

Chapitre I : Généralités sur le système «production-transport-Distribution»

Conduire un système électrique, c'est d'abord définir le partage des rôles et responsabilités entre les nombreux acteurs concernés. Ensuite, pour les « gestionnaires du réseau de transport » qui, dans chaque pays ou chaque grande zone d'exploitation, ont le rôle de chef d'orchestre et la maîtrise directe des moyens de conduite, il s'agit de préparer les situations à venir, puis, depuis leurs centres de conduite ou « dispatchings », de surveiller le système et de le maîtriser, d'anticiper les possibles difficultés. Enfin, il s'agit de rendre à chacun des acteurs l'image de son rôle dans l'exploitation passée et de procéder aux règlements financiers correspondants.

1. Système électrique

On appelle communément « *système électrique* » l'ensemble des installations électriquement interconnectées qui assure la livraison, à tous les utilisateurs d'électricité, des kilowattheures produits à partir de sources d'énergie primaire telles que l'hydraulique, les combustibles fossiles, la fission nucléaire, l'énergie éolienne, voire, mais encore marginalement, l'énergie solaire directe.

2. Constitution du système électrique

Il est traditionnel de distinguer, au sein d'un système électrique, trois étages aux fonctions différentes s'articulant entre elles (figure 1).

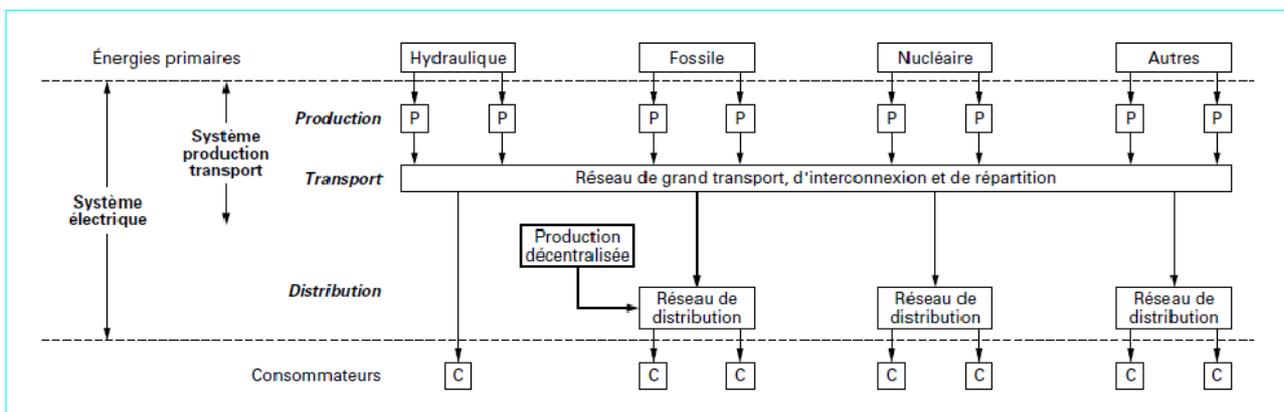


Figure 1 - Schéma de principe d'un système électrique

- Le premier étage est celui de la **production** de l'électricité qui sera livrée aux consommateurs. Il est constitué par les usines, souvent appelées « centrales », qui convertissent en kilowattheures les énergies primaires, véritables sources de l'énergie consommée par les utilisateurs d'électricité.
- Le deuxième étage est celui du réseau de **transport et d'interconnexion** auquel sont raccordées les usines de production. Cet étage assure la mise en commun et la répartition sur un très vaste territoire de toute l'électricité qui y est produite. Le réseau de transport et d'interconnexion est le véritable nœud du système électrique. Il peut être à l'échelle d'un continent tel que l'Europe ; dans le cas européen, il a même commencé à s'étendre vers l'Afrique du Nord via le détroit de Gibraltar.
- Le troisième étage est celui des réseaux de **distribution**. En effet, un réseau de transport et d'interconnexion peut desservir directement certains très gros utilisateurs d'électricité. Mais des réseaux intermédiaires sont nécessaires pour desservir les millions et dizaines de millions de consommateurs, industriels ou domestiques, qui ont besoin de puissances se chiffrant en kilowatts et mégawatts, et non en dizaines ou centaines de mégawatts. De nombreux réseaux de distribution, alimentés chacun séparément par le réseau de transport, assurent le convoyage de la puissance électrique et son émission vers la multitude de ses utilisateurs.

