

## Chapitre 2 : GENERATION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

### I. Appel de puissance d'un réseau

La puissance demandée par l'ensemble des clients d'un réseau subit de grandes fluctuations selon l'heure de la journée et selon les saisons. Le graphique de la figure 1 montre des variations saisonnières et quotidiennes typiques pour un réseau.

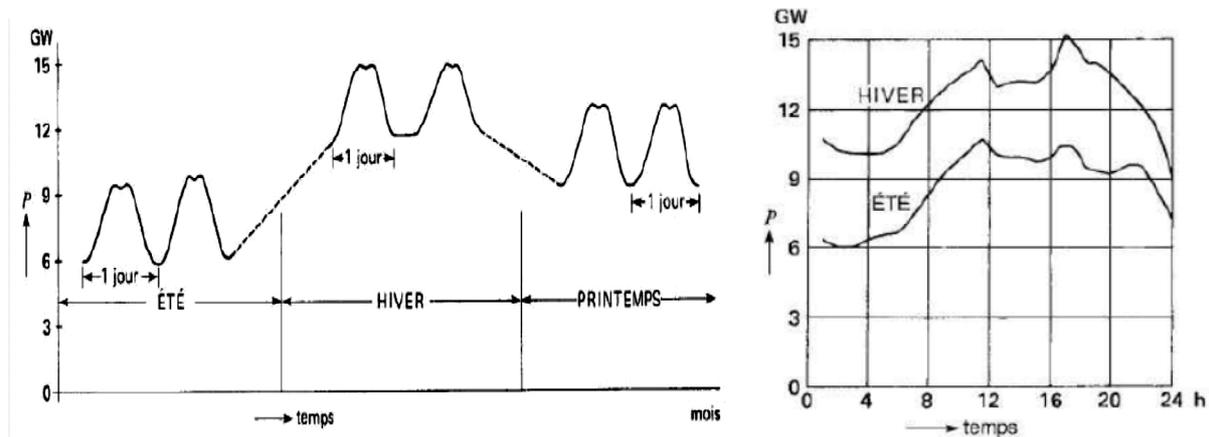


Figure 1. Fluctuations typiques de l'appel de puissance durant l'année et le jour

On remarque dans cet exemple que la pointe de 15 GW en hiver se produit vers 17 h, car c'est à ce moment que les lumières sont allumés dans toutes les maisons et que plusieurs usines sont encore en marche. Par contre, le creux de la demande arrive aux petites heures du matin.

Si l'on ramène les appels de puissance journaliers à une base annuelle, on obtient le graphique de la Figure 2. Par exemple, cette figure indique qu'un appel de puissance de 9 GW existe pendant 70 % du temps, tandis qu'un appel de 12 GW ne se produit que 15 % du temps. On s'aperçoit qu'une puissance de base de 6 GW est requise en tout temps, qu'une puissance intermédiaire additionnelle de 6 GW est requise pendant au moins 15 % du temps et qu'une puissance de pointe de 3 GW n'est requise que pendant une courte période .

Ces fluctuations de l'appel de puissance obligent les compagnies d'électricité à prévoir trois classes de centrales de génération :

- a) les centrales de base de grande puissance qui débitent leur pleine capacité en tout temps. Les centrales nucléaires et les centrales thermiques sont particulièrement aptes à remplir ce rôle.
- b) les centrales intermédiaires de puissance moyenne qui peuvent réagir rapidement aux fluctuations de la demande. C'est le cas des centrales hydrauliques dont le débit est facilement contrôlable.

c) *les centrales de pointe* de puissance moyenne qui ne débitent leur pleine capacité que pendant de courtes périodes. C'est pourquoi les compagnies d'électricité encouragent les usagers à limiter leur charge de pointe.

Les centrales de pointe doivent être mises en marche dans un délai très court ; elles utilisent donc des moteurs diesel, des turbines à gaz, des moteurs à air comprimé ou des turbines hydrauliques à réserve pompée.

