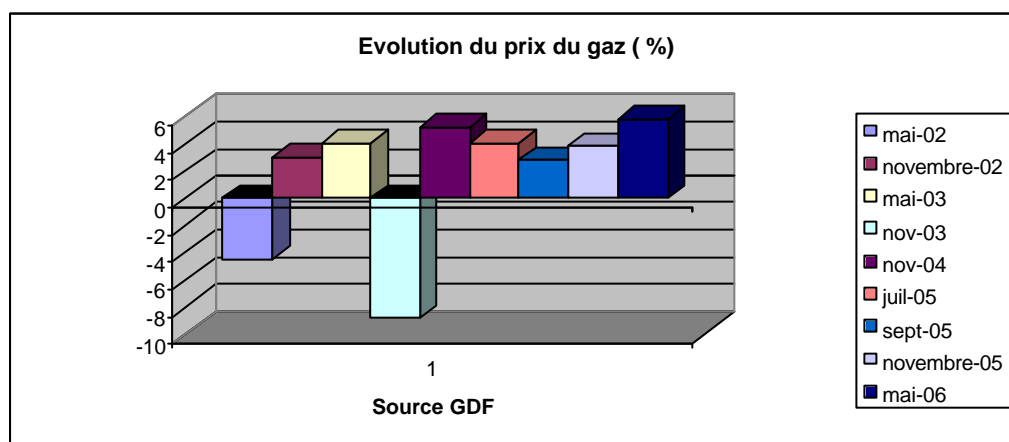
La maîtrise des consommations d'énergie est devenue une priorité nationale pour la France qui s'est fixée un objectif ambitieux dans la loi d'orientation sur l'énergie : diminuer l'intensité énergétique de 2% par an d'ici 2015, puis de 2,5% par an d'ici 2030.

Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique, JO du 14 juillet 2005.

En conséquence, l'Etat élabore un "plan climat", actualisé tous les deux ans, présentant l'ensemble des actions nationales mises en œuvre pour lutter contre le changement climatique.

## 3) L'enjeu économique

Face a la hausse du pétrole qui à ce jour coute 74 dollars le baril et le prix du gaz qui ne fait que augmenter depuis novembre 2003, les contribuables ne saisse de perdre leur sous dans un gouffre sans fin.C'est pourquoi il est important de se tourner vers les énergies renouvelable.



## 4) L'enjeu écologique

L'exploitation de plus en plus frénétique des ressources naturelles a certes amélioré le quotidien de l'humanité, mais à quel prix ? Un jour ou l'autre, il nous faudra payer la facture. Ou la faire payer à nos enfants. D'ailleurs cela a déjà commençait avec le réchauffement de la planète et la hausse du gaz à effet de serre. Il serait temps de s'engager dans les énergies renouvelables car dans quelques années les hommes se massacreront pour de l'eau ou des « terres vertes ».

Si nous ne mettons pas l'écologie au centre de nos décisions individuelles et collectives, nous sombrerons tous ensemble. On ne naît pas écologiste, on le devient, alors devenons-le car, pour citer Saint-Exupéry : « Nous n'héritons pas de la Terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants. »

Tableau montrant les gaz à effets de serres produit par l'homme :

	Effet de serre naturel	Effet de serre Produit par l'homme	Temps de disparition
CO2	39%	55%	100 ans
Méthane ( CH4)	2%	15%	12 ans
Protoxyde d'azote ( N2O)	2%	5%	120 ans
Ozones (fossiles)	2%	15%	-----
Halocarbures : Gaz bombe, aérosol liquide réfrigérant, solvant	0%	10%	5000 à 6000 ans 140 à 24000 ans

## 2) Le Recours aux énergies renouvelables

D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. L'eau des rivières faisant tourner les turbines d'un barrage hydroélectrique ; le vent brassant les pales d'une éolienne ; la lumière solaire excitant les photopiles ; mais aussi l'eau chaude des profondeurs de la terre alimentant des réseaux de chauffage. Sans oublier ces végétaux, comme la canne à sucre ou le colza, grâce auxquels on peut produire des carburants automobiles ou des combustibles pour des chaudières très performantes.

Tout cela constitue les énergies nouvelles et renouvelables, " ENR " pour les adeptes du jargon énergétique, et plus justement ER pour les seules énergies renouvelables.

En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes. Dans des pays comparables à la France, la demande d'énergie progresse, en moyenne, de 1 % par an. Pour rapidement produire plus tout en polluant moins, il est donc indispensable d'avoir massivement recours aux énergies renouvelables : les seules (avec le nucléaire) à n'émettre aucun gaz à effet de serre. De nombreux pays riches développent de très importants parcs propres, constitués principalement d'éoliennes. Entre 1997 (année où fut signée le protocole de Kyoto) et 2000, l'Espagne a ainsi quadruplé sa production d'électricité d'origine éolienne. L'Allemagne - qui doit faire les plus gros efforts européens de réduction des émissions de gaz à effet de serre - a déjà une capacité électrique éolienne presque 200 fois supérieure à celle de la France. Autant d'efforts qui ne seront pas vains. S'il est mené à son terme, le plan éolien français permettra d'éviter, chaque année, l'émission de 2 à 5 millions de tonnes de carbone (le principal gaz à effet de serre). Soit 12,5 à 31,2% des engagements français de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Nous avons besoin des énergies renouvelables, mais encore faut-il savoir qui elles sont !

**LA BIOMASSE** page 4

**LE VENT** page 8

**L'ENERGIE HYDRAULIQUE** page 13

**L'ENERGIE DU SOLEIL** page 18

**LA GEOTHERMIE** page 21

**LES ENERGIES FOSSILES** page 23

**L'ENERGIE FISSILE** page 29

# La biomasse

## Qu'est-ce que la Biomasse ?

Le terme "biomasse" désigne au sens large l'ensemble de la matière vivante c'est à dire la matière organique d'origine végétale, animale ou industrielle. La biomasse végétale recouvrent des plantes très diverses telles que les oléagineux, les graminées comme le maïs et la canne à sucre (plantes riches en carbone), le bois....Les déchets peuvent être soit solides (industriels, agricoles ou ménagers), soit liquides (eaux usées, déjections animales) ou produit de méthanisation (lisiers, boues d'épuration, décharges, etc ...).

## La biomasse végétale

### Principe

Les plantes utilisent l'énergie solaire pour décomposer l'eau qu'elles contiennent dans leurs cellules et le gaz carbonique de l'atmosphère pour les transformer en matières végétales, principalement des hydrates de carbone (sucres) et de la cellulose, ce que l'on peut schématiser par :



Ceci est la photosynthèse, elle met en jeu les molécules de chlorophylle. La biomasse est formée de l'ensemble des organismes vivants, qu'ils soient des micro-organismes, des plantes ou des animaux. Cependant, son exploitation énergétique concerne principalement les plantes et les arbres.

## Types de biomasse végétale:

**Biomasse sèche ou biomasse lignocellulosique** : La combustion du bois est la plus ancienne source d'énergie. Les divers déchets ligneux (bois, paille, bagasse de cannes à sucre, fourrage, etc...) constituent la "biomasse sèche" et sont également appelés "bois-énergie". Sur un hectare de forêt on trouve plus de 1000 tonnes de biomasse sèche, principalement des arbres. Il y a 880 tonnes qui sont "stockés" sous forme de bois, 20 tonnes dans leurs feuilles. La quantité de masse végétale morte, arbres tombés, feuilles en décomposition, est d'environ 100 tonnes par hectare.

**Biomasse humide ou biomasse alcooligène dite à glucide** est constitué par :

- les déchets organiques d'origine agricole (fumiers, lisiers...),
- les déchets organiques agro-alimentaire ou urbaine (déchets verts, boues d'épuration, fraction fermentescible des ordures ménagères...),
- les plantes destinées à des fins alimentaires (céréales, betteraves sucrières, cannes à sucre, etc...), qui peuvent être transformée en énergie ou en engrais.

**Biomasse oléagineuse riche en lipides**, elle regroupe : le colza, le tournesol, le palmier à huile, le blé, les betteraves. Elle pourra être utilisée comme carburant. Il y a deux familles de biocarburants qui sont actuellement développées :

- les esters d'huiles végétales (ester de colza incorporé dans le gazole ou le fioul domestique, ester de tournesol)
- l'éthanol, produit à partir de blé et de betteraves, incorporable dans le supercarburant sans plomb sous forme d'Ethyl Tertio Butyl Ether (ETBE).

## Les différents modes de transformation de la biomasse en produit énergétique

Les trois principales conversions thermochimiques de la biomasse couramment développées sont:

### • La combustion

Elle utilise la biomasse sèche, essentiellement le bois. Cela correspond à l'oxydation complète de la biomasse en présence d'air, cette réaction produit de la chaleur qui peut être convertie en électricité.

La "production combinée chaleur/force" ou cogénération se rencontre partout où l'on produit de l'électricité. Les gaz de combustion sont utilisés en chaudière pour la production d'énergie thermique ou d'énergie mécanique par l'intermédiaire de turbine à vapeur, avec ou sans cogénération. La cogénération ou la combustion permet d'augmenter le rendement énergétique des centrales. Elle se rencontre :

- dans des industries ayant des besoins de chaleur importants
- dans les industries disposant de sous produits combustibles
- dans l'incinération des déchets urbains
- dans le tertiaire, en particulier dans les bureaux

<http://www.enerdev.org/>

En complément à un chauffage classique ou seul, l'utilisation énergétique du bois propose des performances variables :

- les cheminées à foyer ouvert très peu performant (15 % de rendement), les foyers fermés, les inserts et les poêles un peu plus performants (40% à 60 % de rendement environ) ,
- les chaudières bois raccordées sur le réseau de distribution intérieure de l'habitation, étant nettement les appareils les plus performants (plus de 70 %

de rendement)•<http://www.gdle.net>**Les limites** : Le problème du bois est que son pouvoir calorifique varie en fonction de sa teneur en eau et de son type.  
(voir annexe 1 )

### • La pyrolyse

En l'absence de produits oxydants et sous l'action de la chaleur, **la biomasse sèche se décompose en 3 phases** dont l'importance relative varie suivant les conditions opératoires : **une fraction gazeuse non condensable**.

• **une fraction liquide séparée en 2 phases**, une phase aqueuse, communément appelée pyroligneux et une phase lourde, les goudrons.

• **un résidu solide**, le charbon.

**Il existe trois modes opératoires de carbonisation :**

• **la carbonisation par combustion partielle** : l'énergie nécessaire à la carbonisation est fournie par la combustion d'une partie de la charge. • **la carbonisation par chauffage externe** : l'énergie nécessaire est fournie à la charge par un foyer de chauffage externe. • **la carbonisation par contact de gaz chauds** : l'énergie est fournie par la mise en contact direct de la charge et d'un gaz chaud provenant d'un foyer externe.

Suivant les conditions opératoires et les conditions de transfert thermique, on distingue **deux grands types de pyrolyse** : • **une pyrolyse lente** souvent associée également à de basses températures (<500°C), et favorisant la fraction solide et liquide. • **une pyrolyse rapide** favorisant la production de liquides à basse température (<600°C), ou de gaz à haute température (>1000°C). **L'intérêt** de la carbonisation réside dans le fait que des déchets solides, dont la manutention et le transport sont difficiles et coûteux, peuvent être convertis en produits, solides ou liquides.

• **La gazéification** La gazéification du bois est une transformation thermochimique qui consiste à décomposer thermiquement en présence d'un gaz réactif (air, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, etc.) le matériau solide initial pour obtenir des produits gazeux.

Il conviendra de retenir qu'en terme de systèmes visant la production d'électricité, on trouve donc **deux types d'ensembles** :

• **gazogène/moteur** à combustion interne, dont certains équipements ont atteint un niveau commercial, mais présente de grosses contraintes d'utilisation qui sont une petite capacité, une maintenance importante, un coût élevé. • **gazogène/turbine** à gaz avec ou sans cycle combiné, qui en sont encore au stade du développement. <http://www.enerdev.org/>

### La digestion anaérobie ou biométhanisation

Le processus de digestion anaérobie se déroule dans un réacteur fermé appelé digesteur et aboutit à la formation de 2 produits, le biogaz et un résidu méthanisé La biométhanisation est appliquée aux matières organiques les plus diverses qui constituent la biomasse alccoligène .

C'est une **fermentation naturelle** résulte d'une activité microbienne complexe qui s'établit en trois étapes principales:

hydrolyse (action des bactéries fermentaires),

acidogénèse (action des bactéries acidogènes et essentiellement acétogènes),

méthanogénèse (action des bactéries méthanogènes).

Dans la plupart des cas, le biogaz peut être utilisé en l'état, sans être préalablement épuré.

Le biogaz produit est constitué pour l'essentiel de **méthane** (CH<sub>4</sub> : 50 à 80 %) et de **dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub> : 20 à 50 %). Le méthane, par son caractère combustible, confère au biogaz sa valeur énergétique

### Avantages majeurs :

- production d'énergie directement valorisable à partir de biomasses variées (agricoles (lisier), urbaines ou industrielles).
- dépollution de la charge organique des effluents puisque les matières fermentiscibles qu'ils renferment sont transformés en biogaz.
- valorisation du résidu comme amendement organique, voire comme aliment pour bétail ou pour la pisciculture.
- récupération du méthane, ce qui permet d'arrêter les émissions de gaz à effet de serre.

**Désavantages :** • le coût des investissements • le risque élevé d'inflammation du biogaz • la rareté de l'épandage en raison de leur contamination par des métaux lourds, des particules plastiques ou divers autres éléments toxiques.

### La fermentation alcoolique :

La fermentation alcoolique ne concerne que des produits à forte teneur en glucides, donc la biomasse oléagineuse. Le principe de la fermentation se décompose en 3 opérations principales dans des installations de type industriel :

- hydrolyse enzymatique : macération dans une solution à 50°C contenant une ou plusieurs enzymes hydrolytiques,
  - fermentation : le sirop est introduit dans le fermenteur puis inoculé à l'aide d'une culture de levures. On opère classiquement à 30-40°C,
  - distillation : opération de récupération d'alcool éthylique produit par vaporisation.
- Finalement, on obtient d'une part de l'alcool éthylique, valorisable comme carburant de substitution ou comme produit de base pour l'industrie chimique. Les autres co-produits sont un effluent et un résidu solide. La fermentation alcoolique est surtout développée pour traiter les résidus végétaux de l'industrie sucrière, notamment les mélasses qui contiennent encore 50% de glucides. C'est ainsi que l'on estime que 3,5 à 4 tonnes de mélasse peuvent permettre la production d'une tonne d'alcool éthylique.