2.1. Courant continu Courant alternatif

Le courant continu (CC ou DC pour direct current) est un courant électrique dans lequel les électrons circulent continuellement dans la même direction, c'est-à-dire du pôle négatif vers le pôle positif. Sa vitesse de déplacement est de plusieurs mètres par heure et sa propagation se fait à la vitesse de la lumière.

Le courant alternatif (CA ou AC pour alternative current) est l'autre type de courant électrique. Les électrons circulent de manière alternative dans les deux sens du circuit. En fait, c'est la rotation d'un alternateur qui génère un mouvement de va et vient des électrons. Dans ce cas, le déplacement des électrons se limite à quelques millièmes de millimètre. Le courant alternatif est mesuré par sa fréquence (en hertz). En Europe, la fréquence est de 50Hz, le courant effectue donc 50 allers-retours par seconde.

2.2. Transport de l'électricité et applications

Dans la majorité des cas, le transport de l'électricité se fait avec du courant alternatif. En effet, l'intensité de celui-ci étant limitée, la déperdition de chaleur et d'énergie (effet Joule) est moins importante qu'en courant continu.

Sur de très longues distances ou dans des cas de câbles enterrés ou sous-marins, le courant continu est privilégié. En effet, pour transporter de l'électricité en CC, il suffit de deux câbles, alors que trois câbles sont nécessaires pour effectuer le transport en CA.

Tout circuit alimenté par un générateur de type pile ou batterie (lampe de poche, téléphone, ...) fonctionne en courant continu. Le courant alternatif est lui utilisé dans le cadre de la distribution d'électricité.

Le transport d'énergie en courant continu et à haute tension (CCHT ou HVDC) est présentement en pleine expansion dans le monde. Deux principaux facteurs sont à l'origine de cet engouement.

Le premier facteur est relié aux difficultés de construction de nouvelles lignes aériennes pour assurer le développement du réseau à haute tension et ce qui fait que le recours à des câbles souterrains est de plus en plus fréquent. Or l'utilisation de ces câbles est limitée en longueur à quelques dizaines de km à cause du courant capacitif généré par le câble lui-même. Au-delà de cette longueur limite, la solution consiste généralement à transporter en courant continu (CC ou DC).

Le second facteur est relié au développement de l'éolien offshore qui nécessite de raccorder des puissances de plusieurs centaines de MW au réseau continental au moyen de câbles dont les longueurs peuvent atteindre quelques centaines de km et donc requérir le transport en HVDC.

3. Transport de l'énergie électrique

3.1. Rôle du réseau de grand transport

La fonction de base du réseau de grand transport est d'abord de relier les centrales de production aux centres de consommation d'électricité. Mais, au-delà de cette évidence, pour comprendre la structure et les contraintes d'exploitation de ce réseau, il importe de bien appréhender les principales lignes directrices de son développement et de son organisation, que nous allons rappeler très brièvement.

Le réseau de grand transport est né de la localisation de ressources énergétiques (souvent l'hydroélectricité) loin des zones consommatrices. Pour franchir la distance correspondante, la technique du transport par courant alternatif à très haute tension s'est rapidement imposée.

Le réseau permet aussi de bénéficier des différences de coûts de production (ou de prix offerts sur un marché ouvert) entre des équipements distants, conduisant à une **réduction globale des coûts**

d'exploitation. Ces différences de prix, selon leur caractère conjoncturel ou structurel, donnent lieu à des transports d'électricité dits respectivement « systématiques » et « de compensation ».

Le transport systématique est pratiqué lorsque des ressources énergétiques massives et économiques sont situées loin de leur clientèle. Ce peut être par exemple le cas de l'hydroélectricité, du nucléaire (unités de forte puissance dont la localisation est dictée par des contraintes de source froide) ou du gaz.

