

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série:

Faculté des Sciences et Technologie
Département des Sciences et Technologie

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Maintenance en instrumentation industrielle

THEME:

**Compensation De L'énergie Réactive Dans Les
Réseaux de Transport d'Electricité**

Un stage pratique au sein de la société GRTE

Présentés par :

**Hocine BABAOUAMER
Salah Eddine BAHADDI**

Jury :

M^r : Radhwane SADOUNI Maitre Assistant A Univ.Ghardaia **Encadreur**
M^r : Ben Aouicha Karim Maitre Assistant A Univ.Ghardaia **Examineur**

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2014/2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Et

Dédicaces

Nous remercions tout d'abord Allah le Tout Puissant qui nous a donné la force et le courage pour achever ce travail dans les meilleures conditions.

*Nous tenons également à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail en particulier notre encadreur **Mr : Sadouni Redouane** et tous les dirigeants et travailleurs de la société GRIE.*

*Nous remercions vivement le chef de département ST **Mr : A. HADJ SAID** et tous les enseignants qui ont participé à notre formation*

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à monsieur l'examineur qui a bien voulu examiner ce mémoire.

Ce travail est dédié essentiellement à nos chers parents, frères et sœurs et à nos collègues.

Sommaire

	page
Remerciements et Dédicaces	i
Sommaire	ii
Table des figures	iv
Introduction Générale	1
Chapitre I	
GENERALITES SUR LA PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	3
I.1. Introduction	4
I.2. Les différents types des centrales électriques	4
I.2.1. Les centrales Hydrauliques :	5
➤ Principe de fonctionnement	5
➤ Différents types de centrales	6
I.2.2. Les centrales Thermiques :	7
➤ Le principe de fonctionnement	7
I.2.3. Les centrales nucléaires :	9
➤ Le principe de fonctionnement	9
I.2.4. Les centrales éoliennes :	11
➤ Le principe de fonctionnement	11
I.3. Conclusion	12
Chapitre II	13
TRANSPORT DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	
II.1. Introduction	14
II.2. Organisation du réseau de transport	15
II.3. Domaines de tension	15
II.4. Constitution du réseau de transport :	16
II.4.1. Les lignes aériennes	16
II.4.2. Les pylônes	18
II.4.3. Les isolateurs	19
II.4.4. Les lignes souterraines	20
II.4.5. Les postes	21
II.4.6. Le transformateur	22
II.4.7. Le disjoncteur	23
II.4.8. Le sectionneur	24
II.5. Conclusion	25

Chapitre III	26
LA COMPENSATION DE L'ENERGIE REACTIVE	
III.1. Introduction	27
III.2. Les différents types d'énergies	27
III.3. Composantes actives et réactives de la puissance	28
III.4. Facteur de puissance	29
III.5. La compensation de l'énergie réactive :	30
III.5.1. Choix de la localisation	31
III.5.2. Choix du type de compensation	31
III.5.3. Compensation d'énergie réactive en présence d'harmoniques	31
III.6. La problématique de l'énergie réactive en milieu industriel	32
III.7. L'équipement didactique « CER »	34
III.8. La compensation de l'énergie réactive dans les lignes HT	36
III.9. Conclusion	37
Conclusion Générale	38
Bibliographie	39
Annexe	40
Réseau électrique de la région de transport de Hassi Messaoud :	40
1. Schéma électrique	40
2. Conception d'un poste électrique	42
a. Travées	42
b. Transformateurs	42
c. Disjoncteurs	42
Visite des ouvrages de la région de Hassi Messaoud	43
1. Centre Régional de Conduite (CRC/HM)	43
2. Centrale électrique de Hassi Mesaoud Ouest (HMO)	44

Table des figures

	page
Fig.I.1 : Production d'électricité par habitant en 2012 dans les régions du monde (KWh/hab)	4
Fig I.2.1.a : Disposition d'une centrale hydroélectrique	5
Fig.I.2.1.b : les types de centrales	6
Fig.I.2.2 : <i>principe de fonctionnement d'une centrale thermique</i>	8
Fig.I.2.3 : Disposition des éléments d'une centrale nucléaire	9
Fig.I.2.4 : Les composants d'une éolienne	11
Fig.II.1 : L'électricité, de la production à consommation	14
Tab.II.1 : Domaines de tension	16
Fig.II.2 : Constitution du réseau de transport de l'énergie électrique	15
Fig.III.1 : composition vectorielle des courants	28
Fig.III.2 : Composition vectorielle des puissances	28
Fig.III.3 : Composition vectorielle des puissances	29
Fig.III.4 : Principe de la compensation d'énergie réactive	30
Fig.III.5 : Batterie automatique RECTIPHASE de compensation d'énergie réactive sur site industriel	32
Fig.III.6 : L'équipement didactique « CER » de Schneider Electric	35
Fig.III.7 : Constitution de l'équipement didactique «CER»	36
Figure 1 : transformateur dans le poste 400 KV HM	42
Figure 2 : Disjoncteur dans le poste HM 220/60/30 KV	42
Figure 3 : Plaque signalétique disjoncteur SF6_ poste 400 KV HM	43
Figure 4 : Réseau d'interconnexion Hassi Messaoud	43
Figure 5 : Hassi Messaoud ouest 245 KV	44

Introduction Générale :

Pour vivre, le monde moderne a besoin de plus en plus d'énergie électrique. L'accroissement continu de la consommation de cette forme d'énergie est d'ailleurs une caractéristique du développement des sociétés.

L'énergie électrique est un facteur essentiel pour le développement et l'évolution des sociétés humaines que ce soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie que sur le développement des activités industrielles. Elle est devenue une forme d'énergie nécessaire par sa souplesse d'utilisation et par la multiplicité où elle est appelée à jouer un rôle.

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement. Il devient de plus en plus difficile d'obtenir des endroits de passage pour construire des nouvelles lignes de transport ou de distribution. Pour ces raisons, les compagnies d'électricité cherchent à augmenter la puissance que peuvent transporter les lignes existantes, sans autant compromettre leur fiabilité et stabilité.

Une fois que l'énergie électrique est produite dans une centrale, elle emprunte le réseau de transport et se mélange à l'énergie électrique produite ailleurs. L'électricité se propage à 300 000 kilomètres par seconde, soit presque la vitesse de la lumière.

Plus la longueur des lignes est importante plus le courant perd de son énergie. C'est pourquoi le transport sur de grandes distances se fait sous un voltage élevé (principalement 400 000 volts). Au fur et à mesure qu'on s'approche des centres de consommation, la tension est abaissée par échelons successifs au moyen de transformateurs afin de fournir à l'utilisateur final une électricité basse tension de 220 volts.

Le transport de l'énergie réactive par les lignes électriques cause des pertes, une diminution de la stabilité du réseau et une chute de tension à son extrémité. Afin d'éviter cela, une compensation de l'énergie réactive, série ou shunt selon les cas, est utilisée pour limiter la circulation de ce type d'énergie dans le réseau électrique. Différents appareils électriques peuvent servir à réaliser cette compensation : machines synchrones, batteries de condensateurs, inductance ou FACTS. On distingue les compensations passives, qui fonctionnent en tout ou rien et celles actives qui sont graduelles.

Pour la réalisation de ce projet de fin d'étude, un stage pratique a été fait au sein de la société GRTE (Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité) de Hassi Messaoud, l'une des 39 filiales du groupe Sonelgaz qui a été créée en 1969 (connu depuis 1947 sous le nom d'EGA _Electricité et Gaz d'Algérie_).

GRTE est le gestionnaire et propriétaire unique du réseau de transport d'électricité en Algérie. Il est chargé de l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau de transport. Afin de pouvoir gérer l'ensemble du réseau national du transport d'électricité, GRTE est organisé en cinq (05) directions régionales qui sont : Alger, Annaba, Sétif, Oran et Hassi Messaoud.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre on va donner un aperçu sur la production de l'énergie électrique.

Le second chapitre sera consacré au transport de l'énergie électrique.

Dans le troisième chapitre nous présenterons la compensation de l'énergie réactive dans les réseaux de transport de l'électricité.

Enfin, une conclusion générale finalise ce mémoire, récapitulant ainsi, en gros, le travail abordé.

Chapitre I



GENERALITES SUR LA PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

I.1. Introduction :

L'électricité est un facteur essentiel au développement économique, dans toutes les pays du monde. Son importance relative s'accroît avec les progrès technique, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse. La production d'électricité, ramenée au nombre d'habitants, est donc un bon indicateur permettant de mesurer les écarts de développement entre les différentes régions du monde (Fig.I.1). [01]

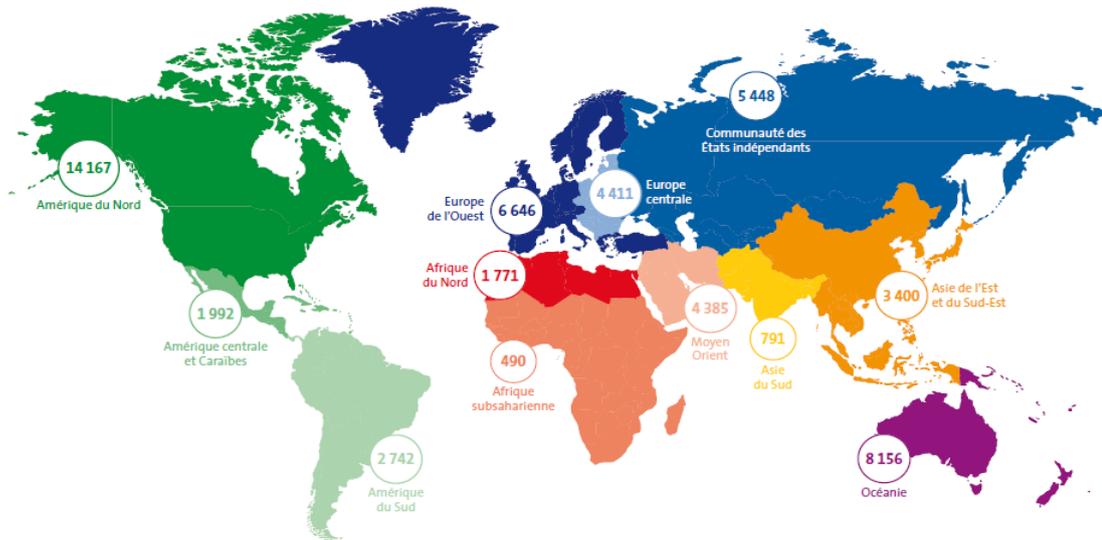


Fig.I.1 : Production d'électricité par habitant en 2012 dans les régions du monde (KWh/hab)

Dans les centrales électriques, on transforme l'énergie mécanique en énergie électrique à l'aide des alternateurs. Les alternateurs sont des machines synchrones, préalablement excités (le rotor est alimenté par un courant continu), ils délivrent une tension alternative à leurs bornes si on fait tourner leurs rotors.

Selon le type de source d'énergie utilisé pour mettre les générateurs en mouvement, on distingue plusieurs types des centrales : centrales hydrauliques, centrales thermiques, centrales éoliennes, ...etc.

Sachant que l'énergie électrique ne peut pas être stockée en grande quantité ; on aura alors besoin d'un réseau de transport et d'interconnexion assurant en permanence la liaison entre les centrales et les lieux de consommation.

I.2. Les différents types des centrales électriques :

Il existe plusieurs types des centrales électriques, parmi lesquelles on peut citer :

I.2.1. Les Centrales Hydrauliques :

L'énergie hydraulique permet de fabriquer de l'électricité, appelée hydroélectricité, dans les centrales hydroélectriques, grâce à la force des chutes d'eau d'origine naturelle ou créées artificiellement à partir des retenues de barrage [02].

C'est une énergie qui n'émet pas de gaz à effet de serre, elle est utilisable rapidement grâce aux grandes quantités d'eau stockée et c'est une énergie renouvelable très économique à long terme [02].

➤ Principe de fonctionnement :

Il s'agit de capter la force motrice de l'eau pour produire de l'électricité [03]

L'énergie hydraulique est transformée en énergie mécanique, par une turbine qui entraîne un alternateur, lequel produit de l'électricité (Fig.I.2.1.a). La puissance P que met en jeu une chute d'eau, d'une hauteur h et d'un débit q , est donnée par la formule : $P = g * q * h$
Avec P : en kilowatts ; $g=9.81$; q : en mètres-cubes par seconde (m^3/s) ; h : en mètre [04].



Fig.I.2.1.a : Disposition d'une centrale hydroélectrique [02]

1- La retenue de l'eau :

Le barrage retient l'écoulement naturel de l'eau. De grandes quantités d'eau s'accumulent et forment un lac de retenue.

