

II.1. Introduction

La consommation de l'énergie mondiale et dans notre pays ne cesse d'augmenter. La grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, ...etc.) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement. Cette menace c'est manifesté principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

Ainsi l'augmentation brutale du prix du pétrole survenu en 1973 a conduit une première fois l'homme à s'intéresser à d'autres sources d'énergies inépuisables dites : ENERGIES RENOUVELABLES

Dans le terme énergie renouvelable, le mot renouvelable signifie que les sources captées pour créer de l'énergie se renouvellent et se reconstituent constamment et en un temps raisonnablement court (c.-à-d. des mois ou des années et non des siècles). Ces sources d'énergies sont l'eau, le vent, le soleil, la biomasse et la chaleur de l'intérieur de la planète (Géothermie).

II.2. Les formes d'énergies renouvelables

II.2.1 L'énergie solaire :

Le soleil est une source abondante et écologique d'énergie renouvelable. Aujourd'hui, nous captions l'énergie solaire pour chauffer les maisons et l'eau, et pour produire de l'électricité au moyen de trois différentes méthodes et technologies : l'énergie solaire passive, l'énergie solaire active et l'énergie photovoltaïque.

II.2.1.1 Le soleil :

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 Km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.10^{27} Tonnes .Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermo-nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.10^6 Tonnes d'hydrogène en 560.10^6 Tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie, La terre étant à une distance de 150.10^6 Km du Soleil, elle reçoit une énergie de $1,8.10^{17}$ W.

La valeur du flux de rayonnement solaire E reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne C_0 est appelée la constante solaire, donc $C_0 = 1353W/m^2$.

En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par [8]:

$$E = C_0 \cdot [1 + 0,033 \cos(0,984j)] \quad (\text{II.1})$$

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau II.1

| | |
|---|-----------------------|
| Diameter (km) | $1.392 \cdot 10^6$ |
| Masse (kg) | $1.989 \cdot 10^{30}$ |
| Surface (km ²) | $6.09 \cdot 10^{12}$ |
| Volume (km ³) | $1.41 \cdot 10^{18}$ |
| Masse volumique (kg/m ³) | $1.41 \cdot 10^{12}$ |
| Distance du centre de la voie lactée (km) | $2.5 \cdot 10^{17}$ |

Tableau II.1 : Caractéristiques principales du soleil.

On notera que 98% du rayonnement solaire est émis dans des longueurs d'onde inférieures à 4 μm . En première approximation, le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777 K [9].

II.2.1.2 Structure du soleil :

Il est composé des éléments suivants :

Le **noyau** contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée 90% de son énergie sous forme de rayons gamma et X, tout le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches supérieures, cette zone s'étend sur une épaisseur de $25 \cdot 10^4 \text{ km}$, Elle présente les caractéristiques suivantes [10]:

- ✓ Une température de $15 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{C}$.
- ✓ Une densité est de 10^5 kg/m^3 .
- ✓ Une pression de $2 \cdot 10^{11}$ bars.

La **photosphère** est une couche opaque, les gaz qui la constituent sont fortement ionisés et capables d'absorber et d'émettre un spectre continu de radiations, elle émet 99% du rayonnement total principalement dans le visible et c'est elle que l'œil humain perçoit. Elle présente les caractéristiques suivantes [11] :

- ✓ La température de surface décroît de $6400 \text{ }^\circ\text{C}$ à $4500 \text{ }^\circ\text{C}$.
- ✓ Une épaisseur de 500km.

- ✓ Une pression de 1/100atm.

La chromosphère est l'atmosphère du soleil. Elle a une épaisseur d'environ 8 000 km et une température de 20 000 K environ. Le spectre de la chromosphère, analysé par Joseph von Fraunhofer en 1868, la chromosphère est le siège de protubérances, jets de gaz pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers de km [12].

La couronne est le prolongement de la photosphère, elle est formée de gaz peu denses et ionisés Invisible depuis la Terre, car son éclat se confond avec celui du ciel bleu, elle ne peut être observée que pendant une éclipse solaire. Sa température est très élevée puisqu'elle dépasse le million de degrés. Il semble que l'énergie fournie pour atteindre une telle température soit d'origine [12], elle est la dernière couche du soleil, ses caractéristiques sont [13] :

- ✓ Elle est sans limite précise.
- ✓ La température augmente de 10^6 °C à 2.10^6 °C.

L'orbite de la Terre autour du Soleil définit un plan que l'on appelle plan de l'écliptique car les éclipses de soleil ne peuvent se produire que si la Lune s'y trouve. La trajectoire de la Terre dans ce plan est une ellipse de faible excentricité. Lorsque la Terre est au plus près du soleil (vers le 15 janvier), on parle de périhélie. La distance Terre-Soleil est dans ce cas de 147 100 000 km. Quand la Terre est le plus éloignée du Soleil (vers la fin juin), on parle d'aphélie. La distance Terre-Soleil est alors de 152 100 000 km.