Le transport de compensation relève de la compensation statistique des variations tant de la consommation que de la capacité de production. Il peut être prévisible et aisément anticipé : c'est le cas de l'effet des décalages entre heures de pointes entre régions ou pays (voir par exemple le décalage horaire entre grands centres de consommation de l'interconnexion de l'Est des États-Unis). C'est aussi le cas lors de la gestion coordonnée de centrales thermiques et hydrauliques appartenant à un même producteur, tirant parti de la complémentarité de ses moyens de production. Le transport de compensation peut aussi devoir être mis en œuvre, avec un préavis très limité, dans le cas de la panne d'une grosse unité de production. Ce type d'événement fait toutefois partie des anticipations habituelles, nécessaire à la bonne conduite d'un système électrique.

3.2. Rôle des réseaux de répartition

Le rôle de plaque tournante du réseau de grand transport doit être complété par d'autres réseaux qui vont acheminer l'énergie à proximité immédiate des zones de consommation diffuse : il s'agit des **réseaux de répartition**, qui assurent le relais jusqu'aux « capillaires » que sont les réseaux de distribution à 20 kV et à 400 V. En Europe, le grand transport est le domaine du **réseau à 400 kV**, plus certaines liaisons à 225 kV. Dans de nombreux pays, dont la France, les ingénieurs auraient souhaité distinguer nettement le rôle de ces deux niveaux de tension, en les hiérarchisant en vue d'une conduite plus simple et plus structurée, offrant de meilleures perspectives quant à la sûreté du système électrique. Cette évolution n'a pu être menée à son terme, du fait des contraintes d'environnement comme du ralentissement de la croissance de la consommation.

Le **réseau à 225 kV** joue donc un rôle complexe, relevant, selon les ouvrages ou les schémas d'exploitation, du grand transport ou de la répartition. En complément du réseau à 225 kV, il existe en général un niveau de tension intermédiaire pour des réseaux de répartition maillés alimentant les « postes sources » où se trouvent les transformateurs vers les réseaux radiaux de distribution. En effet, les réseaux de répartition sont en général exploités « **en poche** », c'est-à-dire que les zones régionales qu'ils desservent ne sont directement reliées que par les niveaux de tension supérieurs. Il n'y a donc pas de raison d'adopter uniformément un même choix technique, et le poids des investissements passés est tel qu'il maintient une diversité parfois forte ancienne.

Outre la desserte régionale, les réseaux de répartition ont un rôle d'évacuation de la puissance produite par de petites centrales (en général 250 MW et moins). Ce rôle est très important dans des régions où une production hydroélectrique abondante provient de nombreuses petites usines réparties le long des vallées.

Pour conclure sur les réseaux de répartition, il faut souligner que, s'ils ne conditionnent pas directement la robustesse des systèmes électriques, c'est-à-dire leur sûreté, ils jouent un rôle déterminant quant à la **qualité de l'électricité** livrée au consommateur final. Leur conception, comme leur exploitation et leur conduite, se traduisent très directement en nombres de coupures longues ou brèves, nombres de creux de tension, etc., subis à la livraison en bout de chaîne.

4. La constitution du réseau

4.1 Centrales électriques

Il existe cinq principaux types de centrales électriques : Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques, les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de thermiques, les centrales hydroélectriques, les centrales solaires ou photovoltaïques, les centrales éoliennes.

4.1 .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.

On les trouve souvent près des rivières, lac et mer, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou générateur de vapeur). On dispose alors de vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur sous pression fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière (figure I.2).