2- La conduite forcée de l'eau :

Une fois l'eau stockée, des vannes sont ouvertes pour que l'eau s'engouffre dans de longs tuyaux métalliques appelés conduites forcées. Ces tuyaux conduisent l'eau vers la centrale hydraulique, située en contrebas.

La plupart des centrales hydrauliques sont automatisées. Chaque centrale se met en marche selon un programme prédéfini en fonction des besoins d'électricité.

3- La production d'électricité

À la sortie de la conduite, dans la centrale, la force de l'eau 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.

La puissance de la centrale dépend de la hauteur de la chute et du débit de l'eau. Plus ils seront importants, plus cette puissance sera élevée.

4- L'adaptation de la tension

Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à très haute et haute tension. L'eau turbinée qui a perdu de sa puissance rejoint la rivière par un canal spécial appelé canal de fuite.

➤ Différents types de centrales :

- Les centrales de basse chute, se trouvent sur les grands fleuves et fonctionnent au fil de l'eau avec un débit important, elles produisent sans interruption.

- Les centrales de moyenne chute, se trouvent en moyenne montagne, elles utilisent les réserves d'eau accumulées sur des courtes périodes. Ces centrales d'éclusée servent pour la régulation journalière ou hebdomadaire de la production.

- Les centrales de haute chute, se trouvent en altitude, les usines de lacs disposent de plus de 400 heures de réserves. Leur rapidité de démarrage permet de répondre de consommation, notamment en hiver (Fig.I.2.1.b) [05].



Fig.I.2.1.b : Les types de centrales [06]

I.2.2. Les Centrales Thermiques :

Une centrale thermique à flamme produit de l'électricité, en brûlant un combustible (charbon, gaz, ou fioul) dans une chaudière qui produit de la vapeur. Cette vapeur actionne une turbine qui entraîne un alternateur. [04]

➤ **Le principe de fonctionnement :**

Figure (**Fig.I.2.2**) : Quel que soit le combustible (1), celui-ci brûle (2) dans une chaudière (3) – pouvant atteindre 90 mètres de hauteur et un poids de 9 000 tonnes – tapissée de tubes à l'intérieur desquels circule l'eau à chauffer. Sous l'effet de la chaleur, l'eau se transforme en vapeur, laquelle est alors envoyée sous pression vers les turbines. Les turbines (4) tournent grâce à la vapeur. Elles entraînent un alternateur (5) qui produit de l'électricité à une tension de 20 000 volts. L'électricité est injectée sur le réseau après avoir été portée à 225 000 volts, ou à 400 000 volts, à l'aide d'un transformateur de puissance. La vapeur qui a été utilisée est envoyée vers un condenseur (6), dans lequel circule de l'eau froide. Au contact de celle-ci, la vapeur se transforme en eau, qui est récupérée et envoyée à nouveau dans la chaudière. L'eau utilisée pour le refroidissement est restituée au milieu naturel ou renvoyée dans le condenseur [07].

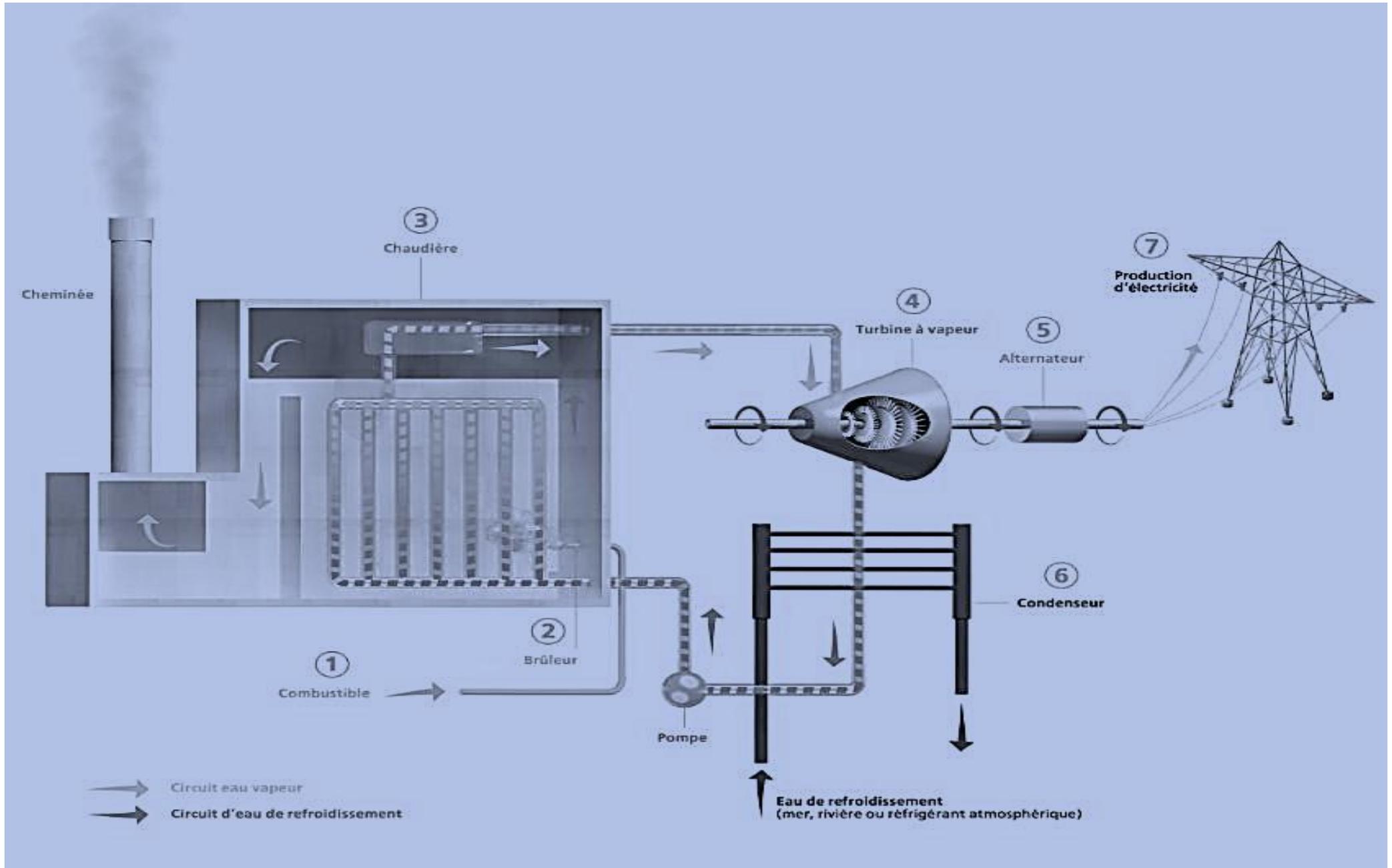


Fig.I.2.2 : Principe de fonctionnement d'une centrale thermique

I.2.3. Les Centrales Nucléaires :

Une centrale nucléaire utilise l'énergie thermique fournie par la fission d'un noyau atomique tels que l'uranium 235 ou du plutonium 239 dans une réaction nucléaire. Le réacteur produit une grande quantité de chaleur qui est captée par un caloporteur qui peut être de l'eau sous pression circulant dans le circuit primaire. Elles sont une source fiable de production d'énergie électrique avec un très bon rendement.

Aujourd'hui les centrales nucléaires apparaissent comme des industries les plus sûres et les plus respectueuses de l'environnement. Ce type de centrale nécessite pour son implantation un investissement lourd par rapport aux autres centrales.

Cependant l'implantation des centrales nucléaires pose la problématique de leur refroidissement et de la maîtrise de leur technologie. Elles doivent être implantées sur des sols qui ne sont pas susceptibles de subir des séismes. Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident. L'occurrence d'un tel accident est fortement probable dans les cas de catastrophe naturelle [08].

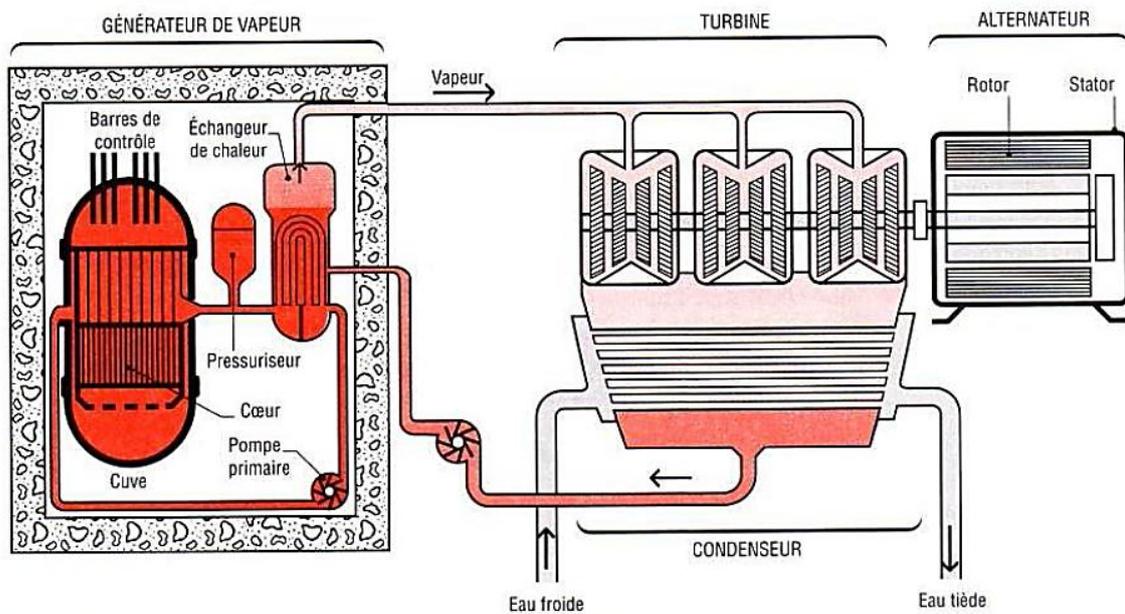
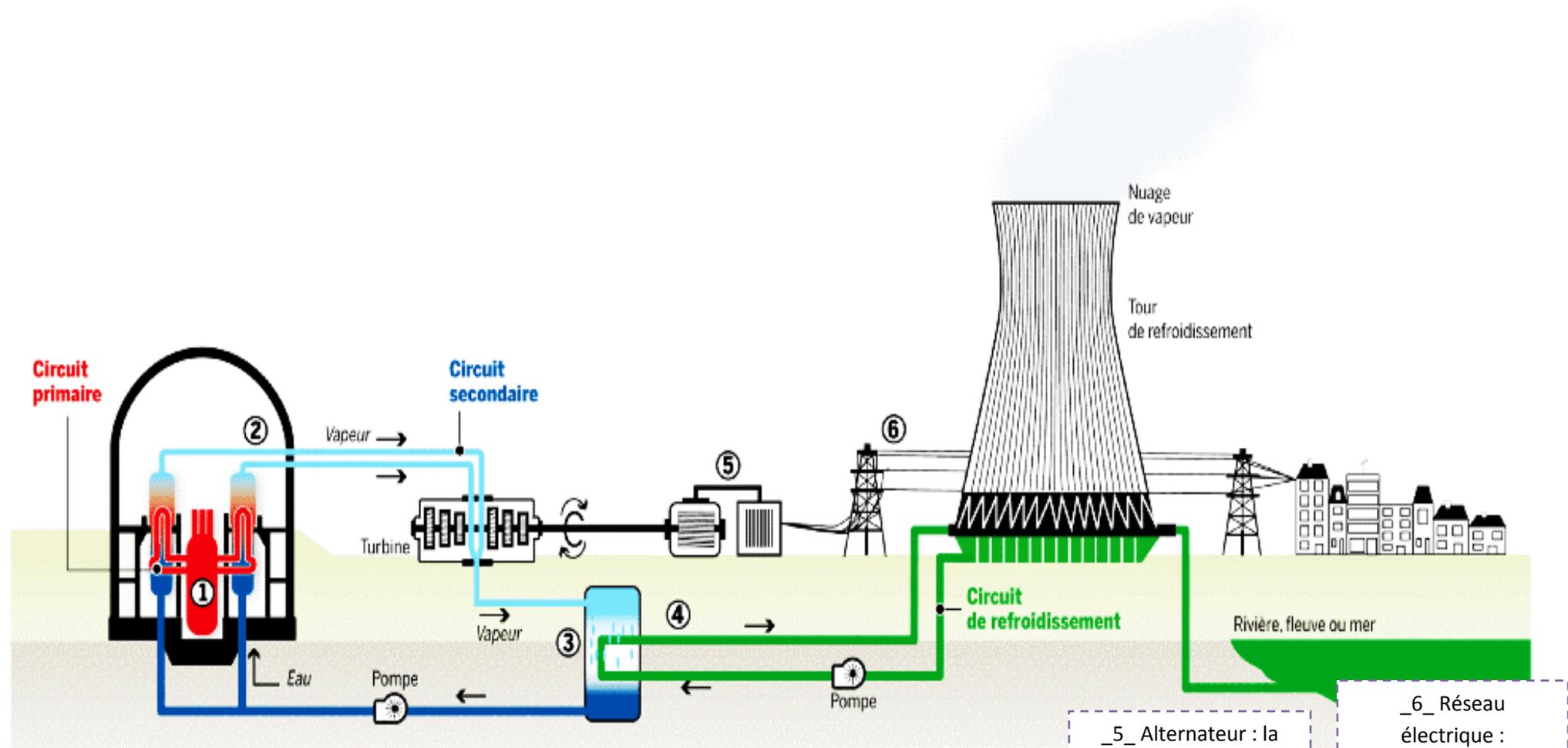


