

## Introduction

Nous vivons dans une société de consommation dont nos besoins d'énergie augmentent car l'énergie, en général, est nécessaire à l'homme. Celui-ci en a besoin pour se chauffer, s'éclairer, se déplacer, se nourrir, se soigner, ... Mais cette énergie que nous utilisons n'est pas éternelle, et nos ressources sont en train de s'épuiser rapidement. C'est pour cela que l'on cherche constamment des énergies alternatives qui n'ont pas autant d'effet sur l'environnement, ce sont les énergies renouvelables. De façon prédominante, les ressources sur lesquelles se base la majeure partie des sociétés sont épuisables (charbon, pétrole, gaz naturel et uranium). Mais, au rythme auquel elles sont actuellement exploitées, les experts prévoient un épuisement des réserves de pétrole dans 45 ans, de gaz et d'uranium dans 65 ans et de charbon dans 200 ans. Ces énergies épuisables représentent un obstacle au développement durable : de par leur caractère épuisable limitant leur utilisation future mais aussi par le fait qu'elles ne respectent pas l'environnement. Par conséquent, ces limites, assez proches, doivent nous obliger à nous tourner vers d'autres façons de produire de l'énergie.

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes. Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre.

Dès lors, l'utilisation des sources d'énergies renouvelables semble être une solution adéquate car, c'est surtout l'usage des énergies fossiles qui renforce le phénomène d'effet de serre et donc le réchauffement de la planète. Encourager le développement de ces énergies, c'est parvenir à une indépendance énergétique qui ne peut être que positive à notre développement.

### I.1 Définition de l'énergie renouvelable

Les énergies renouvelables (ER) utilisent des flux inépuisables d'énergies d'origine naturelle (soleil, vent, eau, croissance végétale...). Ces énergies de l'avenir ne couvrent pourtant que 22% de la consommation mondiale d'électricité avec l'importance de l'hydroélectricité qui représente les trois quarts de l'électricité issue des ER. [1]

Les principaux intérêts des énergies renouvelables sont leur non épuisement et leurs émissions très limitées de gaz à effet de serre (GES) comme en témoigne l'analyse du cycle de vie de leur exploitation. Évaluation des émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie pour les grandes catégories de technologies de production d'électricité par :

- Hydraulique (Eau : turbines).
- Biomasse (bois CO<sub>2</sub> de combustion = CO<sub>2</sub> de la croissance des arbres : photosynthèse).
- Énergie géothermique.
- Solaire (thermique et photovoltaïque).
- Éolienne (Vent).



Figure I-1 : les cinq familles d'énergie renouvelable [2]

## I.2 Les différents types de l'énergie renouvelable

### I.2.1.Énergie éolienne

#### I.2.1.1. Définition

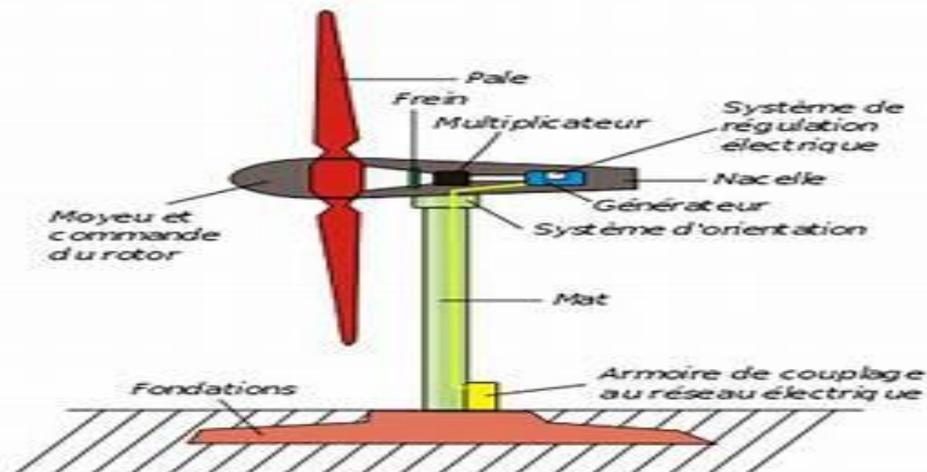
L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire : les rayons solaires absorbés dans l'atmosphère entraînent des différences de température et de pression. De ce fait les masses d'air se mettent en mouvement et accumulent de l'énergie cinétique. [3]

#### I.2.1.2. Principe de fonctionnement

Une éolienne est un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité. Elle est composée des principaux éléments suivants :

- 1. Un mât**, haut d'une centaine de mètres en moyenne, qui soutient la nacelle afin que celle-ci puisse capter des vents plus hauts donc plus forts.
- 2. Une nacelle**, située en haut de ce mât, qui abrite notamment la génératrice.
- 3. Le rotor**, auxquelles sont fixées les trois pales, entrent en mouvement rotatif grâce à l'intensité du vent et fait ainsi tourner un arbre mécanique. Le multiplicateur augmente la vitesse de celui-ci, cette énergie est enfin convertie en électricité par la génératrice.
- 4. Une éolienne** produit de l'électricité lorsque la vitesse du vent se situe entre 3 mètres par seconde (force suffisante pour entraîner la rotation des pales) et 25 mètres par seconde. Lorsque ce dernier seuil de vitesse est atteint, un dispositif présent dans la nacelle se met alors en marche, celui-ci actionne le frein du rotor ainsi qu'une modification de l'inclinaison des pales, ce qui conduit à un arrêt de la machine tant que le vent ne faiblit pas.

Actionnées par le vent, les pales fixées sur le rotor entraînent une génératrice électrique installée dans la nacelle. Le courant ainsi produit, d'une tension de 400 à 690 Volts est ensuite transporté par câble souterrain jusqu'au poste de livraison. Il y est élevé à une tension supérieure (20 000 V) afin d'être injecté sur le réseau national. [4]



**Figure I-2 :** Principaux éléments d'une éolienne

### I.2.1.3. Les différents types d'éoliennes :

On distingue les éoliennes on shore (terme américain signifiant sur le sol c'est-à-dire sur les continents), et les éoliennes off-shore (sur la mer). Ces dernières présentent des avantages au niveau des nuisances sonores puisqu'elles sont éloignées des habitations et au niveau des vents car les vents marins sont plus nombreux et plus forts que les vents continentaux. En revanche, elles sont beaucoup plus difficiles à installer et donc beaucoup plus coûteuses. [5]

#### 1. Eoliennes à axe horizontal

Les éoliennes modernes classiques tripales : conception qui s'est imposée sur le marché mondial pour des raisons de stabilité de la structure. Il existe également des éoliennes bipales et des mono pales mais sont moins fiables.