Remarquons que la période de mise en route est de quatre à huit heures pour les centrales thermiques et de quelques jours pour les centrales nucléaires. Il n'est donc pas économique d'utiliser ces centrales pour fournir la puissance de pointe.

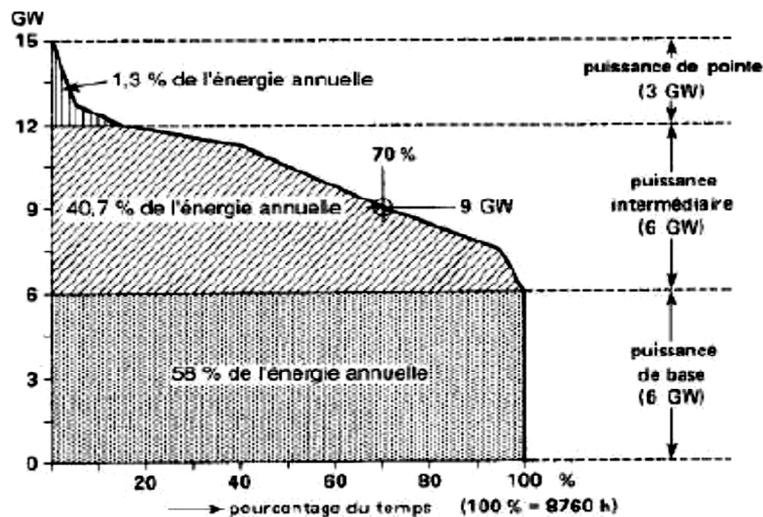


Figure 2. Appel de puissance en fonction de son temps d'utilisation annuel.

## II. Emplacement des centrales

L'emplacement des centrales de génération, des lignes de transport et des postes de transformation demande toujours une analyse détaillée pour arriver à une solution acceptable et économique. Parfois, on peut placer une centrale à côté de la source d'énergie primaire et utiliser des lignes pour transporter l'énergie électrique. Quand cela n'est pas pratique ou économique, on doit transporter la matière première (charbon, mazout) par bateau, train, pipeline, etc., jusqu'à la centrale. Les centrales peuvent donc être plus ou moins éloignées de l'utilisateur.

Pour produire de l'électricité, il faut **transformer une source d'énergie** fournie par la nature. Cette opération est réalisée dans des **centrales électriques** par la mise en rotation, grâce à la force du vent, de l'eau ou de la vapeur d'eau, d'une **turbine** qui entraîne un **alternateur**.

### III. Alternateur Triphasé

QUEL EST LE ROLE D'UN ALTERNATEUR ?

Produire un courant électrique.

QUELLES SONT LES PARTIES PRINCIPALES D'UN ALTERNATEUR ?

L'induit (stator), l'inducteur (rotor).

#### III.1 Le Stator

Un générateur triphasé de courant alternatif comporte trois enroulements monophasés. Ces trois enroulements sont montés sur la partie fixe de l'alternateur, appelée stator. Les enroulements sont espacés physiquement de sorte que le champ magnétique variable présent sur chaque enroulement est de  $120^\circ$  de phase avec les autres enroulements. Un schéma simplifié d'un générateur triphasé est illustré par la figure 3.

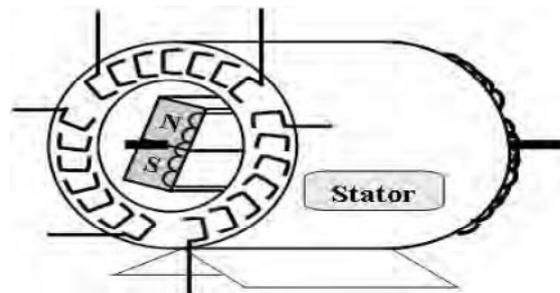


Figure 3. Générateur triphasé -stator.

#### III.2 Le Rotor

Le rotor est l'élément central qui lorsqu'il tourne déplace le champ magnétique. Un rotor pourrait avoir un aimant permanent ou un électro-aimant. Plusieurs centrales de génération utilisent des électroaimants de sorte que le champ magnétique peut être modifié. Faire varier l'intensité du champ magnétique du rotor permet aux systèmes de commande de génération d'ajuster la tension de sortie en fonction de la demande et les pertes du système. Un dessin d'un électro-aimant est illustré par la figure 4.