Fig.I.2.3 : Disposition des éléments d'une centrale nucléaire [04]

➤ Le principe de fonctionnement : [09]



1 réacteur : le combustible (Uranium, plutonium) produit une intense chaleur véhiculée dans le circuit primaire d'eau

2 vapeur : au contact des tuyaux du circuit primaire, l'eau du circuit secondaire est transformée en vapeur qui va faire tourner la turbine

3 cuve de refroidissement : la vapeur est transformée en eau, qui repart vers l'enceinte de confinement

4 eau : le circuit tertiaire refroidit la vapeur puis se refroidit lui-même dans la tour de refroidissement qui émet un nuage de

5 Alternateur : la turbine à vapeur fait tourner un générateur électrique qui va alimenter en électricité les lignes à haut tension

6 Réseau électrique : l'électricité alimente le circuit par des lignes à très haute tension (jusqu'à 400000 volts)

I.2.4. Les Centrales Eoliennes :

L'énergie éolienne utilise la force du vent pour faire tourner des aérogénérateurs. Les progrès technologiques récents et des incitations financières importantes ont entraîné en Europe un développement rapide de cette énergie qui apparaît aujourd'hui comme une des filières matures mais encore peu exploitées [10].

➤ **Le principe de fonctionnement :**

Une éolienne se compose de trois parties (Fig.I.2.4). :

- Le mât (1)
- Le rotor (2)
- La nacelle (3)
- Le mât :

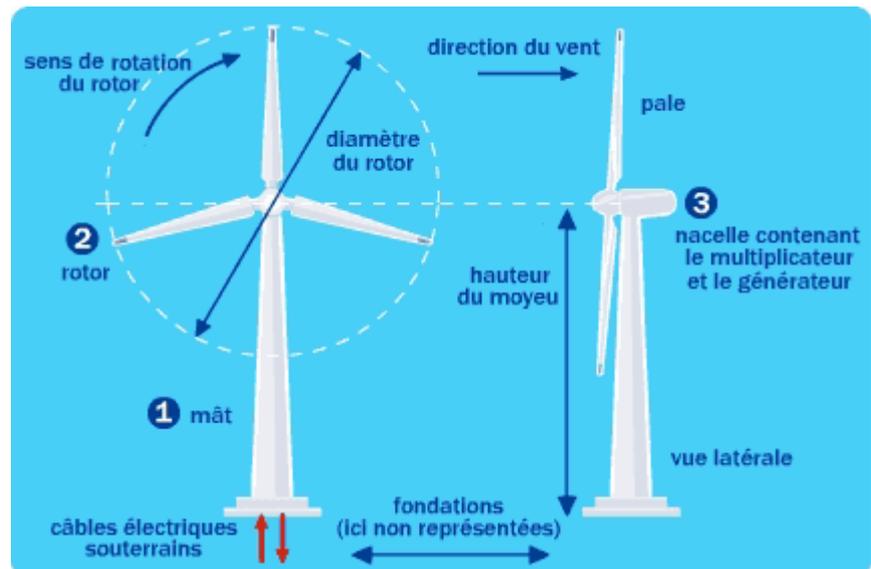


Fig.I.2.4 : Les composant d'un éolienne

Le mât d'une éolienne peut atteindre jusqu'à 150 m de haut ; Il est posé sur un socle de béton de plus de 1000 tonnes, qui garantit sa stabilité.

Pourquoi les éoliennes sont-elles perchées si haut ?

Parce que plus on est en hauteur, plus le vent souffle fort et moins il est gêné par certains obstacles (immeubles, maisons...).

➤ **Le rotor :**

Le rotor est composé du nez et de l'hélice. L'hélice possède en général 3 pales, faites de matériaux composites à la fois légers et assurant une rigidité et une résistance suffisantes. Leur longueur atteint actuellement entre 30 et 55 mètres, soit un diamètre du rotor compris entre 60 et 110 mètres.

Le rotor transforme donc l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

➤ **La nacelle :**

La nacelle contient les équipements permettant de produire l'électricité à partir de la rotation des pales (il s'agit notamment d'un alternateur, d'un multiplicateur et d'un générateur). Le

Généralités sur la production de l'énergie électrique

transport de l'électricité produite dans la nacelle jusqu'au sol est assuré par des câbles électriques descendant à l'intérieur du mât de l'éolienne.

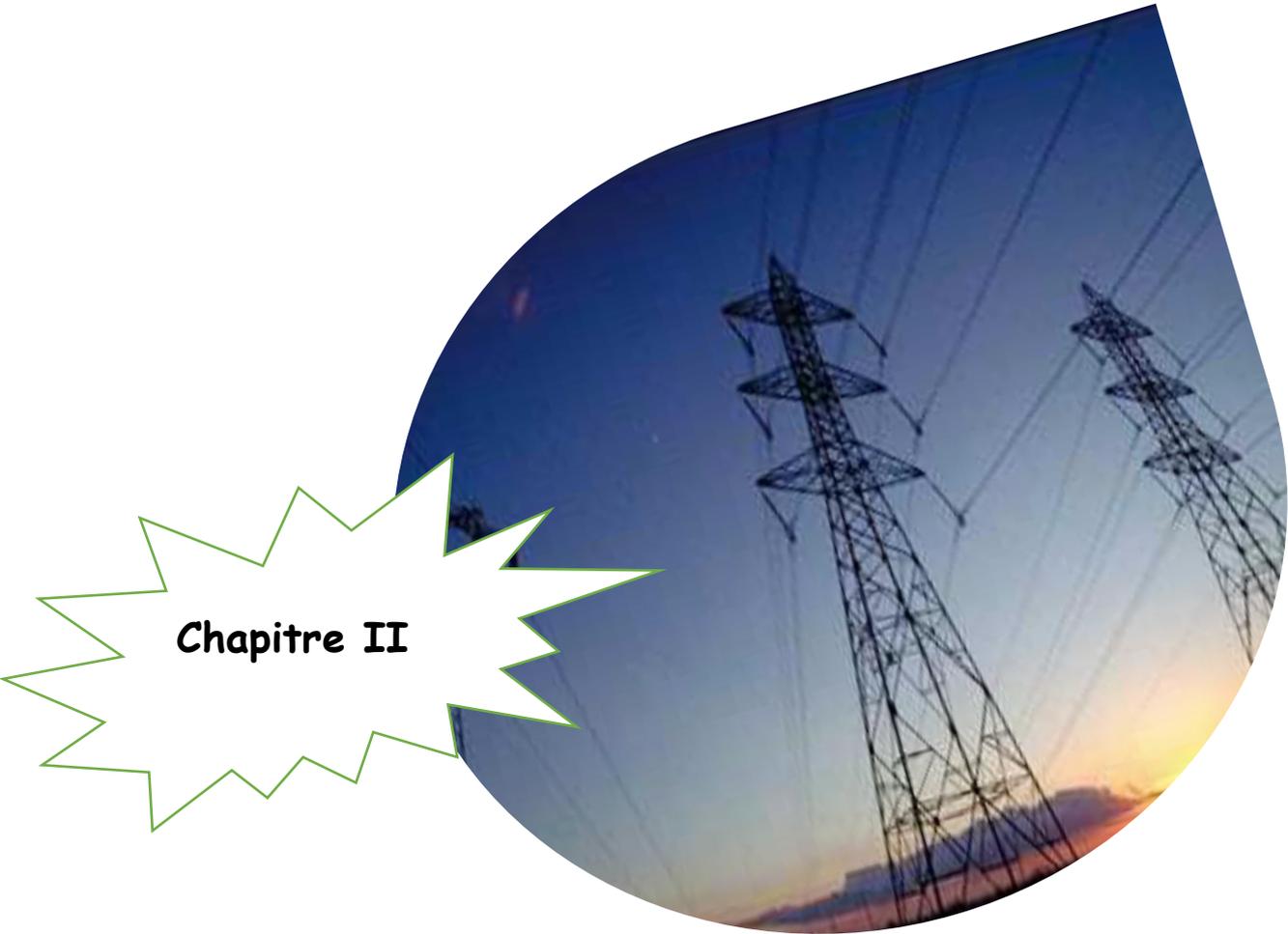
Les éoliennes sont également équipées d'un système de supervision et de contrôle qui permet notamment :

D'orienter le rotor de l'éolienne perpendiculairement à la direction du vent, de modifier l'angle d'incidence des pales par rapport au vent, afin de maximiser la récupération d'énergie. Grâce à ce système de supervision et contrôle, l'éolienne peut être arrêtée automatiquement et très rapidement en cas de nécessité, ce qui assure une sécurité continue [10].

I.3. Conclusion :

L'électricité est produite au niveau des centrales électrique, l'ensemble du réseau électrique a pour mission d'acheminer massivement l'énergie électrique des centres de production vers les régions consommatrices (il s'agit de transporter l'énergie électrique) et d'acheminer localement l'électricité vers les utilisateurs (il s'agit de distribuer cette énergie).

Le transport de l'énergie électrique et la structure d'un réseau de transport seront l'objet du chapitre suivant.



Chapitre II

Transport de l'Energie Electrique

II.1. Introduction :

L'énergie électrique est produite par grosses unités industrielles appelées centrales électrique. Ces centrales se situent en général près des lieux de production des énergies primaires (charbon, gaz, ...), à proximité des axes de transport par lesquels circulent ces mêmes énergies primaires ou auprès de cours d'eau qui servent au refroidissement des circuits du générateur de vapeur.

La consommation de l'énergie électrique produite par les centrales est, en général, éloignée des lieux de production.

L'énergie doit donc être transportée sur de grandes distance entre lieux de production et de consommation, c'est le rôle du réseau de transportée de l'énergie électrique (Fig.II.1).[11]

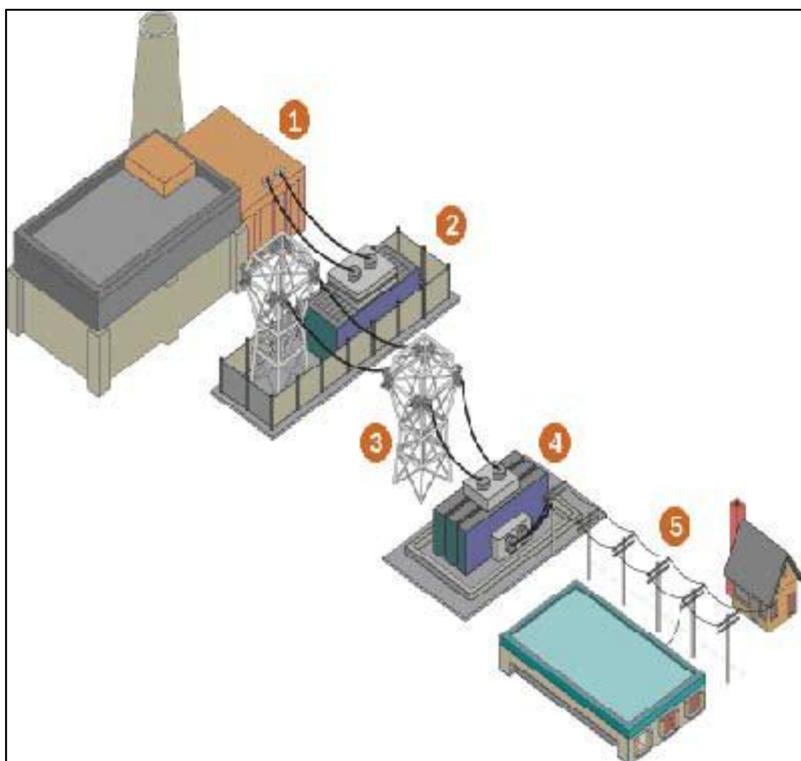


Fig.II.1 : L'électricité, de la production à consommation

Dont :

- 1 : Centrale de production
- 2 : Poste de transformation (transformateur élévateur).
- 3 : Les lignes de transport.
- 4 : La sous-station HT/MT et MT/BT.
- 5 : Les lignes de distribution.