La hauteur totale de ces éoliennes varie entre 25 et 180m pour une puissance qui va de 100 Kw à 5 MW. [5]



**Figure I.3 :** Eoliennes à axe horizontal

## 2. Eoliennes domestiques

Leur taille n'excède pas les 12m et elles ont une puissance comprise entre 100W et 20Kw. Leur implantation en France est encore très faible, environ 600. (Beaucoup moins que dans certains autres pays européens). Les éoliennes horizontales ou domestiques peuvent être de type « aval » ou « amont ». Dans la majorité des cas, ce sont des éoliennes « amont », c'est-à-dire que le vent souffle directement sur les pâles de l'éolienne. Cela implique l'utilisation de pâles très rigides car elles sont très exposées au vent. La configuration « aval » est utilisée plus particulièrement pour les petites éoliennes qui sont munies de pâles plus fragiles. [5]



**Figure I.4** : éoliennes domestiques

## 3. Eoliennes à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical sont plus onéreuses que les éoliennes à axe horizontal et de conception plus complexes mais s'adaptent plus facilement à des zones de vent irrégulier. Une éolienne à axe vertical est surtout utile dans les endroits où il n'y a pas beaucoup de place : en ville, sur le toit d'un immeuble par exemple. Il existe deux modèles d'éoliennes à axe vertical (savonius et darrieus). [5]



**Figure I.5:** Eoliennes à axe vertical

#### 4. Les hydroliennes

Les hydroliennes sont des éoliennes spécifiques qui fonctionnent sous l'eau en utilisant l'énergie des courants marins. Ce sont des éoliennes sous-marines ou aérogénérateurs marins.

Le développement des hydroliennes est très récent et déjà très prometteur. Si la fabrication des éoliennes terrestres est beaucoup moins complexe que celle des hydroliennes, ces dernières peuvent déployer une puissance beaucoup plus grande pour une taille beaucoup plus petite. Cela est dû au fait que l'énergie des courants marins est 800 fois supérieure à celle du vent. Les variations au sein des courants marins sont également beaucoup plus faibles que les variations du vent.

L'inconvénient majeur des hydroliennes est son impact sur l'environnement marin : si les hélices tournent assez lentement et créent moins de perturbations que les hélices d'un bateau, les hydroliennes créent cependant des zones de turbulence plus grandes empêchant le développement de la faune et de la flore marine sur de grands périmètres.

Les hydroliennes étant sous l'eau, l'érosion est très forte et pour l'instant la durée de vie des hydroliennes est assez limitée. L'installation d'hydroliennes notamment au niveau des courants de marée reste une voie très intéressante pour la production d'énergie nouvelle. [5]



**Figure I.6:** Les hydroliennes

#### 5. Eoliennes de pompage

Créées dans les années 1930, les éoliennes « Oasis » ont pour fonction d'utiliser la force motrice du vent pour actionner une pompe à eau. Acquises par milliers par les agriculteurs français, elles sont employées pour de nombreux usages :

- l'alimentation du bétail.
- l'irrigation des cultures maraîchères.
- la lutte contre les incendies (alimentation de réserves en eau).
- le drainage et l'assèchement de zones humides.
- l'oxygénation des étangs.
- la pisciculture. [5]



**Figure I.7 :** Eoliennes de pompage

#### **I.2.1.4 Les avantages et les inconvénients**

##### **A/ Avantages**

- L'énergie éolienne est renouvelable et « décarbonée » en phase d'exploitation.
- Le terrain où les éoliennes sont installées reste toujours exploitable pour les activités industrielle et agricole. L'installation peut être démantelée relativement facilement.
- Leur développement offshore présente un potentiel non négligeable.
- Implantées localement, les éoliennes peuvent permettre de répondre à des besoins électriques de masse tout comme à des besoins domestiques limités, selon leur taille.

##### **B/ Inconvénients**

- L'énergie éolienne dépend de la puissance et de la régularité du vent.
- C'est une source d'énergie intermittente.
- Les zones de développement sont limitées.
- Les éoliennes peuvent susciter des conflits d'usage d'ordre environnemental comme les nuisances visuelles et sonores.
- Il peut exister des conflits d'utilisation de l'espace terrestre ou marin avec les autres usagers (exemple : pêcheurs, plaisanciers).

#### **I.2.2 L'Energie hydraulique**

##### **I.2.2.1 Définition**

- L'énergie hydraulique désigne l'énergie qui provient de la force des eaux (cours d'eau et océans). Les centrales hydroélectriques ou usines marémotrices transforment l'énergie de la gravité de l'eau en énergie électrique grâce au courant de l'eau passant dans les turbines.
- Exploiter l'énergie cinétique de l'eau est le procédé permettant d'obtenir de l'énergie hydraulique. Les barrages hydrauliques, les centrales marée-motrices utilisent une

turbine, sur laquelle est fixé un alternateur produisant du courant, mise en mouvement par l'eau. [6]

### I.2.2.2 Principe de fonctionnement

Le premier impératif est d'avoir de l'eau, beaucoup d'eau. Le rôle du barrage consistera à la retenir. Le barrage s'oppose à l'écoulement naturel de l'eau, sauf en cas de forts débits, qu'il laisse alors passer. De grandes quantités d'eau s'accumulent et forment un lac de retenue.

Lorsque l'eau est stockée, il suffit d'ouvrir des vannes pour amorcer le cycle de production d'électricité. L'eau s'engouffre alors dans une conduite forcée ou dans une galerie creusée dans la roche suivant l'installation, et se dirige vers la centrale hydraulique située en contrebas.

A la sortie de la conduite, la pression ou la vitesse (ou les deux en même temps) entraîne la rotation de la turbine.

La rotation de la turbine entraîne celle du rotor de l'alternateur.

Un transformateur élève alors la tension du courant produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à haute et très haute tension (Fig I.8)

L'eau turbinée qui a perdu son énergie s'échappe par le canal de fuite et rejoint la rivière. [4]

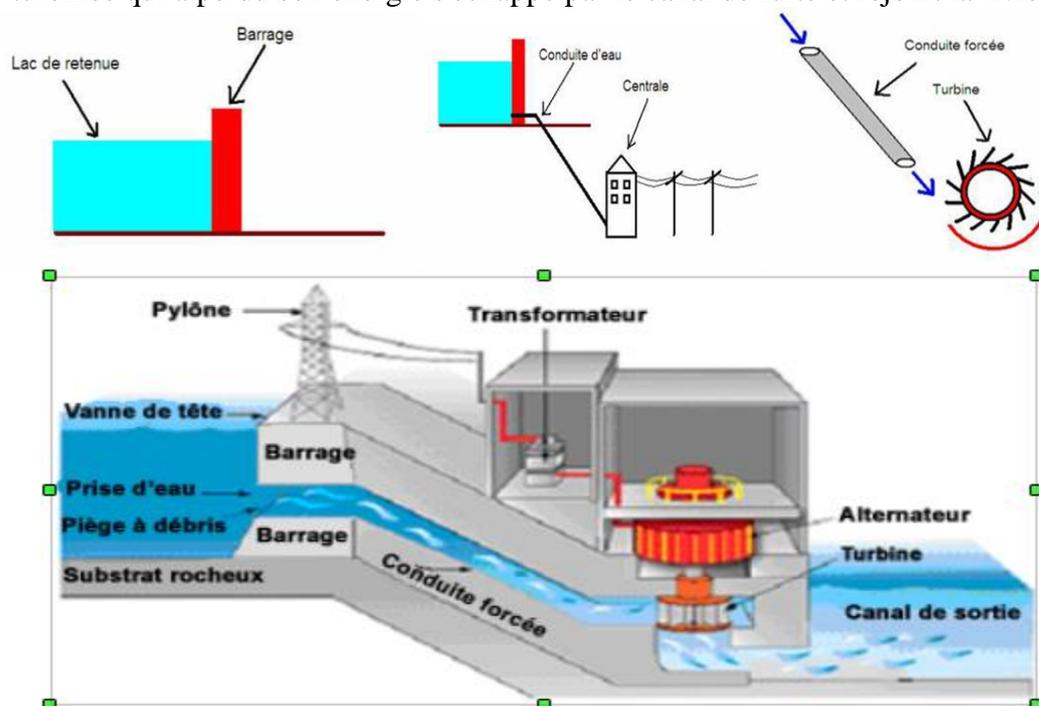


Figure I-8 : Principe de central hydraulique [6]