### Les différents types de produits énergétiques issus de la biomasse

Les différentes ressources de biomasse à usage énergétique peuvent être transformées en produits énergétiques :

- **chaleur** (pouvant elle-même être transformée en électricité)
- **combustibles solides** (plaquettes et granulés de bois, charbon de bois)
- **combustibles liquides** (biocarburants : éthanol et biodiesel)
- **combustibles gazeux** (biogaz)

### Quantité d'électricité produite

En France, pour l'année 2002, la production d'électricité à partir de la biomasse a atteint 3,5 TWh, 70 % étant produits à partir de bois et 10 % à partir du biogaz.

### Potentiel énergétique

Avec une production de 12,2 Mtep en 2004 représentant à elle seule les 2/3 des énergies renouvelables produites en France, la production de biomasse se répartit de la façon suivante :

- 9,2 Mtep pour le bois énergie, appelé parfois bois combustible
- 2,6 Mtep pour la **valorisation des déchets** sous forme d'incinération ou méthanisation ;
- 0,4 Mtep pour les **biocarburants**. [www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/se\\_biom.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/se_biom.htm)

### Les avantages

- C'est une source d'énergie renouvelable à condition de bien gérer les forêts.
- C'est une énergie dont le coût est compétitif et dont le prix varie peu.
- Les plantes ne contenant pratiquement pas de soufre, leur combustion ne libère pas de dioxyde de soufre, donc ne produit pas de pluies acides.
- Le CO<sub>2</sub> par la combustion de la biomasse est réabsorbé par les végétaux lors de leurs croissances (photosynthèse) contrairement aux énergies fossiles.
- C'est une énergie dont la valorisation est créatrice d'emplois locaux.

### Les limites

Malgré son caractère renouvelable, des facteurs qualitatifs influenceront sur son développement dans le temps : • La compétition entre les usages alimentaires et non alimentaires des ressources naturelles (sol arable, eau...) sera

très forte dans des zones à haute densité démographique. • L'usage traditionnel du bois de feu, utilisé par des milliards de ruraux dans les pays en développement. Cet usage conduit trop souvent à la déforestation et à un gaspillage énergétique, le recours au foyer ouvert traditionnel ne permettant d'utiliser que de 5 % de l'énergie du bois. • *Les rendements dépendent du climat, de la qualité des sols, des espèces (peupliers, saule...), des apports en eau et en engrais.*



# Le vent

## Qu'est ce donc ?

L'atmosphère terrestre étant inégalement chauffée par les rayons du soleil, il en résulte des zones de basses pressions (ou dépressions), où l'air chaud, est moins dense, (moins épais) et des zones de hautes pressions (ou anticyclones), où l'air froid est plus dense. Pour revenir à une situation d'équilibre, il doit s'opérer un déplacement d'air : le vent qui souffle des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions.

## L'énergie éolienne

### Des moulins à vent aux éoliennes

En Europe l'énergie éolienne a été domestiquée depuis l'antiquité. Ce sont les Perses qui furent les pionniers des moulins à vent qu'ils utilisaient pour pomper l'eau ou moudre du grain. C'est en 1802 qu'on pense à transformer l'énergie éolienne en énergie électrique. Lord Kelvin avait essayé d'associer une génératrice d'électricité à un moteur éolien, mais ce n'est qu'en 1850 grâce à la dynamo qu'apparurent les aérogénérateurs. La production d'électricité grâce aux éoliennes connu du succès jusqu'en 1920 où l'on comptait 300 aérogénérateurs. Jusqu'en 1961 les recherches ont permis de réaliser des aérogénérateurs de 100 à 1 000 KW. Mais comme le pétrole avait un faible coût il y eut une disparition des éoliennes. Dès 1973, on relança le programme d'études et de réalisation d'aérogénérateurs cependant les budgets dépendaient du prix du baril de pétrole. La production d'électricité éolienne a progressé de **47%** entre 2003 et 2004 en France.

**Qu'est-ce qu'une éolienne ?** C'est un dispositif utilisant l'énergie du vent. C'est une énergie renouvelable. Une éolienne permet de récupérer l'énergie cinétique du vent, pour produire de l'électricité.

### De quoi est constituée une éolienne ?

:

- un **mât** qui permet de placer l'éolienne à une hauteur où la vitesse du vent est plus élevée
  - une **hélice**, montée sur l'axe du rotor de l'alternateur. En général il y a trois pales.
  - une **nacelle** montée au sommet du mât et qui abrite les composants électriques, pneumatiques et électroniques pour la conversion du mouvement de rotation du rotor en énergie électrique de l'alternateur.
  - une **cabine de dispersion** à la base de l'éolienne et qui permet de se connecter au réseau d'électricité existant, afin de pouvoir y injecter l'énergie produite et non consommée directement.
  - le **multiplicateur**, il permet d'entraîner un alternateur pour les rotors dont le diamètre est supérieur à 5 m et qui ont des vitesses de rotation trop faibles
- ( annexe 2)

### Caractéristiques de l'éolienne :

**1) Le support:** Les pylônes sont faits en acier ou en béton armé. Ils peuvent être autoporteurs et autorésistants ou haubanés. Ils sont le plus souvent du type haubané. L'haubanage permet de réduire les dimensions du mât, par contre il pénalise l'emprise au sol. Les problèmes de corrosion sont les paramètres principaux dans le choix du pylône. Pour des sites favorables, ils auront une hauteur de 6 mètres minimum. Pour les sites moins favorables, cela sera de l'ordre de 15 à 20 mètres.

### 2) L'orientation:

Il y a deux possibilités :

a) Pour les hélices de 7 à 20 mètres de diamètres:

On utilise pour des raisons de simplicité et de coût une hélice en aval du pylône, donc sous le vent.

b) Pour les hélices de plus de 20 mètres de diamètres : Les constructeurs utilisent systématiquement des hélices au vent. Ce dispositif permet de maîtriser les vitesses et les accélérations du rotor.

### 3) Les pales:

Elles sont une partie très importante de l'aéromoteur. Elles sont caractérisées par:

**a) La longueur :** Le diamètre de l'hélice est en fonction de la puissance souhaitée. La détermination de ce diamètre fixe aussi la fréquence de rotation maximum, que l'hélice ne devra pas dépasser pour limiter les contraintes en bout de pales dues à la force centrifuge. Pour les roues à marche lente, ayant une inertie



importante, le diamètre reste limité à 8 m. Pour les roues à marche rapide, la longueur des pales peut être grande, supérieure à 30 m.

**b) Largeur :** La largeur des pales intervient pour le couple de démarrage qui sera d'autant meilleur que la pale sera plus large. Mais pour obtenir des vitesses de rotation élevées, on préférera des pales fines et légères.

**c) Le profil :** Il est choisi en fonction du couple désiré. Pour la plupart des aérogénérateurs de moyenne et de faible puissance, les pales ne sont pas vrillées. Par contre, pour les autres, elles le sont, elles prennent la forme d'une hélice d'avion. Les caractéristiques des différents profils sont déterminées en soufflerie.

**d) Les matériaux :** Les matériaux utilisés pour la réalisation des pales sont variés. On rencontre plusieurs types de matériaux :

- **le bois :** il est simple, léger, facile à travailler et il résiste bien à la fatigue mais il est sensible à l'érosion, peut se déformer et est réservé pour des pales assez petites.

- **le lamellé-collé :** c'est un matériau composite constitué d'un empilement de lamelles de bois collées ensemble. Il est possible de réaliser des pales jusqu'à 5 à 6 m de longueur ayant une bonne tenue en fatigue.

- **les alliages d'aluminium** pour des pales allant principalement jusqu'à 20 m de longueur.

- **les matériaux composites :** leur intérêt est de permettre la réalisation de toutes les formes et dimensions, ainsi que d'obtenir les caractéristiques mécaniques exactes recherchées : pale vrillée, corde évolutive, changement de profil. La fibre de verre et la fibre de carbone sont les plus utilisées actuellement.

**e) Nombre de pales :** Les éoliennes à marche lente ont en général entre 20 et 40 ailettes. Les éoliennes à marche rapide sont généralement bipales ou tripales. La roue bipale est la plus économique et la plus simple mais elle est génératrice de vibrations. La roue tripale présente moins de risques de vibrations, d'où fatigue et bruit plus faibles, mais elle est plus compliquée et plus lourde.

#### 4) Système de freinage:

Quel que soit le type d'aéromoteur, il est nécessaire pour éviter sa destruction lorsque les vents sont trop violents qu'il soit équipé d'un système permettant de diminuer les contraintes mécaniques sur la machine donc il faut un système de freinage.

a) Système de freinage manuel : C'est le moyen le plus simple de préserver une machine de la destruction

b) Système de freinage automatique: Ces systèmes ne peuvent être utilisés qu'avec des aéromoteurs dont la vitesse de rotation n'a pas à être constante. D'autre part ils présentent l'inconvénient majeur d'interrompre le fonctionnement de l'aéromoteur au-delà d'une certaine vitesse de vent.

#### 5) Système de régulation:

a) **Système de régulation par frein aérodynamique centrifuge :** C'est un régulateur breveté par l'aéromoteur Wincharger. Les pales principales sont fixes. En fonctionnement, les pales semblent conserver une position d'équilibre fixe. Mais la vitesse de rotation n'est pas très stable pour toute la plage d'utilisation de vitesse du vent.

b) **Régulation par variation du calage des pales :** La régulation consiste à conserver une fréquence de rotation constante de l'hélice pour toute une gamme de vitesses de vent.

c) **Régulation par mise en drapeau :** Les machines qui utilisent ce système exigent d'être freinées pour un vent supérieur ou égal à 36 m/s

d) **Régulation par décrochage aérodynamique :** Le système garantit une bonne régulation pour des vents inférieurs ou égaux à 60 m/s.

e) **Régulation par asservissement du calage :**

#### 6) Paramètre de fonctionnement: ( voir annexe 3 )

## Les types d'éoliennes

**1 Capteur à axe horizontal:** Les éoliennes à axe horizontal sont de conception simple et ont un rendement élevé. Elles sont les plus répandues. Elles sont appelées éoliennes à axe horizontal car l'axe de rotation du rotor est horizontal, parallèle à la direction du vent. Ce sont les moulins hollandais, les éoliennes rapides, les moulins américains ( Voir annexe 4 )

**2 Capteur à axe vertical:** Les éoliennes à axe vertical ne nécessitent pas de système d'orientation par rapport à la direction du vent, mais sont, en général, de conception assez compliquée. Des pales longilignes sont entraînées par un axe massif et vertical. L'avantage de l'arbre vertical réside dans le fait que le fonctionnement ne dépend pas de la direction du vent. Ce sont les rotor de panémone de Darrieus et rotor de Savonius. ( voir annexe 5 )

**3 Les offshores :** Ce sont des éolienne situées en mer. (voir annexe 6 ).

## Emplacement des éoliennes en France

L'efficacité d'une éolienne dépend de son emplacement. En effet, la puissance fournie augmente avec le cube de la vitesse du vent. donc les sites seront d'abord choisis en fonction de la force du vent. En règle générale, les éoliennes sont utilisables quand la vitesse du vent est supérieure à une valeur comprise entre 10 et 20 km par heure. Il existe un classement de la vitesse maximal du vent (vitesse de référence) :

-Classe 1 : 50 m/s, soit 180 km/h;-Classe 2 : 42,5 m/s, soit 162 km/ h;

-Classe 3 : 37,5 m/s, soit 135 km/h.

Pour savoir si un site est favorable à l'implantation des éoliennes on d'utilise une carte de la vitesse des vents ( annexe), ou des données accumulées par une station météorologique de plus il faut tenir compte certaines zones sont réglementairement inconstructibles comme les parcs naturels, les zones protégées, certaines dessertes aéronautiques de plus on ne peut pas construire à moins d 100 m environ d'une route, d'une voie ferrée, d'une ligne électrique.

**Plaines :** Les plaines ont des vents forts parce qu'il y a peu d'obstacles. Dans une installation classique en plaine, une tour de 30 m est généralement nécessaire pour placer convenablement l'éolienne de façon à obtenir un bon rendement. Dans les zones où le relief est très complexe, il est parfois possible de doubler la puissance de sortie en la déplaçant de 30 m. Economiquement, l'installation d'éoliennes en mer (offshores) est beaucoup plus cher, les mâts doivent être étudiés pour résister à la force des vagues et du courant (et à la corrosion aussi), l'implantation se fait sous l'[eau](#), le raccordement électrique nécessite encore plus de sécurité et la moindre sortie de maintenance nécessite de gros moyens. Par contre énergétiquement une éolienne offshore peut fournir jusqu'à 2 fois plus qu'une onshore.

**Altitude :** Les cols de montagne ont eux aussi des vents forts, parce qu'ils canalisent les vents de haute altitude. Les éoliennes installées sur les côtes bénéficient de vents puissants et réguliers. Mais il ne faut pas oublier les problèmes de givre fréquent en altitude.

**Villes :** En environnement urbain, où il est difficile d'obtenir de puissants vent. De petits équipements peuvent être utilisés pour faire tourner des systèmes à bas voltage. De petites installations telles que des routeurs wi-fi peuvent être alimentées par une éolienne qui recharge une petite batterie. Pour les données de l'éolienne il faut utiliser la formule de betz.

Les sites les plus intéressants sont situés au bord de la mer ou aux sommets de collines et de montagnes bien dégagées.

