

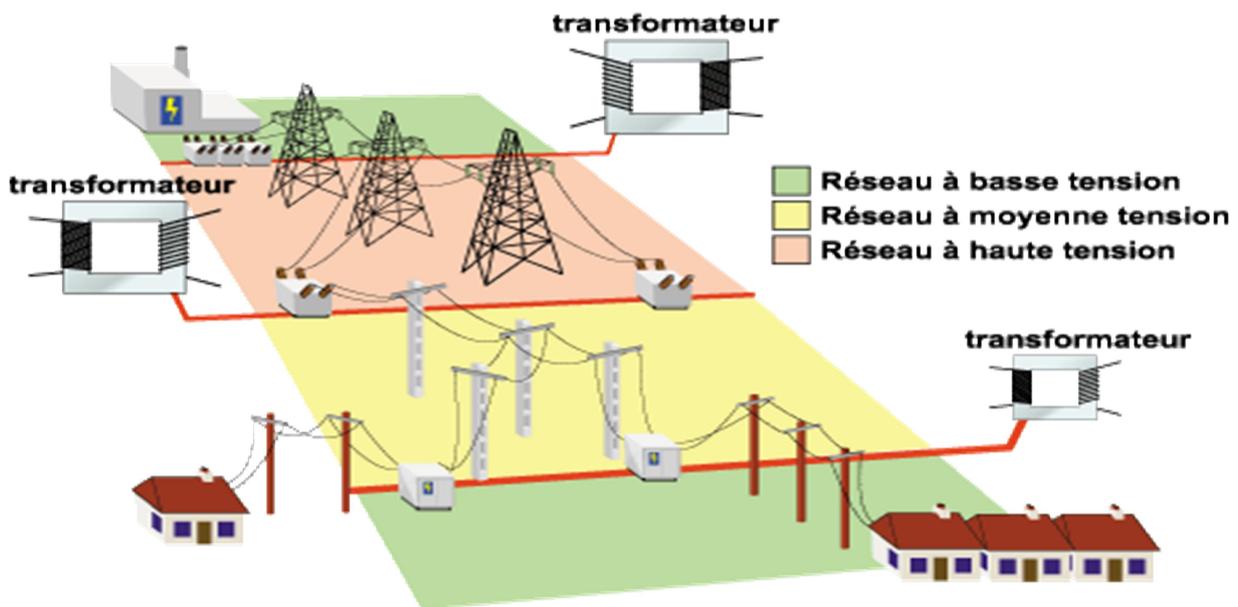
## Chapitre 1

### Généralités sur les réseaux électriques

#### I. Définition du Réseau Electrique

Un réseau, c'est d'abord un certain nombre de fonctions et de comportements d'ensemble, qu'il faut définir, mettre en œuvre, maîtriser grâce à une **conception** et une **exploitation** convenables. Ce sont ensuite des **ouvrages** et des **matériels** ( lignes aériennes et souterraines, postes, câbles, appareillage, transformateurs, parafoudres, etc.) qui, assemblés, forment le réseau physique ; la qualité conditionne très largement celle du réseau, donc celle de la desserte en électricité de ses clients. C'est enfin tout un **ensemble d'automatismes et de transmission d'informations et de commandes**, ensemble coordonné, donc système nerveux absolument indispensable à la protection des ouvrages et des matériels, à la robustesse du réseau vis-à-vis des défaillances internes et des agressions extérieures telles la foudre et les conditions climatiques extrêmes ; système indispensable aussi à la maîtrise par l'exploitant d'un outil technique qui, pour les réseaux publics, du moins, n'est pas concentré en un site, mais couvre des milliers et des centaines de milliers de kilomètres carrés.

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques..., avec les centres de consommation (villes, usines...). L'énergie électrique est transportée en haute tension, voir très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur final (Fig.1).



**Fig.1.** Schéma du réseau de transport.

Un réseau électrique est un système maillé mettant en œuvre :

➤ **Des nœuds** (ou postes) où sont raccordés : les centrales (centre de production), les charges (consommation) et les lignes électrique (élément du réseau).

➤ **Des branches** (ou lignes électrique) : qui interconnectent les nœuds.