### I.2.2.3 Les types de l'énergie hydraulique

1. **Les barrages** : permettant de retenir des grandes quantités d'eau, qui par la suite est libérée, produisant ainsi de l'électricité grâce à des turbines.
2. **L'énergie marémotrice** : qui joue sur l'énergie potentielle des marées, une énergie liée aux différences de niveaux d'eau et aux courants que celles-ci induisent.
3. **L'énergie hydrolienne** : qui exploite les courants marins grâce à une turbine hydraulique (sous-marine ou à flots).

4. **L'énergie houlomotrice** : qui compte sur l'énergie cinétique des vagues et de la houle.
5. **L'énergie thermique** : qui peut être tirée de la différence de température entre les eaux profondes et les eaux de surface.
6. **L'énergie osmotique** : qui produit de l'électricité grâce à la différence de pression que génère la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce. [12]

#### I.2.2.4 Utilisation de l'énergie hydraulique

##### 1- Utilisation direct

L'énergie hydraulique peut être convertie directement en énergie mécanique, par exemple en utilisant la force de l'eau d'un ruisseau pour faire tourner la roue d'un moulin à eau ou d'une noria mais aussi pour fabriquer de la pâte à papier.

##### 2- Utilisation indirecte

L'énergie hydraulique peut aussi être convertie en une autre énergie (historiquement mécanique mais depuis le début du XXe siècle plutôt électrique) :

- une centrale hydroélectrique utilise l'énergie de la hauteur de chute.
- une centrale au fil de l'eau utilise l'énergie d'un cours d'eau.
- une centrale marémotrice utilise l'énergie des marées.
- une hydrolienne utilise celle des courants marins.
- l'énergie des vagues peut aussi être exploitée.

#### I.2.2.5 Les avantages et les inconvénients

##### A/ Avantages

- C'est une énergie propre (renouvelable) sans émission de fumées et pollution.
- La gestion des cours d'eau permet le contrôle des crues :
  - en période de sécheresse, on lâche de l'eau ;
  - en période d'inondation, on retient le surplus d'eau
- Il existe également un apport économique : le tourisme grâce aux lacs et aux stations balnéaires

##### B/ Inconvénients

- Coût des aménagements
- Risques de rupture du barrage
- Perturbation de l'écosystème
- Exigences géologiques et géographiques - réservoir : zone large et dégagée
  - barrage : zone étroite ; Modification de l'aspect naturel du site.

## I.2.3 La biomasse

### I.2.3.1 Définition

La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. Les principales formes de l'énergie de biomasse sont: les biocarburants pour le transport (produits essentiellement à partir de céréales, de sucre, d'oléagineux et d'huiles usagées) ; le chauffage domestique (alimenté au bois) ; et la combustion de bois et de déchets dans des centrales produisant de l'électricité, de la chaleur ou les deux. [7]



Figure I-9 : Energie de biomasse.

### I.2.3.2 Principe de fonctionnement

Une centrale biomasse produit de l'électricité grâce à la vapeur d'eau dégagée par la combustion de matières végétales ou animales, qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur.

**1. La combustion :** La biomasse est brûlée dans une chambre de combustion.

**2. La production de vapeur :** En brûlant, la biomasse dégage de la chaleur qui va chauffer de l'eau dans une chaudière. L'eau se transforme en vapeur, envoyée sous pression vers des turbines.

**3. La production d'électricité :** La vapeur fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne et haute tension.

**4. Le recyclage :** À la sortie de la turbine, une partie de la vapeur est récupérée pour être utilisée pour le chauffage. C'est ce que l'on appelle la cogénération. Le reste de la vapeur est à nouveau transformée en eau grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide en provenance de

la mer ou d'un fleuve. L'eau ainsi obtenue est récupérée et re-circule dans la chaudière pour recommencer un autre cycle. [4]

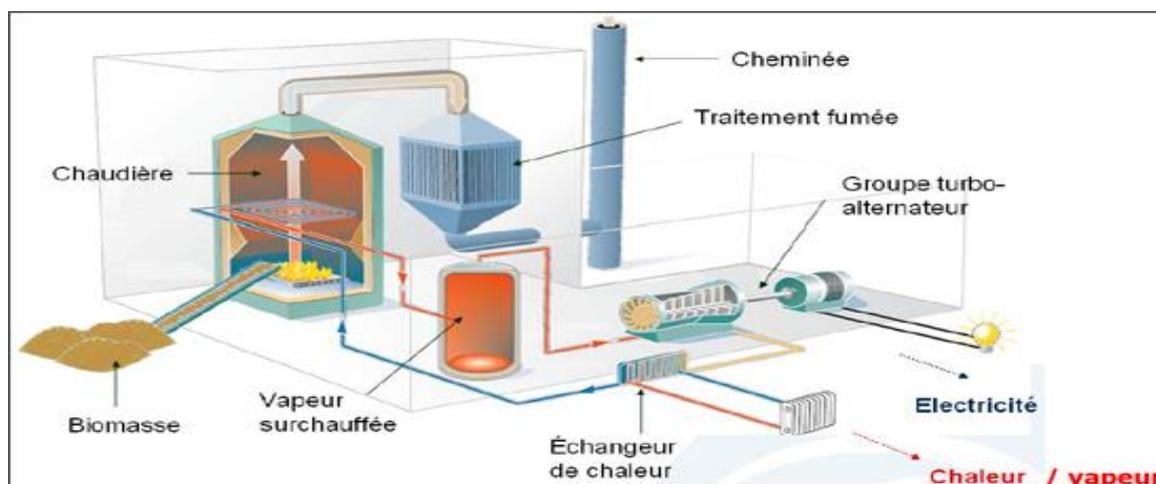


Figure I-10 : Principe de centrale biomasse

### I.2.3.3 Les type de biomasse

On distingue deux types de biomasse :

**1-Biomasse sèche** : Le bois de feu est la plus ancienne source d'énergie. Les divers déchets ligneux constituent la biomasse sèche et sont également appelés « bois énergie »

**2-Biomasse humide** : les déchets organiques d'origine agricole (fumiers, lisiers...), agroalimentaire ou urbaine (déchets verts, boues d'épuration, fraction fermentescible des ordures ménagères ...) constituent la biomasse « humide », qui peut être transformée en énergie ou en engrais/amendement [4]

### I.2.3.4 Avantages et inconvénients de la biomasse

#### A/ Les avantages de la biomasse

- Le plus grand avantage de l'**énergie de la biomasse**, c'est qu'elle est **renouvelable**. Les plantes et les arbres peuvent être cultivés afin d'être utilisés.
- Un autre avantage majeur de la biomasse est qu'elle aide à la **gestion des déchets solides**. Chaque jour, des millions de tonnes de déchets solides sont produits, dont notamment les **déchets biodégradables**. Lorsque les déchets sont utilisés comme biomasse, on répond à deux demandes : la baisse de la pollution et l'augmentation des ressources énergétiques.