## Application des éoliennes

### 1) Production d'énergie:

**a. Les aérogénérateurs :** Quand le vent souffle, il fait tourner les pales de l'éolienne bi ou tripales. Celles-ci entraînent ensuite le générateur électrique (d'où l'appellation " aérogénérateur " pour désigner les éoliennes qui fabriquent de l'électricité). Le courant alternatif ainsi produit est redressé en courant continu pour être stocké dans une batterie d'accumulateurs. Un générateur électrique peut être soit directement accouplé à l'aéromoteur, soit entraîné par un multiplicateur. On utilise soit une dynamo fournissant un courant continu directement utilisable pour charger une batterie, soit un alternateur. Pour des raisons de coût et de rendement, les constructeurs d'aérogénérateurs s'orientent de plus en plus vers l'utilisation des alternateurs.

**b. Stockage de l'énergie :** Une des caractéristiques essentielles de l'énergie du vent étant son intermittence. C'est pourquoi il faut un dispositif de stockage. Les accumulateurs peuvent être utilisés pour des installations isolées et de petite taille (quelques kW). Seules les batteries au plomb, bien qu'encombrantes, sont bien adaptées aux fluctuations propres aux éoliennes. Pour des puissances plus importantes, des retenues hydrauliques peuvent être envisagées quand le lieu s'y prête. Dans ce cas on installe une turbine entre deux réservoirs haut et bas. L'énergie éolienne en excès sert alors à remplir le réservoir supérieur dont l'eau sera turbinée pour fournir du courant en pointe. À terme, un programme massif de l'éolien nécessiterait donc le développement de nouvelles technologies de stockage.

### **Pompage de l'eau**

**a. Les éoliennes de pompage multiples :** La pompe est simple et permet une hauteur de refoulement importante. Par contre, elle demande un couple assez élevé et surtout constant; sa vitesse est faible. Ce type de pompe s'accommode donc bien avec les éoliennes lentes qui présentent des caractéristiques voisines des siennes. La pompe est caractérisée par son diamètre et sa course. Ces 2 paramètres déterminent le volume maximum éjecté à chaque coup de piston.

**b. Les éoliennes de pompage à hélice rapide :** Le principal inconvénient des éoliennes multiples c'est qu'au-delà de 10 m/s, le moteur éolien se place dans le lit du vent grâce à la palette de régulation et le dispositif ne pompe plus. Leur rendement est plus faible que celui des hélices rapides. Donc on utilise les éoliennes à hélice rapide pour le pompage.

**c. Aéromoteurs rapides équipés de pompes centrifuges :** La pompe centrifuge, dont le couple est assez faible aux basses vitesses, s'adapte bien aux aéromoteurs rapides. Le couplage de la pompe peut se faire soit mécaniquement par l'intermédiaire d'un multiplicateur sur la tige de commande qui descend dans le tube de refoulement, soit électriquement.

Bien qu'il existe de nombreuses sortes de capteurs éoliens, seuls les capteurs à axe horizontal de type « éolienne rapide » sont voués à un avenir pour la production d'énergie électrique à grande échelle. Les recherches effectuées par l'aéronautique dans le domaine de l'aérodynamique et les systèmes de régulation automatique des pales ont permis d'accroître considérablement le rendement des éoliennes.

L'énergie éolienne peut donc être utilisée de deux façons :

**1. Transformée en énergie mécanique :** faire avancer un véhicule (voilier), pour pomper de l'eau ou pour faire tourner une meule.

**2. Transformée en énergie électrique :** l'éolienne est accouplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu (installation reliée à des batteries) ou alternatif (installation reliée au secteur). Elle est écologique, gratuite mais demande un environnement spécifique.

## **Données économiques**

**1) Coûts :** Le coût du kilowattheure éolien dépend d'un grand nombre de paramètres; comme la durée de vie, la maintenance, la production annuelle selon le site, des investissements, de la taille des machines. Ainsi la prévision d'un coût ne peut être que très provisoire et à mettre à jour en permanence.

Le coût d'investissement se décompose en moyenne comme suit :

• Machines : 70 % • Génie civil, transport, montage : 10 % • Raccordement (très variable selon les sites) 12 % • Divers (études et gestion de projet) : 8 % En se plaçant dans une hypothèse de développement soutenu de la filière, les coûts d'investissement, passeraient de 1020 €/kW en 2004 à 922 €/kW en 2007 et 785 €/kW en 2015. [www.industrie.gouv.fr](http://www.industrie.gouv.fr)

**2) Production :** Les productions annuelles varient avec les sites et les conditions climatiques. Avec la technologie disponible en 2007, on estime la production annuelle équivalente à 3000 heures à pleine puissance pour les très bons sites et à 2000 heures pour les sites moyens.

Un gain de 10% est attendu avec la technologie disponible en 2015 du fait d'un meilleur rendement pour un vent donné, et de l'augmentation de la vitesse du vent liée à l'augmentation de hauteur. [www.industrie.gouv.fr](http://www.industrie.gouv.fr)

## **Pourquoi choisir les éoliennes ?**

**1) Les avantages :-** Il n'y a pas de pollution ni de rejet de gaz à effet de serre.

- Le vent est gratuit.

- En principe sans danger notable pour l'homme.
- Le coût de fabrication d'un aérogénérateur est comparable à celui de générateurs hydrauliques de puissance équivalente.
- La période de haute productivité, située souvent en hiver où les vents sont plus forts, correspond à la période de l'année où la demande d'énergie est la importante.

**2) Les inconvénients:-** les sites terrestres sont limités vu que la surface occupée est importante ..

- le vent n'est pas prévisible.
- les impacts visuels, sonores et sur le milieu biologique (oiseaux).

# L'ENERGIE HYDRAULIQUE

Il existe trois sortes de centrales utilisant l'eau comme énergie :

=>Les centrales hydrauliques

=>Les centrales marée motrice

=>les hydroliennes

## LES CENTRALES HYDRAULIQUES

### DES MOULINS A EAUX AU BARRAGES ELECTRIQUES

Les moulins à eau sont apparus dès l'antiquité. Ils servaient à moudre le grain. L'énergie des fleuves et des rivières appelée le courant faisait tourner une roue à aubes (figure 1) ce qui entraînait l'axe de la roue et par un système de roue dentées moulait le grain. Les roues pouvaient avoir différentes formes et différents noms mais elles avaient à peu près le même principe de fonctionnement.



Figure 1

Selon le mode d'approvisionnement en eau, les roues étaient placées différemment.

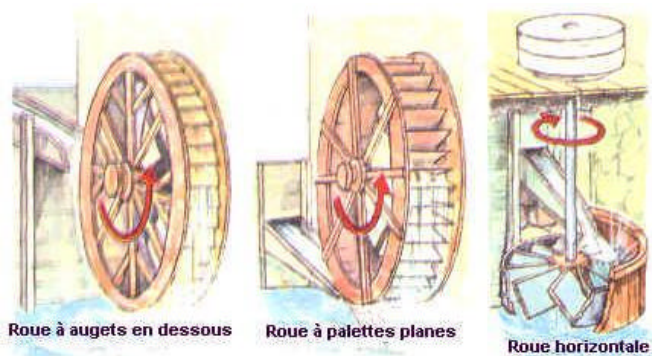


Figure 2

Les moulins fournissaient une énergie motrice. Ce n'est qu'au XIXe siècle que l'on pense à en faire de l'énergie électrique en installant au bout de l'axe une turbine. C'est à partir de cet instant que naissent les centrales hydrauliques.

### LES CENTRALES HYDRAULIQUES

Il existe trois sortes de centrales :

Feist & Beaumont

- Les centrales de haute chute  
Ce sont des centrales de montagne où le débit est faible et où le dénivelé est important.
- Les centrales de moyenne chute  
Elles sont situées le long des cours d'eau où le débit est abondant et le dénivelé est moyen.
- Les centrales de basse chute ou au fil de l'eau  
Elles sont installées le long des fleuves où le dénivelé est faible mais dont le débit est très important (ex : le Rhin).

La puissance de ces centrales est déterminée en fonction de la hauteur de chute ainsi que du débit d'eau. La formule utilisée pour la calculer est la suivante :

$$P = 80\% \times 9.81 \times Q \times H$$

**P** : étant la puissance (kW).

**80%** : représentant les pertes méca, électriques et les pertes dans la conduite.

**9.81** : constante de gravité

**Q** : débit d'eau (m<sup>3</sup>/s)

**H** : hauteur de chute (m)

## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

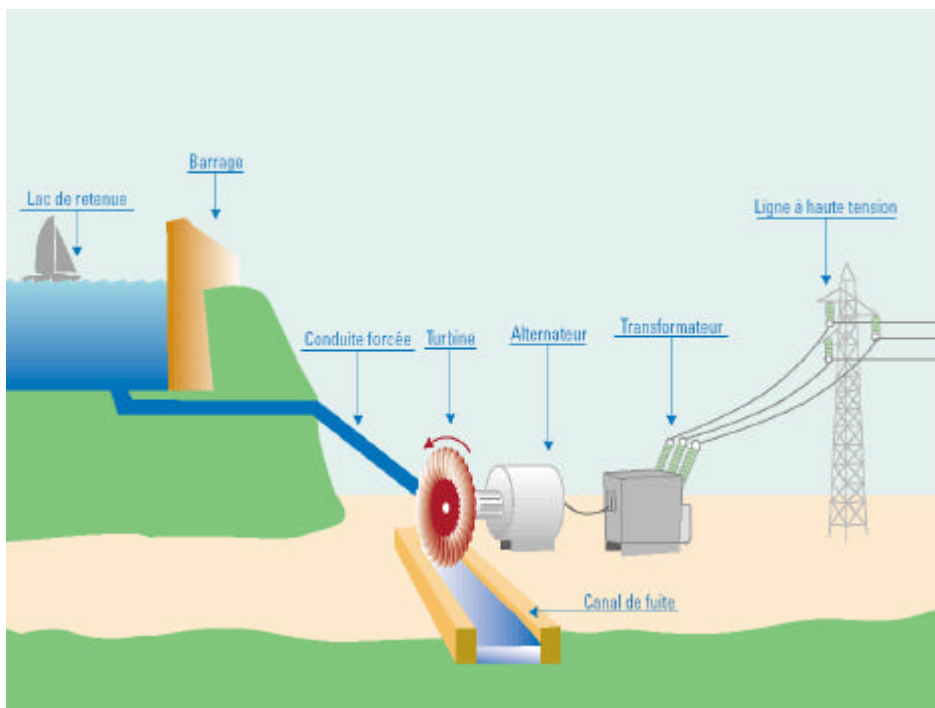


Figure 3

La figure 3 représente une vue schématique d'une centrale hydraulique. On peut y voir les organes principaux qui sont :

- **Le lac de retenue**  
Il n'est pas obligatoire, peut être naturel ou artificiel et n'est effectif que pour les hautes et les moyennes chutes. Il sert à créer une hauteur de chute (H). Il est (bien sûr) situé en amont du barrage.
- **Le barrage (il en existe plusieurs sortes)**  
Pour qu'un barrage soit efficace et sûr, il faut étudier plusieurs facteurs.  
Le lieu : un barrage doit être implanté où la roche est assez solide afin de supporter le barrage de préférence dans l'étranglement d'une rivière ou dans son resserrement.

La population : le déséquilibre environnemental doit être minime pour la flore et la faune aussi bien en amont qu'en aval du barrage.

- **La conduite forcée**

Elle sert à augmenter la force et la pression de l'eau. La pression augmente d'environ 1 bar tous les 10 mètres (sans tenir compte des pertes statiques). La valeur de la pression dépend aussi de la section (plus elle est grande moins il y a de résistance) ainsi que de sa forme (il faut qu'elle soit proche d'être rectiligne). C'est le « poumon » de la centrale.

- **La turbine**

La turbine est souvent, dans ces centrales, une roue Pelton qui ressemble aux roues des moulins sauf que dans la majorité des cas elle est enfermée dans un carter métallique.

La turbine est reliée au rotor de l'alternateur. Sa vitesse doit être constante afin d'obtenir une fréquence constante (50hz en France) c'est pourquoi on installe un régulateur.



- **L'alternateur**

L'alternateur transforme la puissance mécanique récupérée par la turbine en énergie électrique alternative. Il est composé de deux parties :

Un rotor (partie tournante) et un stator (partie fixe).

Cette énergie électrique est ensuite envoyée vers un transformateur.

- **Le transformateur**

Il augmente considérablement la tension afin d'avoir le moins de pertes possibles lors du cheminement de l'électricité. Il peut y avoir plusieurs transformateurs successifs qui augmentent ou diminuent la tension à ses bornes. Les transformateurs haute tensions ont des rendements très proche de 1 car il faut limiter au maximum les pertes.

- **La ligne haute tension**

Elles servent à transporter la tension entre deux transformateurs. Elles servent à alimenter tout notre territoire en électricité. Il existe différentes formes de piliers en fonction de la tension des fils.

## AVANTAGES ET INCONVENIENTS

L'un des inconvénient de l'énergie électrique est sont pris d'investissement élevé. De plus les réglementation sur la sécurité et la sauvegarde de l'environnement créer des difficultés supplémentaire a l'implantation d'une centrale. Malgré ces réglementations, il y a tout de même des modifications de l'écosystème près d'une centrale. Cependant, une fois la centrale installée, le coût de l'électricité est beaucoup plus faible du fait que la matière première est gratuite et que l'entretien est dérisoire par rapport aux autres usines.

Ces centrales dépendent du bon vouloir de la nature et plus particulièrement des crues. Bien entendu ces crues ne sont pas constantes ni a l'année ni d'une année sur l'autre. De plus les crues se produisent en été ou la demande en électricité est nettement moins forte.

Les centrales électrique ne rejette pas de gaz a effet de serre et donc pollue moins mais parfois elles déplacent la population afin de s'installer.

Malgré pas mal d'inconvénients, l'énergie électrique est une énergie propre et modeste en prix et représente 5% de la production française. Malheureusement on ne pas multiplier davantage les centrales le long des fleuves et rivières.