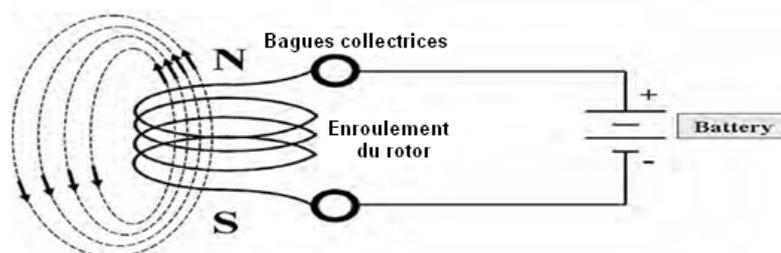


Figure 4. Electro-aimant et Bagues.

## COMMENT OBTENIR UN COURANT DANS LE STATOR ?

\* Selon la loi de Faraday, "Une tension est produite dans un conducteur sous un champ magnétique variable".

\* En substance, cette déclaration dit que si on prend une bobine de fil et la met à côté d'un aimant en mouvement ou en rotation, une tension mesurable sera produite dans cette bobine.

\* Le rotor est responsable de la portion du champ magnétique du générateur. Fort champ magnétique du rotor passe devant les enroulements de stator (bobines), produisant ainsi ou générant une tension alternative (CA) qui est basée sur la loi de Faraday.

**Remarque:**

L'ajout de charge pour les enroulements du stator d'un générateur réduit la vitesse du rotor en raison des forces de répulsion entre le champ magnétique du stator, et celui du rotor à partir du passage du courant électrique dans les deux enroulements. Inversement, en supprimant la charge d'un générateur augmente la vitesse du rotor. Par conséquent, l'énergie mécanique du moteur principal qui est responsable de faire tourner le rotor doit être ajustée pour maintenir la vitesse du rotor ou la fréquence dans diverses conditions de charge.