Le maillage du réseau améliore la disponibilité de l'alimentation en énergie aux usagers, la stabilité et la qualité du produit électrique car les deux dépendent de la puissance de court circuit, laquelle augmente avec le maillage ou plus exactement avec le nombre et la puissance des centres de production installés et raccordés.

## **II. Nature de la tension, comparaison continu / alternatif**

Les tensions et les courants présents sur le réseau sont sinusoïdaux à une fréquence fixe de 50Hz (60Hz aux USA, au Canada, etc).

Les tensions sinusoïdales sont présentes à 99% sur les réseaux électriques, au dépend des tensions continues. Pour connaître les raisons de ce choix, on dresse deux tableaux d'avantages et d'inconvénients relatifs aux régimes alternatifs sinusoïdaux et continus.

### **II.1. Courant alternatif**

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permet l'utilisation des transformateurs pour élever et abaisser la tension</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Difficultés d'interconnexion de plusieurs réseaux (il faut avoir la même fréquence, la même tension et la même phase).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Facilite la coupure des courants par le passage naturel par 0 deux fois par période c.à.d. 100 fois par seconde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Implique des effets inductifs et capacitifs tout au long du réseau d'où l'existence de puissance réactive pénalisante pour le producteur.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Production directe par alternateur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Implique un effet de peau (concentration du courant dans la périphérie des câbles d'où la nécessité de câbles et lignes adaptés et donc plus chers</li> </ul>

### **II.2. Courant continu**

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas d'effet réactif donc pas de puissance réactive pénalisante pour la production.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Difficulté de couper les courants continus, d'où des dispositifs de coupure plus</li> </ul>

	performants et plus chers.
▪ Facilite l'interconnexion des réseaux, il suffit d'avoir partout la même tension.	▪ Terminaisons très coûteuses.
▪ Pas d'effet de peau (les câbles et les lignes sont plus simples et moins chers.	▪ Impossibilités de produire et d'élever la tension dans les très hautes tensions d'où des pertes importantes sur les lignes.

### II.3. Raison d'utilisation d'une tension sinusoïdale

La solution la plus commode pour produire de manière industrielle de l'énergie électrique est l'entraînement d'un alternateur par une turbine, le tout en rotation autour d'un axe. De manière naturelle ces installations produisent des tensions sinusoïdales.

En sens inverse et tout aussi naturellement, ces tensions sinusoïdales permettent l'entraînement régulier d'un moteur électrique.

Cette facilité d'utilisation à la production et à l'usage dans les machines tournantes constitue les deux grands atouts de la tension sinusoïdale.

#### II.3.4 Choix entre un système monophasé et triphasé

Il est tout à fait possible de réaliser un réseau uniquement en courant monophasé. Les raisons qui ont conduit à adopter le réseau triphasé sont les avantages techniques et économiques importants qu'il présente :

- Un alternateur de très forte puissance ne peut pas fonctionner en produisant un courant monophasé car la puissance fluctuante qui en résulte provoque une destruction de l'arbre de liaison entre l'alternateur et la source d'énergie mécanique qui le met en rotation. En effet, un système monophasé voit sa puissance instantanée passer par une valeur nulle à chaque oscillation de l'onde de tension (lorsque la tension ou l'intensité passe par zéro). La puissance instantanée est donc variable. Au contraire, les systèmes triphasés équilibrés assurent une puissance instantanée constante, c'est-à-dire "sans à-coup", ce qui est important en électromécanique.
- le transport d'une même puissance électrique en triphasé (sans neutre) nécessite une section de câbles conducteurs deux fois plus faible qu'en monophasé. L'économie qui en découle sur le coût de réalisation des lignes est notable.
- Les courants triphasés peuvent produire des champs magnétiques tournants en répartissant d'une manière spécifique les bobinages sur un rotor. Or les machines électriques qui produisent et utilisent ces courants fonctionnent de manière optimale en régime triphasé.
- Une distribution de l'électricité en courant triphasé avec fil de neutre permet de proposer pour un même réseau deux tensions d'utilisation différentes :

- soit entre une phase et le neutre : par exemple 230 V en Europe et en Afrique.
- soit entre deux phases : par exemple 400 V en Europe et en Afrique.