La figure II.1 montre la structure du soleil

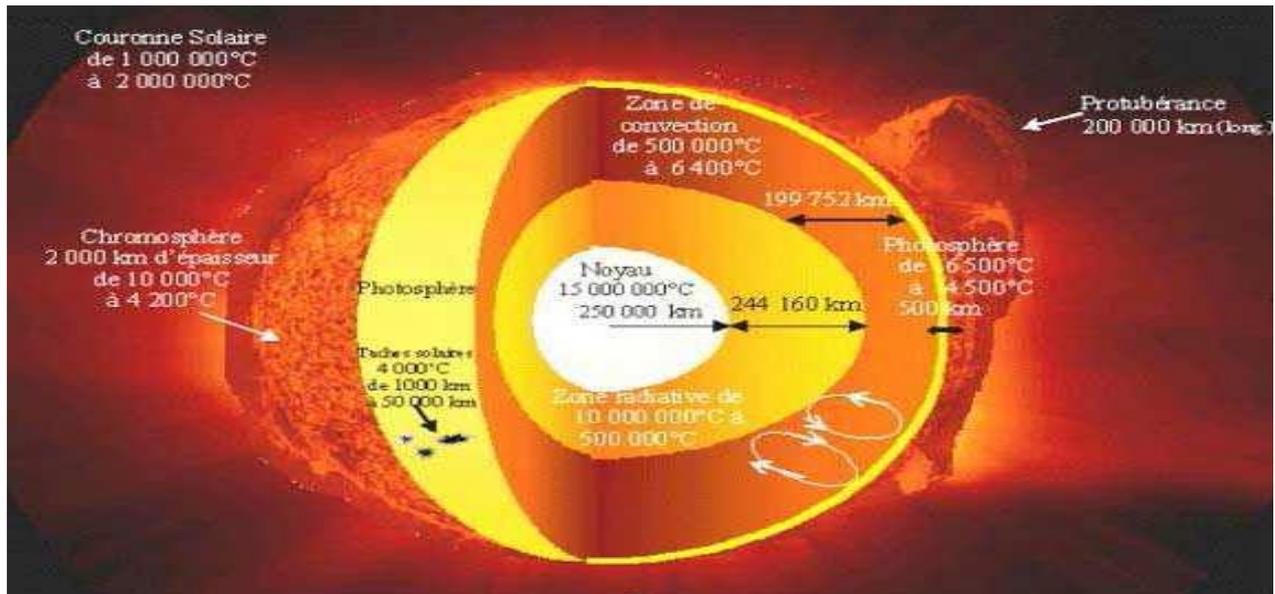


Figure II.1 : Structure du soleil.

II.2.1.3 Origine du soleil :

Pendant les cinquante premiers millions d'années de son existence, le soleil s'est contracté jusqu'à atteindre approximativement sa taille actuelle. L'énergie gravitationnelle libérée par ce mouvement a chauffé l'intérieur de l'astre et, lorsque le noyau s'est révélé suffisamment chaud, la contraction a cessé pour laisser place à la réaction de fusion thermonucléaire.

La durée de vie du soleil dépend de la quantité d'hydrogène qui reste à consommer, on estime qu'il existe depuis environ 4.5 milliards d'années, et subsistera, tel qu'il est, pendant au moins encore 5 milliards d'années.

Lorsque le soleil aura épuisé ses réserves d'hydrogène, il changera de structure. Sa surface externe s'étendra au-delà de l'orbite actuelle de la terre ou il se transformera en une géante rouge, légèrement plus froide en surface qu'actuellement, mais 10 000 fois plus brillante en raison de sa taille gigantesque.

Le soleil demeurera une géante rouge, brûlant l'hélium dans son noyau, pendant un demi-milliard d'années seulement, après ce stade, le noyau résiduel du soleil s'effondrera pour former une étoile naine blanche petite de la taille de la terre environ, il se refroidira alors lentement pendant plusieurs milliards d'années [11].

La figure II.2 donne le cycle de vie du soleil.

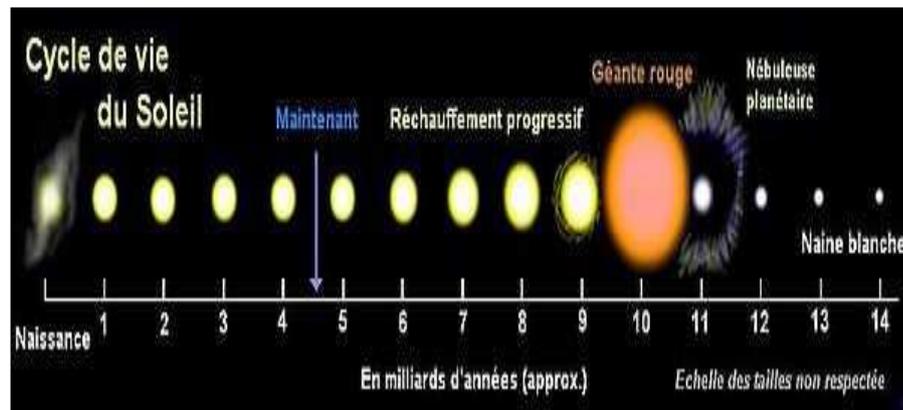


Figure II.2 : Cycle de vie du soleil.

II.2.1.4 Caractères particuliers :

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, elle présente les propriétés suivantes [14]:

- ✓ Elle est universelle, sa densité de puissance maximale est de 1 kW/m^2 à midi par ciel bleu sur toute la planète.
- ✓ La densité de puissance maximale reçue au niveau du sol (1 kW/m^2) est peu dense on parle alors d'énergie diffuse.
- ✓ Elle est abondante, notre planète reçoit plus de 104 fois l'énergie que l'humanité consomme.
- ✓ Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit, des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement.
- ✓ L'énergie reçue par une surface donnée n'est pas récupérable en totalité ceci est dû aux pertes d'énergie sous formes conductrice, convective ou rayonnante.
- ✓ Elle est propre

II.2.1.5 La constante solaire :

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire [15], Le terme "constante" suggère qu'elle varie peut dans le temps et l'espace, ceci n'est pas totalement faux ; les mesures effectuées par la NASA à bord de satellite ; l'ont confirmées et en donne une valeur moyenne $C_0 = 1353 \text{ w/m}^2$ [16].