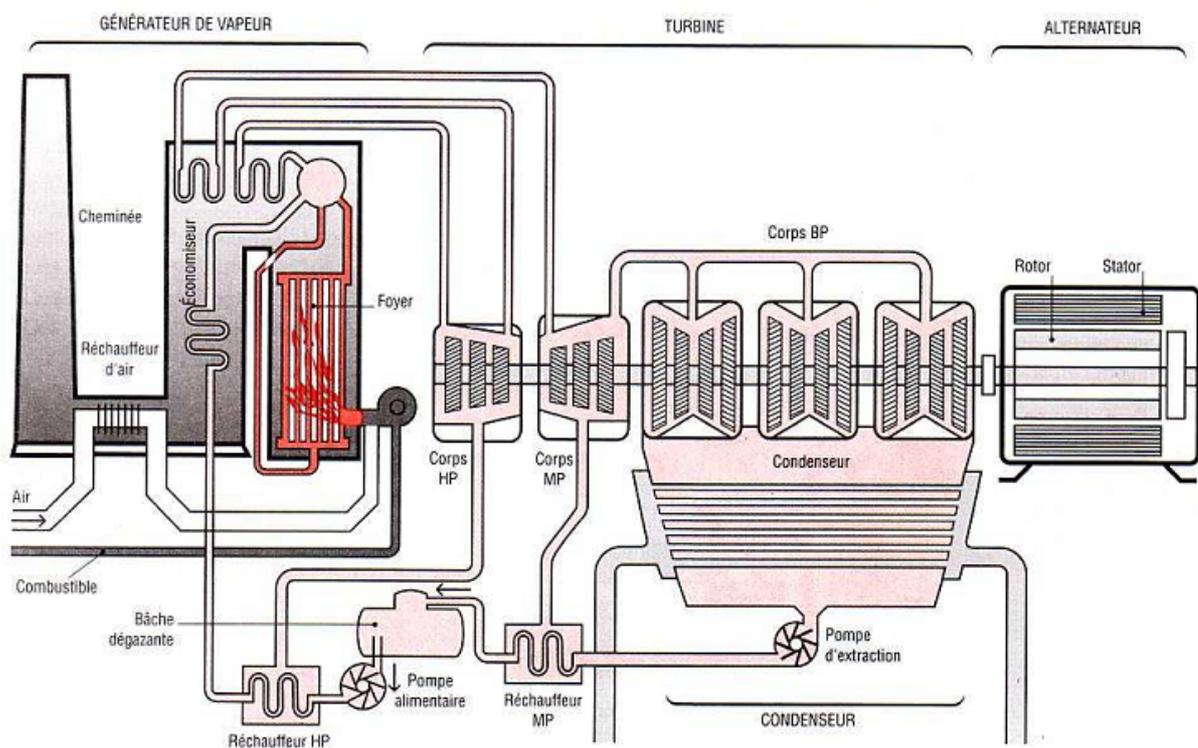
## IV Types de centrales

### IV.1 Centrales thermiques

Pour fonctionner, une centrale thermique à flamme a besoin d'une source de chaleur (pétrole, charbon, gaz) qui va chauffer un fluide dans une chaudière (dans la majorité des cas, il s'agit d'eau), ce fluide va ainsi passer de l'état liquide à l'état gazeux (tel que la vapeur par exemple). Le gaz ainsi obtenu va faire tourner une turbine qui elle-même est reliée à un alternateur qui va produire de l'énergie électrique.

Pour pouvoir faire tourner la turbine, il faut condenser le gaz en aval de la turbine grâce à une source froide pour diminuer sa pression, à la sortie de la turbine, la vapeur est refroidie pour la retransformer en eau puis, elle est renvoyée dans la chaudière. Le refroidissement de la vapeur est confié à une réserve d'eau (cours d'eau)

*Une centrale thermique à flamme fournit une puissance électrique de l'ordre de quelques centaines de mégawatts*

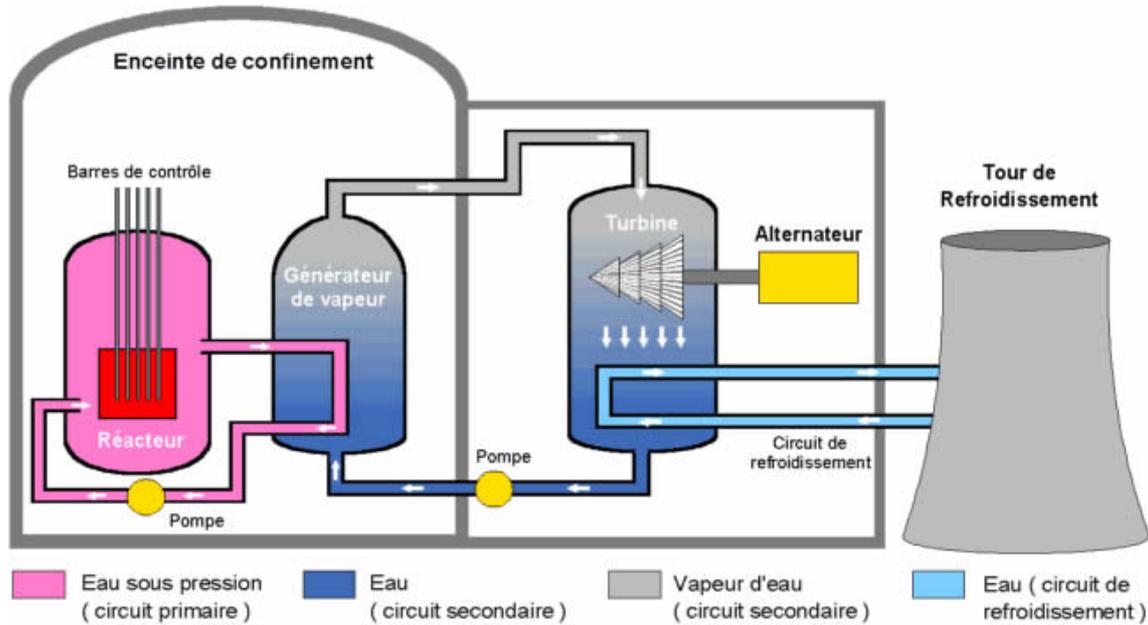


### IV.2 Centrales nucléaires

Les centrales nucléaires produisent l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé qu'on appelle fission nucléaire.

Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission.

Une telle centrale comprend donc une turbine à vapeur, un alternateur, un condenseur, etc., comme dans une centrale thermique conventionnelle. Le rendement global est semblable (entre 30 % et 40 %) et l'on doit encore prévoir un système de refroidissement important, ce qui nécessite un emplacement près d'un cours d'eau ou la construction d'une tour de refroidissement.



❖ **Energie libérée par la fission atomique**

Lorsque le noyau d'un atome subit la fission, il se sépare en deux. La masse totale des deux atomes ainsi formés est habituellement différente de celle de l'atome original. S'il y a une diminution de la masse, une quantité d'énergie est libérée. Sa valeur est donnée par la formule :

$$E = m \cdot c^2$$

E = énergie libérée, en joules [J]

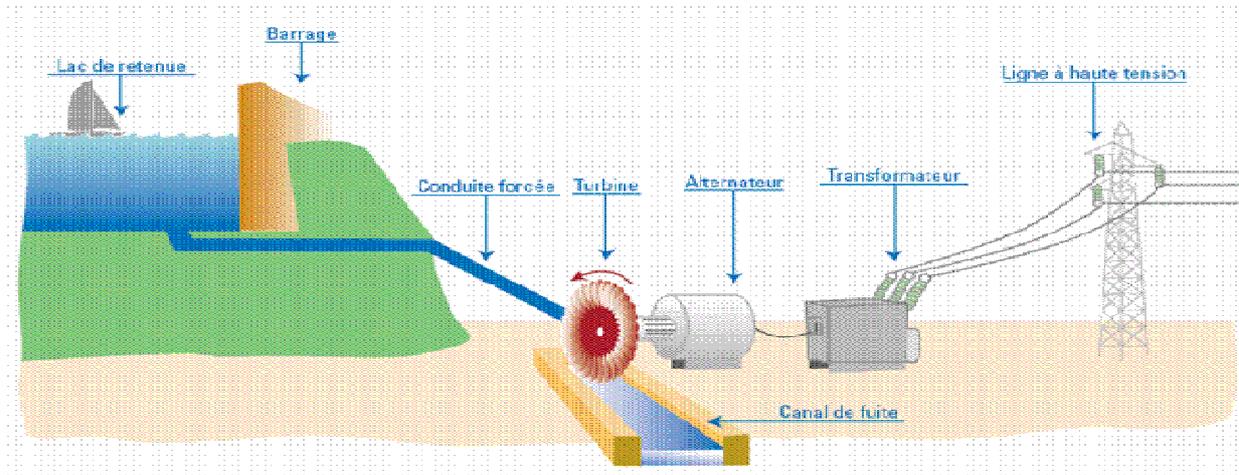
m = diminution de masse, en kilogrammes [kg]

c = vitesse de la lumière [3 x 10<sup>8</sup> m/s]

- La quantité d'énergie libérée est énorme, car une diminution de 1 g seulement donne une énergie de 9 x 10<sup>13</sup> joules, soit l'équivalent énergétique d'environ trois mille tonnes de charbon.

### IV.3 Centrales hydrauliques

Les centrales hydro-électriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique.



- L'eau s'accumule et forme un lac de retenue.
- L'eau s'engouffre dans de longs tuyaux appelés conduites forcées lorsque les vannes sont ouvertes. L'eau est conduite vers la centrale hydraulique située en contrebas.
- Dans cette centrale, la force de l'eau fait tourner une turbine, qui à son tour, fait fonctionner un alternateur qui produit un courant électrique alternatif. L'eau turbinée qui a perdu de sa puissance est rejetée dans le cours d'eau par un canal de fuite.
- La tension du courant électrique produit par l'alternateur est élevée à l'aide d'un transformateur.