### III. Centrales électriques

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.1. Centrales thermiques

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. La plupart ont une capacité comprise entre 200 MW et 2000 MW afin de réaliser les économies d'une grosse installation. Il suffit de visiter une telle centrale pour se rendre compte de sa complexité et de ses dimensions imposantes. On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. Comme dans la plupart des pays modernes les ressources hydrauliques sont déjà exploitées, on doit se fier sur les centrales thermiques pour produire l'énergie électrique supplémentaire requise, parallèlement à la croissance des 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.

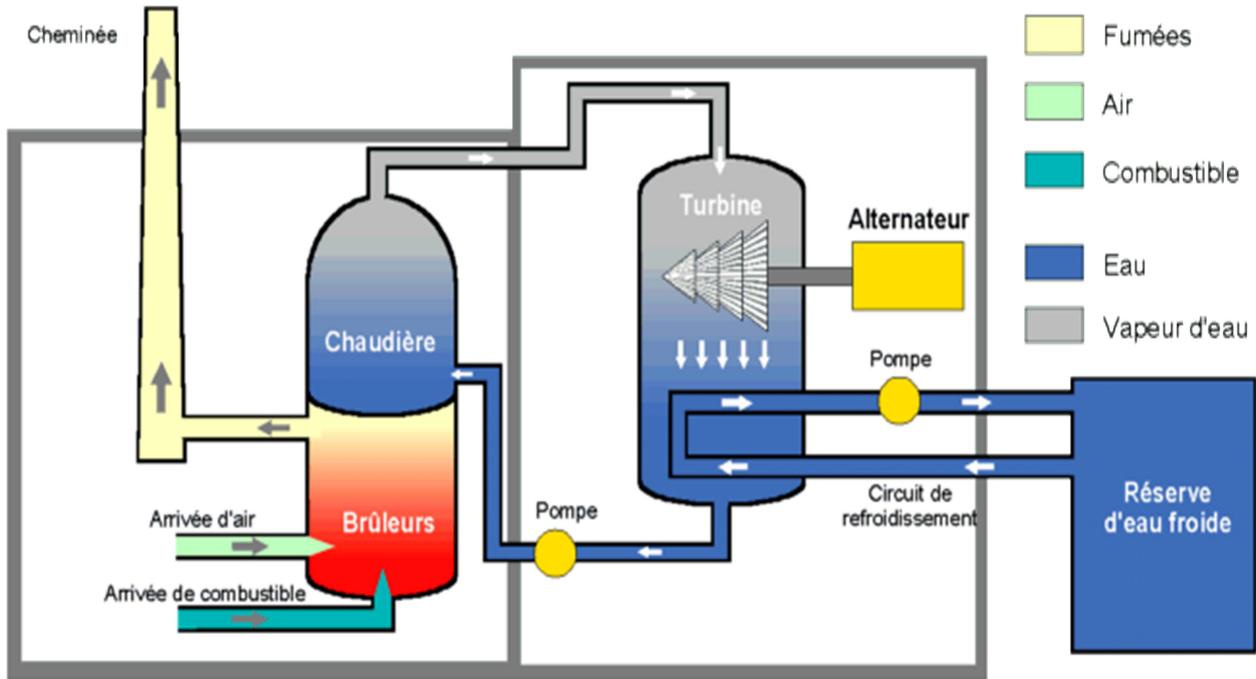


Fig.2. Eléments d'une centrale thermique.