II.2.1.6 Aspects géométriques :

Nous allons nous intéresser ici aux aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la Terre dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la Terre et orienté dans une direction fixée. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire [15].

II.2.1.7 Mouvement du Globe terrestre :

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (21 juin) qu'elle en est la plus éloignée.

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $\delta = 23^\circ 27'$ avec la normale au plan de l'écliptique [15].

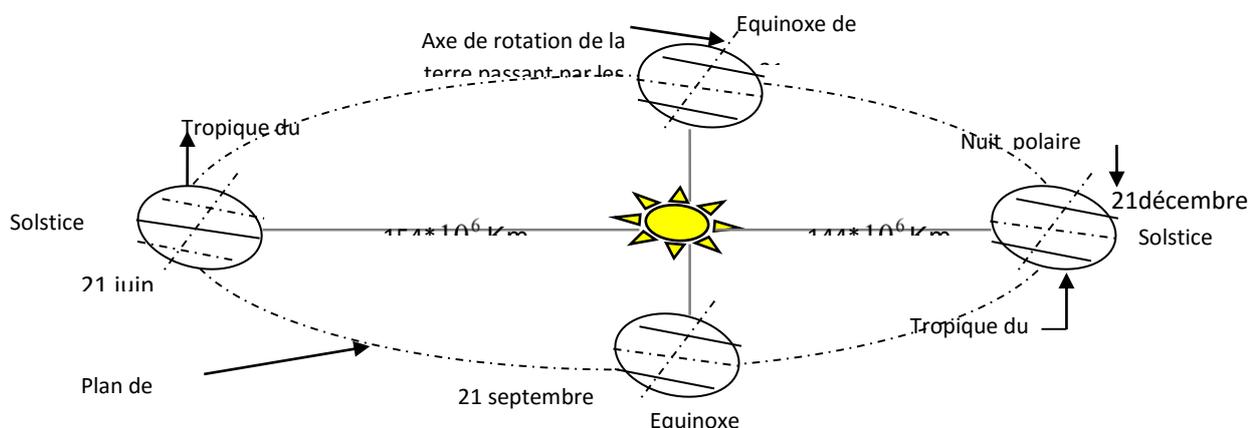


Figure II.3 : Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil.

II.2.1.8 Énergie solaire passive :

Le terme « passif » renvoie aux techniques utilisées pour capter l'énergie. Ces techniques misent sur la conception des immeubles et le type de matériaux utilisés pour les construire. La conception solaire passive ne date pas d'hier. Il y a cent ans, des familles peindraient des réservoirs noirs et les plaçaient au soleil pour chauffer leur eau. Les surfaces noires absorbaient la chaleur qui était transférée du métal des réservoirs à l'eau. Cette méthode est toujours utilisée dans les pays chauds.

Aujourd'hui, la conception solaire passive utilise les éléments fondamentaux d'un immeuble, les murs, la toiture et les fenêtres, pour contrôler la quantité d'énergie solaire absorbée ou perdue.

II.2.1.9 Énergie solaire active :

Le système d'énergie solaire active utilise des capteurs solaires pour capter l'énergie du soleil et produire de l'électricité afin d'alimenter des pompes et des ventilateurs qui distribuent de l'eau et de l'air chaud.

Les technologies les plus répandues utilisent de l'air et de l'eau pour chauffer des maisons, des bureaux, des usines et des immeubles d'habitations.

A. Chauffe-eau solaire

C'est une méthode de chauffage de l'eau utilisant des capteurs vitrés ou non vitrés. Le capteur comprend une surface absorbante noire qui absorbe le rayonnement solaire.

L'énergie solaire réchauffe un fluide caloporteur qui circule dans les tubes, sous le capteur.