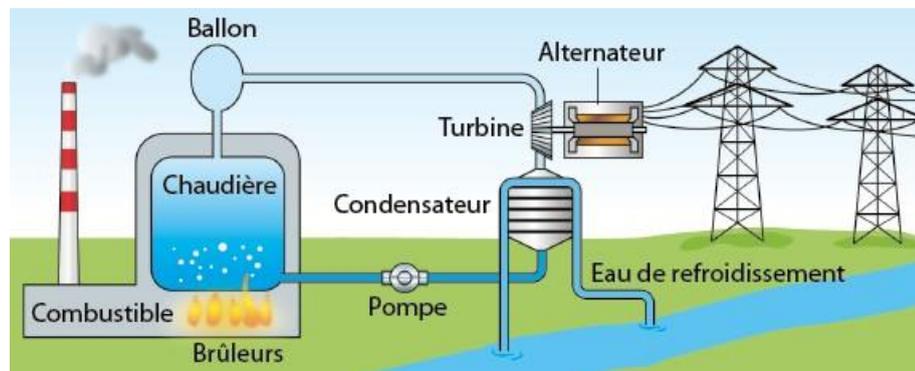


Fig.I.2 : Centrale thermique à flamme

4.1 .2 Centrales nucléaires

Ces centrales utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur "chaudière" est un réacteur nucléaire (figure I.3). L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission de l'uranium et du plutonium est la source de chaleur utilisée. Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident.

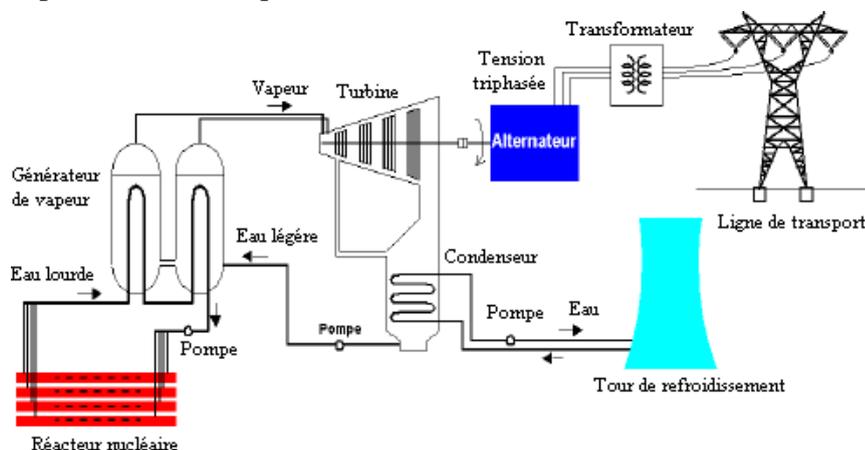


Fig.I.3 : Centrale nucléaire

4.1 .3 Centrales hydroélectriques

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (figure I.4).

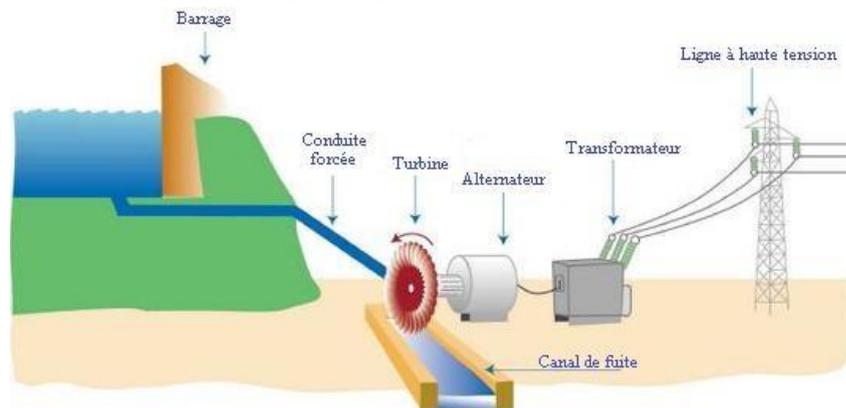


Fig.I.4 : Centrale hydroélectrique

4.1 .4 Centrales solaires ou photovoltaïques

Un premier processus consiste à fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire en utilisant les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux (figure I.5). Un autre procédé utilise des miroirs pour concentrer le flux d'énergie vers un foyer où de l'eau est vaporisée pour entraîner un alternateur.