III.2. Centrales nucléaire

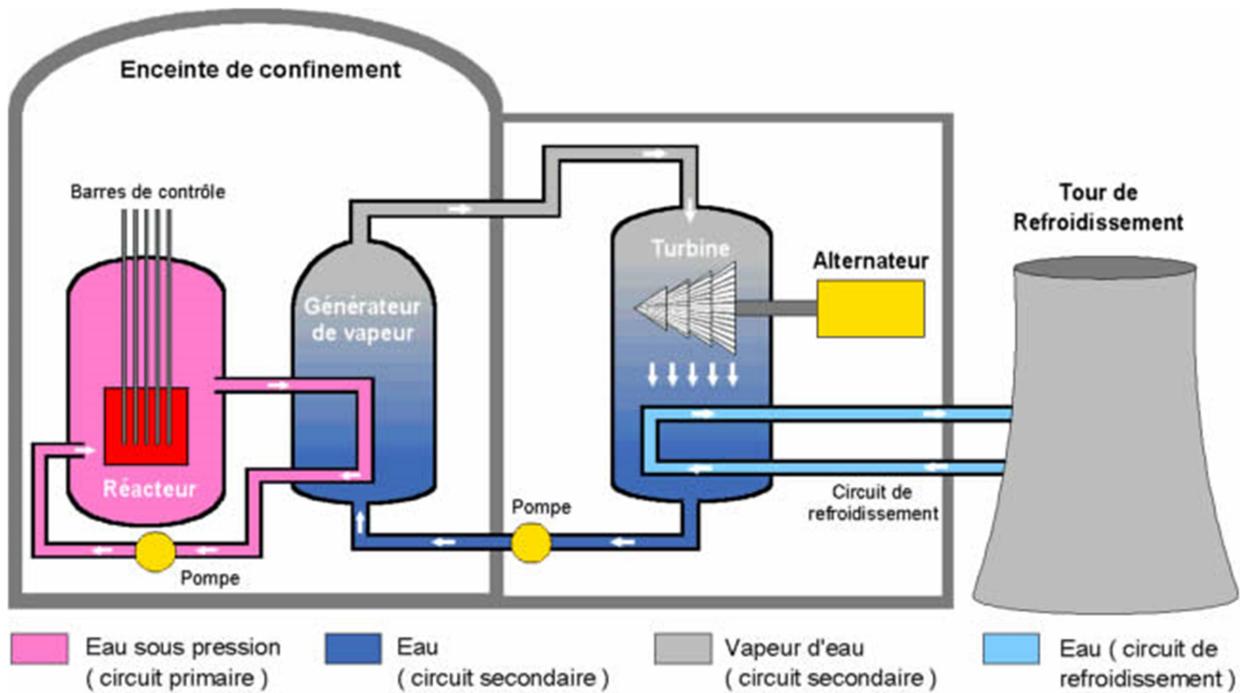


Fig.3. Eléments d'une centrale nucléaire.

III.2.1 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 [ $3 \times 10^8$  m/s]

- La quantité d'énergie libérée est énorme, car une diminution de 1 g seulement donne une énergie de  $9 \times 10^{13}$  joules, soit l'équivalent énergétique d'environ trois mille tonnes de charbon.

### III.3. Centrales hydrauliques

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

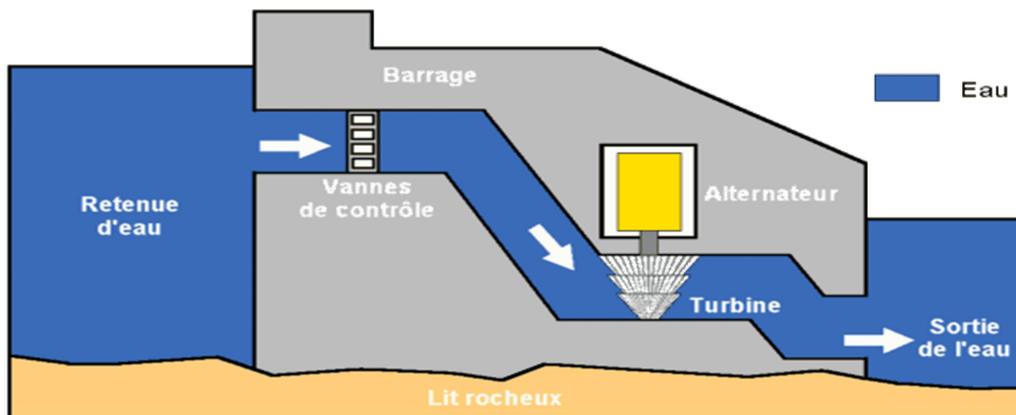


Fig.4. Eléments d'une centrale hydraulique.

- 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.