II.2. Organisation du réseau de transport :

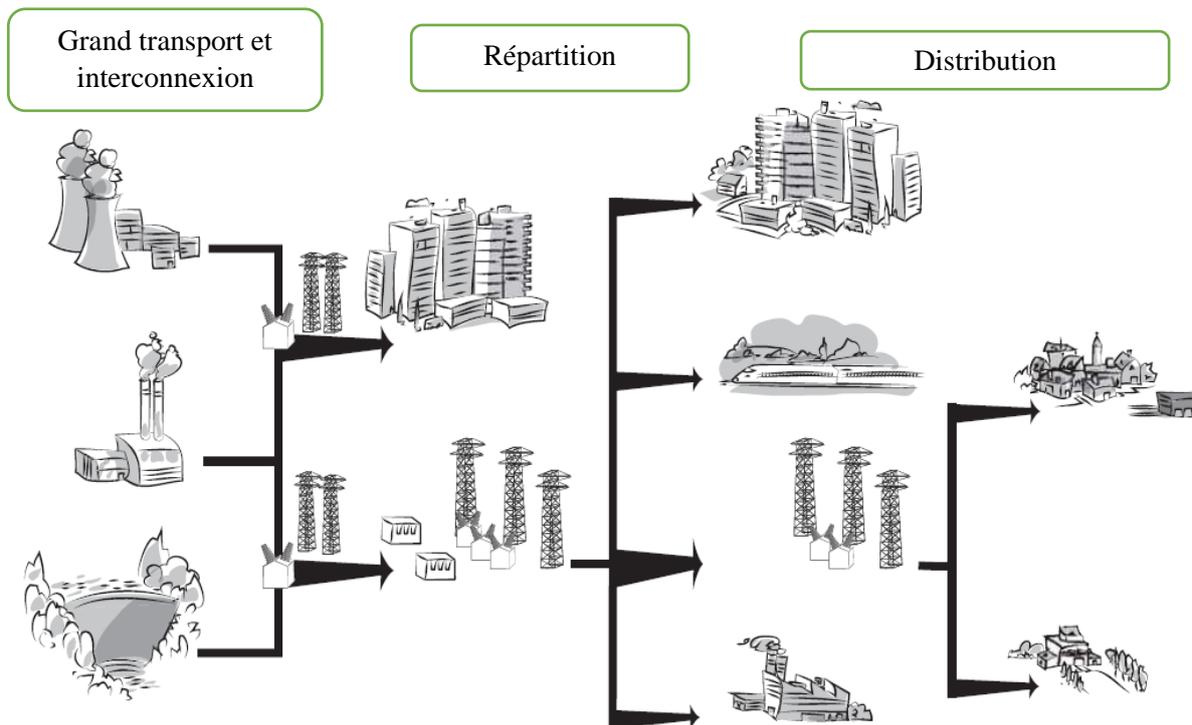


Fig.II.2 : Constitution du réseau de transport de l'énergie électrique

On distingue :

- Le grand transport et l'interconnexion : c'est le raccordement des centrales entre elles. Si une centrale vient à être en défaut, les autres continuent à fournir l'énergie. En l'absence d'interconnexion, la défaillance d'une centrale entrainerait la disparition d'énergie électrique pour tous ses « clients ». Le grand transport véhicule l'énergie entre les lieux de production et les grandes régions de consommation.
- La répartition : elle a pour rôle « d'aiguiller » l'énergie des lieux de production vers les gros clients (grosses industries...).
- La distribution : c'est la fourniture d'énergie électrique aux « petits » utilisateurs terminaux (particuliers, petits et moyennes entreprises, centres commerciaux...) [12]

II.3. Domaines de tension :

Les tensions sont classées en fonction de leur valeur. A l'aide des documents ressource complétez le tableau suivant (U_n est la tension nominale considérée) [12] :

<i>Domaines de tension</i>		<i>Valeur de la tension nominale U_n</i>	
		En courant alternatif	En courant continu
Très basse tension	TBT	$U_n \leq 50 \text{ v}$	$u_n \leq 120 \text{ V}$
Basse tension	BTA	$50 < u_n \leq 500$	$120 < u_n \leq 750$
	BTB	$500 < u_n \leq 1000$	$750 < u_n \leq 1500$
Haute tension	HTA	$1000 < u_n \leq 50000$	$1500 < u_n \leq 75000$
	HTB	$U_n > 50000$	$U_n > 75000$

Tab.II.1 : Domaines de tension

II.4. Constitution du réseau de transport :

Le réseau est constitué de lignes aériennes, de câbles souterrains et de postes, à divers niveaux de tension.

II.4.1. Les lignes aériennes :

Le réseau de transport est principalement composé de lignes aériennes. Toutefois, GRTE s'engage à réduire chaque année le kilométrage de réseau aérien : entre 2000 et 2009, il a diminué d'environ 1200 kilomètres et près de 1300 km de lignes souterraines ont été construites. Les lignes aériennes sont composées de câbles (par lesquels transite le courant électrique) portés par des pylônes. [13]

Protection des oiseaux :

Les spirales et les silhouettes de certains rapaces permettent d'éloigner les oiseaux de l'ouvrage et de prévenir les risques de collision sur les câbles.

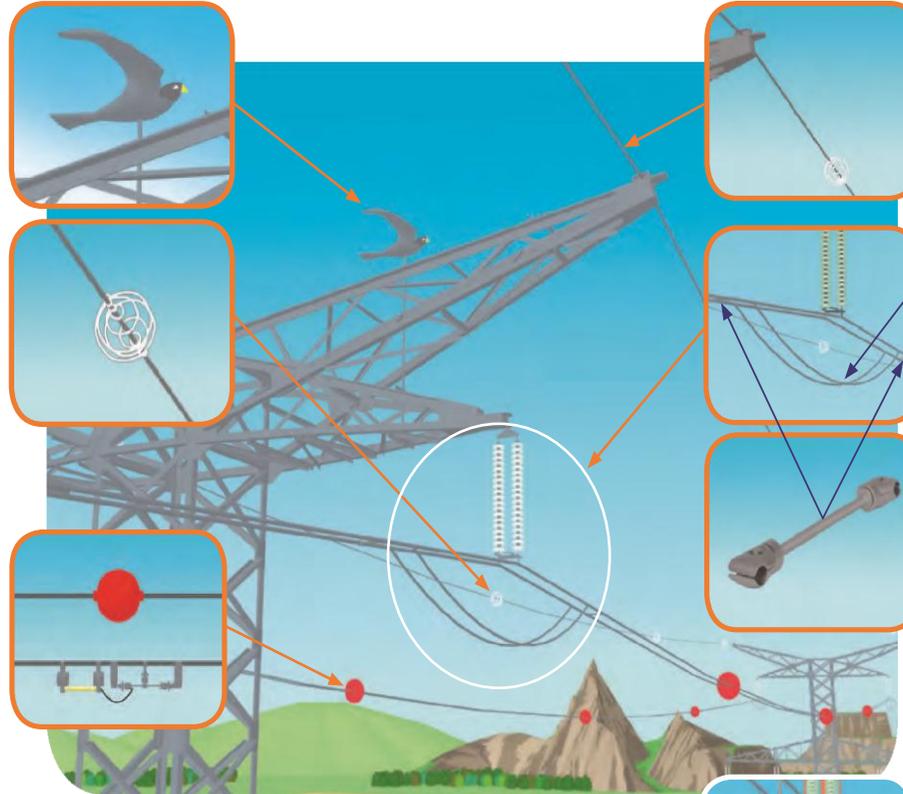
Balises :

Des balises diurnes et nocturnes, insérées sur les câbles à proximité des aéroports, permettent de mieux visualiser la ligne.

PRUDENCE**DÉFENSE DE TOUCHER AUX CÂBLES
MÊME TOMBÉS AU SOL :**

Un risque évident est celui du contact avec les câbles sous tension : une personne touchant ceux-ci, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un objet conducteur, serait électrocutée. Il en serait de même si la personne ou l'objet s'approchait trop près des câbles. Il se produirait alors un arc électrique, ou « amorçage ».

Cette distance d'amorçage augmente avec la tension de la ligne.

**Câble de garde :**

Un câble supplémentaire est disposé au-dessus de la ligne, qui la protège contre la foudre. Équipé de fibres optiques, il permet de transmettre les informations nécessaires pour la protection, la conduite et l'exploitation du réseau. Il est aussi un moyen d'offrir des solutions haut débit pour les collectivités territoriales.

Bretelles :

Placées sur les câbles de part et d'autre de la chaîne d'isolateurs, elles assurent la continuité électrique de la ligne.

Entretoise :

Les entretoises permettent de maintenir l'écartement des différents câbles constituant le conducteur.

Travaux sous tension :

Réalisé par des spécialistes, le travail sous tension permet d'effectuer les réparations sur une ligne sans couper le courant.

Il nécessite un équipement de protection



II.4.2. Les pylônes :

Supports des câbles aériens par lesquels transitent le courant électrique, les pylônes sont le plus souvent constitués de treillis et de cornières métalliques. Ils peuvent également être tubulaires en métal ou en béton. Leur rôle est de maintenir les câbles électriques écartés entre eux et à une certaine distance du sol et des obstacles rencontrés afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage de la ligne.

Intégration et fonctionnalité :

La topographie des lieux, le respect des sites et de l'environnement ou les conditions climatiques sont autant de paramètres qui ont conduit GRTE à mettre au point des familles de supports permettant de disposer les câbles de différentes façons. Ainsi, certains pylônes permettent de diminuer la hauteur totale de la ligne (par exemple, en zone d'atterrissage ou pour réduire l'impact visuel), ou sa largeur (tranchées forestières par exemple).

Ancrage et suspension :

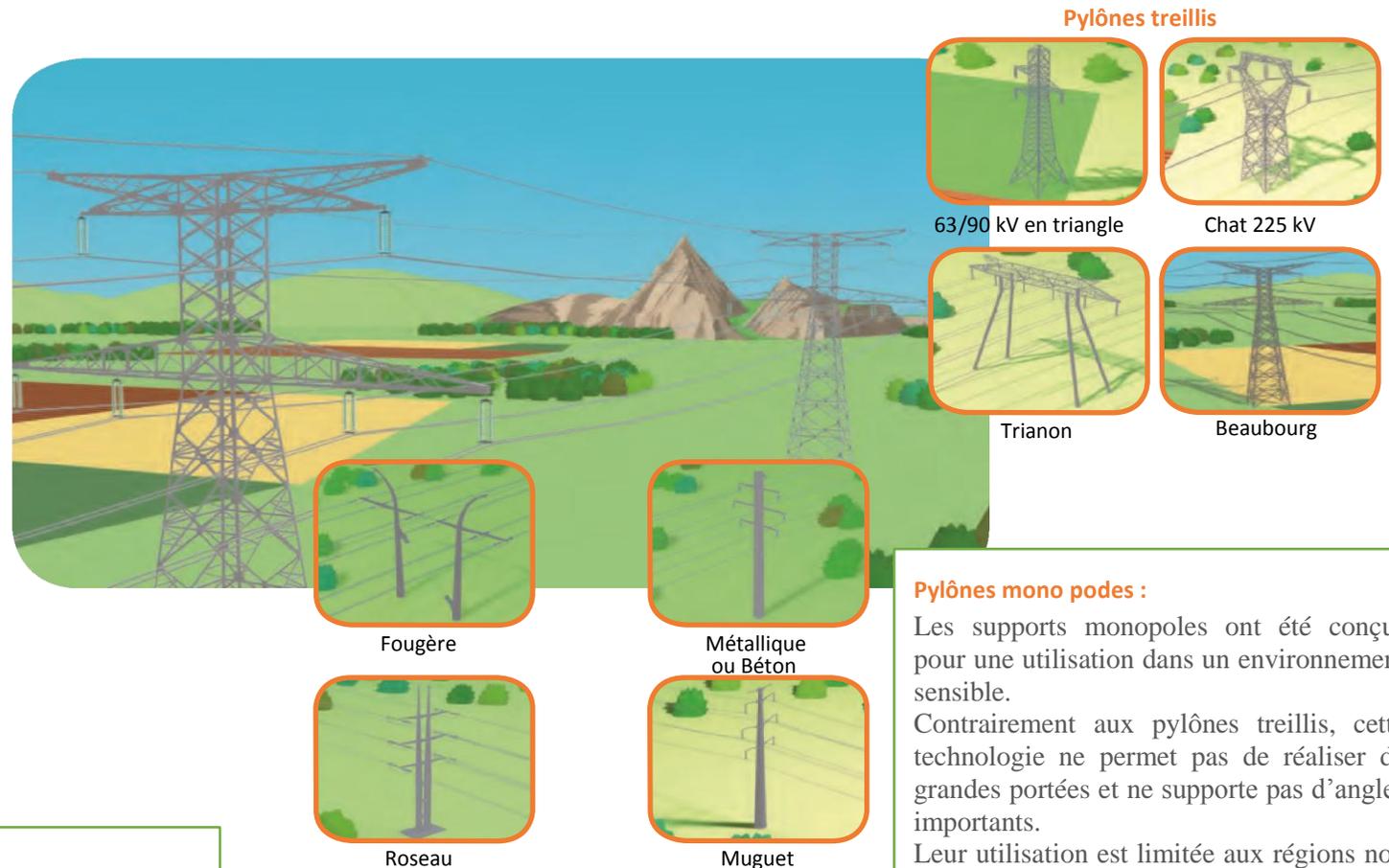
Outre leur fonction de support de ligne, certains pylônes dits « d'ancrage », présentent une résistance mécanique plus importante que les autres pylônes, dits de « suspension ».