#### ❖ Puissance disponible

D'une façon générale, la puissance que l'on peut tirer d'une chute dépend non seulement de la hauteur de la chute, mais aussi du débit du cours d'eau. Le choix de l'emplacement d'une centrale hydro-électrique dépend donc de ces deux facteurs.

La puissance disponible est donnée par l'équation :

$$P = g \cdot \rho \cdot q \cdot h$$

$P$  : puissance hydraulique, en kilowatts [kW]

$\rho$  : la masse volumique de l'eau [kg/m<sup>3</sup>]

$q$  : débit en mètres cubes par seconde [m<sup>3</sup>/s]

$h$  : hauteur de la chute, en mètres [m]

$g$  : l'accélération de la puissance 9.8 [m/s<sup>2</sup>]

❖ **Types de centrales hydrauliques**

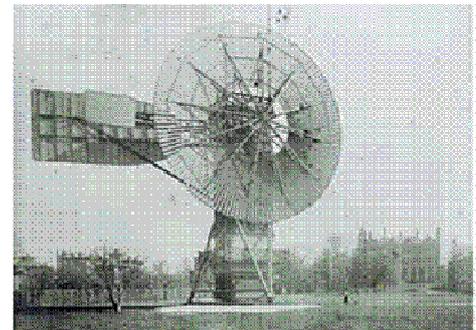
Suivant la hauteur de chute, on distingue :

- 1) les centrales de haute chute ont des hauteurs de chute supérieures à 300 m
- 2) les centrales de moyenne chute ont des hauteurs comprises entre 30 m et 300 m.
- 3) les centrales de basse chute ont des hauteurs de chute inférieures à 30 m.

**IV.4 L'énergie éolienne**

**1. Historique et enjeux**

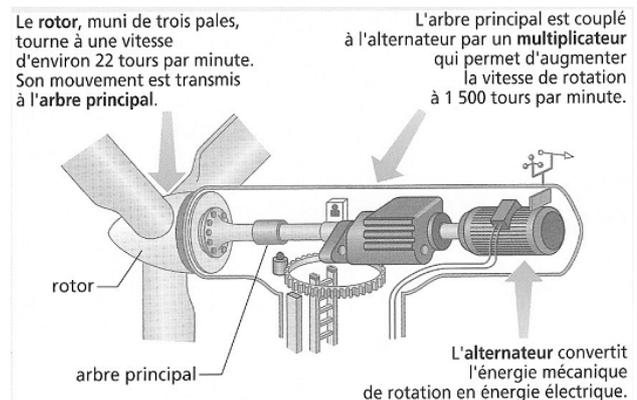
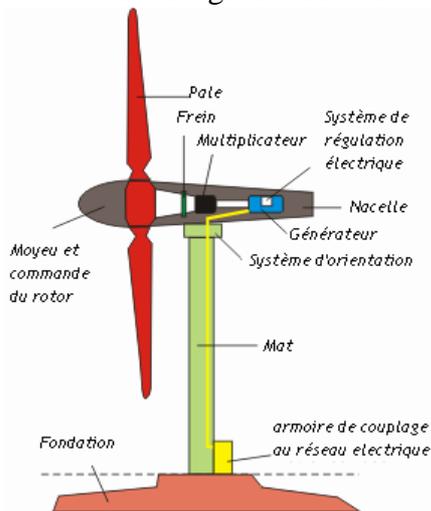
- Durant l'hiver de 1887-88, Charles F. Brush construisit ce qui est aujourd'hui considérée comme la première éolienne destinée à la production d'électricité. Cette éolienne était une géante avec un diamètre de rotor de 17m et 144 pales fabriquées en bois de cèdre. la puissance de sa génératrice était seulement de 12 kW