#### B/ Les inconvénients de la biomasse

- Par rapport aux **combustibles fossiles**, l'**énergie de la biomasse** est très chère. C'est avant tout dû au coût de la recherche. Avec le temps et les avancées techniques, L'énergie de la biomasse devrait être plus abordable.

- Ensuite, il est important de distinguer les différentes sources de biomasse. Certains procédés de combustion, notamment avec le bois sont de forts producteurs de CO<sub>2</sub>, donc aussi nocifs que les **énergies fossiles**.
- Certaines sources, bien que dites « renouvelables » nécessitent une gestion raisonnée. C'est le cas des forêts. Une sur utilisation de la **biomasse ligneuse** augmenterait le phénomène de déforestation croissante et est considérablement nuisible pour l'équilibre environnemental naturel.

## I.2.4. Energie géothermique

### I.2.4.1 Définition

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. [8]

### I.2.4.2 Principe de fonctionnement

Le principe d'une centrale géothermique est d'extraire la chaleur contenue dans le sol, soit pour l'utiliser sous forme de chauffage (réseau de chaleur), soit pour la transformer en électricité, ou les deux à la fois, c'est dans ce cas de la cogénération.

En haute et très haute énergie, la vapeur jaillit avec assez de pression pour faire tourner une turbine, afin de produire l'électricité.

En moyenne énergie, la production d'électricité nécessite une technologie utilisant un fluide intermédiaire : on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la terre, que l'on chauffe avec l'eau géothermale. Ce fluide se charge en énergie thermique, entre en ébullition et se vaporise, faisant tourner une turbine dont le mouvement, transmis à l'alternateur, produit de l'électricité. Une centrale géothermique est donc une centrale thermique. [4]

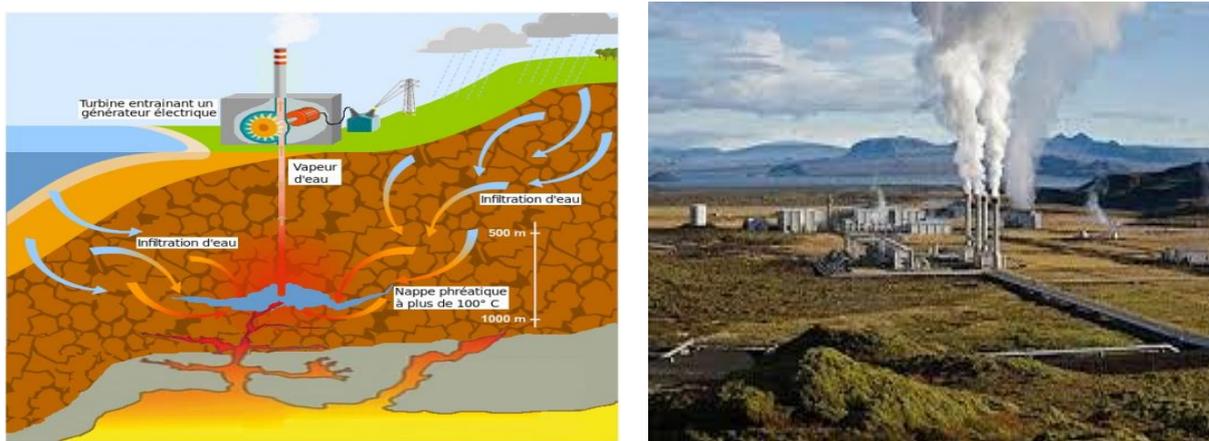


Figure I-11 : Centrale géothermique

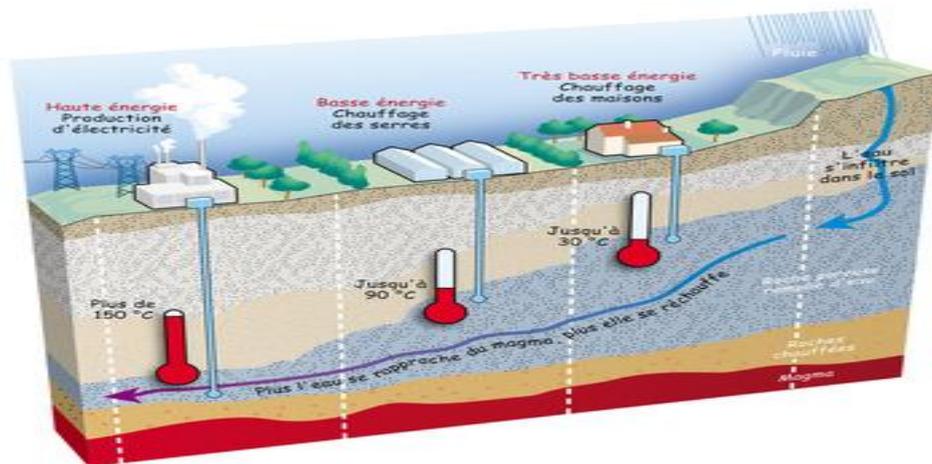
### I.2.4.3 Différents types de gisements géothermiques

Les gisements peuvent être classés selon plusieurs critères : Le contexte géologique, le niveau de température, le mode d'exploitation, le type d'utilisation. On retrouve la classification en fonction de la température :

- Géothermie haute énergie ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ) :

A cette température, on peut transformer directement la vapeur en électricité.