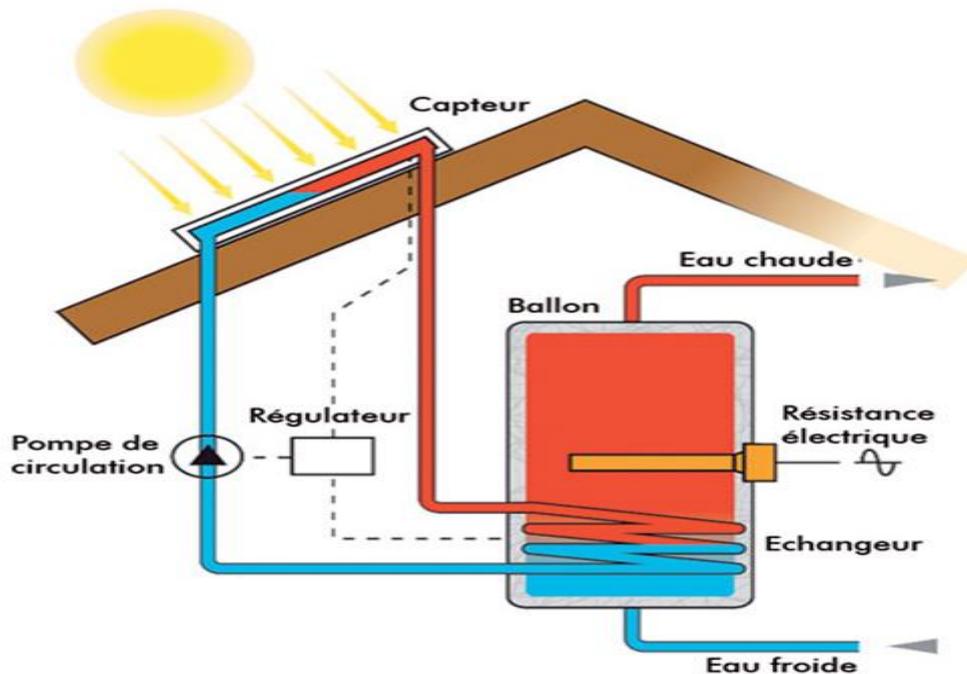


Figure II- 4- Chauffe-eau solaire.

Dans les capteurs vitrés, l'absorbeur et les tubes sont placés entre un vitrage (verre) et un panneau isolé. Ce type de capteur est utilisé pour chauffer de l'eau lorsqu'on veut obtenir une température de 30 à 70 °C. Par contre, les capteurs non vitrés ne sont pas isolés et servent à chauffer l'eau des piscines, lorsque la température de l'eau doit être inférieure à 30 °C.

B. Centrales électriques solaires

Elles se composent de plusieurs systèmes qui concentrent en un seul endroit le rayonnement solaire. Ces systèmes comprennent les centrales à tour, les systèmes à réflecteurs cylindro-paraboliques et les systèmes à réflecteurs paraboliques.

C. Centrale à tour :

Une centrale à tour utilise un certain nombre de grands miroirs plats qui suivent le mouvement du soleil et qui concentrent la lumière sur un grand absorbeur situé au sommet d'une tour. Le système pompe un fluide, soit une huile synthétique à haute température ou du sel fondu, dans l'absorbeur où il est chauffé jusqu'à 550 °C et ensuite utilisé pour produire de l'électricité.

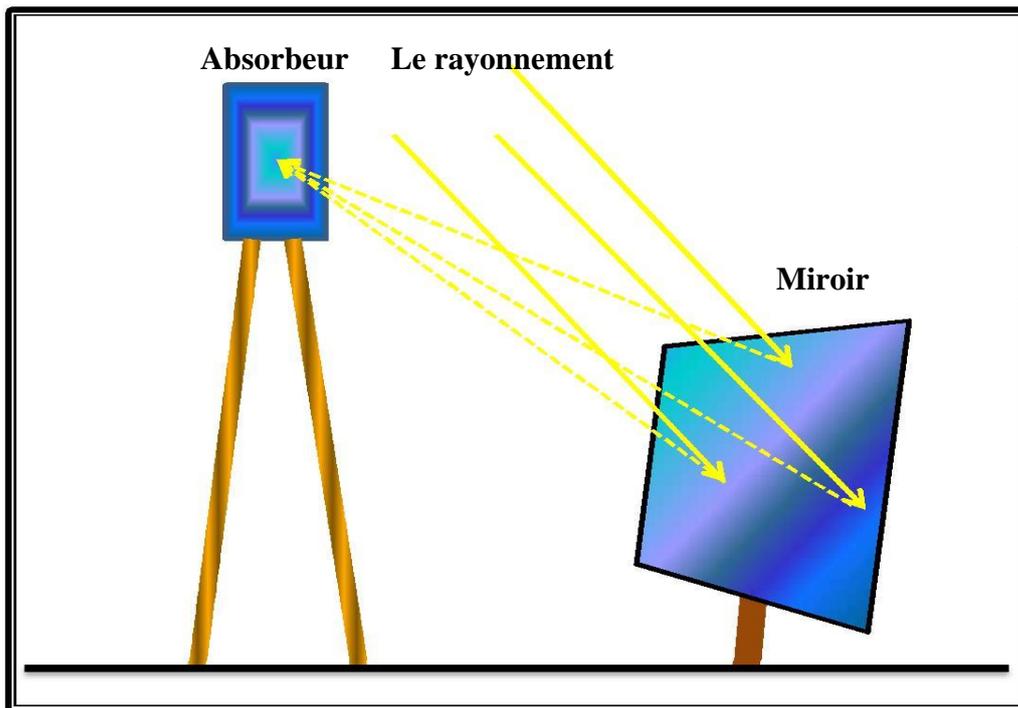


Figure II-5 - Centrale à tour.

D. Système à réflecteur cylindro-parabolique :

Comme son nom l'indique, ce système utilise une série de longs réflecteurs cylindriques en forme de parabole. La parabole concentre la lumière sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400 °C et peuvent produire de la vapeur afin de produire de l'électricité.

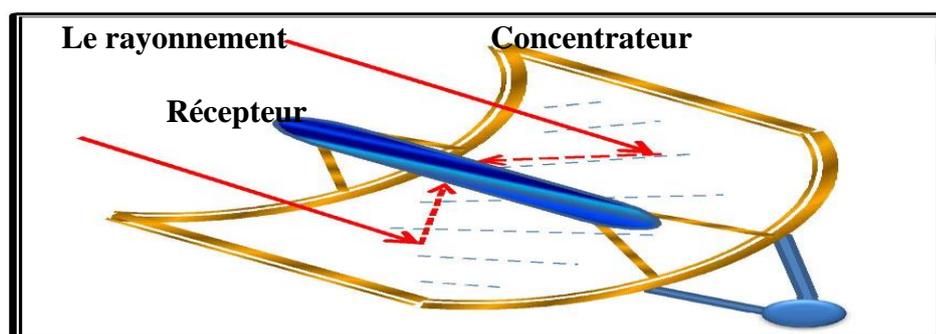


Figure II-6 - Système à réflecteur cylindro-parabolique

E. Système à réflecteur parabolique

Un système à réflecteur parabolique utilise des miroirs paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur situé au foyer du récepteur. Le récepteur contient un fluide qui, lorsque les rayons du soleil le frappent, atteint une température de 750 à 1 000 °C. Ce fluide très chaud est ensuite utilisé pour produire de l'électricité dans un petit moteur fixé

au récepteur, dans ce système le réflecteur parabolique peut aussi suivre les mouvements du soleil.