#### III.3.1 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 :

$$P = 9.8 . q . h$$

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

$q$  : débit en mètres cubes par seconde [ $m^3/s$ ]

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

9.8 : Coefficient tenant compte des unités.

**III.3.2 Types de centrales hydrauliques**

Suivant la hauteur de chute, on distingue :

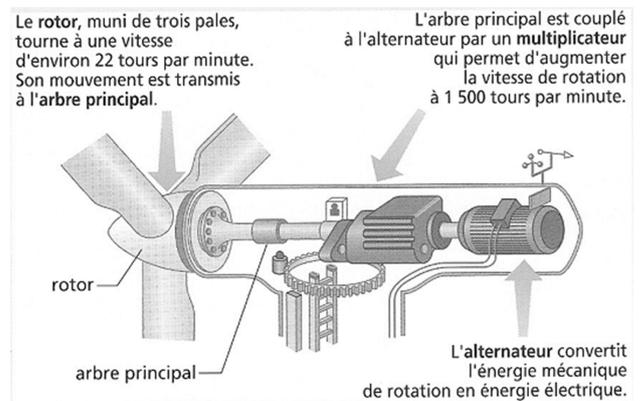
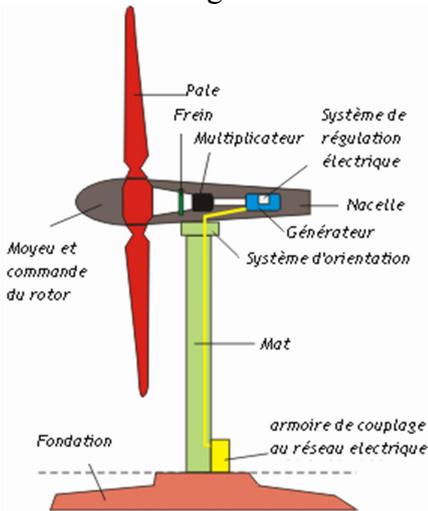
- 1) les centrales de haute chute ont des hauteurs de chute supérieures à 300 m
- 2) les centrales de moyenne chute ont des hauteurs comprises entre 30 m et 300 m.
- 3) les centrales de basse chute ont des hauteurs de chute inférieures à 30 m.

**III.4. L'énergie éolienne**

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

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

Entraînement du générateur électrique



**Fig.5.** Eléments d'une éolienne.

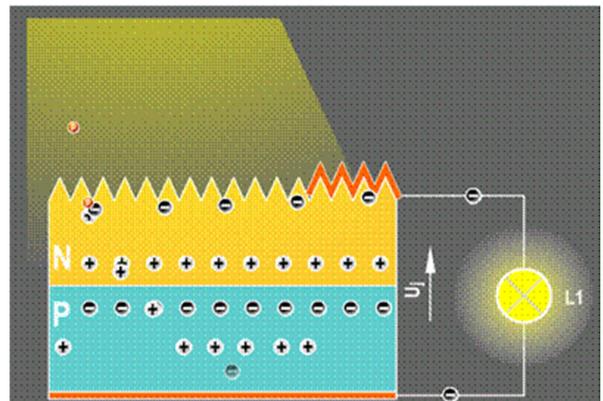
**III.4.2. Puissance disponible**

La puissance fournie par l'éolienne est  $P = 0.6.v^3$

Avec  $v$  la vitesse de vent en [m/s].

**III. 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.

### III.6. La géothermie

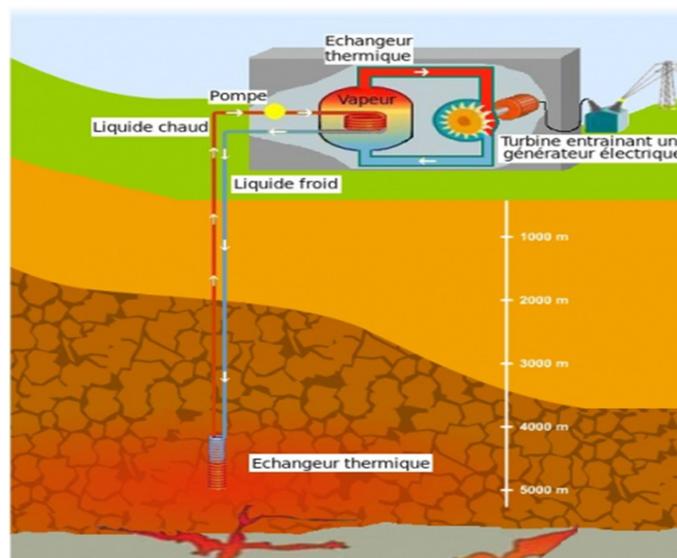
La géothermie désigne aussi l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

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.