# Les centrales marée motrice



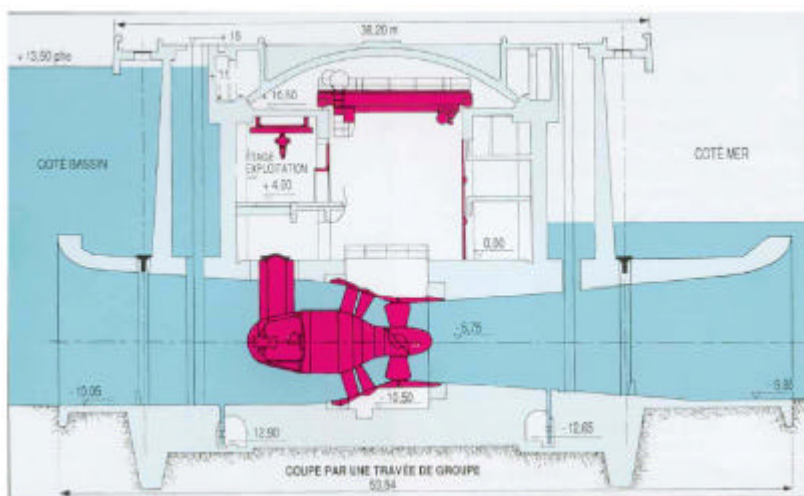
Centrale de la Rance

Les centrales marée motrice, contrairement aux centrales hydrauliques, utilise la force de la marée pour créer de l'électricité. Comme pour les centrales hydrauliques c'est la hauteur de chute qui joue.

L'usine marée motrice est une centrale située le long de la mer (dans la mer lorsqu'elle est haute) et obstrue une baie qui se remplit lors de la marée montante. L'endroit par où passe l'eau s'appelle un pertuis, ils sont ouverts lorsque la marée monte et on les ferme une fois la marée haute. Cela peut être assimilé à un bassin de retenue d'eau comme pour l'hydraulique. Dès que la hauteur d'eau est suffisante, on libère l'eau du bassin qui se précipite sur les turbines qui elles aussi entraînent un alternateur. Ces turbines ont une particularité, elles fonctionnent dans les deux sens.

L'énergie restituée varie selon les marées et l'époque de l'année. On définit deux variations bien distinctes qui sont dues à la lune :

Les marées de vive-eau et les marées de morte-eau se succèdent tous les 15 jours. Une marée de vive eau peut atteindre une hauteur deux fois plus grande qu'une marée de morte-eau.



## AVANTAGES ET INCONVENIENTS

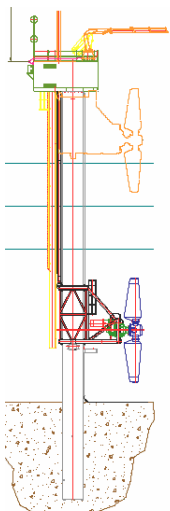
L'énergie marémotrice est une énergie totalement renouvelable et a les mêmes conséquences sur l'environnement que les centrales hydrauliques classiques. De plus son exploitation est peu coûteuse. Malgré cela on dénote que sa production est nettement inférieure à une centrale nucléaire. On remarque que cette centrale fonctionne avec les marées donc seulement deux fois par jour (marée montante et marée descendante).

Elle ne peut pas être créée partout sur le littoral. Il faut absolument une baie assez grande et une différence de hauteur d'eau importante entre marée basse et marée haute.

## LES HYDROLIENNES

Les hydroliennes sont établies en France sous forme de projet expérimentaux. Les hydroliennes utilisent le courant marin comme matière première mais elles peuvent aussi utiliser les vagues. On ne sait pas vraiment comment la population va réagir à ce nouvel affront des mers. En effet après les parcs éoliens en pleine mer, les barrages marée motrice, voilà qu'arrive les hydroliennes qui se situent dans le passage du courant. Seulement le courant sert aussi aux bateaux ce qui crée une polémique chez les pêcheurs.

### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



ont

Figure 4

L'hydrolienne est constituée principalement d'un flotteur, d'un rotor et d'un stabilisateur.

- Le flotteur sert à placer les pales à bonne hauteur afin de pouvoir capter les vagues. Pour cela, on leste le flotteur en le remplissant d'eau de mer.
- Le rotor est composé de quatre pales, chacune étant articulée autour de son axe. L'action des vagues sur les pales met le rotor en rotation. Ce rotor est étudié afin qu'il ne puisse tourner que dans un seul sens quel que soit la direction du courant ou des vagues. La mise en rotation du rotor se fait lorsque la hauteur de l'eau varie et que le flotteur oblige l'hydrolienne à se déplacer verticalement.
- Le stabilisateur est composé de quatre grandes pales qui doivent empêcher la mise en rotation de l'hydrolienne. Si par malheur l'hydrolienne venait à entrer en rotation, le rotor serait inactif et donc l'hydrolienne n'aurait pas lieu d'être.

## AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Il y a quelques inconvénients à cette méthode de production d'énergie. La position des hydroliennes (dans l'eau loin des côtes) pose un problème pour l'acheminement de l'électricité. Le sable du fond des mers pose aussi un problème car il peut créer une abrasion des pales.

Elles ont toutefois des avantages. Le phénomène de courant est constant et prévisible par rapport au vent et au soleil. De plus cette énergie ne rejette aucun gaz à effet de serre. Cependant il reste toujours un problème majeur : la population. Les marins s'opposent à ce projet car ils pensent que ces hydroliennes peuvent influencer sur la migration des poissons mais aussi parce que leur couloir maritime s'en trouvera ainsi diminué.



Figure 5

## D'autres projets utilisant les vagues et le courant.

Les figures 2 à 5 montrent différents projets mis en place pour capter l'énergie de la mer. Elle représente peut-être une nouvelle ère en matière d'énergie hydraulique.

Les hydroliennes (figure 2 et 3) ont le même principe de fonctionnement que ci-dessus. Pour ce qui est de la figure 4, les hydroliennes sont fixées au sol et donc le courant doit être constant à hauteur de celles-ci. Quant à la figure 5, elle représente une centrale à vagues. Lorsque les vagues viennent s'engouffrer dans la conduite, cela pousse l'air qui fait tourner la turbine et ainsi créer de l'électricité.

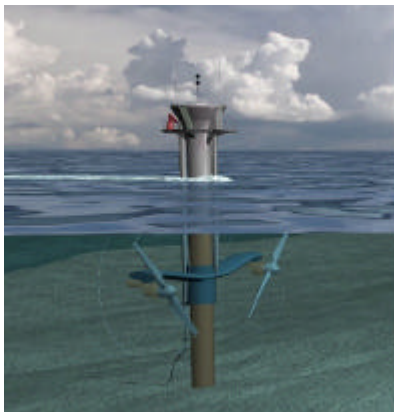


Figure 6



Figure 8



Figure 7

# L'ENERGIE DU SOLEIL

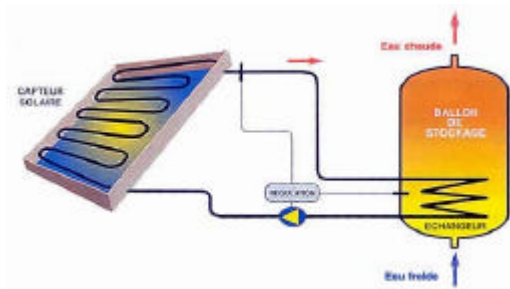
Le soleil est la première source d'énergie de notre terre. C'est lui qui fait pousser les plantes et donc nous procure notre oxygène. Le soleil peut nous donner bien plus. Il peut nous offrir l'énergie nécessaire à l'homme. Il existe deux sortes d'énergie électrique liée au soleil.

- L'énergie solaire thermique
- L'énergie solaire photovoltaïque

## L'ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE

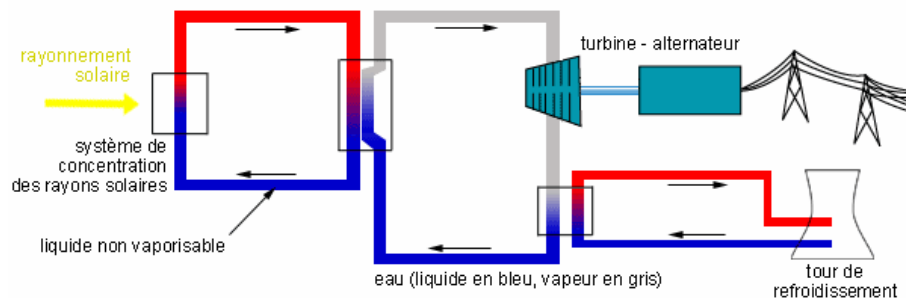
### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Avant de savoir comment fonctionne une centrale solaire thermique, il faut savoir ce qu'est un capteur solaire.



Un capteur solaire est composé de serpentins remplis soit d'air, soit d'eau, soit d'un liquide caloporteur. Les rayons du soleil tapant sur le verre, l'air ou le liquide chauffe. Cette chaleur est transmise à un autre circuit (ex : un ballon d'eau chaude) grâce à un échangeur (comme montré ci-contre). Cette méthode ne permet d'obtenir que de faibles températures (quelques dizaines de degrés) suffisantes pour un ballon d'eau chaude ou pour le chauffage.

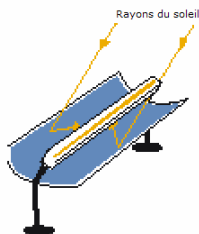
Pour les centrales, la chaleur n'est pas utilisée en tant que chaleur mais elle est convertie en énergie électrique. Pour obtenir de hautes températures (plusieurs centaines de degrés), on concentre les rayons solaires en un seul point.



Fonctionnement d'une centrale solaire

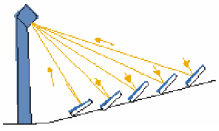
Il y a trois sortes de centrales solaires thermiques :

- Les concentrateurs cylindro-paraboliques



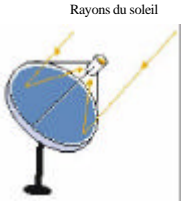
Ils sont constitués de longs miroirs cylindriques qui focalisent les rayons sur un cylindre situé parallèlement aux miroirs comme indiqué sur le schéma de gauche. Cette méthode permet d'obtenir des températures jusqu'à 500°C. Les rayons chauffent le liquide caloporteur situé dans le cylindre. Ce liquide est transporté jusqu'à un échangeur, le liquide caloporteur chauffe l'eau qui s'évapore et fait ainsi tourner les turbines.

- Les centrales à tours



Elles sont constituées de milliers de miroirs qui réfléchissent tous en un seul et même point, en au d'une tour (d'où sont nom). La température obtenue dans ce genre de centrale peut atteindre 1000°C. Cette chaleur est retransmise à un circuit caloporteur (situer en haut de la tour ou tous les rayons se rejoignent) puis comme précédemment à un échangeur et l'eau se transforme en vapeur pour faire tourner la turbine.

- Les collecteurs paraboliques



Les collecteurs paraboliques ressemblent aux antennes satellite. Sa forme leur permet de concentrer les rayons du soleil en un seul point. Chaque parabole crée elle-même de l'électricité. La chaleur fait gonfler un gaz comme l'hélium qui fait bouger un piston qui comprime de l'air et fait tourner une turbine. Elles peuvent aussi créer de l'électricité toutes ensemble. Pour ce cas, il faut faire chauffer du liquide caloporteur au niveau de chaque point de concentration et les faire rejoindre tous en un même point, dans une même centrale.



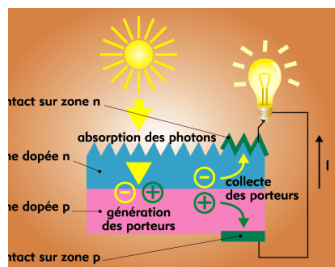
## AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Cette énergie est propre, il n'y a pas de rejet de gaz ni de production de déchets toxiques. Les centrales thermiques sont autonomes et peuvent être construites à peu près partout. Pour qu'elle soit plus ou moins rentable, il faut que le rayonnement soit fort. Cela veut dire que certains sites (comme l'Ouest de la France) ne sont pas adaptés à recevoir ce type de centrale. L'investissement de départ est onéreux et long à rentabiliser mais le coût d'exploitation est quasiment nul. L'énergie solaire est illimitée mais elle n'est disponible que le jour et est tributaire du temps. Si on voulait remplacer l'énergie fossile par le solaire, cela nécessiterait des surfaces gigantesques.

## L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

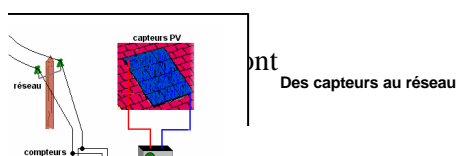
### a) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le silicium a été choisi pour réaliser les cellules solaires photovoltaïques pour ses propriétés électroniques, caractérisées par la présence de quatre électrons sur sa couche périphérique. Dans le silicium solide, chaque atome est lié à quatre voisins, et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons. Si un atome de silicium est remplacé par un atome de phosphore, par exemple, un des électrons ne participe pas aux liaisons ; il peut donc se déplacer dans le réseau. Il y a conduction par un électron, et le semi-conducteur est dit dopé de type n. Si au contraire un atome de silicium est remplacé par un atome de bore, par exemple, il manque un électron pour réaliser toutes les liaisons, et un électron peut venir combler ce manque. On dit alors qu'il y a conduction par un trou, et le semi-conducteur est dit dopé de type p. Les atomes tels que le bore ou le phosphore sont des dopants du silicium.



Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Un cristal semi-conducteur dopé P est recouvert d'une zone très mince dopée N (d'épaisseur égale à quelques millièmes de mm en réalité). Entre les deux zones se trouve une jonction J (non représentée). La zone N est couverte par une grille métallique qui sert de cathode k tandis qu'une plaque métallique recouvre l'autre face du cristal et joue le rôle d'anode. L'épaisseur totale du cristal est de l'ordre du mm. Un rayon lumineux qui frappe le dispositif pénètre dans le cristal au travers de la grille et provoque l'apparition d'une tension entre la cathode et l'anode.



Les capteurs fournissent du courant continu d'une tension comprise entre 125 et 400 volts sous une intensité qui dépend de l'intensité du rayonnement solaire.

Ce courant continu est transformé par un onduleur en courant alternatif régulé à 230 volts et 50 Hz.

Le courant alternatif fourni par l'onduleur est renvoyé sur le réseau au travers d'un compteur (V) qui mesure l'électricité revendue au distributeur.