Ils s'utilisent lors d'un changement de direction de la ligne ou pour consolider un tronçon de ligne. Ils permettent de limiter la propagation de l'écroulement des pylônes par « effet domino ».

Ils sont notamment installés dans le cadre du programme de sécurisation mécanique, mis en place par GRTE après les tempêtes de décembre 1999.

Pylônes architecturés :

GRTE a le souci d'anticiper et de prévenir, le plus en amont et au plus près possible des acteurs locaux, les impacts de son activité sur l'environnement. Il veille à insérer au mieux ses infrastructures dans le paysage, et à protéger la faune et la flore. Dans certains sites exceptionnels, des pylônes spéciaux dits « architecturés », peuvent être implantés.



Pylônes mono podes :

Les supports monopoles ont été conçus pour une utilisation dans un environnement sensible.

Contrairement aux pylônes treillis, cette technologie ne permet pas de réaliser de grandes portées et ne supporte pas d'angles importants.

Leur utilisation est limitée aux régions non soumises à des conditions climatiques rigoureuses (givre, neige collante).

II.4.3. Les isolateurs :

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 : il faut compter environ 6 isolateurs en 63 kV, 9 en 90 kV, 12 en 225 kV et 19 en 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.



Ancre

Ce type de chaîne, qui se distingue par sa position quasi horizontale, s'utilise sur les pylônes d'ancrage.

Suspension en V

La chaîne en V permet de limiter le balancement latéral des conducteurs.

Suspension droite

Ce type d'isolation est la plus fréquemment utilisé.

II.4.4. Les lignes souterraines :

En fourreaux PVC :

Prédominant en zone urbaine, ce mode de pose consiste à dérouler chaque câble dans un fourreau en PVC, ce qui limite la durée d'ouverture des tranchées. L'ensemble est enrobé de béton, garantissant un environnement thermique homogène autour de la liaison.

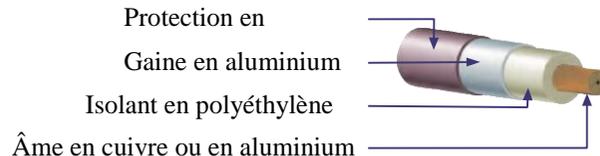
En fourreaux PEHD* pleine terre :

Cette technique similaire est utilisée pour les ouvrages haute tension en zone rurale, en absence d'autres types de réseaux. *polyéthylène haute densité

En galerie :

La pose en galerie, onéreuse car sans tranchées, est utilisée pour des passages en environnement particulier, comme en zone fortement urbanisée lorsque l'alimentation par lignes aériennes est impossible.

Coupe d'un câble souterrain



En caniveaux :

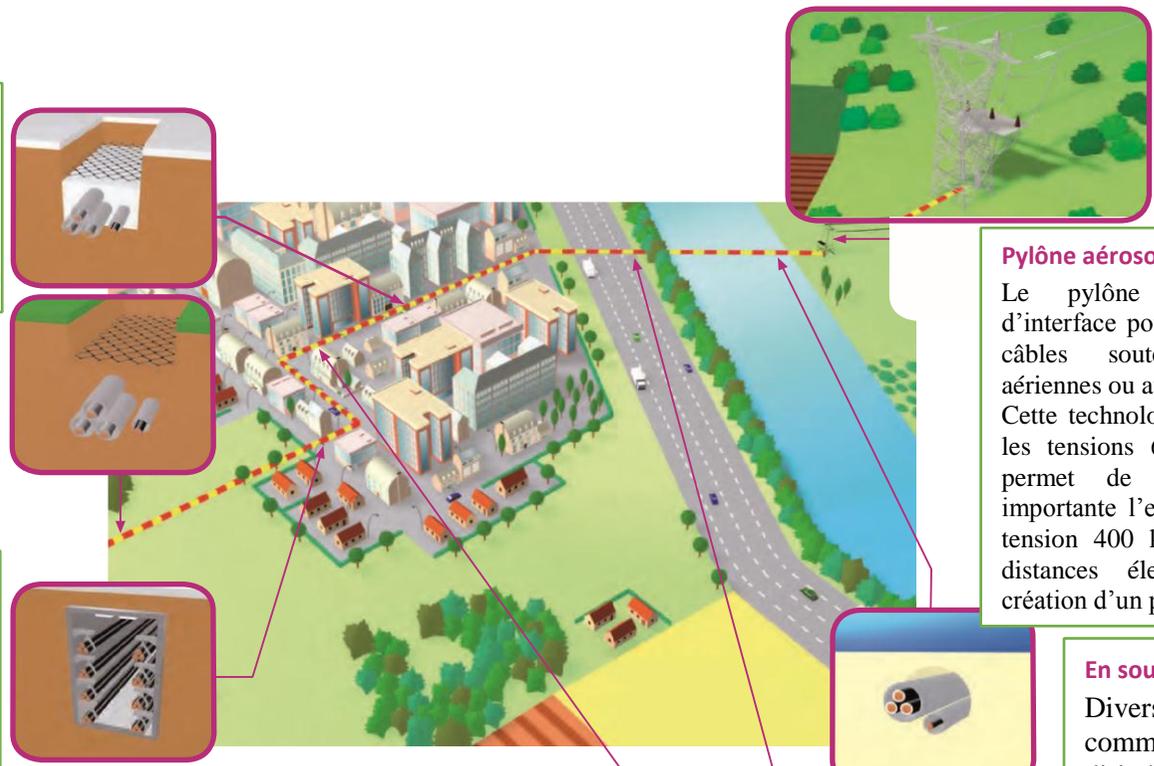
Les câbles sont placés dans des caniveaux en béton armé remplis de sable et munis de couvercle.

Pylône aérosouterrain :

Le pylône aérosouterrain sert d'interface pour le raccordement des câbles souterrains aux lignes aériennes ou aux postes électriques. Cette technologie, très présente pour les tensions 63/90 kV et 225 kV, permet de limiter de manière importante l'emprise au sol. Pour la tension 400 kV, les contraintes de distances électrique imposent la création d'un poste électrique.

En sous-œuvre :

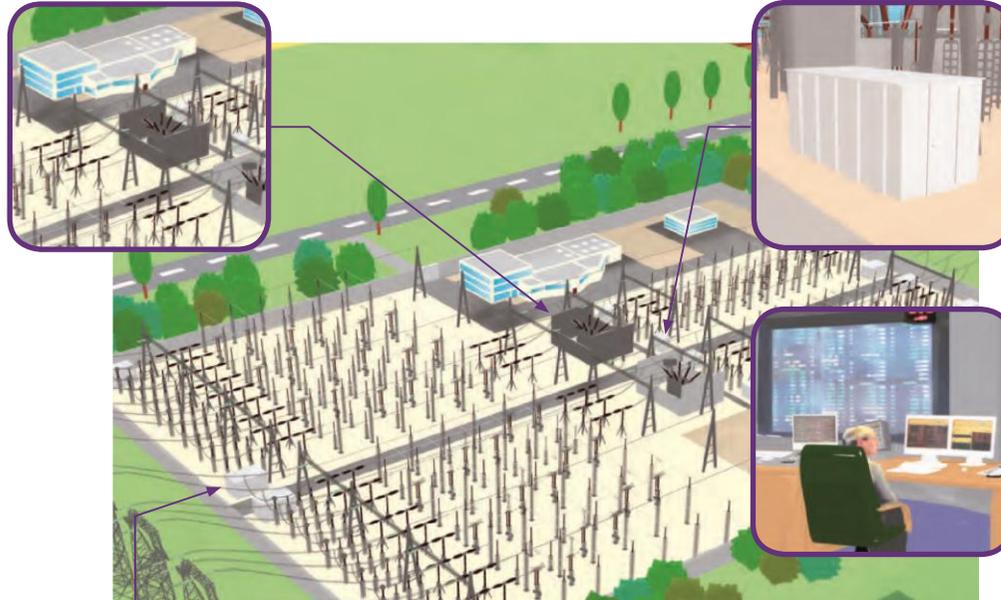
Diverses techniques comme les forages dirigés, les fonçages et les microtunnels, sont réservés au franchissement d'obstacles (voies ferrées, fleuves, ...) sans recourir à l'ouverture d'une tranchée.



II.4.5. Les postes :

Transformation :

Les postes de transformation permettent d'adapter la tension du réseau au transport (poste éleveur de tension en sortie de centrale électrique) ou à la distribution (poste source), et de passer d'un niveau de tension à un autre (400, 225, et 63 ou 90 kV).



Surveillance et contrôle :

Les postes hébergent des systèmes de surveillance et de contrôle du réseau dans des bâtiments de relayage.

Ils permettent d'envoyer des informations vers des centres distants qui les analysent et détectent les éventuelles anomalies.

Ces centres envoient en retour des ordres télécommandés (ouverture ou fermeture des disjoncteurs et sectionneurs) permettant de répartir le courant sur les différentes lignes ou corriger une anomalie sur le réseau.

Réseau de télécommunications :

Les informations transitent sur différents supports de transmission : lignes électriques par la technique des courants porteurs en ligne, fibres optiques installées dans les câbles de garde ou le long des conducteurs électriques, liaisons filaires ou faisceaux hertziens.

Aiguillage :

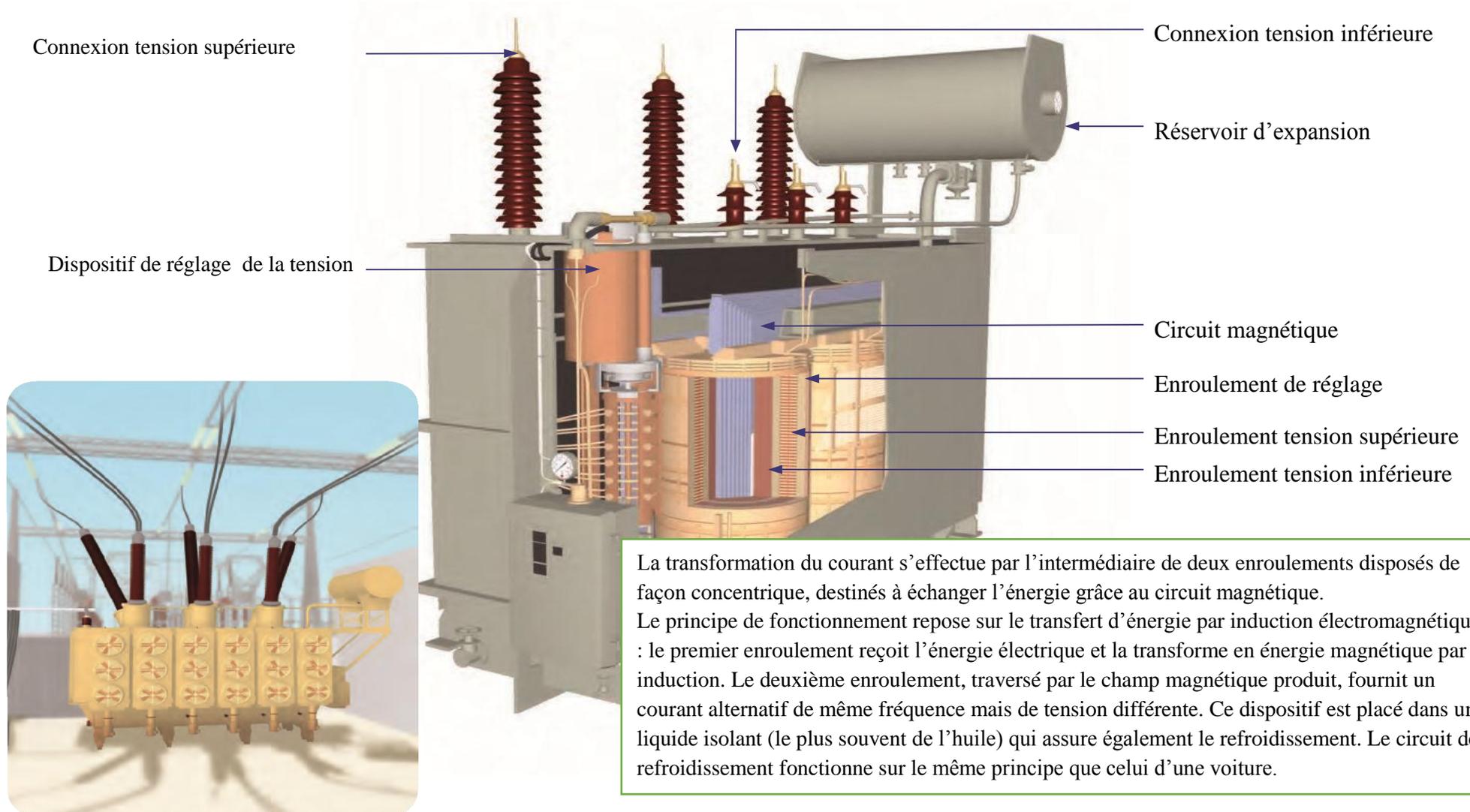
Les postes permettent de répartir le courant entre les lignes situées en amont et en aval du transformateur.