## IV Lignes électriques

Une ligne électrique est un ensemble de conducteurs, d'isolants et d'éléments accessoires destinés au transport de l'énergie électrique.

### IV.1 Types de lignes

Elles peuvent être classées selon plusieurs critères :

- Suivant les fonctions qu'elles assurent dans le réseau :
- *Lignes de grand transport ; Lignes d'interconnexion ; Lignes de répartition ; Lignes de distribution.*
- Suivant la situation dans l'espace :
  - Lignes aériennes.
  - Lignes souterraines (câble).

## IV.2 Composantes d'une ligne

Une ligne de transport se compose de câbles conducteurs, d'isolateurs et de supports.

### IV.2.1 Supports

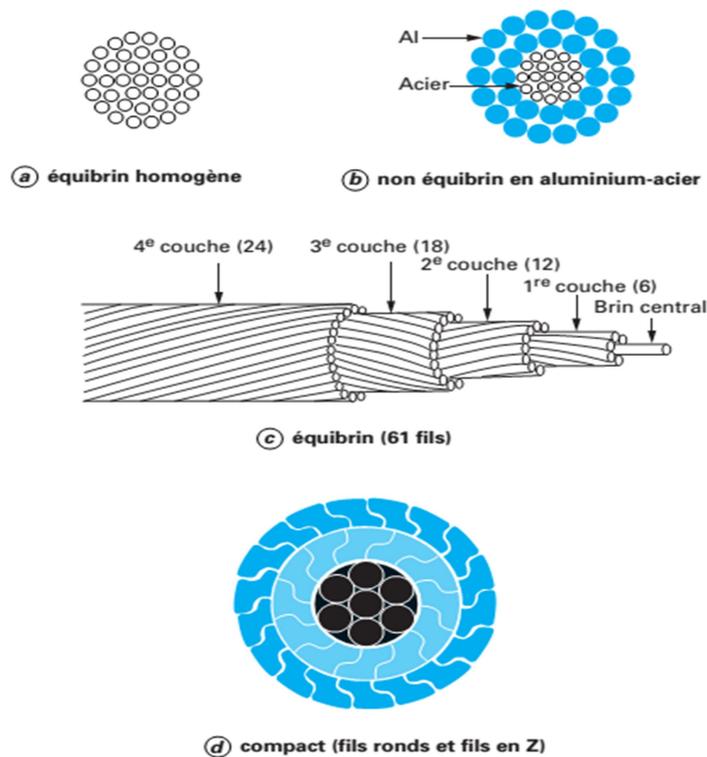
Le rôle des pylônes est de maintenir les câbles à une distance minimale de sécurité du sol et des obstacles environnants, afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage des lignes. Leur silhouette est caractérisée par la disposition des câbles conducteurs. L'écartement entre les fils doit être d'autant plus grand que la distance entre les pylônes est plus grande et que la tension de la ligne est plus élevée.



**Fig.6.** Supports des lignes aériennes HT (pylône électrique).

### IV.2.2 Conducteurs

Les conducteurs nus, utilisés pour la construction des lignes aériennes, sont des câbles constitués de fils ronds ou exceptionnellement de fils trapézoïdaux ou profilés en forme de Z. Pour réaliser ces câbles, les métaux conducteurs de faible résistivité sont peu nombreux. Seuls sont utilisés actuellement l'aluminium dans sa forme écroui dur, de grande pureté d'une part, et un alliage d'aluminium, l'almélec, d'autre part.