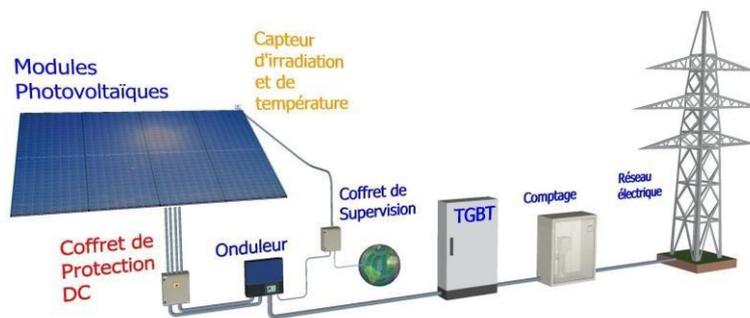


Fig.I.5 : Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque

4.1 .5 Centrales éoliennes

L'énergie du vent provient de celle du soleil qui chauffe inégalement les masses d'air, provoquant des différences de pression atmosphérique et donc des mouvements de circulation de l'air. L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, disponible partout (en quantités différentes) et bien sûr sans rejet polluant dans l'atmosphère.

L'éolienne transforme la puissance de translation du vent en puissance de rotation. Un alternateur est mécaniquement couplé à l'axe des pales (rotor) pour produire les tensions triphasées. Un dispositif de régulation permet d'obtenir une vitesse de rotation constante compatible avec la fréquence du réseau (50Hz), (figure I.6).

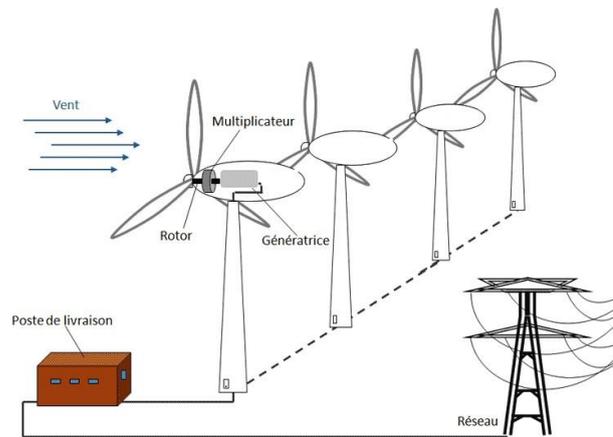


Fig.I.6 : Schéma de principe d'une production éolienne

4.2 Postes électriques

Les postes électriques permettent d'adapter la tension en fonction des lignes et des réseaux, mais aussi à aiguiller l'électricité et à la "surveiller" à distance sur les différentes lignes qu'elle emprunte. On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent : les postes d'interconnexion, les postes de transformation et les postes mixtes.

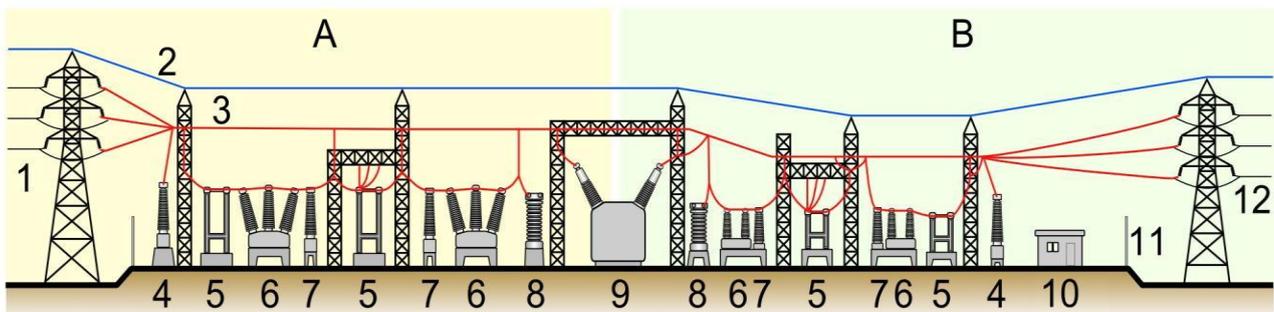


Fig.I.7 : Appareils électriques dans un poste (A : côté primaire, B : côté secondaire)

Les postes contiennent un certain nombre d'appareils électriques qui participent au bon fonctionnement du réseau : 1. Ligne électrique primaire ; 2. Câble de garde ; 3. Ligne électrique ; 4. Transformateur de tension ; 5. Sectionneur ; 6. Disjoncteur ; 7. Transformateur de courant ; 8. Parafoudre ; 9. Transformateur de puissance ; 10. Bâtiment secondaire ; 11. Clôture ; 12. Ligne électrique secondaire.