Postes en bâtiment :

Dans les zones semi-urbaines ou urbaines, le manque de place nécessite l'utilisation de postes compacts utilisant un gaz sous pression présentant des caractéristiques d'isolation supérieure à celles de l'air. Cette technologie permet donc des gains de place très importants et une bonne intégration dans des milieux contraints.

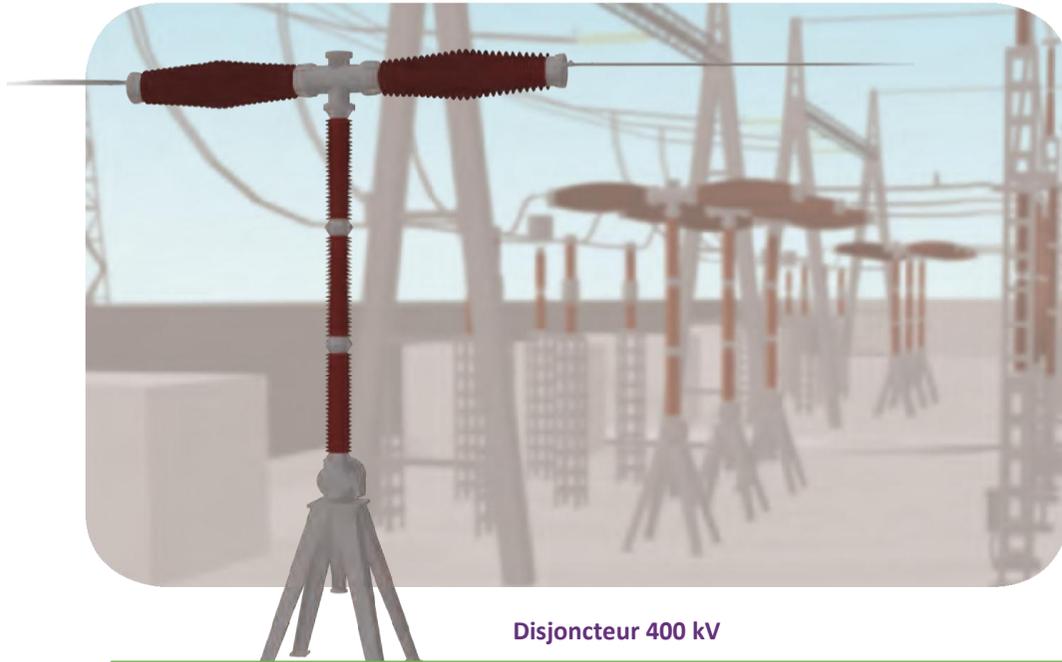
II.4.6. Le transformateur :

Le transformateur est un appareil destiné à modifier la tension électrique du courant. Il peut permettre d'élever la tension, par exemple en sortie de centrale de production, de 20 000 à 400 000 volts, afin de rendre l'électricité transportable sur de longues distances, en limitant les pertes électriques (effet joule). Il peut également abaisser la tension, par échelons successifs, en fonction de l'utilisateur final et de ses besoins en électricité.



II.4.7. Le disjoncteur :

Situé à l'intérieur d'un poste électrique, le disjoncteur est un appareil destiné à protéger les circuits et les installations contre une éventuelle surcharge de courant due à un court-circuit (provoqué par la foudre ou par un contact entre le conducteur et la terre). Il permet aussi l'exploitation du réseau en interrompant ou en rétablissant le passage du courant dans une portion du circuit.



Disjoncteur 400 kV



Disjoncteur 63 kV



Position « fermé » :
Le courant passe dans la chambre de coupure.



Coupe :
L'énergie liée à la formation de l'arc provoque la surpression du SF6 dans le piston.
Le gaz est libéré et provoque le soufflage de l'arc.



Position « ouvert » :
L'arc est éteint, le circuit est ouvert et le courant ne passe plus.

En haute tension, les courants sont intenses.

A la séparation des contacts du disjoncteur, il se forme un arc électrique qui ne peut pas être interrompu simplement dans l'air comme en basse tension. Son extinction a lieu dans une « chambre de coupure », qui utilise un gaz en surpression projeté sur l'arc pour l'éteindre.

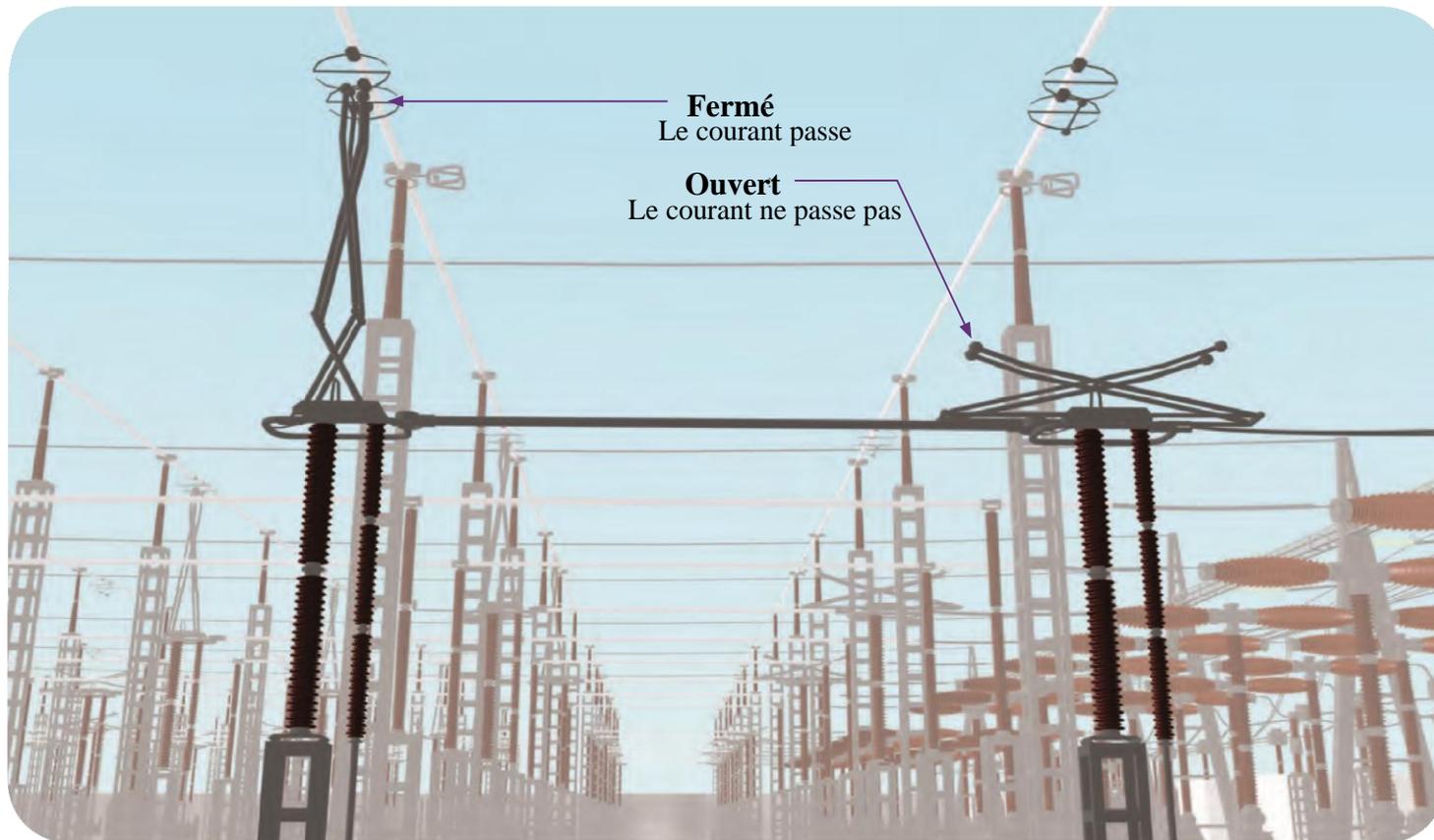
Depuis les années 1970, les disjoncteurs utilisent de l'hexafluorure de soufre (SF6).

Les autres technologies (air comprimé et huile) ont été abandonnées depuis la fin des années 1980.

Au cours des 30 dernières années, les performances des disjoncteurs SF6 ont été améliorées, le nombre de chambres a été divisé par 2 et les commandes oléopneumatiques ont été remplacées par des commandes mécaniques plus fiables.

II.4.8. Le sectionneur :

Situé dans un poste électrique, le sectionneur assure une coupure visible du circuit électrique. Cette coupure certaine est primordiale car elle permet d'intervenir pour l'entretien ou la réparation des appareils en toute sécurité. En mettant hors tension ou sous tension certains circuits du poste. Il assure la fonction d'aiguillage en répartissant les transits d'énergie entre les lignes électriques raccordées au poste. La commande du sectionneur peut être électrique ou manuelle.

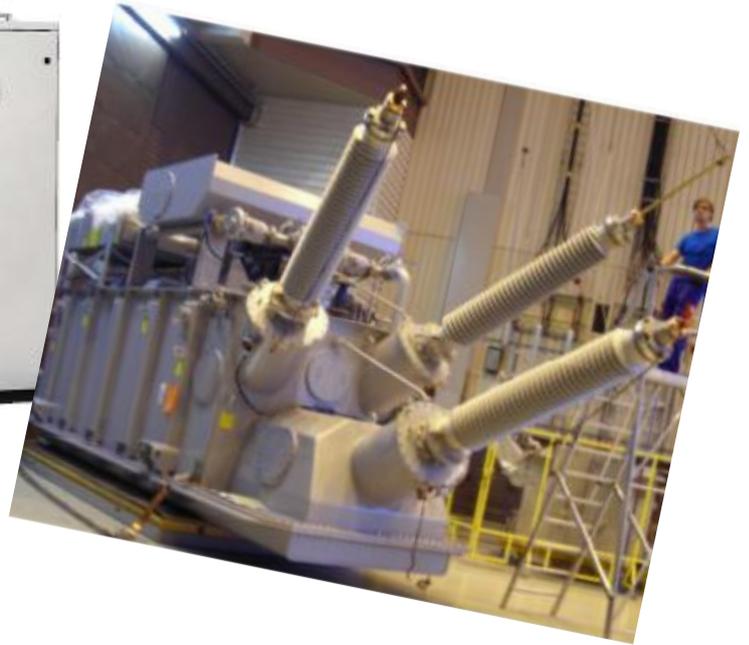


II.5. Conclusion :

L'électricité passe du réseau de transport au réseau de distribution grâce aux « postes sources ». Ces échangeurs abaissent la haute et très haute tension en moyenne tension (10 000 ou 30 000 volts) ou en basse tension (380 et 220 volts).

Les réseaux de distribution alimentent les particuliers, les petits commerçants, les collectivités locales et les petites et moyennes entreprises.

La circulation de l'énergie réactive dans le réseau électrique provoque plusieurs anomalies. La compensation de l'énergie réactive est un élément important pour réduire la facture d'énergie et améliorer la qualité du réseau électrique. Le chapitre trois sera consacré à la compensation de l'énergie réactive dans les réseaux de transport de l'électricité.