- Géothermie moyenne énergie ( $90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ ) :  
Elle permet de produire de l'électricité avec un fluide intermédiaire.
- Géothermie basse énergie ( $30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$ ) :  
Elle est utilisée pour fournir de la chaleur de manière directe aux bâtiments, serres...
- Géothermie très basse énergie ( $T < 30^{\circ}\text{C}$ ) :  
Elle est utilisée pour rafraîchir les bâtiments soit par puits Canadiens (ou puits provençal) ou par PAC géothermique. [9]



**Figure I-12 :** Les différents types de la géothermie

#### I.2.4.4 Les différents captages et source d'énergie

##### A/ Les capteurs horizontaux :

Ce dispositif se sert de la chaleur de la terre proche. Ces capteurs sont installés entre 60 et 120 cm de profondeur sur une surface égale à 1,5 à 2 fois la surface à chauffer. Ils sont sous forme de tubes sous pression qui permettent de faire circuler le fluide frigorigène. L'installation a l'avantage de ne pas gêner l'exploitation du terrain. Il est donc possible de jardiner ou de planter des arbres. Ces derniers devront tout de même être plantés à une distance minimale de 2 mètres des tubes. [10]



**Figure I-13 :** Capteur horizontal

##### B/ Les capteurs verticaux :

Ce système collecte des calories en profondeur à l'aide d'une sonde géothermique. Les capteurs sont enterrés au moyen de forage entre 50 et 130 mètres de profondeur. L'avantage de cette profondeur c'est que la température est la même toute l'année. Il s'agit de tubes sous pression qui permettent le passage du liquide frigorigène. Etant donné que l'installation ne

nécessite que peu de place, elle conviendra aux terrains ne pouvant accueillir de capteurs horizontaux. [10]

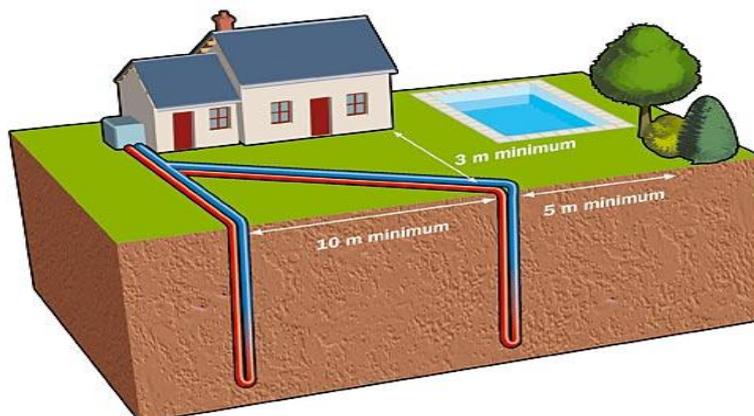


Figure I-14 : Capteur vertical

### C/ Sur nappe phréatique :

Ce procédé consiste à récupérer des calories venant de l'eau des nappes phréatiques à la température de 10°C. On atteint ces nappes par forage à plusieurs mètres de profondeur. Grâce à la pompe à chaleur on obtient de l'eau pouvant aller jusqu'à 60°C pour le chauffage et entre 15° à 30°C pour l'eau chaude. On peut également récupérer l'eau des lacs, des ruisseaux, etc... Cette technique est appropriée pour les terrains ne pouvant accueillir les deux autres procédés. [10]

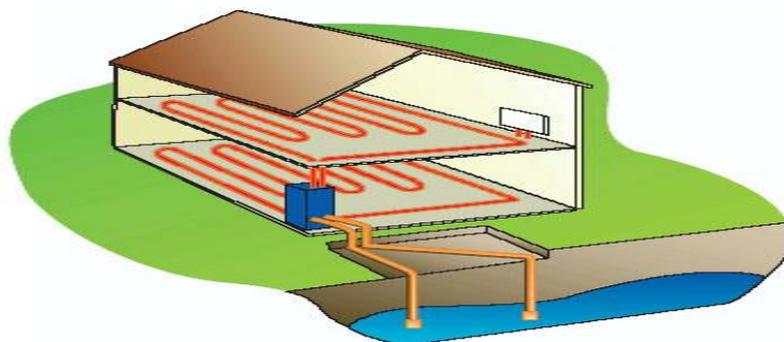
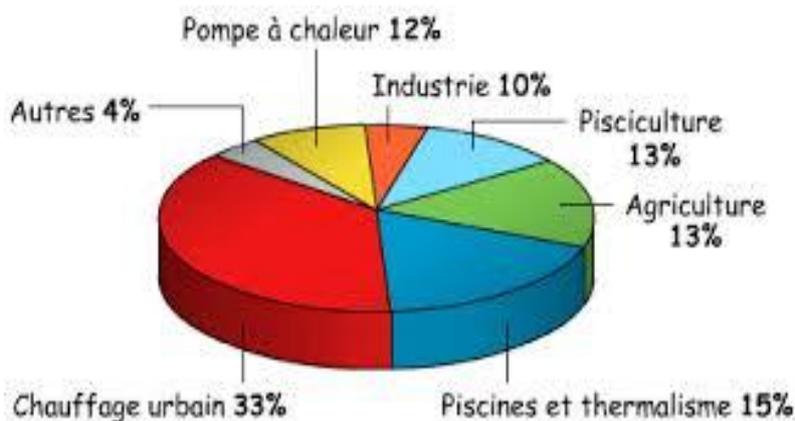


Figure I-15 : Nappe phréatique

### I.2.4.5 Utilisation de la géothermie

La géothermie est une énergie qui ne se transporte pas ou très peu car le transport par canalisation coûte cher et les pertes sont très importantes. [11]



**Figure I-16 :** Graphique de l'utilisation de l'énergie géothermique [11]

### I.2.4.6 Avantages et inconvénients de la géothermie

#### A/ Les avantages de l'énergie géothermique

- La géothermie de profondeur ne dépend pas des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent).
- C'est une source d'énergie quasi-continue.
- Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 80 ans en moyenne).

#### B/ Les inconvénients de l'énergie géothermique

- Les sites de forages sont limités en fonction du type de roche (roche chaude facile à percer).
- Risque de rejets gazeux nocifs ou toxiques.
- Risque de réchauffement du site de forage.
- Certaines pratiques de forages augmentent les risques sismiques.
- Certaines technologies utilisent des produits chimiques à fort impact environnemental.

## I.2.5. Energie solaire

### I.2.5.1 Définition

L'énergie solaire est l'énergie rayonnée par le soleil. Cette énergie est à l'origine de nombreux phénomènes physiques tels que la photosynthèse, le vent ou le cycle de l'eau.

Elle vient de la fusion nucléaire se produisant au cœur du soleil. Elle circule dans l'espace sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est composé de photons, petites particules d'énergie élémentaires. [4]

### I.2.5.2 Principe de fonctionnement

- **Les panneaux solaires :**

L'énergie solaire se nourrit des rayons du soleil, pour chauffer de l'air emprisonné entre deux plaques qui va chauffer de l'eau (**Fig I.17**), qui circule dans la maison. Cela sert aussi à chauffer un réservoir qui alimente la douche. [4]