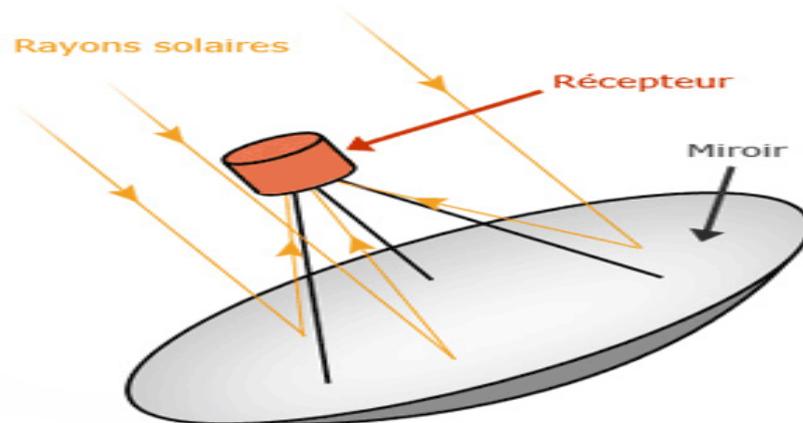


Figure II- 7 - Système à réflecteur parabolique

II.2.2 L'énergie éolienne

Le vent est une source intermittente d'énergie puisqu'il ne souffle pas toujours à la vitesse requise pour produire de l'électricité.

C'est un principe vieux comme les moulins à vent, le vent fait tourner les pales qui sont elles-mêmes couplées à un rotor et à une génératrice, elle fonctionne comme suit :

- Le vent traverse les pales de rotor, les faisant tourner.
- L'arbre du rotor peut être fixé à un multiplicateur, qui peut accroître la vitesse, ou encore il peut être fixé directement dans la génératrice et produire de l'électricité.
- Plus le vent souffle fort, plus on peut capter de l'énergie et plus on peut produire de l'électricité. Si le vent est trop fort, l'éolienne s'arrêtera en se détournant du vent et en appliquant un mécanisme de frein qui empêche les pales de tourner trop rapidement et de s'endommager.

Il existe deux modèles de base d'éoliennes : le modèle à axe horizontal et le modèle à axe vertical. [17]

II.2.2.1 Éolienne à axe horizontal

L'éolienne à axe horizontal ressemble davantage à un moulin à vent avec ses deux ou, plus souvent, trois pales de rotor fixées comme une hélice sur le devant et au sommet de la tour. Sur certaines éoliennes de ce type, les pales de rotor peuvent être posées à plat et basculer vers l'avant et vers l'arrière (ou « s'incliner ») pour capter le vent. On les appelle éoliennes à pas variable.

Le multiplicateur, le frein et la génératrice sont logés dans un coffre, ou une nacelle,

derrière les pales de rotor, au sommet de la tour. [17]

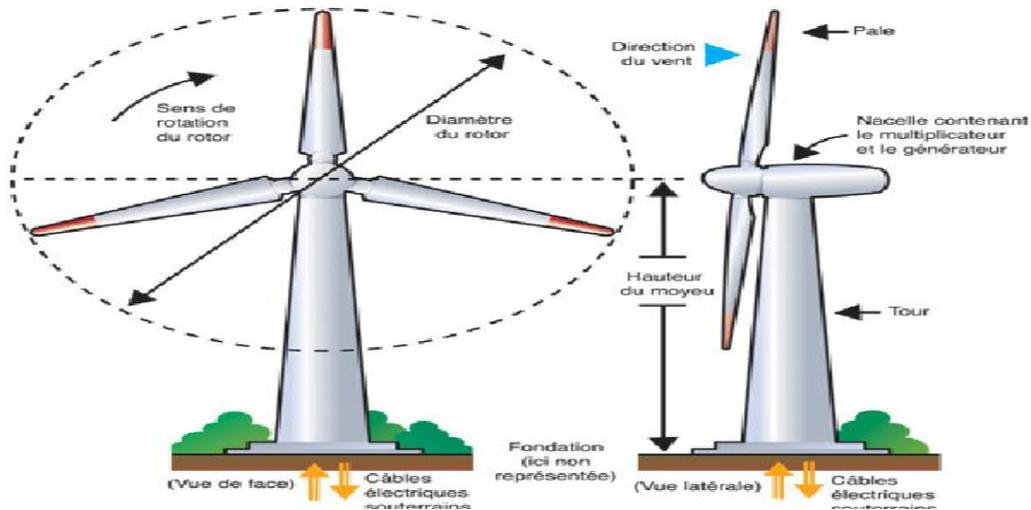


Figure II- 8- Éolienne à axe horizontal

II.2.2.2 Éolienne à axe vertical

L'éolienne à axe vertical ressemble à un batteur à œufs. Les pales de rotor sont fixées au sommet et près du bas de la tour, et sont bombées au centre. Le multiplicateur et la génératrice sont logés dans une structure de protection, à la base de la tour.