4.2.1 Transformateurs de puissance : Ils modifient la tension électrique à la hausse (par exemple de 20 kV à 400 kV en sortie de centrales) ou à la baisse (par exemple de 63 kV à 20 kV pour livrer l'énergie aux réseaux de distribution) (figure I.8).



Fig.I.8 : Transformateurs de puissance

4.2.2 Transformateurs de mesure (courant et tension) : Ils sont utilisés pour permettre la mesure de la tension ou du courant quand ceux-ci ont une valeur trop élevée pour être mesurée directement. Ils doivent transformer la tension ou le courant de manière proportionnelle et sans déphasage. Ils sont destinés à alimenter des appareils de mesure, des compteurs, des relais et autres appareils analogues (figure I.9).



(a) Transformateur de courant



(b) Transformateur de tension

Fig.I.9 : Transformateurs de mesure

4.2.3 Disjoncteurs : Ils protègent le réseau contre d'éventuelles surcharges dues à des courants de défaut (foudre, amorçage avec branche d'arbre) en mettant des portions de circuit sous ou hors tension (figure I.10).



Fig.I.10 : Disjoncteurs

4.2.4 Sectionneurs : Ils assurent la coupure visible d'un circuit électrique et aiguillent le courant dans le poste (figure I.11).



Fig. I.11 : Sectionneurs

4.2.5 Jeux de barres

Dans la distribution électrique un jeu de barres désigne un conducteur de cuivre ou d'aluminium qui conduit de l'électricité dans un tableau électrique, à l'intérieur de l'appareillage électrique ou dans un poste électrique. Les jeux de barres sont typiquement soit des barres plates, soit des tubes (figure I.12). Ils sont considérés comme des conducteurs de faible impédance auquel peuvent être reliés plusieurs circuits électriques en des points séparés.



Fig.I.12 : Jeux de barres

4.2.6 Isolateurs

Les isolateurs assurent l'isolement électrique entre les câbles conducteurs et les supports. Ils sont utilisés en chaîne, dont la longueur augmente avec le niveau de tension : il faut compter environ 6 isolateurs en 63 kV, 9 en 90 kV, 12 en 225 kV et 19 en très haute tension de 400 kV. La chaîne d'isolateurs joue également un rôle mécanique, elle doit être capable de résister aux efforts dus aux conducteurs, qui subissent les effets du vent, de la neige ou du givre (figure I.13).



Fig.I.13 : Isolateurs

4.2.7 Autres appareillage d'un poste

Outre la transformation, les postes assurent la jonction entre les différents réseaux électriques pour pouvoir "aiguiller" l'énergie du lieu de production vers le lieu de consommation. Par ailleurs, grâce à leur appareillage électrique très performant, les postes éliminent très rapidement (généralement en moins d'une seconde) les incidents (courts-circuits) qui peuvent survenir sur les lignes ou dans le poste lui-même.

- **Parafoudres**

Les parafoudres sont des appareils destinés à limiter les surtensions imposées aux transformateurs, instruments et machines électriques par la foudre et par les manœuvres de commutation. La partie supérieure du parafoudre est reliée à un des fils de la ligne à protéger et la partie inférieure est connectée au sol par une mise à la terre de faible résistance, généralement de moins d'un Ohm (figure I.14).



Fig.I.14 : Parafoudre

- **Eclateurs**

L'éclateur est un dispositif simple constitué de deux électrodes, la première reliée au conducteur à protéger, la deuxième reliée à la terre. A l'endroit où il est installé dans le réseau, l'éclateur représente un point faible pour l'écoulement des surtensions à la terre et protège ainsi le matériel (figure I.15).