Indépendamment du circuit de production, le producteur et consommateur, achète au distributeur de l'électricité mesurée par le compteur (A).

## b) AVANTAGES ET INCONVENIENTS

La production de cette électricité renouvelable est propre et sans aucune perturbation du milieu. La lumière du soleil est disponible partout, donc l'énergie photovoltaïque est exploitable même dans les endroits isolés. De plus elle peut être produite près du lieu de consommation, directement chez l'utilisateur. C'est un moyen facile de produire de l'électricité renouvelable chez un particulier.

Les systèmes photovoltaïques n'ont aucune pièce mécanique en mouvement et les matériaux utilisés, verre et aluminium, résistent à toutes les conditions climatiques ce qui leur donne une durée de vie de plusieurs dizaines d'années.

Les installations photovoltaïques sont modulables et peuvent donc répondre à presque tous les besoins. On peut augmenter ultérieurement la taille de l'installation si on le souhaite.

Le coût est assez faible car l'entretien est réduit et que les capteurs photovoltaïques ne nécessitent ni combustible, ni transport.

La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et donc à un coût élevé.

L'utilisation de produits chimiques pour sa construction provoque de la pollution, minime soit-elle.



Il existe plusieurs sortes de panneaux photovoltaïques comme sur la photo ci-contre.

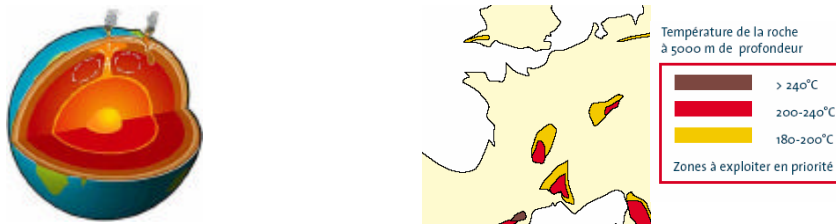




# LA GEOTHERMIE

Le centre de la terre a une température très élevée (environ 6000°C). Plus on remonte vers la surface de la terre plus cette température diminue. Cependant à 1000m, cette température peut être obtenir des valeurs encore élevées. Malheureusement, on ne peut pas utiliser la géothermie partout en France. Certes la chaleur de la terre se situe partout mais elle est plus présente et plus facile à utiliser lorsqu'elle se trouve proche des failles sismiques ou des plaques tectoniques.

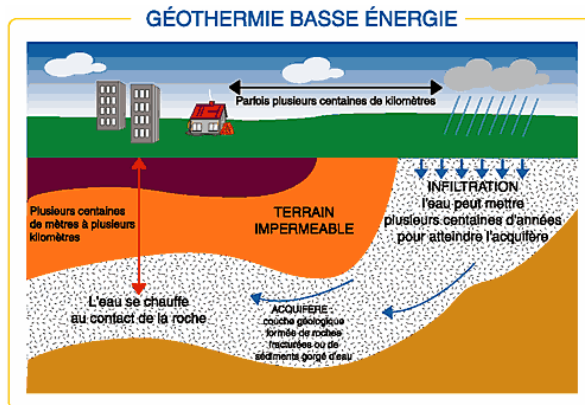
Voici le découpage de la France en fonction de la chaleur de son sous sol :



La géothermie consiste à récupérer cette chaleur pour chauffer de l'eau. Il existe plusieurs types de géothermie :

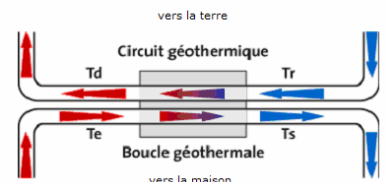
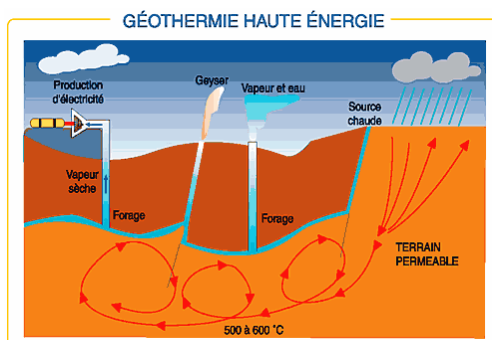
- La géothermie de basse énergie
- La géothermie de moyenne énergie
- La géothermie de haute énergie

## LA GEOTHERMIE DE BASSE ENERGIE



Elle sert essentiellement au chauffage. La température capter dans le sol est comprise entre 30 et 100°C à une profondeur moyenne de 1000 à 2500m dans les bassins sédimentaires de grande importance (ex bassin parisien). Dans ce cas, on utilise l'eau tirée du sol pour l'injectée directement dans les radiateurs (si elle est assez pure) ou comme circuit de chauffage pour les ballons d'eau chaude. L'eau tirée du sol ne peut être directement injectée dans ces ballons car elle est impropre à la consommation ou parce qu'elle est trop chaude. Dans le deuxième cas, on utilise des échangeurs de chaleur aussi bien pour les ballons que pour les radiateurs. Pour obtenir cette eau, on fore un puits dans le sol et on pompe l'eau chaude des nappes qui alimentent ensuite les radiateurs. Ce principe sert pour les habitations individuelles mais aussi pour les serres, les élevages, la mise hors gel des routes (grâce à un serpentin passant sous l'asphalte).

## LA GEOTHERMIE DE MOYENNE ET GRANDE ENERGIE

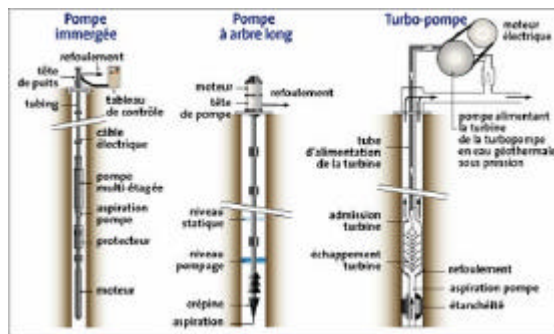


La géothermie de basse énergie utilise des gammes de température plus élevée, entre 90°C et 180°C. Elle est utilisée pour de petites centrales électriques (quelques kilowatts à quelques mégawatts). La géothermie de haute énergie, elle, utilise des températures comprises entre 200°C et 350°C. Ces températures se situent de 1000m à 3000m de profondeur. Cela pose des problèmes au niveau des matériaux utilisés ainsi que des problèmes de corrosion (étudié plus bas).

### Principe de fonctionnement d'une centrale

Il y a deux fonctionnements distincts :

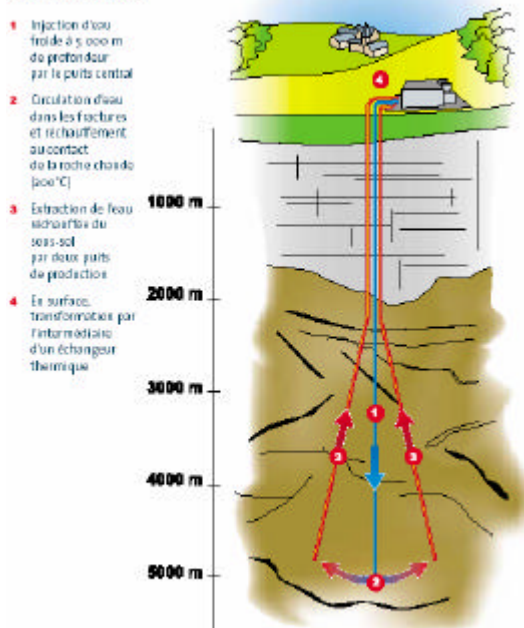
- **Gisement de vapeur sèche** : dans ce cas, on fore un puits et on récupère la vapeur qui fait tourner une turbine puis l'alternateur et donc produit de l'électricité. Cependant les gisements de vapeur sèche sont extrêmement rares.
- **Gisement de vapeur humide** : dans ce cas, on fait la même chose que précédemment sauf qu'à la sortie du puits, il faut séparer la vapeur de l'eau. Cela augmente le coût de l'installation. Le gisement de vapeur humide est plus fréquent. Lorsque l'eau ne remonte pas toute seule, on peut utiliser des pompes :



### Le double puits

Il arrive que l'eau souterraine soit chargée en gaz toxiques ou au moins polluants pour l'environnement. Dans ce cas, au lieu de ne creuser qu'un seul puits, on en fore deux (voir trois) qui communiquent entre eux et qui forment un circuit fermé. Cela empêche toute pollution de l'atmosphère. Le premier puits sert à l'absorption de la chaleur terrestre alors que le deuxième sert à restituer de l'eau dans la faille (dans le cas où il y en a trois, un sert à l'injection d'eau plus froide alors que les deux autres récupèrent la chaleur). Il y a un avantage à cette technique c'est que la pression est maintenue dans la nappe. Malheureusement, l'eau réinjectée est plus froide que celle pompée et donc au bout d'un certain temps on pourrait refroidir cette nappe et la rendre inutilisable. Afin d'éviter cette catastrophe, le deuxième conduit est soit disposé à l'oblique, soit est décalé de quelques centaines de mètres du premier. (Ex : Soultz-sous-Forêts dont le schéma est page suivante).

Soultz-sous-Forêts



### AVANTAGES ET INCONVENIENTS

La géothermie préserve l'environnement en supprimant tout rejet polluant dans l'atmosphère mais elle peut polluer lors du forage. Elle n'est pas liée à la politique pétrolière donc pas de hausse brutale des combustibles. La matière première est d'ailleurs gratuite. Cependant le coût d'une installation géothermique est assez élevé. À dimension humaine, l'énergie géothermique est inépuisable de plus le coût de la consommation est fortement réduit.

### La corrosion

Un autre problème de la géothermie est la corrosion. C'est d'ailleurs le plus grand ennemi de la géothermie. Les sels contenus dans l'eau attaquent les conduites qui se détériorent. En se détériorant, le métal se combine avec certains gaz pour créer des dépôts qui réduisent la taille des tuyaux et donc diminuent le débit d'eau. Afin de limiter cet aspect de corrosion, on a changé la composition de la tuyauterie utilisant des alliages plutôt que de l'acier. Une autre technique consiste à injecter en permanence des produits chimiques ce qui empêcherait la formation de dépôts.



# Les énergies fossiles

On qualifie une énergie de "fossile" lorsqu'elle est issue de la décomposition de plantes et d'animaux d'une époque préhistorique. Les différents types d'énergie fossile présents sur Terre sont : **le charbon** (page 23)

- **le pétrole** (page 25)
- **le gaz naturel** (page 27)

Le point commun entre toutes ces sources d'énergie est que leurs réserves sont épuisables. En plus, les énergies fossiles ont un autre inconvénient : leur utilisation produit du CO<sub>2</sub> qui est un des principaux gaz à effet de serre.

**Le charbon :**

## Qu'est-ce donc ?

On appelle charbon, des roches sédimentaires d'origine organique contenant au moins 50% de carbone. Les origines du charbon remontent de 250 à 300 millions d'années, à l'époque du Carbonifère. Cette évolution correspond à un appauvrissement en composants organiques volatils et à une concentration en carbone des couches de matière organique.

L'évolution du carbone au cours de ces millénaires se décompose en quatre parties :

Étape	Forme	Pouvoir calorifique (en kJ/kg)	Teneur en carbone (en %)
1	La tourbe	12 500	moins de 50
2	Le lignite	25 000	entre 50 et 60
3	La houille	32 000 à 36 000	entre 70 et 93
4	L'antracite	33 500 à 34 900	entre 93 et 97

le charbon est un terme général qui regroupe essentiellement la houille et la lignite. Il représente 80 % des énergies fossiles disponibles

## Historique en France :

Utilisé depuis le XI<sup>ème</sup> siècle, l'extraction de ce combustible dans les mines a rendu possible la révolution industrielle au XIX<sup>ème</sup> siècle. Il servait alors à la sidérurgie, au chauffage, au transport (train à vapeur) et à l'éclairage public (gaz de ville). Pendant des décennies, la houille constituait la principale source d'énergie c'est pourquoi son nom fut décliné pour désigner des énergies naturelles potentiellement utilisables pour les besoins industriels :

- houille *blanche* pour l'énergie hydraulique des chutes d'eau,
- houille *bleue* pour l'énergie marémotrice, des vagues et des courants marins,
- houille *verte* pour l'énergie fournie par le courant des cours d'eau (moulin à eau, par exemple),
- houille *d'or* pour l'énergie solaire.

## Quelques dates importantes :

**14<sup>ème</sup> siècle** : L'emploi du charbon s'impose partout où il affleure. **18<sup>ème</sup> siècle** : L'exploitation du charbon prend alors son véritable essor. **19<sup>ème</sup> siècle** : Naissance de la grande industrie houillère, grâce à l'invention de la machine à vapeur, qui permet d'améliorer les techniques d'extraction.

**10 mars 1906** : la plus importante catastrophe minière de France, dite Catastrophe de Courrières, elle fait 1 099 morts. On en ignore encore la ou les causes: feu ou grisou.

**1945** : Les techniques d'extraction du charbon s'améliorent avec l'introduction de l'électricité. **1970** :

Concentration et modernisation : Les puits d'extraction diminuent, tandis que la production reste inchangée. **2004** : Arrêt définitif de l'extraction du charbon, avec la fermeture de la dernière mine lorraine de la Houve, mais le gisement des produits de récupération continue de faire l'objet d'une valorisation dans les centrales électriques.

## Les mines :

**1 Les mines souterraines**, les mineurs creusent des galeries à l'intérieur du sol jusqu'à la veine (aussi appelée filon) de charbon. L'accès se fait : soit par puits soit par galeries ;

- soit par descendier (plan d'accès incliné et donnant sur le jour) Dans ces mines, la profondeur maximale des puits est le plus souvent de 1000 à 1200 mètres. Le puits le plus profond se trouve en Inde, à Kolar et atteint plus de 3000 mètres de profondeur.