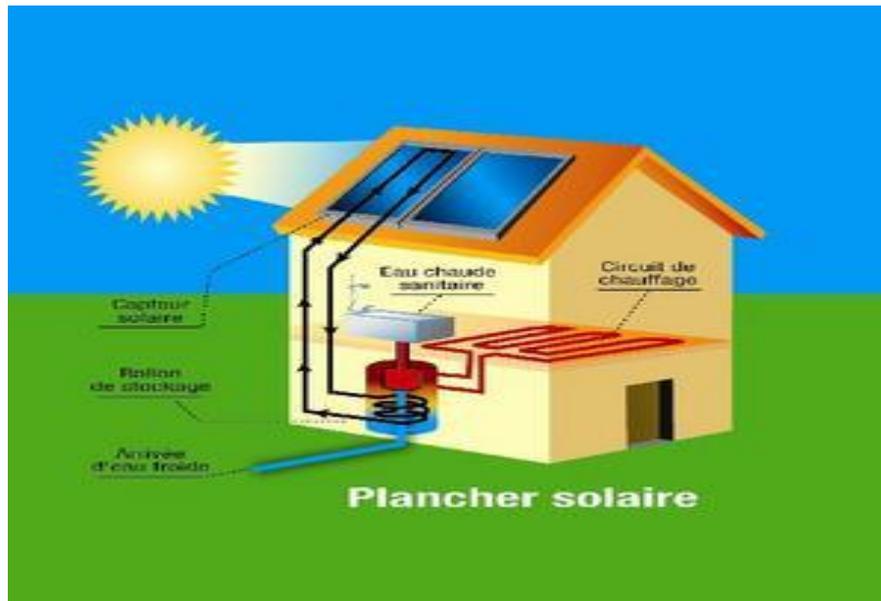


Figure I-17 : Schéma présentatif d'un capteur solaire

### I.2.5.3 Les type de l'énergie solaire

L'énergie solaire est divisée en trois d'énergies : **l'énergie thermique, l'énergie thermodynamique et l'énergie photovoltaïque.**

#### A/ L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est dérivée du rayonnement du soleil qui augmente la température d'un corps exposé sous ce rayonnement. Cette source d'énergie est connue depuis très longtemps et utilisée dans la vie quotidienne. L'énergie solaire est essentiellement utilisée pour le chauffage de l'eau, de l'air, ou d'un bâtiment tout entier.

Côté technique, deux méthodes sont appliquées pour transformer le rayonnement solaire en énergie thermique :

- soit en concentrant et en collectant la chaleur grâce à des panneaux noirs.
- soit en concentrant les rayons en un seul endroit.

Le principal intérêt de l'énergie solaire thermique, c'est sa simplicité : les panneaux destinés au chauffage sont simples, solides, résistants et durables. [12]

#### 1. Les principaux types de capteurs solaires thermiques

Le rôle du capteur solaire, qu'on appelle aussi le panneau solaire, est de convertir la lumière du soleil en chaleur pour alimenter le chauffe-eau solaire.

Pour cela on utilise des panneaux traversés par un fluide : soit l'eau directement à chauffer (dans le cas des pays chauds hors gel), soit de l'eau additionnée d'un antigel qui servira de liquide caloporteur vers un ballon de stockage.

Il existe trois types de capteurs solaires thermiques :

➤ **Le capteur plan, vitré :** C'est le modèle le plus répandu.

Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur est placé l'absorbeur, un serpentin contenant le fluide à réchauffer. Pour que le serpentin absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée.

Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche). La vitre est quant à elle faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur.

Si ces capteurs sont les modèles les plus choisis, c'est qu'ils sont :

- Robustes et d'une structure simple.
- Techniquement perfectionnés (qualité de la vitre, isolation).
- D'un rapport prix/performances sans égal.
- Faciles à intégrer grâce à leur surface plane.
- Discrets en montage sur le toit.



**Figure I-18 :** Capteurs plan vitré

➤ **Le capteur plan, non vitré :** Nettement moins répandu que le capteur vitré, il est constitué d'un absorbeur sans caisse ni vitrage, ce qui simplifie la fabrication et le coût de fabrication. C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air. Performant l'été, il présente une grande sensibilité au vent froid l'hiver par son absence de vitrage. qui atteignent les niveaux de températures les moins élevés, utilisés principalement pour le chauffage des piscines. Le chauffage. C'est l'une des premières utilisations faites du solaire thermique dans certains pays.



**Figure I-19** : Capteur plan sans vitre

- **Le capteur à tubes sous vide** : Il est constitué d'une série de tubes transparents sous vide qui isolent l'absorbeur. On fait le vide dans ces tubes, comme dans les bouteilles isothermes afin de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique. L'intensité du vide est d'une importance décisive pour l'interruption du mécanisme de transfert de chaleur. Il peut être rempli de gaz inerte, et certains de xénon, afin de réaliser une réduction significative du coefficient de déperdition.

Ce type de capteurs réagit avec moins d'inertie que les capteurs conventionnels.

Ils s'échauffent plus rapidement, ils permettent de mieux tirer par des petites périodes d'ensoleillement, ils permettent de mieux profiter de l'éclairage du soleil du matin et du soir. Comme les capteurs à tubes sous vide peuvent atteindre des températures extrêmes de plus de 150° C, le fluide caloporteur est spécialement développé pour ce genre d'installation. La tuyauterie du circuit voyant passer le fluide à plus de 150° C, les tubes en cuivre ne doivent pas être soudés à l'étain.

Les déperditions étant réduites par rapport à celles d'un capteur plan vitré, le rendement est nettement supérieur. [13]



**Figure I-20** : Capteur à tubes sous vide

**2. Les utilisations de l'énergie solaire thermique**

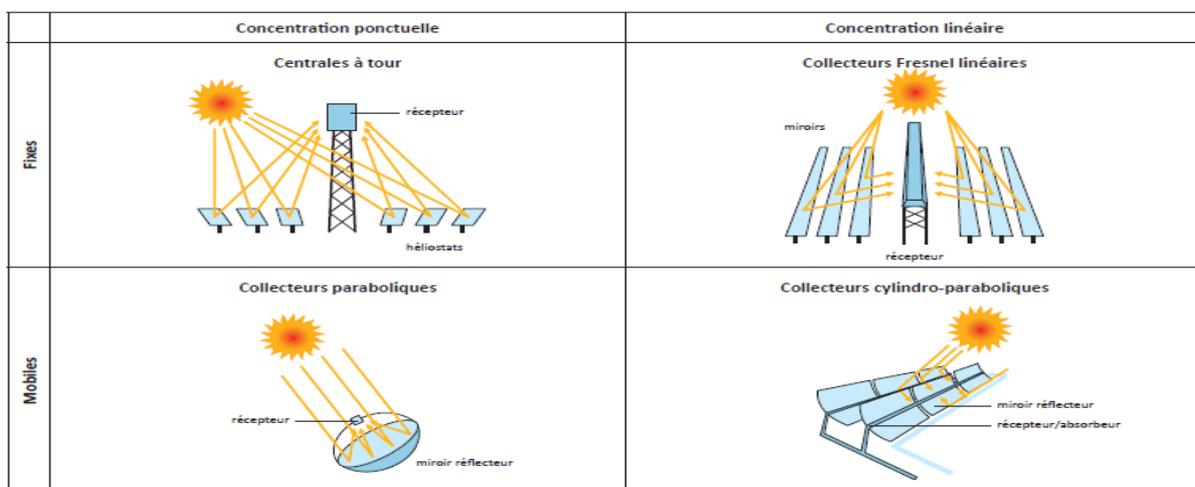
- a. Cette énergie couvre en moyenne 50 % des besoins en chauffe-eau et autre complément de chauffage en France. L'installation se fait souvent sur la toiture d'une maison indépendante ou d'un bâtiment tout entier. Il s'agit de capteurs vitrés dans lesquels circule un liquide caloporteur réchauffé par le rayonnement du soleil.
- b. L'énergie solaire thermique est aussi utilisée pour les machines frigorifiques comme le réfrigérateur à absorption de gaz, les camping-cars et les caravanes.
- c. D'autres utilisations de l'énergie thermique telle les sècheurs solaires et les cuisinières sont en vogue en Chine et en Inde [4]. On distingue plusieurs types de cuiseurs :
  - Le **cuiseur boîte** est composé d'un ou plusieurs panneaux solaires qui concentrent l'énergie sur une boîte vitrée.
  - Le **cuiseur à panneaux** est doté de plusieurs panneaux qui concentrent la chaleur sur une cloche en verre dans laquelle sont placés les aliments.
  - Le **système parabolique** qui est composé de disques concaves.