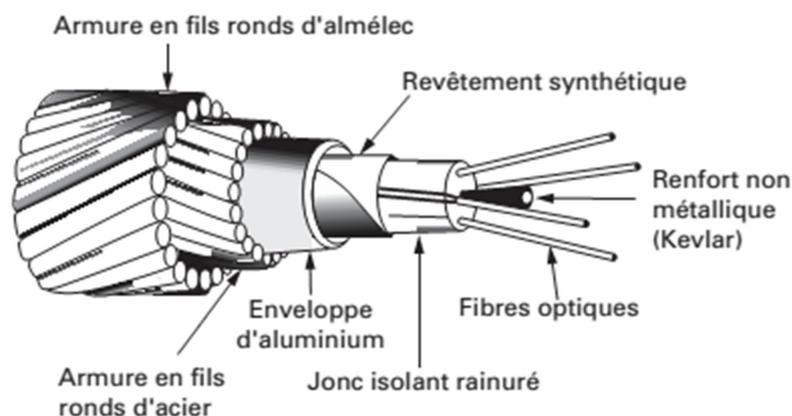
**Fig.7.** Conducteurs usuels.

Depuis plusieurs années, le cuivre n'est plus utilisé en raison de sa masse et de son coût. Cependant, des conducteurs en cuivre équipent encore des lignes anciennes.

#### IV.2.2.1 Câble de garde

Les câbles de garde ne transportent pas le courant. Ils sont situés au-dessus des conducteurs, ils sont plus tendus que ceux-ci pour assurer une bonne protection contre la foudre.

Les câbles de garde comportent toujours une section importante d'acier et, autour de l'âme d'acier, une couche ou exceptionnellement deux couches de fils d'almélec.



**Fig 8.** Câble de garde à fibres optiques incorporées.

Deux types de câbles de garde sont utilisés :

- des câbles almélec-acier normaux ;
- des câbles almélec-acier comportant à l'intérieur des circuits de télécommunication.

### IV.2.3 Isolateur

Les isolateurs assurent l'isolement électrique entre les câbles conducteurs et les supports. Sur le réseau de transport, les isolateurs sont utilisés en chaîne, dont la longueur augmente avec le niveau de tension.

Les isolateurs ont deux fonctions principales :

- Ils empêchent le courant électrique qui circule dans les conducteurs de phase de passer dans les pylônes.
- Ils accrochent les conducteurs de phase au pylône.



*Chaînes d'ancrage*



*Chaînes en V*



*Chaînes droite*

### V. Poste de transformation (Transformateur)

Par définition, un poste (une sous-station) est une installation d'organes de liaison et d'organes de manœuvre où parvient l'énergie des centrales et d'où cette énergie est orientée vers les centres de consommation.



**Fig 9.** Transformateur de puissance dans un poste électrique.

Les postes électriques ont trois fonctions principales :

- Le raccordement d'un tiers au réseau d'électricité (aussi bien consommateur que producteur type centrale nucléaire).

- L'interconnexion entre les différentes lignes électriques (assurer la répartition de l'électricité entre les différentes lignes issues du poste)
- La transformation de l'énergie en différents niveaux de tension.

### V.1 Composantes d'un poste

On distingue parfois les éléments d'un poste en "éléments primaires" (les équipements haute tension) et "éléments secondaires" (équipements basse tension).

Parmi les équipements primaires, on peut citer :

- Transformateur électrique ;
- Autotransformateur électrique ;
- Disjoncteur à haute tension (Appareillage de manœuvre et protection);
- Sectionneur (isolation : dont la principale fonction est d'assurer l'isolement du circuit qu'il protège ;
- Parafoudre (protection) ;
- Transformateur de courant (Appareillage de mesure des courants) ;
- Transformateur de tension (Appareillage de mesure des tensions) ;
- Jeu de barre (Appareillage de liaison)
- Batterie de condensateurs (Appareillage de régulation : compensation de l'énergie réactive) ;
  
- Services auxiliaires BT, courant alternatif et courant continu (Parmi les éléments secondaires on peut citer : alimentations des moteurs de commande, la signalisation, les verrouillages, le chauffage, l'éclairage, télécommande, télésignalisation, télémessure...)