L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire

air chaud + air froid ⇒ Dépression atmosphérique ⇒ Entraînement des pales ⇒

Entraînement du générateur électrique



❖ **Puissance disponible**

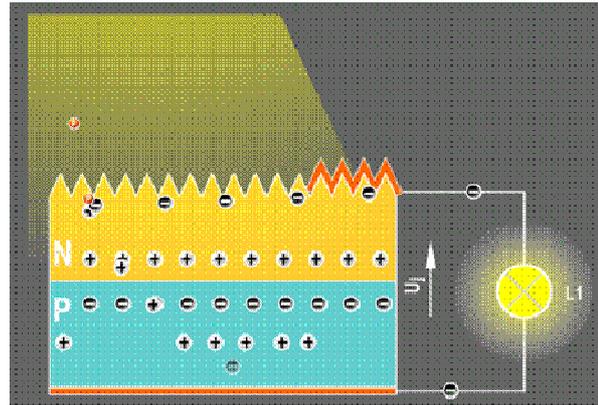
❖ Puissance fournie par l'éolienne:

$$P = k \cdot S \cdot v^3$$

avec S la surface de vent interceptée, v la vitesse du vent et k un facteur dépendant de l'éolienne ( k=0,37 pour une éolienne idéale) v la vitesse de vent en [m/s]

#### IV. 5 L'énergie photovoltaïque

- L'**énergie solaire photovoltaïque** provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou des matériaux recouverts d'une mince couche métallique ou organique.
- Ces **matériaux photosensibles** ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'**effet photovoltaïque**.



- L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique.
- Un **générateur solaire photovoltaïque** est composé de **modules** photovoltaïques eux mêmes composés de **cellules** photovoltaïques connectées entre elles.
- Les performances d'une **installation photovoltaïque** dépendent de l'orientation des **panneaux solaires** et des zones d'ensoleillement.

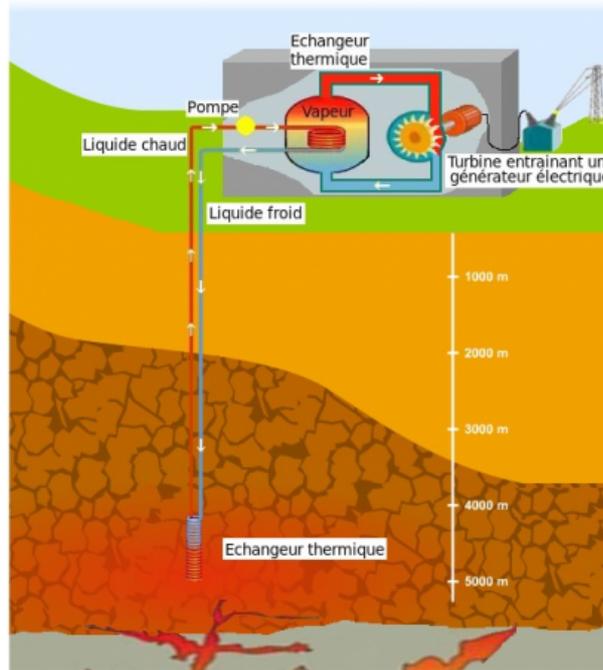


#### IV.6 La géothermie

La géothermie désigne aussi l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

On distingue trois types de géothermie :

- la géothermie peu profonde à basse température ;
- la géothermie profonde à haute température ;
- la géothermie très profonde à très haute température.



L'énergie géothermique est exploitée dans des réseaux de chauffage et d'eau chaude, ou pour produire de l'électricité.

**V. Les avantages et les inconvénients des sources d'énergie.**

Source d'énergie	Avantages	Inconvénients
Fossiles (7%) : - Pétrole - Gaz - charbon	Faciles à exploiter	Production de CO2
Nucléaire (79%)	Moins cher aujourd'hui. Moins de CO2	Déchet radioactifs Risque d'accident nucléaire.
Renouvelables (14%) : - Eau - Soleil - Vent - biomasse (bois, plantes..) - Géothermie	non polluantes	ne peuvent être implantée de partout. Coût plus élevé. Faible puissance. Fabrication recyclage des cellules photovoltaïque