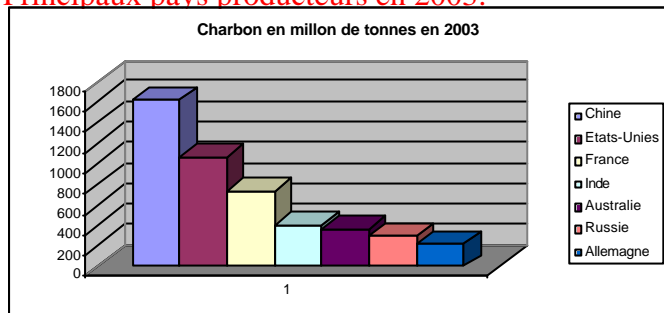
**2 Les mines à ciel ouvert**, l'exploitation se fait généralement entre 10 et 400 mètres de profondeur. Ces mines ressemblent à de grands amphithéâtres avec d'énormes gradins.

## Exploitation de la houille

**L'extraction du charbon** s'est arrêtée définitivement en 2004, avec la fermeture de la dernière mine lorraine de la Houve, mais le gisement des produits de récupération continue de faire l'objet d'une valorisation dans les centrales électriques. Aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, les usines se plaçaient généralement autour des bassins charbonniers afin d'éviter de longs transports. **De nos jours, on transporte** aisément le charbon par pipe-lines ou bien par voie fluviale, maritime ou ferroviaire. Les pipe-lines sont l'équivalents des oléoducs pour le pétrole. Ils sont plutôt utilisées pour des transports sur de courtes distances. Pour être transporté ainsi, le charbon doit subir des modifications. En effet, le charbon se présente sous forme de blocs solides. Il est donc broyé sous forme de fines particules puis dilué dans une solution liquide. Pour les longues distances, le charbon est transporté par barges ou péniches, par trains ou encore par bateaux sans être préalablement

transformé. [http://www.lamap.fr/print.php?Page\\_Id=10&Action=2&Element\\_Id=370&DomainScienceType\\_Id=7](http://www.lamap.fr/print.php?Page_Id=10&Action=2&Element_Id=370&DomainScienceType_Id=7)

### Principaux pays producteurs en 2003:



Comme on peut le voir avant l'arrêt définitif des mines de charbon, la France faisait partie des 3 premiers producteurs dans le monde.

### Domaine d'utilisation

De nos jours, le charbon est utilisé :

- pour obtenir un **substitut au gaz naturel**, GNS (gaz naturel de synthèse),
- pour **produire du méthane** CH<sub>4</sub>,
- pour fabriquer des **carburants** et des fluides susceptibles d'être brûlés dans les chaudières ou transformés par la **chimie** (verniss, savon, plastiques, etc...)
- dans les **centrales thermiques** utilisées pour la production d'électricité ou le chauffage urbain ;
- dans la **sidérurgie**, essentiellement pour la fabrication du coke utilisé dans les hauts-fourneaux ; entre 600 et 700 kg de charbon sont nécessaires pour produire une tonne d'acier.

### Les atouts

Quels sont les atouts du charbon aujourd'hui face aux énergies concurrentes ?

- une réserve importante (plus de 230 années de consommation alors que c'est 43 ans de réserves de pétrole et aux 67 années de réserves de gaz)
- un prix stable (environ 50 dollars le baril), une bonne répartition géographique, disponible dans de nombreux pays .

### Les inconvénients

Les inconvénients du charbon sont :

- énergie non-renouvelable qui disparaîtra dans 260 ans
- Comme pour tout carburant fossile, sa combustion **produit du CO<sub>2</sub>**, phénomène à l'origine de l'effet de serre atmosphérique.

# Pétrole

## Qu'est – ce donc ?

Le pétrole s'est formé grâce à la décomposition d'organismes marins. Ceci prend des dizaines voire des centaines de millions d'années. Le pétrole est un liquide visqueux qui tire son nom du latin *petra - oleum* : l'huile de pierre. Sa couleur lui vaut le surnom d'**or noir**.

**De l' Antiquité au Moyen âge** Les civilisations mésopotamiennes ont très tôt utilisé le pétrole comme produit pharmaceutique, cosmétique et comme combustible pour les lampes à huile. Les Chinois ont réussi à forer des puits et à exploiter le gaz naturel plusieurs siècles avant J.C. Au Moyen Âge, dès le VI<sup>ème</sup> siècle, les Japonais exploitaient le gaz et le pétrole ainsi que les Byzantins puis les Vénitiens qui l'utilisaient pour incendier et couler les navires ennemis. Les Arabes connaissaient aussi le pétrole. Au XI<sup>ème</sup> siècle, sa distillation se pratiquait à Damas.

## De la révolution industrielle à nos jours

**1857**: la ville de Bucarest était la première au monde éclairée au pétrole. **1857/ 1858** : la production mondiale de pétrole était de 200 tonnes par an et provenait entièrement de Roumanie. **1860/ 1863**: commence la production au Canada et en Russie. **1885**: le chimiste américain Benjamin Silliam Jr., retrouva un certain nombre de produits naturels par distillation du pétrole : goudrons, lubrifiants, solvants pour les peintures ainsi que l'essence qui, considérée à l'époque comme produit mineur, était utilisée comme détachant. **20<sup>ème</sup> siècle** : le pétrole a pris toute son importance comme combustible en vue de produire de l'énergie puis, comme matière première pour la production de multiples matières plastiques et méthode de chauffage.

## Le pétrole en Alsace

L'Alsace a longtemps été une région d'exploitation du pétrole. Les " sources d'asphalte " de Pechelbronn sont mentionnées pour la première fois en 1498 par l'humaniste Jakob Wimpheling. Selon lui ce produit est utilisé depuis fort longtemps par les habitants de la région comme lubrifiant des essieux de voiture, comme source d'éclairage et même, aussi étrange que cela puisse nous paraître, comme médicament. D'ailleurs Pechelbronn a fêté en 1998 le 500<sup>e</sup> anniversaire de l'histoire du pétrole et de son exploitation dans cette région. Le 3 août 1944 la raffinerie, bombardée par l'aviation américaine, est détruite à 90%. Elle est reconstruite après la guerre mais définitivement fermée en 1970. Pour plus d'information aller sur <http://membres.lycos.fr/daney/>

## Exploitation du pétrole

Les méthodes traditionnelles d'extraction du pétrole ne permettent de récupérer en moyenne qu'un tiers du gisement total. La demande mondiale ne cessant de croître, donc l'industrie pétrolière teste actuellement des méthodes pilotes, moins coûteuses, plus respectueuses de l'environnement, et surtout plus productives. Elles peuvent être sur terre ou sur mer.

### 1. Les solutions traditionnelles d'extraction

**a. L'injection de vapeur**, est particulièrement utilisée pour les gisements peu profonds. Injectée dans le gisement, la vapeur se diffuse progressivement et réchauffe le pétrole. Il faut à peu près deux semaines avant que le puits ne soit exploitable.

**b. La récupération gravitaire assistée par injection de vapeur**, consiste à forer dans le gisement deux puits parallèles horizontaux et à y injecter de la vapeur. Une fois réchauffé, le pétrole s'écoule du tube supérieur vers le tube inférieur. Cette opération prend deux à trois mois. Les taux de récupération peuvent s'élever jusqu'à 60 % si le sol est perméable. ( voir annexe )

### 2. Les solutions pilotes d'extraction

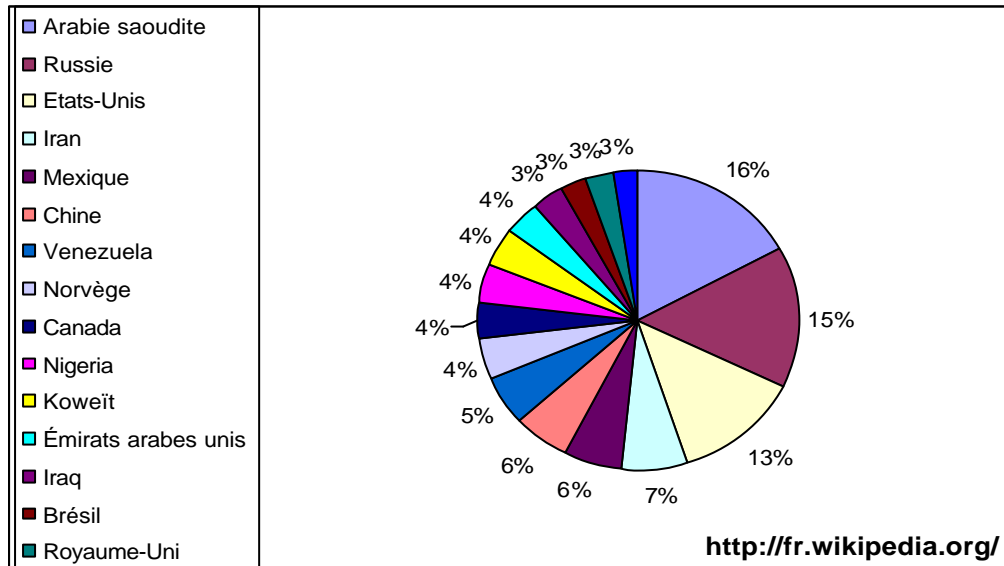
**a. La combustion in situ**, consiste à provoquer la combustion du pétrole enfoui dans le gisement afin de réchauffer la roche. La chaleur dégagée pousse l'huile vers les puits de production. Seules les huiles les plus lourdes brûlent et les taux de récupération peuvent s'élever jusqu'à 80 %.

**b. L'injection de solvant**, l'injection de solvant est un procédé de type Vapex (*Vapourized Extraction*). L'injection de vapeur et de solvants comme le butane ou le propane facilitent l'extraction. En réduisant la consommation d'eau et l'émission de gaz à effet de serre, cette méthode limite les impacts environnementaux. **Transport**

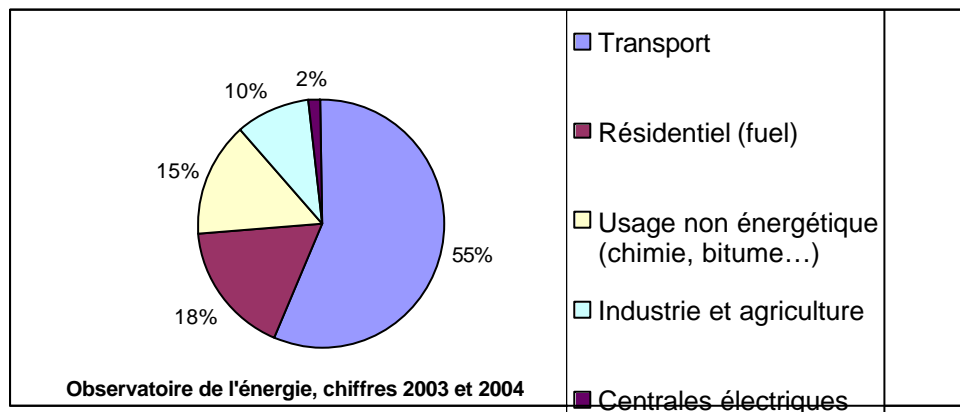
Les plus grandes quantités de pétrole et de gaz découvertes se trouvent dans des pays en développement, éloignés des plus gros consommateurs. Ces pays producteurs couvrent largement leurs besoins et exportent la plus grande partie de leur production. La majorité du pétrole transporté (62%) passe par voie maritime. Les quantités de pétrole transportées par mer chaque année sont énormes. Près de 8 000 navires pétroliers sillonnent les mers et les océans, transportant cette fabuleuse énergie liquide des lieux de production vers ceux de consommation.

Le transport terrestre par oléoducs reste néanmoins important, en particulier dans des pays immenses comme la Russie.

### Pays producteurs en 2005 :



### Utilisation du pétrole :



### Avantages :

- Énergie disponible partout sur tous les continents.
- Transport facile et peu onéreux par bateau (pétroliers) et surtout par oléoducs (grosses canalisations)
- La chimie du pétrole est d'une richesse extrême. À partir du pétrole, on tire des gaz, des carburants (), des composés aromatiques, des lubrifiants, du goudron, etc.
- C'est la forme d'énergie liquide la plus concentrée disponible actuellement.

### Limites :

- Les utilisations du pétrole comme combustible pour l'industrie et le chauffage domestique sont progressivement grignotées par le gaz naturel et l'électricité.
- Le transport du pétrole est à l'origine de **nombreuses pollutions**, en particulier des "marées noires" mais aussi d'incendies.
- **Comme pour le charbon, sa combustion produit du dioxyde de carbone qui, libéré dans l'atmosphère, participe à l'accroissement de l'effet de serre.**

# Le gaz naturel

## Qu'est ce donc ?

Le gaz naturel est un gaz combustible fossile issu de la décomposition de matériaux organiques. Son composant principal est le méthane  $\text{CH}_4$ . Ses gisements sont souvent liés à ceux du pétrole et l'exploitation de champs pétrolifères amène généralement à une production simultanée de pétrole et de gaz naturel.