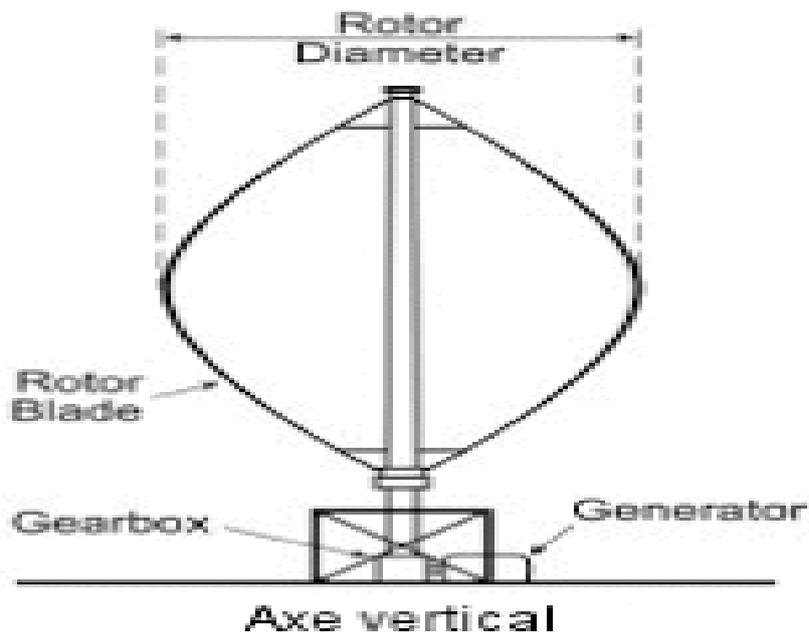


Figure II- 9- Éolienne à axe vertical

II.2.3 Énergie hydraulique :

Les centrales hydroélectriques convertissent le potentiel d'énergie de l'eau en énergie électrique en créant une chute du dénivelé de l'eau.

Certaines centrales hydroélectriques tirent parti d'une chute naturelle du dénivelé d'une rivière.

De nombreuses centrales hydroélectriques utilisent toutefois des barrages pour faire monter les niveaux d'eau en amont de la centrale et utilisent la baisse des niveaux pour produire davantage d'électricité ou pour stocker de l'eau et la libérer.

- L'eau de la rivière ou du réservoir derrière le barrage passe par une ouverture, habituellement une prise d'eau, et ensuite dans un tuyau appelé conduite forcée.
- L'eau traverse la conduite forcée sous pression jusqu'à son extrémité, où se trouve une turbine.
- La force de l'eau fait tourner les aubes de la turbine, qui font tourner l'arbre à l'intérieur.
- L'arbre de la turbine est relié à un alternateur, qui produit de l'électricité.

Une fois passée la turbine, l'eau circule dans un conduit, appelé aspirateur, sort de la centrale par un canal, appelé canal de fuite, et retourne à la rivière.

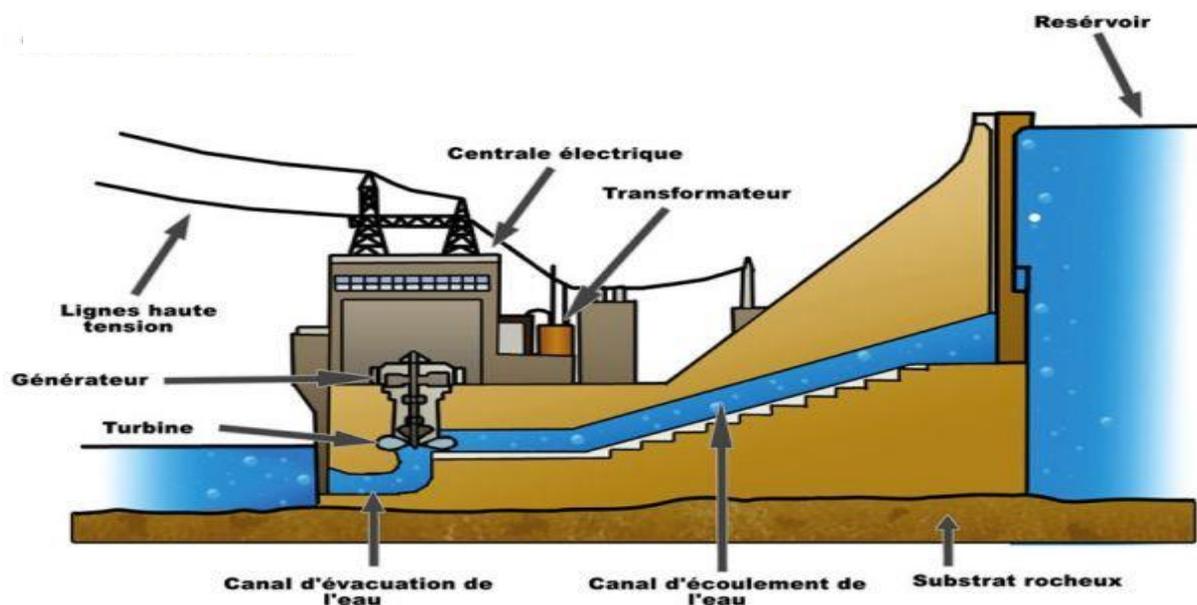


Figure II- 10- Schémas d'une centrale hydraulique.