LA COMPENSATION DE L'ENERGIE REACTIVE

III.1. Introduction :

L'énergie électrique est essentiellement distribuée aux utilisateurs sous forme de courant alternatif par des réseaux en haute, moyenne et basse tension. L'énergie consommée est composée d'une partie "active", transformée en chaleur ou mouvement, et d'une partie "réactive" transformée par les actionneurs électriques pour créer leurs propres champs électromagnétiques.

L'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie "active" ; la partie "réactive" ne peut pas être éliminée, mais doit être compensée par des dispositifs appropriés. L'énergie totale soutirée au réseau de distribution sera ainsi globalement réduite.

Les économies d'énergie réalisées se chiffrent par dizaines de pour cent de la consommation globale, situant les procédés de compensation d'énergie réactive en première ligne du combat pour la réduction de l'impact des activités humaines sur l'écosystème de notre planète. [14]

III.2. Les différents types d'énergies :

Toute machine électrique utilisant le courant alternatif (moteur, transformateur) met en jeu deux formes d'énergie : l'énergie active et l'énergie réactive.

L'énergie active consommée (kWh) résulte de la puissance active P (kW) des récepteurs. Elle se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes).

L'énergie réactive consommée (kvarh) sert essentiellement à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques. Elle correspond à la puissance réactive Q (kvar) des récepteurs.

L'énergie apparente (kVAh) est la somme vectorielle des deux énergies précédentes. Elle correspond à la puissance apparente S (kVA) des récepteurs, somme vectorielle de P (kW) et Q (kvar). Composantes active et réactive du courant. A chacune des énergies active et réactive, correspond un courant.

Le courant actif (I_a) est en phase avec la tension du réseau. Le courant réactif (I_r) est déphasé de 90° par rapport au courant actif, soit en retard (récepteur inductif), soit en avance (récepteur capacitif). Le courant apparent (I_t) est le courant résultant qui parcourt la ligne depuis la source jusqu'au récepteur. Si les courants sont parfaitement sinusoïdaux on peut utiliser la représentation de Fresnel.

Ces courants se composent alors vectoriellement comme il montre la figure III. 1 : [14]

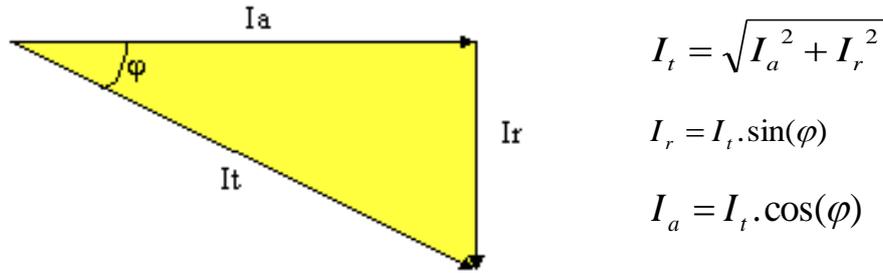


Fig.III.1 : Composition vectorielle des courants [15]

III.3. Composantes actives et réactives de la puissance :

Le diagramme présenté dans la figure III.1 établi pour les courants est aussi valable pour les puissances, en multipliant chacun des courants par la tension commune U. On définit ainsi la figure III.2 :

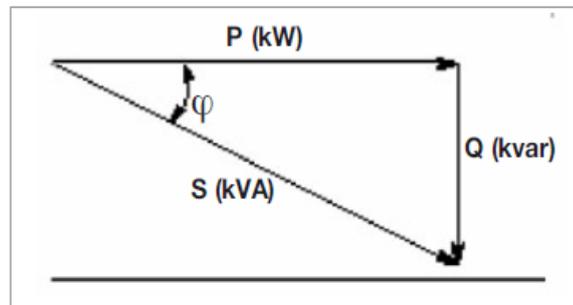


Fig.III.2 : Composition vectorielle des puissances

- La puissance apparente : $S = UI$ (kVA),
- La puissance active : $P = UI \cdot \cos\phi$ (kW),
- La puissance réactive : $Q = UI \cdot \sin\phi$ (kvar).

Citons les valeurs approximatives de $\cos(\phi)$ des principaux actionneurs consommateurs d'énergie réactive :

- Moteur asynchrone à 100 % de charge : $\cos(\phi) = 0,85$
- Moteur asynchrone à 50 % de charge : $\cos(\phi) = 0,73$
- Lampes à fluorescence : $\cos(\phi) = 0,5$
- Chauffage par induction : $\cos(\phi) = 0,5$

Ces quelques exemples montrent l'impact énorme de la partie réactive de la consommation énergétique des actionneurs qui comportent des circuits magnétiques : y remédier est une des problématiques de base de tout concepteur et installateur de produits et équipements électriques.[14]

III.4. Facteur de puissance :

Le facteur de puissance est égal par définition à : [14]

$$\mathbf{FP} = \frac{P}{S} = \frac{\text{puissance_active_((kW)}}{\text{puissance_apparente_((kVA)}}$$

Si les courants et tensions sont des signaux parfaitement sinusoïdaux, le facteur de puissance est égal à $\cos(\phi)$.

On utilise également la variable $\text{tg}(\phi)$. Dans les mêmes conditions, nous avons la relation :

$$\text{tg}(\phi) = \frac{Q}{P} = \frac{\text{puissance_réactive_((kvar)}}{\text{puissance_active_((kW)}}$$

L'objectif de la compensation d'énergie réactive est de réduire le courant appelé sur le réseau.

L'énergie réactive est fournie par des condensateurs, au plus près des charges inductives.

Sur une période de temps donnée, nous avons également :

$$\text{tg}(\phi) = \frac{W_r}{W_a} = \frac{\text{énergie_réactive_consommée_((kvarh)}}{\text{énergie_active_consommée_((kWh)}}$$

La circulation de l'énergie réactive a des incidences techniques et économiques importantes. En effet, pour une même puissance active P , la figure suivante montre qu'il faut fournir d'autant plus de puissance apparente, et donc de courant, que la puissance réactive est importante (Fig.III.3)

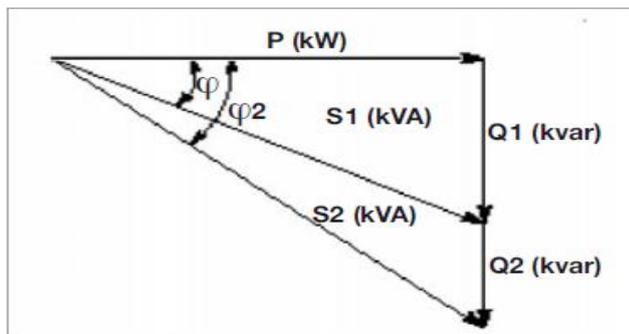


Fig.III.3 : Composition vectorielle des puissances

Ainsi, du fait d'un courant appelé plus important, la circulation de l'énergie réactive sur les réseaux de distribution entraîne :

- Des surcharges au niveau des transformateurs,

- L'échauffement des câbles d'alimentation,
- Des pertes supplémentaires,
- Des chutes de tension importantes.

III.5. La compensation de l'énergie réactive :

Pour les raisons évoquées ci-dessus, il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des charges, pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau. C'est ce qu'on appelle "compensation de l'énergie réactive".

Pour inciter à cela et éviter de sur-calibrer son réseau, le distributeur d'énergie pénalise financièrement les consommateurs d'énergie réactive au-delà d'un certain seuil.

On utilise des condensateurs pour fournir l'énergie réactive aux récepteurs inductifs.

Pour réduire la puissance apparente absorbée au réseau de la valeur S_2 à la valeur S_1 , on doit connecter une batterie de condensateurs fournissant l'énergie réactive Q_c , telle que :

$Q_c = P.(tg\phi_2 - tg\phi_1)$. (Fig.III.4) [14]

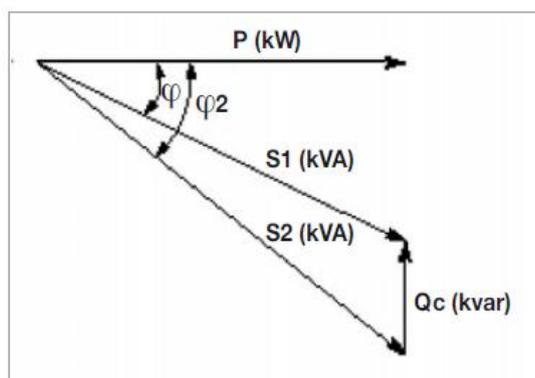


Fig.III.4 : Principe de la compensation d'énergie réactive

L'intérêt économique de la compensation est mesuré en comparant le coût d'installation des batteries de condensateurs aux économies qu'elle procure.

Le coût des batteries de condensateurs dépend de plusieurs paramètres dont :

- La puissance installée,
- Le niveau de tension,
- Le fractionnement en gradins,
- Le mode de commande,
- Le niveau de qualité de la protection.

III.5.1. Choix de la localisation :

- Compensation globale: la batterie est raccordée en tête d'installation et assure la compensation pour l'ensemble des charges. Elle convient lorsqu'on cherche essentiellement à supprimer les pénalités et soulager le poste de transformation.
- Compensation locale ou par secteurs: la batterie est installée en tête du secteur d'installation à compenser. Elle convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.
- Compensation individuelle: la batterie est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur inductif (moteur en particulier).

Elle est à envisager lorsque la puissance du moteur est importante par rapport à la puissance souscrite.

Cette compensation est techniquement idéale puisqu'elle produit l'énergie réactive à l'endroit même où elle est consommée, et en quantité ajustée à la demande. [14]

III.5.2. Choix du type de compensation :

- Compensation fixe: on met en service l'ensemble de la batterie dans un fonctionnement "tout ou rien".

La mise en service peut être manuelle (par disjoncteur ou interrupteur), semi-automatique (par contacteur), asservie aux bornes des moteurs.

Ce type de compensation est utilisé lorsque la puissance réactive est faible (< 15 % de la puissance du transformateur) et la charge relativement stable.

- Compensation automatique ou en "gradins": la batterie de condensateurs est fractionnée en gradins, avec possibilité de mettre en service plus ou moins de gradins, en général de façon automatique.

Ce type de batterie est installé en tête de la distribution BT ou d'un secteur important. Cela permet une régulation pas à pas de l'énergie réactive. L'enclenchement et le déclenchement des gradins sont pilotés par un relais varométrique. [14]

III.5.3. Compensation d'énergie réactive en présence d'harmoniques :

Les équipements faisant appel à l'électronique de puissance (variateurs de vitesse, redresseurs, onduleurs, ... etc.), de plus en plus utilisés, sont responsables de la circulation de courants harmoniques dans les réseaux. Ces harmoniques perturbent le fonctionnement de nombreux dispositifs. En particulier, les condensateurs y sont extrêmement sensibles du fait que leur impédance décroît proportionnellement au rang des harmoniques présents.

Dans certaines circonstances, des phénomènes de résonance peuvent se produire entraînant une forte distorsion de tension et la surcharge des condensateurs.

Selon la puissance des générateurs d'harmoniques présents, différents types de condensateurs doivent être choisis, associés éventuellement à des inductances.

Pour les valeurs élevées de puissance des générateurs d'harmoniques, le traitement des harmoniques est en général nécessaire. Le dispositif approprié (filtre d'harmonique) remplit à la fois les fonctions de compensation d'énergie réactive et de filtrage des harmoniques. [14]

III.6. La problématique de l'énergie réactive en milieu industriel :

Dans l'environnement industriel actuel, la prolifération des charges « déphasantes » sur les réseaux de distribution électrique entraîne une dégradation du facteur de puissance.

Les principaux consommateurs d'énergie réactive concernent : [14]

- Les moteurs asynchrones ordinaires,
- Les lampes à ballast magnétiques à fluorescence ou à décharge,
- Les fours à induction et à arc,
- Les machines à souder.

Les conséquences de cette énergie réactive sont nombreuses :

- Pénalités (en tarif vert) par le fournisseur d'électricité,
- Augmentation de la puissance souscrite au fournisseur d'énergie, des pertes Joules et des chutes de tension dans les circuits,
- Surcharge au niveau du transformateur et des câbles d'alimentation,
- Surdimensionnement et précaution au niveau des protections,
- Dégradation de la qualité de l'installation électrique.



Fig.III.5 : Batterie automatique RECTIPHASE de compensation d'énergie réactive sur site industriel

Globalement l'impact économique est donc très important. La solution à tous ces problèmes consiste à installer au niveau du transformateur (primaire ou secondaire) ou par

atelier, des batteries de condensateurs qui vont neutraliser cette énergie réactive en s'y opposant. Le retour d'investissement est en général rapide dans une installation électrique, de l'ordre de 1 à 3 ans. La distribution de l'énergie électrique en France est assurée par EDF. Sa politique tarifaire est guidée par trois principes :

- L'obligation de desserte. EDF doit, en permanence, satisfaire aux demandes des clients et assurer le service de l'électricité,
- L'égalité de traitement. Tous les clients doivent, s'ils ont les mêmes caractéristiques, bénéficier des mêmes choix tarifaires,
- La facturation au prix de revient. C'est le coût de production de la dernière centrale appelée sur le réseau, qui est pris en compte lorsqu'il y a augmentation de la demande.