## Histoire

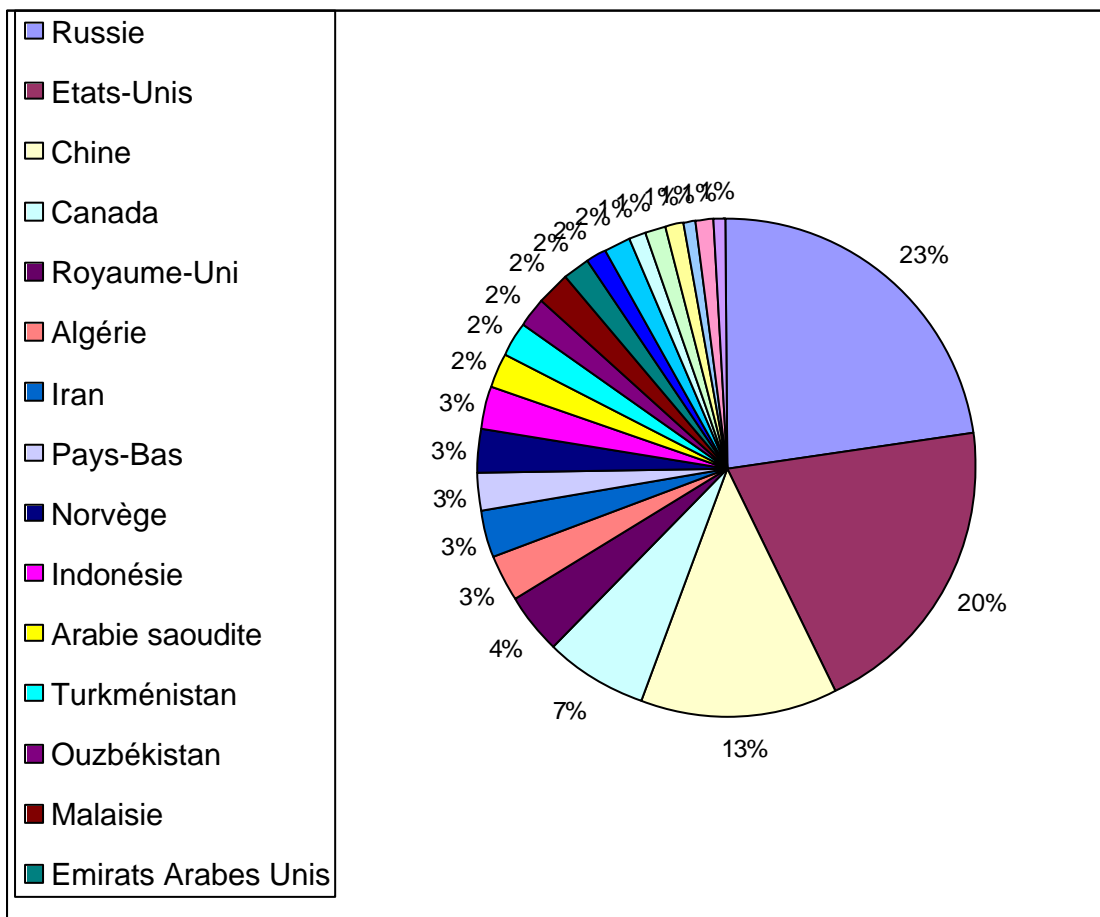
Le gaz naturel n'était guère consommé qu'à proximité de ses lieux de production, l'accroissement de l'usage du gaz naturel s'est accéléré après la deuxième guerre mondiale en raison du développement des infrastructures de transport, puis à la suite des chocs pétroliers des années 1970. Au début du XXI<sup>ème</sup> siècle, le gaz naturel représentait entre 20% et 25% de la consommation mondiale d'énergie.

## Exploitation du gaz

**L'extraction** du gaz naturel utilise des techniques à peu près identiques à celles de l'industrie du pétrole.

Le gaz naturel est extrait en creusant un trou dans la roche et d'un équipement de pompage.

Le forage peut être effectué sur terre ou en mer. **Le traitement** du gaz naturel implique une extraction des éléments en phase liquide dans le gaz naturel, puis un fractionnement de ces différents éléments. Le  $\text{CO}_2$  est le plus souvent simplement rejeté dans l'atmosphère, sauf si il y a un utilisateur proche. Parfois on le réinjecte dans une formation souterraine (séquestration) pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Une fois le gaz naturel traité, il peut être **acheminé**. Il peut être transporté par voie terrestre à travers des gazoducs. Le gaz naturel peut également être aussi transporté par mer. Dans ce cas, il est transformé en gaz naturel liquéfié (GNL). Le procédé de liquéfaction permet de retirer l'oxygène, le dioxyde de carbone, les composés de soufre et l'eau.



## Principaux pays producteurs en 2003

## Utilisations

Il est utilisé comme source d'énergie • pour produire de la chaleur (chauffage, fours...), • de l'électricité.

Il est aussi utilisé comme la matière première d'une bonne partie de l'industrie chimique et pétrochimique :

- engrais,
- résines,

- plastiques,
- Solvants,
- Raffinage du pétrole.

#### Avantages :

- Energie disponible sur tous les continents,
- L'extraction nécessite peu d'énergie en raison de la forme gazeuse du gaz naturel,
- Combustible fossile le moins polluant et le moins émetteur de dioxyde de carbone,
- Le transport de gaz est facilement réalisé par des canalisations appelées *gazoducs*. Les *méthaniers* (bateaux transportant le gaz naturel sous forme liquide) servent aux transports intercontinentaux.
- En cas de rupture de canalisation, le gaz naturel se détend puis, plus léger que l'air, se disperse dans l'atmosphère. Ainsi les risques d'explosion liés à une forte concentration de gaz (poche de gaz) sont le plus souvent évités.

#### Limites :

- Le gaz naturel peut devenir explosif lorsque certaines conditions de concentration et de température sont remplies.
- Le gaz naturel est incolore et inodore. Il est donc indétectable par les sens humains.
- Le gaz est, par nature, un état peu dense de la matière. C'est pourquoi pour une même quantité énergétique, le gaz est beaucoup plus volumineux que le pétrole ou le charbon. Il doit donc être maintenu comprimé durant tout son transport. Cette compression nécessite bien entendu des compresseurs qui consomment de l'énergie.

# L'énergie fissile

## Qu'est ce la fission ?

La fission est la fragmentation d'un noyau lourd en deux morceaux, accompagnée de quelques neutrons. Le phénomène ne concerne qu'une poignée d'éléments, appelés « fissiles ». Ces éléments sont tous instables. Le seul à avoir subsisté à la surface de la terre est un isotope très minoritaire de l'uranium : l'uranium-235, dont la période est de 700 millions d'années. La fission se produit exceptionnellement de manière spontanée. Plus souvent, elle est provoquée par l'introduction d'un neutron dans un noyau fissile. Cette désintégration provoquée est en réalité une réaction nucléaire et de la radioactivité.

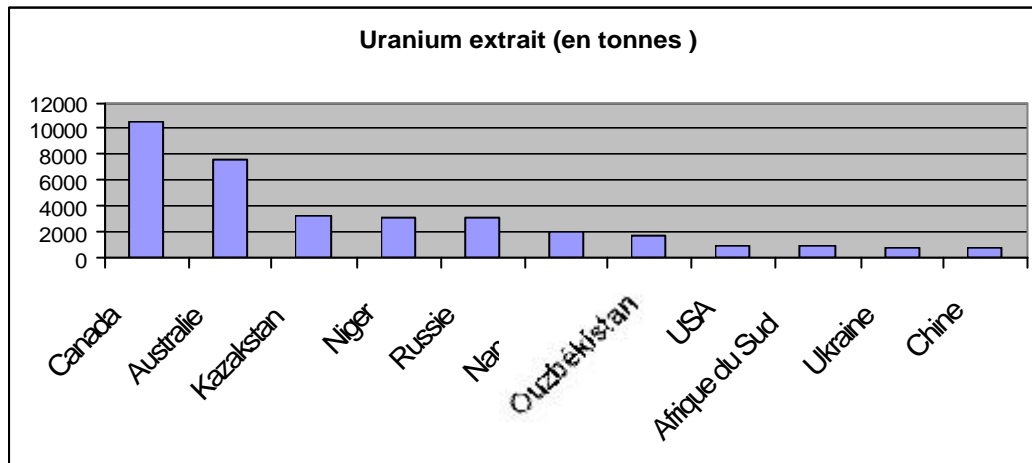
## Qu'est ce que la radioactivité ?

La radioactivité est un phénomène au cours duquel certains noyaux atomiques instables se désintègrent spontanément ou par réaction nucléaire pour former de nouveaux noyaux, plus légers et plus stables. Ce phénomène s'accompagne d'un dégagement d'énergie, sous forme de l'émission d'un ou plusieurs types de rayonnements, alpha, bêta ou gamma.

## L'uranium

Il y a des milliards d'années, l'uranium a commencé à former une partie de la croûte terrestre après avoir été rejeté d'une étoile qui avait explosé. L'uranium est l'atome le plus lourd présent naturellement sur Terre. Il est composé de 92 protons. L'uranium est présent partout dans le monde en particulier dans le granit et dans l'eau de mer.

Les grands pays producteurs en 2003 sont :



## Le nucléaire

### Qu'est ce donc ?

L'énergie nucléaire est l'énergie liant les constituants du noyau d'un atome. L'éclatement (fission nucléaire) de certains atomes lourds comme l'uranium (ou le plutonium) en atomes plus petits libère de la chaleur. Dans les centrales nucléaires, cette chaleur est utilisée pour produire de l'électricité. L'énergie solaire provient d'une telle réaction de fusion au cœur du soleil. Des recherches sont en cours pour produire de l'électricité à partir de ce processus.

### Un peu d'histoire

**1896** : Découverte de la radioactivité par Henri Becquerel.

**1903** : La théorie des réactions nucléaires est établie par Rutherford et Soddy.

**1934** : Irène et Frédéric Joliot-Curie découvrent la radioactivité artificielle.

**1938** : Otto Hahn et Fritz Strassman découvrent la fission du noyau de l'atome d'uranium par les neutrons.

**1939** : Hans Halban, Frédéric Joliot-Curie et Lew Kowarski montrent que la fission de l'uranium s'accompagne d'une émission de neutrons, d'où la réaction en chaîne.

**1942** : Enrico Fermi fait le premier réacteur nucléaire appelé pile atomique, il réalise la première réaction en chaîne de fission nucléaire contrôlée.

**1944** : les premiers réacteurs à grande puissance sont construits aux États-Unis.



**1953** : le Centre d'Étude et de Recherche Nucléaire est créé en Europe (CERN)

**1960** : Pour la première fois, on produit de l'électricité à partir de centrales nucléaires en France.

**1961: le nucléaire commence à beaucoup se développer en France à la suite du choc pétrolier.**

**1986** : la catastrophe de Tchernobyl

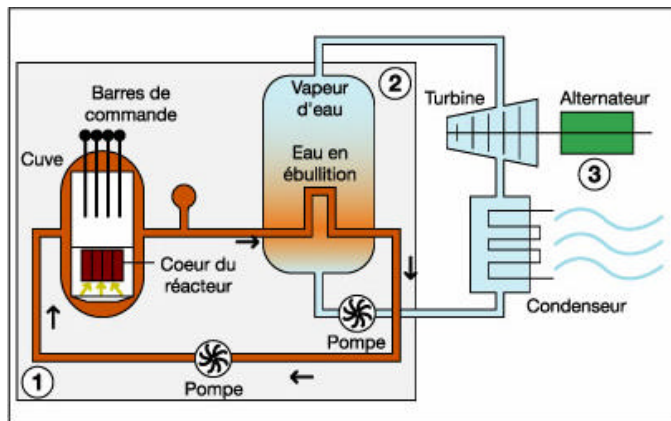
**Aujourd'hui** : représente 78% de la production d'électricité.

### Qu'est-ce que la réaction en chaîne ?

Sous l'impact d'un neutron, la fission d'un noyau d'uranium dégage de l'énergie et produit 2 ou 3 autres neutrons. Certains d'entre eux seront perdus ou absorbés dans la matière ; d'autres pourront rencontrer des noyaux d'uranium et causer à leur tour de nouvelles fissions. Des neutrons seront encore produits et ainsi de suite. Cette réaction en chaîne a lieu dans le cœur du réacteur. Elle y est entretenue et stabilisée grâce à un réglage fin du nombre de neutrons absorbés.

### Comment fonctionne une centrale nucléaire ?

Une réaction en chaîne est entretenue dans le cœur d'un réacteur nucléaire contenant de l'uranium. L'énergie dégagée par cette réaction est contrôlée en descendant ou en remontant dans le cœur du réacteur des barres de contrôle capables d'absorber les neutrons en excès.



La chaleur produite par la fission des atomes d'uranium dans le cœur du réacteur (1) chauffe l'eau de celui-ci qui est transformée en vapeur. Cette vapeur fait tourner la turbine (2) qui est couplée à l'alternateur produisant l'électricité (3). La vapeur est refroidie vers le condenseur (à partir de l'eau d'une rivière ou de la mer) qui assure la réfrigération de l'eau du circuit secondaire ou dans des tours de réfrigération atmosphérique.

### Avantages

- grande capacité de production
- **pas de rejet de CO2**
- faible volume de déchets (voir annexe)
- Peu d'aléas financiers
- réserves importantes

### Problèmes

- radioactivité des déchets
- contrôle et sécurité
- longue durée de vie de certains déchets
- prévention des accidents
- prolifération des armes nucléaires

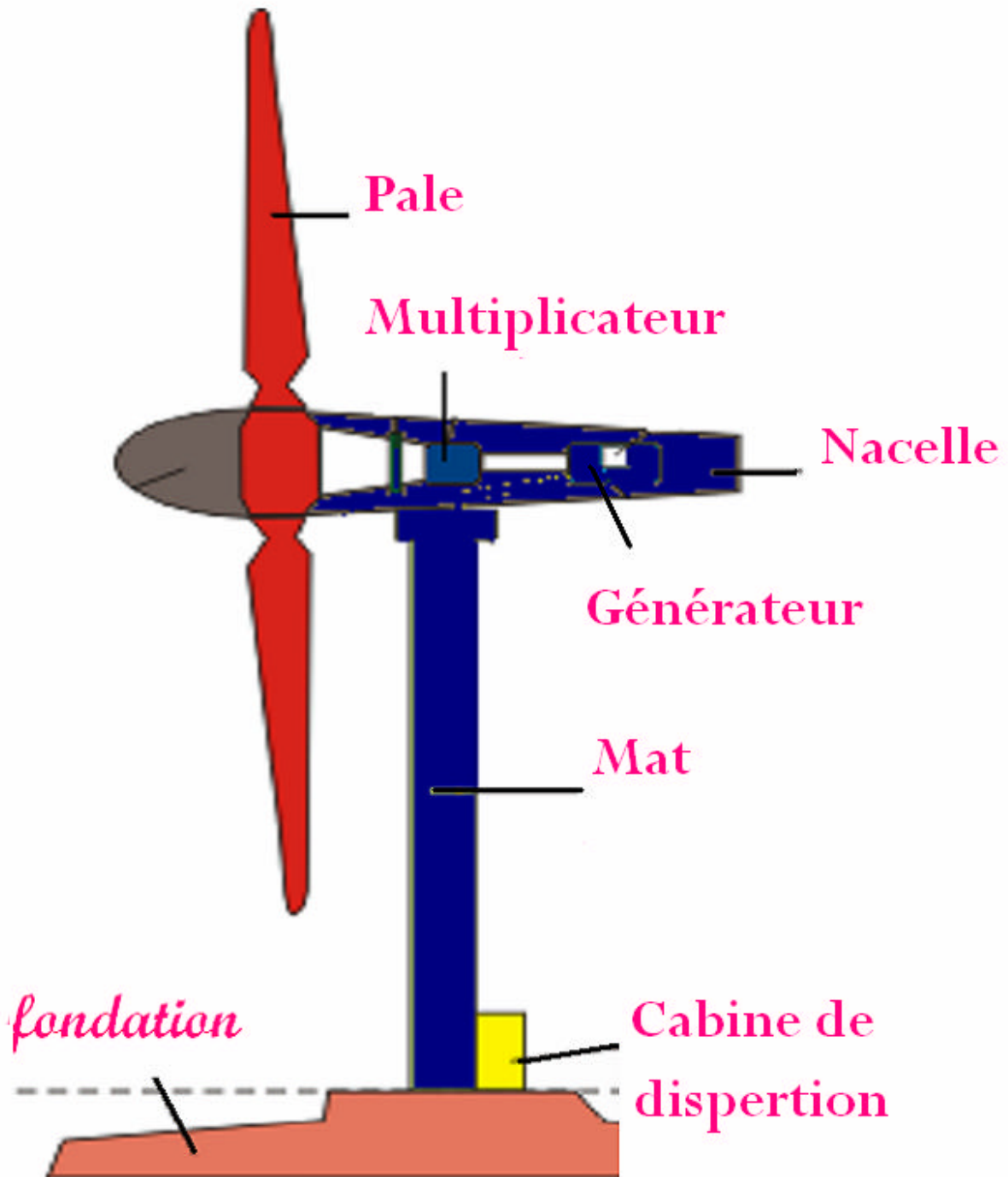
# Annexe 1

Pouvoir calorifique du bois en fonction de son type :