II.2.4 La biomasse :

La « biomasse » est un terme général qui fait référence aux matières organiques et qui englobe les plantes, les arbres.

Il y a plusieurs façons de transformer la biomasse en chaleur et en électricité, dont la combustion directe, la digestion anaérobie, la pyrolyse et la gazéification.

A. Combustion directe :

La façon la plus simple de produire de l'énergie à partir de la biomasse est de la brûler. C'est ce qu'on appelle la combustion directe. Toute matière organique qui est suffisamment sèche peut-être brûlée. La chaleur est utilisée pour faire chauffer de l'eau et produire de la vapeur, qui fait tourner une turbine fixée à une génératrice pour produire de l'électricité. Dans certains cas, la chaleur produite sert aussi à chauffer des édifices et de l'eau.

B. Digestion anaérobie :

La digestion anaérobie est un processus qui décompose la matière organique, telle que la partie organique des déchets municipaux, dans un réservoir, un conteneur ou un bassin totalement privé d'oxygène. Les déchets comportent des microorganismes qui, lorsqu'ils digèrent la biomasse, comme le fumier, les déchets organiques ou les résidus des lieux d'enfouissement, produisent un gaz combustible. Ce gaz est composé principalement de méthane et de dioxyde de carbone, et est appelé biogaz. Ce biogaz, qui est un combustible raisonnablement peu polluant, peut être utilisé dans une centrale électrique.

C. La pyrolyse :

La pyrolyse fait référence au processus thermo-chimique utilisé pour convertir la biomasse solide en combustible liquide. Au cours du processus, la biomasse est chauffée dans un réservoir privé d'oxygène, afin de produire un gaz riche en hydrocarbures, qui est ensuite rapidement refroidi en un liquide qui ressemble à de l'huile et en un résidu solide, ou produit de carbonisation, habituellement appelé charbon et utilisé pour le brûlage. La pyrolyse a l'avantage de produire des combustibles liquides renouvelables, qui peuvent être entreposés, transportés et brûlés plus facilement que les déchets ligneux solides.

D. La gazéification :

La gazéification est une forme de pyrolyse. Elle requiert davantage d'air que la pyrolyse lorsque la biomasse est chauffée. Le gaz qui en résulte, appelé gaz de gazogène, est un mélange de monoxyde de carbone, d'hydrogène et de méthane, ainsi que de dioxyde de carbone et d'azote. Ce gaz est brûlé pour produire de la vapeur ou utilisé dans des turbines à gaz pour produire de l'électricité.

II.2.5 La géothermie :

La géothermie consiste à capter la chaleur contenue dans la croûte terrestre pour produire du chauffage ou de l'électricité. C'est une application suivant la profondeur, à chaque fois que l'on descend de 100 m sous terre, on gagne 2 à 3 °C en moyenne.

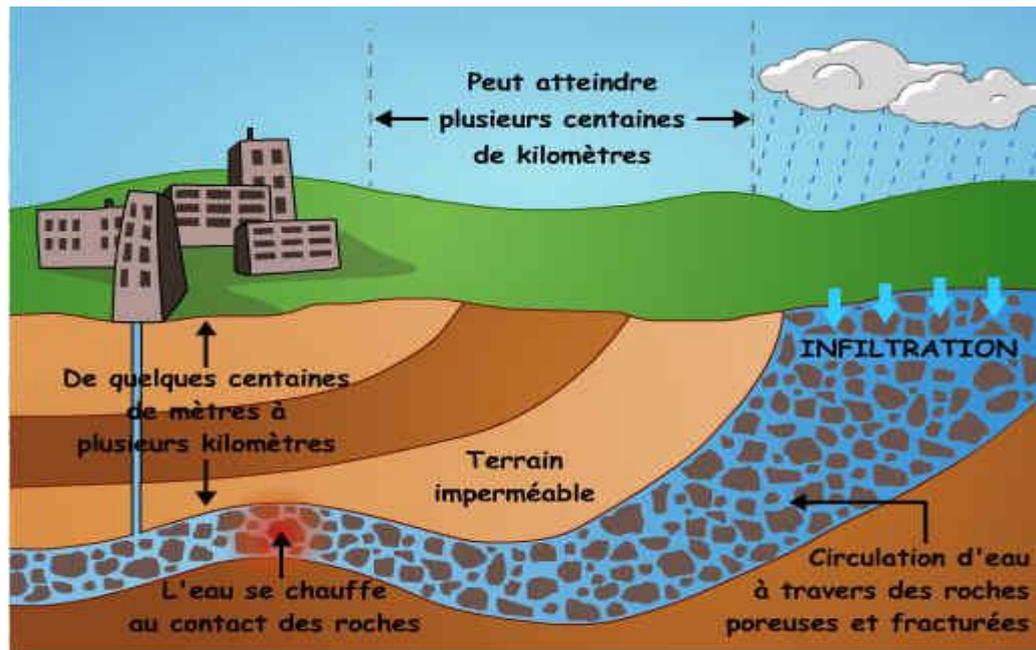


Figure II- 11- Principe de la géothermie

On caractérise 3 types d'énergie :

1. La géothermie à haute énergie.
2. La géothermie à basse énergie.
3. La géothermie à très basse énergie.

II.2.5.1 La géothermie à haute énergie :

La température élevée du gisement (entre 80°C et 300°C) permettant la production d'électricité