**B/ les énergies solaires thermodynamiques**

L'énergie solaire thermodynamique est l'un des modes de valorisation du rayonnement solaire direct. Cette technologie consiste à concentrer le rayonnement solaire à l'aide de collecteurs pour chauffer un fluide à haute température et produire ainsi de l'électricité ou alimenter en énergie des procédés industriels.[12]

**1. Le fonctionnement des centrales solaires thermodynamiques**

Les centrales solaires thermodynamiques utilisent une grande quantité de miroirs qui font converger les rayons solaires vers un fluide caloporteur chauffé à haute température. Pour ce faire, les miroirs réfléchissants doivent suivre le mouvement du soleil afin de capter et de concentrer les rayonnements tout au long du cycle solaire quotidien. Le fluide produit de l'électricité par le biais de turbines à vapeur ou à gaz. [14]



**Figure I-21 : Principe de fonctionnement de la solaire thermodynamique**

## 2. Les différents types de centrales thermodynamiques

### a) Systèmes de concentration linéaire

Le rayonnement solaire est concentré sur un ou plusieurs tube(s) absorbeur(s) installé(s) le long de la ligne focale des miroirs. Ce tube contient un fluide caloporteur porté à une température de l'ordre de 250 à 500°C.

- **Centrales à capteurs cylindro-paraboliques :**

Ces centrales sont en réalité composées de longs miroirs d'une forme hémicylindriques (demi - cercle) alignés pareillement. Ces miroirs tournent autour d'un axe horizontal pour pouvoir suivre le soleil à chaque instant. Ces miroirs permettent de diriger les rayons du soleil vers un liquide appelé liquide caloporteur (liquide qui permet d'extraire la chaleur) qui sera ensuite chauffer d'où la nécessité du mouvement des panneaux au soleil. La température du fluide peut atteindre 500°C. Lorsque le liquide est bien chauffé, il va être transféré vers une centrale où le liquide sera mélangé avec de l'eau qui va au final se transformer en vapeur.

Cette vapeur va entrainer une turbine qui permettra de produire de l'électricité, de la même manière que la géothermie. Depuis peu, certaines centrales sont capables de tourner jour et nuit grâce aux importantes capacités de stockage de la chaleur mises en place. [6]



**Figure I-22 :** les capteurs cylindro-paraboliques.

- **Centrales solaires à miroirs de Fresnel :**

Les centrales à miroir Fresnel sont basées sur le même principe que les centrales cylindro paraboliques. Cependant, au lieu d'utiliser des miroirs en forme de cylindre, on poserait des miroirs plans (plats) appelés " réflecteurs compacts linéaires ". Les rayons émis par le Soleil sont dirigés vers le tube horizontal où le liquide est placé. Ce tube est lui-même surmonté d'un miroir secondaire pour bien redirigé les rayons qui se seraient mal dirigés. On garderait donc le système de liquide et de turbine pour produire et créer de l'électricité.



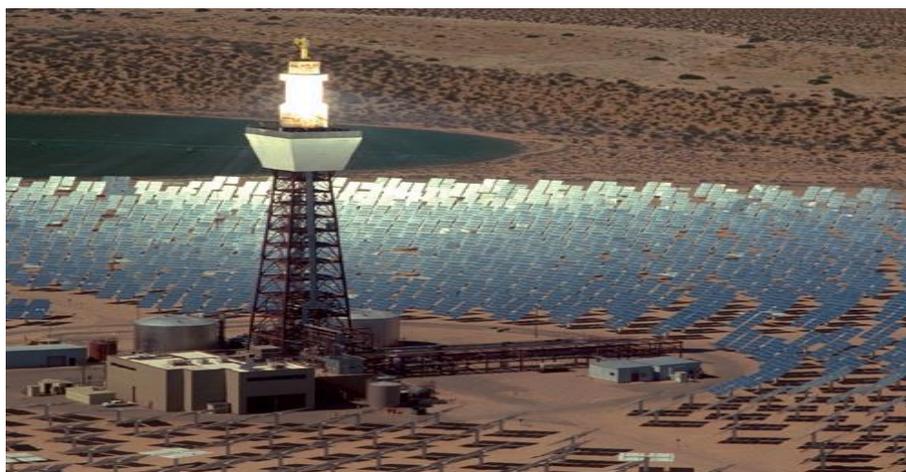
**Figure I-23 :** Centrale solaires à miroirs de Fresnel

### b) Systèmes de concentration par foyer

Le rayonnement solaire est concentré environ 1 000 fois à destination d'un foyer unique de taille réduite. La température peut atteindre de 500 à 1 000°C.

- **Les centrales à tour :**

Les centrales solaires à tour sont constituées de nombreux miroirs concentrant les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour. Les miroirs uniformément répartis sont appelés héliostats. Chaque héliostat est orientable, et suit le soleil individuellement et le réfléchit précisément en direction du receveur au sommet de la tour solaire. Le facteur de concentration peut dépasser 1000, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 600 °C à 1000 °C. L'énergie concentrée sur le receveur est ensuite soit directement transférée au fluide thermodynamique (génération directe de vapeur entraînant une turbine ou chauffage d'air alimentant une turbine à gaz), soit utilisée pour chauffer un fluide caloporteur intermédiaire. Ce liquide caloporteur est ensuite envoyé dans une chaudière et la vapeur générée actionne des turbines. Dans tous les cas, les turbines entraînent des alternateurs produisant de l'électricité.



**Figure I-24 :** Centrale à tour

- **Les centrales à capteurs paraboliques**

Ayant la même forme que les paraboles de réception satellite, les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils s'orientent automatiquement et suivent le soleil sur deux axes afin de réfléchir et de concentrer les rayons du soleil vers un point de convergence appelé foyer. Ce foyer est le récepteur du système. Il s'agit le plus souvent d'une enceinte fermée contenant du gaz qui est monté en température sous l'effet de la concentration. Cela entraîne un moteur Stirling qui convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique puis en électricité. Le rapport de concentration de ce système est souvent supérieur à 2000 et le récepteur peut atteindre une température de 1000 °C. Un de leurs principaux avantages est la modularité : ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique. Pour ce type de système, le stockage n'est pas possible. [6]



**Figure I-25 : Centrale à capteurs paraboliques**

### **C/ les énergies solaires photovoltaïques**

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique : une borne négative et une borne positive, la lumière met en mouvement des électrons pour créer un courant électrique continu. Cette source de lumière est naturelle (soleil) donc renouvelable [4].