<b>T y p e</b>	<b>P o u v o i r c a l o r i f i q u e ( K j / K g )</b>
E p i c é a	17 161 - 19 160
<b>Aulne</b>	17 171 - 17 978
P e u p l i e r	17 288 - 19 400
H ê t r e	17 388 - 17 547
S a p i n	17 649 - 19 084
C h ê n e	17 700 - 19 000
C e r i s i e r	17 850
S a u l e	17 850 - 18 420
O r m e	18 500 - 19 000
M é l è s e	18 715
P i n	18 580 - 20 800
E r a b l e	18 600
B o u l e a u	18 700 - 18 866
M a r r o n n i e r	18 840
D o u g l a	19 180 - 19 700

## Annexe 2

Schéma d'une éolienne bipales :



# Annexe 3

## Paramètre de fonctionnement:

### 1 Energie cinétique

L'énergie fournie par le vent est une **énergie cinétique**, elle est en fonction de la masse et de la **vitesse du vent**

$$E_c = (1/2) \times m \times V^2$$

m: masse du volume d'air en kg

V: **vitesse instantanée du vent en m/s**

E<sub>c</sub>: **en joule**

### 2 Puissance disponible

La puissance théorique pour une 1 seconde du vent contenue dans un cylindre de **section** s est :

$$P = (1/2) \times r \times S \times V^3$$

r = **masse volumique** de l'air (environ 1,23 kg/m<sup>3</sup> à 15°C)

#### Formule de Betz

La puissance récupérable ou disponible est inférieure, puisque l'air doit conserver une **énergie cinétique** résiduelle pour qu'il subsiste un écoulement.

Ceci a pour conséquence que la puissance maximale est:  $P = k \times S \times V^3$

S: **section** (en m<sup>2</sup>) d'un vent soufflant

V: **vitesse** (en m/s)

K: **coefficient** (valant 0,37 pour une éolienne idéale).

### 3 Vitesse périphérique (ou vitesse en bout de pale)

$$U = w \times R = r \times 2\pi \times (n / 60)$$

U: **vitesse périphérique** w : **la vitesse de rotation de la machine éolienne**

R : le rayon d'extrémité de la pale

r : **distance du point considéré à l'axe de rotation**

n : **fréquence de rotation en tr/min**

### 4 Vitesse spécifique (paramètre de rapidité)

La **vitesse spécifique** noté **I** est le rapport de la vitesse U à la vitesse V du vent:

$$I = U / V = (w \times R) / V$$

V : **vitesse du vent**

U: **vitesse périphérique**

**I : la vitesse spécifique**

w : **la vitesse de rotation de la machine éolienne**

R : le rayon d'extrémité de la pale

Si **I** est inférieur à 3, l'éolienne est dite *lente*, au-delà, l'éolienne est dite *rapide*.

Par exemple, des éoliennes bipales peuvent avoir un paramètre **I** égal à 20.

Cependant, une grande vitesse de rotation peut entraîner des nuisances sonores.

### 5. Coefficient de puissance

Il est noté **C<sub>p</sub>**. Il est défini par le rapport de la puissance **P<sub>m</sub>** recueillie sur l'arbre moteur du capteur à la puissance cinétique qui passerait dans le disque du rotor en son absence.

$$C_p = P_m / (0.5 \times r \times S \times V^3)$$

V: vitesse instantanée du vent en m/s

S: section (en m<sup>2</sup>) d'un vent soufflant

r : distance du point considéré à l'axe de rotation

**P<sub>m</sub>** : rapport de la puissance

**C<sub>p</sub>**: coefficient de puissance

(La valeur maximale du **C<sub>p</sub>** définie par Betz, est égale à 0.592.)

## 6 Coefficient du couple

C'est le rapport du couple moteur **C<sub>m</sub>** qui s'exerce sur l'arbre de sortie du capteur éolien ( $C_m = P_m / w$ ) au couple aérodynamique **C<sub>a</sub>**.

$$C_c = C_m / C_a = C_p / l$$

**C<sub>c</sub>**: coefficient du couple **C<sub>p</sub>**: coefficient de puissance **l** : la vitesse spécifique

Les paramètres **C<sub>p</sub>** et **C<sub>c</sub>** caractérisent les performances du capteur et sont habituellement représentés en fonction de **l**.

# Annexe 4

## Les moulins hollandais



Bien que de conception ancienne; ils se caractérisent par un assez bon coefficient de puissance de la machine.

## Les éoliennes rapides



Le disque éolien peut être placé en amont (hélice au vent) ou en aval (hélice sous le vent) du support. La tendance actuelle est de situer le rotor en position aval. Elles sont bi ou tripales.

## Les moulins américains



Construits aux Etats-Unis dès 1870, les éoliennes multiples peuvent comporter de 12 à 30 pales.



## Annexe 5

### Rotor ou panémone de Darrieus



Le principe du rotor ou panémone de Darrieus inventé par l'académicien français Darrieus au cours des années 1920-1935 repose sur l'effet de portance d'un profil soumis à l'action d'un vent relatif.

### Rotor de Savonius

Le rotor Savonius est un moulin à vent à axe vertical consistant en 2 sections semi-circulaires cylindriques. Ce type de machine ne nécessite pas de dispositif d'orientation par rapport au vent, ce qui simplifie considérablement la construction. Mais ne sert qu'à pomper en raison de sa faible fréquence de rotation.

# Annexe 6

## Les offshores



Il y aussi les éoliennes en pleine mer (*offshore*).

Energétiquement une éolienne offshore fournit bien plus qu' une éolienne onshores (sur terre).Elles vont jusqu'a 5MW alors que les onshores sont limitées à 3MW dans des sites bien ventés.

# Annexe 7

## énergie hydraulique

<http://fr.wikipedia.org>  
<http://perso.wanadoo.fr/college.mendes.france/telech/nrjhydrau.pdf>  
<http://www.ac-nice.fr/sti/electrotec/0generalit%E9/turbine.html>  
<http://www.brest-ouvert.net>  
<http://www.upem.org>  
<http://energie-france.iffance.com>  
<http://www.enseeiht.fr>  
<http://www.scienceaction.asso.fr> avec ses liens

## énergie géothermique

<http://fr.wikipedia.org>  
<http://www.futura-sciences.com>  
<http://www.crdp.ac-caen.fr>  
<http://www.brgm.fr/Fichiers/Georama/georama12.pdf>  
cassette prêtée par Mr Hueber « L'énergie du futur au cœur de la vallée du Rhin »

## énergie solaire

<http://fr.wikipedia.org>  
<http://www.cg66.fr/environnement/solaire/thermique/>  
<http://www.waechter-energies.com>  
[http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0.55a304092d09/N\\_3\\_Sept\\_2\\_5\\_M\\_thane\\_/nergie/C\\_nergies\\_renouvelables\\_4t4.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0.55a304092d09/N_3_Sept_2_5_M_thane_/nergie/C_nergies_renouvelables_4t4.html)  
<http://www.hespul.org>  
<http://www.cea.fr>  
<http://perso.wanadoo.fr/f5zv/RADIO/RM/RM27/RM27c01.html>  
<http://perso.wanadoo.fr/f5zv/SOLAIRE/SM2/SM2.html> avec ses liens  
<http://www.amperel.fr/fr/page10.xml>  
<http://www.inti.be/ecotopie/solvolt.html>  
[http://www.lamap.fr/print.php?Page\\_Id=10&Action=2&Element\\_Id=385&DomainScienceType\\_Id=7&Referrer\\_Id=380](http://www.lamap.fr/print.php?Page_Id=10&Action=2&Element_Id=385&DomainScienceType_Id=7&Referrer_Id=380)

## énergie éolienne, énergie de la biomasse ainsi que les énergies fossiles. Ces différents sites parlent des différentes énergies

<http://www.eole.org/>  
[http://www.canren.gc.ca/tech\\_appl/index\\_f.asp?Cald=5&Pgld=435](http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index_f.asp?Cald=5&Pgld=435)  
[http://www.canren.gc.ca/tech\\_appl/index\\_f.asp?Cald=5&Pgld=435](http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index_f.asp?Cald=5&Pgld=435)  
[http://www.canren.gc.ca/tech\\_appl/index\\_f.asp?Cald=5&Pgld=435](http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index_f.asp?Cald=5&Pgld=435)  
<http://www.fnh.org/naturoscope/Energie/Eolienne/Eole1.htm>  
<http://www.planete-energies.com/contenu/energie.html>  
<http://users.swing.be/compagnons-eole/eolienne/articles/art51.htm>  
<http://www.techno-science.net/?onglet=categories&cat=8>  
[http://fr.ekopedia.org/%C3%89nergie\\_%C3%A9olienne#Histoire](http://fr.ekopedia.org/%C3%89nergie_%C3%A9olienne#Histoire)  
<http://www.notre-planete.info/environnement/energies.php>  
[http://w3.ensieg.inpg.fr/projets\\_co04/Eoliennes/caracteristiques.html](http://w3.ensieg.inpg.fr/projets_co04/Eoliennes/caracteristiques.html)  
<http://www.etab.ac-caen.fr/lyc-jmonnet/Atelier%20Scientif/tpe/l/l%20presentation%20des%20differentes%20eoliennes.htm>  
<http://energiesrenouvelables.chez-alice.fr/eolien.htm>  
[http://www.siif-energies.fr/groupe/activites\\_realisations\\_iframe.htm#eolien](http://www.siif-energies.fr/groupe/activites_realisations_iframe.htm#eolien)  
<http://www.sfen.org/fr/energie/eolienne.pdf>  
<http://www-drfc.cea.fr/energies/energie02.htm>

<http://www.dossiersdunet.com/article348.html>

<http://www.manicore.com/documentation/renouvelables.html>

[http://www.ciede.org.ma/siedcc/siedcc/InfosTechniques/ENR\\_eolien.htm](http://www.ciede.org.ma/siedcc/siedcc/InfosTechniques/ENR_eolien.htm)

<http://www.fee.asso.fr/>

<http://users.swing.be/compagnons-eole/eolienne/imag.htm>

<http://generationsfutures.chez-alice.fr/energie/eolien.htm>

<http://www.windpower.org/fr/tour/design/horver.htm>

<http://www.biomasse-normandie.org/biomasse.php3#>

[http://www.futura-sciences.com/comprendre/g/definition-biocombustible\\_2521.php](http://www.futura-sciences.com/comprendre/g/definition-biocombustible_2521.php)

[http://www.futura-sciences.com/news-biomasse-electricite-verte-reduire-nos-dependances-energetiques\\_7869.php](http://www.futura-sciences.com/news-biomasse-electricite-verte-reduire-nos-dependances-energetiques_7869.php)

<http://www.balma.org/biomasse.html>

[http://www.photeus.info/spip/rubrique.php3?id\\_rubrique=11](http://www.photeus.info/spip/rubrique.php3?id_rubrique=11)

<http://energiesnouvelles.free.fr/Sources/renouvelables/biomasse.html>

<http://membres.lycos.fr/amazonyy/Biomasse.htm>

<http://www.poweron.ch/fr/stromprod/content---1--1078.html>

<http://www.site-en-bois.net/fr/dec/energie-4.phtml>

<http://www.crdp.ac-caen.fr/energies/Biomasse.htm>

<http://www.edf.fr/54865i/Accueilfr/RechercheetDeveloppement/Pourlaqualitedevie/Commentcamarche/Labiomasse/Lavaleurajoutee.html>

<http://www.arittcentre.fr/article510.html>

<http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/pdf/historique-enr02.pdf>

<http://energiesnouvelles.free.fr/>

[http://energiesnouvelles.free.fr/Sources/fossile\\_fissile/nucleaire.html](http://energiesnouvelles.free.fr/Sources/fossile_fissile/nucleaire.html)

<http://thiers.stephane.free.fr/energieB1.htm>

[http://fr.encarta.msn.com/media\\_461547681\\_761558734\\_-1\\_1/Formation\\_du\\_charbon.html](http://fr.encarta.msn.com/media_461547681_761558734_-1_1/Formation_du_charbon.html)

[http://www.charbonnagesdefrance.fr/dArticle.php?id\\_article=62&id\\_rubrique=150](http://www.charbonnagesdefrance.fr/dArticle.php?id_article=62&id_rubrique=150)