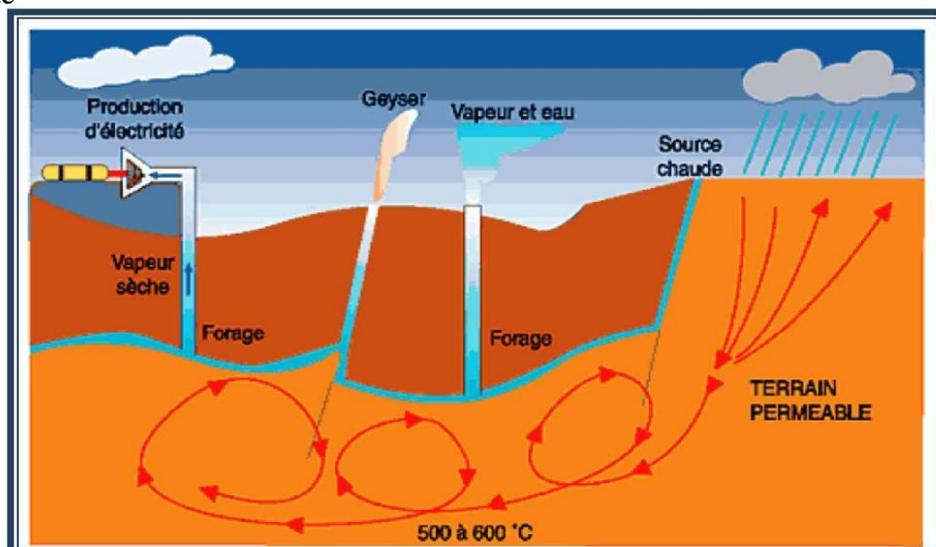


Figure II- 12- Géothermie à haute énergie.

II.2.5.2 La géothermie à basse énergie :

La température de l'eau entre 30 °C et utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif.

La géothermie à très basse énergie : la température est comprise entre 10 °C et 30 °C. Cette technologie est appliquée au chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique.

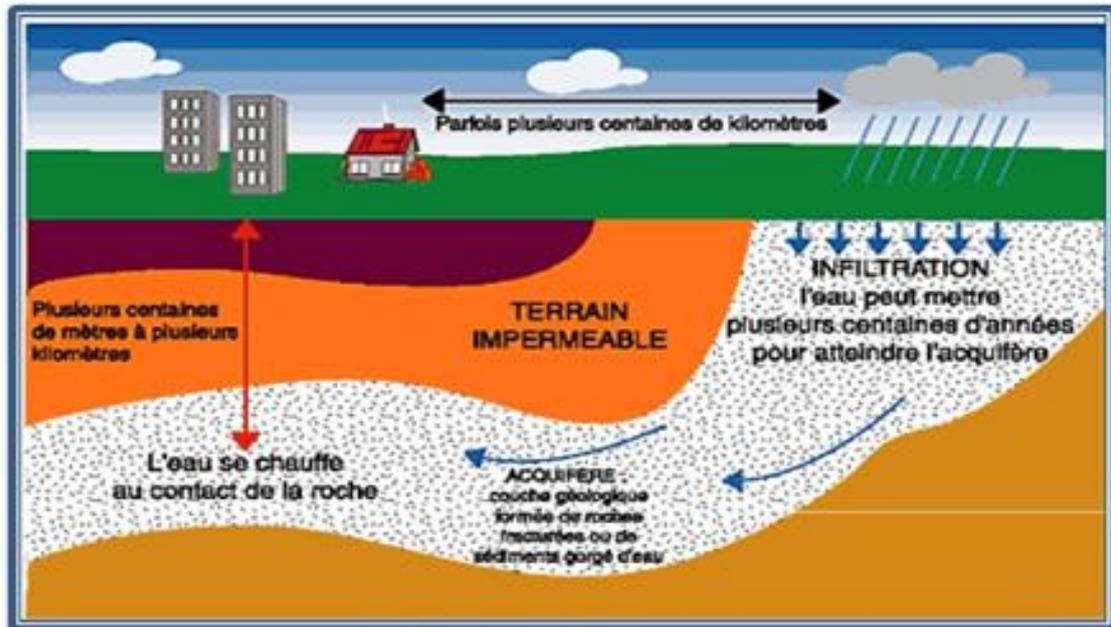


Figure II- 13- Géothermie à basse et très basse énergie.

II.3 Conclusion :

Les énergies renouvelables nous proposent de multiples façons de produire de l'énergie. Elles donnent aussi plusieurs **avantages** :

- Plus les sources sont variées, plus l'indépendance énergétique est assurée.
- Décentralisation qui privilégie des petites unités de production locales.
- Facilité d'installer, d'utiliser et de combiner plusieurs sources en même temps.
- Pas d'émission de CO₂ Pour les plus parts des méthodes.
- Coût au kWh fixe, faible et stable.
- L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.

Il ne faut oublier que Les énergies renouvelables comportent plusieurs **inconvénients** :

- Investissement important.
- L'installation doit s'intégrer dans l'environnement.
- Variabilité de la production de l'éolien qui dépend d'un vent aléatoire.
- Projets de longue durée.
- Le stockage de l'électricité.

Il ne faut pas oublier qu'il faut commencer par l'optimisation des consommations, ceci se réalise par une conception architecturale bioclimatique accompagnée par des équipements ménagers économes. Une fois les consommations diminuées (mais pas le confort), on peut envisager d'investir dans des systèmes de production d'énergie.