Fig.I.15 : Eclateurs

4.3 Supports

Le rôle des supports (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. Le choix des pylônes se fait en fonction des lignes à réaliser, de leur environnement et des contraintes mécaniques liées au terrain et aux conditions climatiques de la zone. Leur silhouette est caractérisée par la disposition des câbles conducteurs. On a recours à des pylônes composés d'un treillis en acier. Plus la tension est élevée, plus l'envergure est grande et plus les poteaux sont élevés (figure I.16).

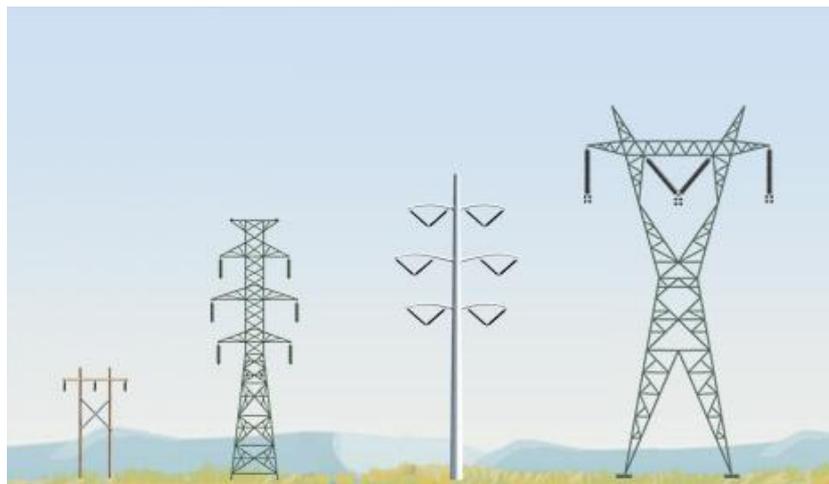


Fig.I.16 : Quelques structures de pylônes

4.4 Câbles conducteurs

4.4.1 Lignes aériennes

Pour transporter le courant, on utilise des câbles conducteurs qui sont portés par les pylônes. Le courant utilisé étant triphasé, il y a trois câbles (ou faisceaux de câbles) conducteurs par circuit. Les lignes sont soit simples (un circuit), soit doubles (deux circuits par file de pylônes). Chacune des phases peut utiliser 1, 2, 3 ou 4 câbles conducteurs, appelés faisceaux. Les câbles conducteurs sont « nus » c'est-à-dire que leur isolation électrique est assurée par l'air. La distance des conducteurs entre eux et avec le sol garantit la bonne tenue de l'isolement. Cette distance augmente avec le niveau de tension.

Les conducteurs en cuivre sont de moins en moins utilisés. On utilise en général des conducteurs en aluminium, ou en alliage aluminium-acier ; on trouve aussi des conducteurs composés d'une âme centrale en acier sur laquelle sont tressés des brins d'aluminium (figure I.17).



Fig. I.17 : Conducteur d'une ligne aérienne

4.4.2 Lignes souterraines

Un câble électrique à haute tension est un câble utilisé pour le transport d'électricité, que ce soit en courant alternatif ou en courant continu. Il est composé de différentes parties assemblées de manière concentrique, les principales sont : au centre un conducteur permet de transporter l'électricité, entouré d'une couche semi-conductrice interne, ensuite vient une isolation électrique pour empêcher le courant de s'écouler vers la terre, le tout est entouré d'une gaine métallique afin de confiner le champ électrique à l'intérieur du câble et d'une protection extérieure qui assure de bonne propriété mécaniques et le protéger des agressions extérieures (figure I.18).

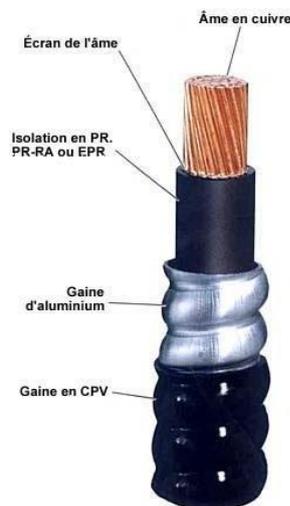


Fig.I.18 : Coupe d'un câble souterrain

4.4.3 Câbles de garde

Les câbles de garde ne conduisent pas le courant. Ils sont situés au-dessus des conducteurs de lignes aériennes à haute tension. Ils jouent un rôle de paratonnerre au-dessus de la ligne, en attirant les coups de foudre, et en évitant le foudroiement des conducteurs. Ils sont en général réalisés en acier (figure I.19).