#### **1- Les utilisations de l'énergie solaire photovoltaïque**

##### **a. Les centrales électriques**

En 2009, les principaux **parcs solaires** produisaient aux alentours de 60 MW. Par contre, cela nécessite de très grands espaces et un très grand nombre de **panneaux photovoltaïques** qui captent le rayonnement solaire et le transforment en électricité.

##### **b. Pour les bâtiments**

L'installation d'un système photovoltaïque se fait facilement pour les bâtiments. Le système peut être sur ou à proximité du bâtiment.

C'est un système attractif pour les particuliers désireux d'être autonomes énergétiquement ou isolés par rapport au réseau standard.

La plupart du temps, les panneaux sont directement montés sur le toit. Certains sont positionnés à proximité des constructions. De plus en plus, les bâtiments modernes ont des panneaux directement intégrés dans leurs structures.

**c. Pour les transports**

L'énergie photovoltaïque est rarement utilisée pour fournir la force motrice. Il existe bien quelques prototypes de voitures ou de bateaux qui se déplacent à l'énergie solaire, mais il n'existe pas encore de production en série. Par contre, l'énergie solaire est de plus en plus prisée pour les besoins auxiliaires dans les véhicules, comme par exemple dans les bateaux à voiles, où le système électrique interne est alimenté par l'énergie photovoltaïque.

**d. Pour les dispositifs autonomes**

Voici quelques exemples d'applications utilisant l'**énergie photovoltaïque** : les pompes à eau, les parcomètres, les téléphones d'urgence, les compacteurs à déchets, les panneaux de signalisation temporaires, etc.

**e. Pour l'électrification rurale**

Les pays en développement, où la plupart des villages se situent à plus de cinq kilomètres du réseau électrique, commencent à utiliser l'énergie photovoltaïque. Le plus souvent, ce sont des programmes financés par l'aide internationale ou par des organismes privés à vocation humanitaire. Ces initiatives sont encore rares.

**f. Pour les satellites**

Les études de conception de grandes installations solaires sur des satellites ont été menées depuis des décennies. L'idée a été proposée par Peter Glaser, puis Arthur D. Little Inc. La NASA a mené une longue série d'études techniques et de faisabilité économique dans les années 1970 et a ravivé l'intérêt dans les premières années du XXI<sup>e</sup> siècle.

D'un point de vue économique, la question clé pour ces satellites semble être le coût de lancement. [4]

**I.2.5.4 Les avantages et les inconvénients****A/ Les avantages de l'énergie solaire**

- Offre illimitée de l'**énergie solaire** à utiliser. Cela signifie que notre dépendance aux combustibles fossiles peut être réduite.
- L'énergie solaire est une excellente **source d'énergie alternative**, car il n'y a pas de pollution générée pendant qu'elle est utilisée.
- Il n'y a pas de coûts liés à l'utilisation de l'énergie solaire autres que le coût de fabrication des composants, l'achat et l'installation du matériel. Après l'investissement initial, il n'y a pas de coûts supplémentaires associés à son utilisation.
- Les installations solaires sont facilement modulables. Il est assez facile d'augmenter ou de diminuer la taille de l'installation.
- Un **système électrique solaire** installé dans une maison pourrait potentiellement éliminer 18 tonnes d'émission de gaz à effet de serre dans l'environnement chaque année.
- L'utilisation d'**énergie solaire** est un processus silencieux. Pas de nuisance sonore.
- Une **installation solaire** peut s'implanter n'importe où dès qu'il y a un ensoleillement suffisant. C'est donc un réel avantage pour les endroits très isolés qui ont ainsi accès à l'électricité.

**B/ Les inconvénients de l'énergie solaire**

- Pour produire une très grande quantité d'énergie, cela nécessite une installation très importante et un espace suffisant pour installer les **panneaux photovoltaïques**. C'est donc une contrainte non négligeable pour les installations industrielles.
- Un **système solaire** coûte cher à son installation.
- Un **système solaire** nécessite un ensoleillement constant et intense surtout pour l'usage commercial. Beaucoup d'endroits dans le monde ne bénéficient pas d'ensoleillement suffisant pour assurer une rentabilité de l'installation.

**I.3 Le développement des énergies renouvelables : emploi et métiers**

La progression inéluctable des énergies renouvelables, favorisée par les enjeux climatiques et l'évolution des réglementations, offre des opportunités majeures et durables en termes de création d'emploi et de nouveaux métiers (recherche, ingénierie, fabrication, installation, entretien, exploitation...) [15].

**I.4 Les énergies renouvelables dans le monde**

En 2014, les énergies renouvelables couvraient 19,2 % de la consommation d'énergie mondiale. La part des énergies renouvelables en 2015 a marqué une forte croissance pour la production d'électricité (23,7 %). Cet essor s'appuie principalement sur l'éolien et le solaire photovoltaïque (75 % de la progression globale). [15]

**I.5 La croissance de l'exploitation des énergies renouvelables :**

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, la flambée des cours du brut et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre selon le protocole de Kyoto ; rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie, un fait qui interpelle plus fort que jamais le développement des énergies renouvelables. On dit que la source d'énergie est renouvelable si le fait de faire la consommer n'influence jamais sur sa quantité, ni faire limiter son utilisation au future. Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années.

D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Le besoin d'une alternative renouvelable pour faire produire l'électricité a été le sujet de discussion pour plusieurs secteurs et aux niveaux d'un grand nombre de pays au monde entier. Les études ont été élaborées pour faire de cet outil non polluons l'axe de recherche pour plusieurs chercheurs afin de réaliser un but majeur celle de minimiser les effets négatives de ressources classiques de production de l'énergie. L'Algérie est parmi les pays qui ont appelés à diversifier ses ressources économiques voir énergétiques de manière à limiter sa dépendance au pétrole et au gaz. Selon monsieur Brahim Zitouni directeur de la société émiratie de la biotechnologie, selon lui, les projets de type "Desertec" dont le pays à la juste volonté de se doter propose en filigrane de faire basculer graduellement le système énergétique algérien, en particulier dans sa dimension de production électrique vers l'énergie solaire. [15]

## **I.6 Avantages et inconvénients des énergies renouvelables**

### **A/ Les avantages de l'énergie renouvelable**

- Plus les sources sont variées, plus l'indépendance énergétique est assurée ;
  - Facilité d'installer, d'utiliser et de combiner plusieurs sources en même temps ;
  - Pas d'émission de CO<sub>2</sub> ;
- Pour la plus part des méthodes.
- Coût au kWh fixe, faible et stable ;
  - L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.

### **B/ Les inconvénients de l'énergie renouvelable**

- 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.

## **Conclusions**

Nous avons présenté dans ce présent chapitre : les cinq familles d'énergie renouvelable dont on peut tirer la conclusion suivante :

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes. Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. L'utilisation des sources d'énergies renouvelables semble être une solution adéquate car, c'est surtout l'usage des énergies fossiles qui renforce le phénomène d'effet de serre et donc le réchauffement de la planète. Encourager le développement de ces énergies, c'est parvenir à une indépendance énergétique qui ne peut être que positive à notre développement.