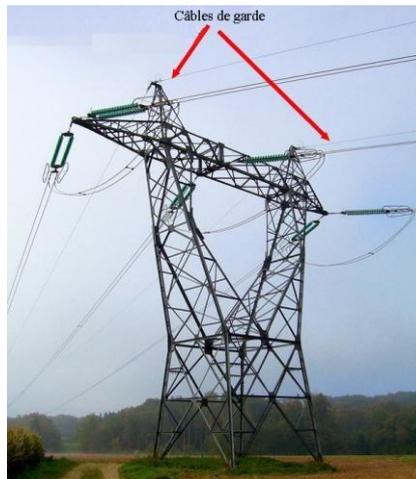


Fig.I.19 : Câble de garde

4.5 Centre de dispatching (centre de conduite réseau)

Le système de transport et de fourniture d'énergie électrique est exploité par un centre de conduite réseau également appelé dispatching. Le Dispatching est responsable de l'équilibre entre la demande et la fourniture d'énergie électrique, la maîtrise du plan de tension et du transit sur le réseau interconnecté. Les équipes du dispatching se relaient 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 pour veiller à cet équilibre en supervisant en temps réel l'état du réseau haute tension (figure I.20).

Il est aussi responsable des réseaux de répartition, et veille particulièrement à la continuité de l'alimentation des réseaux de distribution et des consommateurs raccordés en haute tension HTB.



Fig.I.20 : Centre de dispatching

5. Structure générale du réseau électrique algérien

Le réseau électrique algérien contient 114 Jeux de barres et 175 lignes de liaison entre ces JB avec 15 centrales de production, 16 transformateurs et 91 charges, ce réseau divise en six régions numérotées de 1 jusqu'à 6 et représentées comme suit :

Tableau 1-1 Régions de réseau électrique Algérien

Les régions	ORAN	ALGER	SETIF	ANNABA	DJELA	OURGLA
Codes	1	2	3	4	5	6

Les niveaux de tension dans ce réseau sont entre 220 Kv et 60 Kv et présentés dans le tableau suivant:

Tableau 1-2 Niveau de tensions du réseau Algérien

Tensions (kV)	Code de niveau de tension
60	3
90	4
150	5
220	6

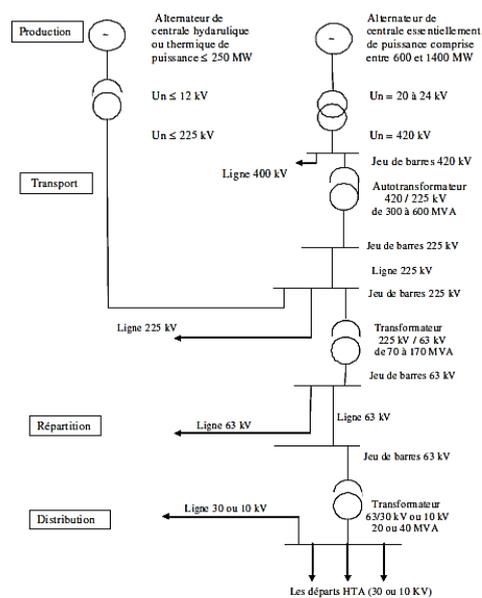


Fig.1.21:Structure de réseau Algérien

Tableau 1-3 paramètres de quelque noeuds du réseau Algérien

Nom de JB	Numéro de JB	Voltage de JB	Angle De JB	charge		Générateur			
				P_d	Q_d	P_g	Q_g	Q_{min}	Q_{max}
	Unité	p.u	Degrée	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	MVAR
1OUJDA6	1	1	0.0	0	0	0	0	0	0
1GHAZA6	2	1	0.0	36	17	0	0	0	0
1ZAHAN6	3	1	0.0	64	31	0	0	0	0