On appelle cette méthode le "coût marginal".

Les tarifs sont répartis par niveau de puissance, en trois grandes familles :

- Tarif Bleu (de 3 à 36 kVA)
- Tarif Jaune (de 36 à 250 kVA)
- Tarif Vert (au-delà de 250 kVA).

Certaines options tarifaires proposent un découpage de l'année en périodes tarifaires, selon les heures et même les saisons.

La facture comporte deux éléments principaux : le montant de l'abonnement (lié au niveau de puissance souscrit) et le prix de l'énergie consommée. (<http://www.edf.fr>).

Le Tarif Vert est le seul qui facture directement l'énergie réactive. Le tableau de comptage est équipé d'un compteur spécifique d'énergie réactive.

Celle-ci peut donc être facilement identifiée sur la facture d'électricité.

Pour les autres tarifs, Bleu et Jaune, le système de comptage ne permet pas de mesurer directement l'énergie réactive. La puissance (souscrite en kVA) est déterminée par un disjoncteur en Tarif Bleu ou un contrôleur en Tarif Jaune. Ces dispositifs limitent l'intensité du courant et donc la puissance apparente. Pour disposer d'une puissance utile (active) la plus proche possible de celle qu'il a souscrite, le client doit minimiser la puissance réactive de son installation.

Lorsque les besoins de puissance d'un client s'accroissent, il peut aussi être confronté aux limites des tarifs (36 kVA en Tarif Bleu et 250 kVA en Tarif Jaune) comme à celles de son installation. Ce qui entraîne généralement des investissements importants (renforcement des câbles, changement de disjoncteur, remplacement du TGBT, ...etc.).

Une bonne maîtrise de la composition de la puissance appelée permet alors de limiter les impacts économiques et passe, entre autres, par la compensation de l'énergie réactive.

Une forte consommation d'énergie réactive chez l'utilisateur nécessite de la part d'EDF des installations dimensionnées plus largement, dont le coût grève celui de la fourniture d'électricité.

Les batteries de condensateurs compensent l'énergie réactive consommée par les équipements électriques, ce qui permet de réduire une partie de la facture d'énergie.

Les bénéfices de la compensation sont doubles : d'une part diminuer la facture énergétique, d'autre part optimiser les installations.

Du 1er novembre et jusqu'au 31 mars, les abonnés au Tarif Vert se voient facturer l'énergie réactive consommée par leurs installations.

Pour les abonnés au Tarif Jaune, l'installation d'une batterie de condensateurs s'avère bénéfique dans certains cas selon deux schémas :

- Soit diminuer le niveau de puissance souscrite,
- Soit pour accroître la puissance utile disponible en conservant le même niveau de puissance.

Finalement, quel que soit le contrat souscrit, pour des problèmes de facturation, de disponibilité de puissance ou de surcoût d'installation, il est important de minimiser la puissance réactive consommée.

III.7. L'équipement didactique « CER » :

La mise en œuvre des dispositifs techniques destinés à remédier aux conséquences de l'énergie réactive nécessite une bonne connaissance des installations, une analyse fine des critères spécifiques de celles-ci et la maîtrise des solutions afférentes. [14]

Le système pédagogique « CER » de Schneider Electric (Fig.III.6) constitue un support pratique destiné à la formation des techniciens et à la maîtrise des savoir-faire relatifs à la compensation de l'énergie électrique sur une installation électrique de type industriel.

L'équipement « CER » permet de réaliser :

- La mesure du facteur de déphasage sur des charges linéaires et non linéaires,
- La mise en œuvre des remèdes permettant la compensation du déphasage,
- La mise en évidence, la mesure et la réduction des courants d'appel liés à l'enclenchement des condensateurs,
- La mise en évidence des surcharges liées aux phénomènes harmoniques sur les condensateurs (anti résonance) et la mise en œuvre des remèdes associés,
- La mise en évidence de l'influence des longueurs de ligne sur le facteur de déphasage,
- Les précautions à prendre au niveau des protections.

Cet équipement représentatif d'une installation de compensation d'énergie réactive comprend:

- Des charges linéaires « déphasantes » permettant de faire varier le facteur de déphasage de l'installation,
- UN système de mesure varométrique de type VARLOGIC-RECTIPHASE,
- UN système RECTIPHASE de compensation d'énergie réactive assuré par des gradins de condensateurs asservis par le relais varométrique,
- UN contacteur statique permettant de supprimer le courant d'appel lié aux condensateurs,
- UN système de charges non linéaires permettant de mettre en évidence les phénomènes d'anti-résonance liés aux circulations d'harmoniques dans les condensateurs,
- UN dispositif correctif avec self anti-résonance,
- UN manuel de travaux pratiques, support pédagogique des manipulations, et d'une notice technique pour l'aide à la mise en service.



Fig.III.6 : L'équipement didactique « CER » de Schneider Electric

Le système « CER » est constitué par deux éléments interconnectés :

- 1- Un coffret monophasé BT qui représente une installation où la consommation de l'énergie électrique évolue au cours de la journée au gré de la mise en route et de l'arrêt des récepteurs. Ces récepteurs permettent, par combinaisons, d'obtenir des charges résistives, «déphasantes», linéaires et non linéaires.

- 2- Un coffret des charges, homothétique d'une installation électrique industrielle. Ce coffret possède une compensation RECTIPHASE par gradins, au nombre de trois, chacun constitué d'une capacité de $24,8 \mu\text{F}$.

Il comprend un ensemble de charges représentatives composé de : (Fig.III.7)

- Une charge constituée de 3 halogènes de 500 W pilotés par gradateurs,
- Une charge inductive $L_{20} = 175 \text{ mH}$
- Une self d'anti-résonance $L_{30} = 56 \text{ mH}$

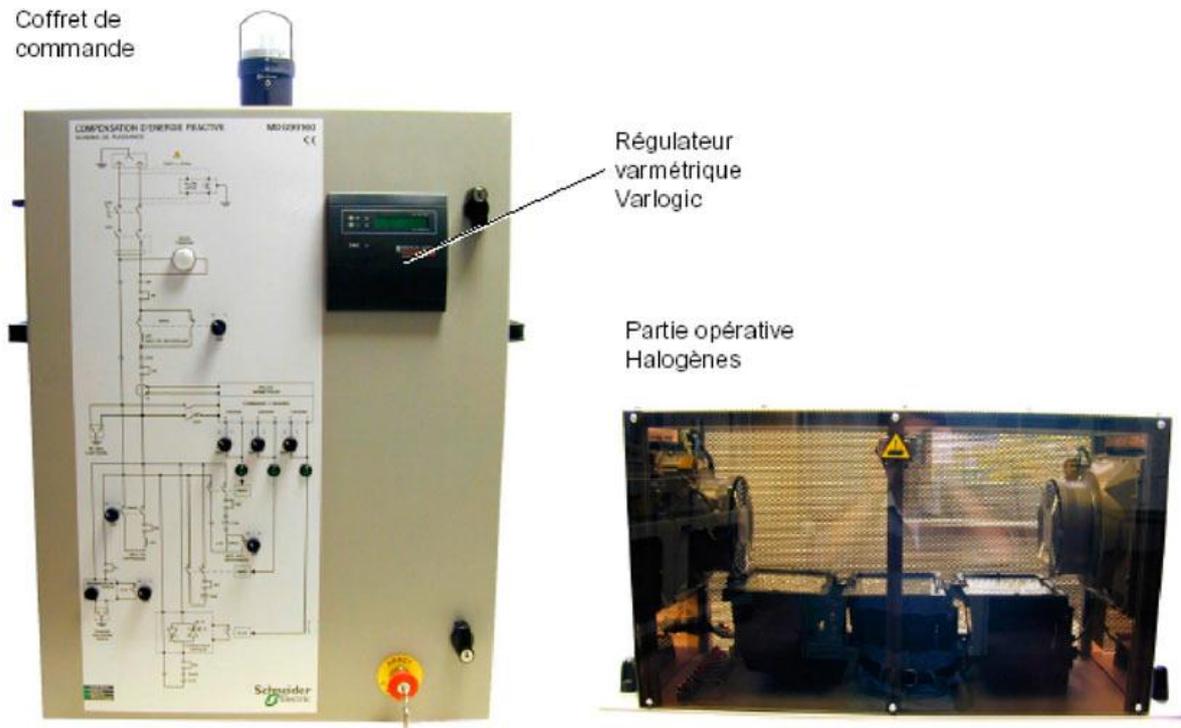


Fig.III.7 : Constitution de l'équipement didactique «CER»

III.8. La compensation de l'énergie réactive dans les lignes HT :

La compensation en haute tension est utilisée pour soulager la charge des lignes HT et THT et pour améliorer la stabilité de la tension. Les batteries à haute tension sont toujours de puissance importante, environ quelques dizaines de MVAR (Méga Volt Ampère Réactive), voire même une centaine de MVAR. Elles sont réalisées au moyen de condensateurs MT (avec l'isolement des bornes correspondant au réseau haute tension), couplées en série-parallèle et montées sur des châssis isolés.

Les batteries sont raccordées au réseau à haute tension par l'intermédiaire d'un disjoncteur remplissant de plus la fonction d'interrupteur de manœuvre. Elles ne sont pas fractionnées en moyenne et basse tension.

Le coût de l'infrastructure (isolateurs et rack) et de l'appareillage (disjoncteur, dispositif de décharge ou de protection) constitue une fraction importante du coût global des batteries.

III.9. Conclusion :

Les systèmes de compensation d'énergie réactive sont de technologie éprouvée et font l'objet d'essais de type qui en valident la conformité et les performances.

Conclusion Générale :

Les différentes centrales électriques, que ce soit hydraulique ou éolienne ou encore thermiques produisent l'énergie à partir d'une source naturelle en suivant un processus de production selon les techniques utilisées.

L'électricité produite est transportée via le réseau de transport qui a pour mission d'acheminer massivement l'énergie électrique des centres de production vers les réseaux de distribution situés dans les régions consommatrices. Ces derniers ont pour rôle de servir les consommateurs finaux.

Techniquement parlant, l'électricité passe du réseau de transport au réseau de distribution grâce aux postes de transformation HTB/HTA (Haute Tension B/Haute Tension A) qui abaissent la tension jusqu'à la tension de type HTA, cette tension est rabaisée encore plus par une succession de lignes et transformateurs afin de l'adapter aux abonnés domestiques ou industriels.

Les installations possédant des inductances crée inévitablement de l'énergie réactive, c'est une énergie parasite pour le réseau, entre autre, elle provoque des chutes de tension qui réduisent l'efficacité du réseau de distribution, sa compensation est donc un élément important pour réduire la facture d'énergie, améliorer la qualité du réseau électrique et réduire les pertes et les échauffements.

Les systèmes de compensation d'énergie réactive sont de technologie éprouvée et font l'objet d'essais de type qui en valident la conformité et les performances.

Bibliographie

- [01] Fondation 2nergies pour le monde « quinzime inventaire édition 2013 »
La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde
- [02] Fonctionnement d'une centrale hydraulique « Collège Marie de la Tour
d'Auvergne à Thouars ».
- [03] <http://enrj.renouvelables.free.fr/>
- [04] Les centrales électriques PDF
- [05] <http://www.rascol.free.fr/>
- [06] VIDEO « l'énergie des vallées »
- [07] Principe de fonctionnement d'une centrale thermique à flamme «
classique » EDF CHANGER L'ENERGIE ENSEMBLE.
- [08] Memo_ing_harouna_badarou_finale.
- [09] <http://www.bougepourtaplanete.fr>
- [10] <http://www.economiedenergie.fr>
- [11] Cours BTE dite DP Le transport de l'énergie électrique
- [12] www.meleec.org
- [13] RTE réseau de transport d'électricité « LES CHEMINS DE
L'ÉLECTRICITÉ »
- [14] Schneider Electric « La compensation de l'énergie réactive » Inter
sections 16-Novembre 2006
- [15] <http://www.sitelec.org>

Annexe :

Réseau électrique de la région de transport de Hassi Messaoud :

1. Schéma électrique :

Le réseau est constitué de :

- poste THT (400 kv et 220 kv) _ HT 60 kv _ MT 30 kv
- Les Cabines Mobiles.

2. Conception d'un poste électrique :

L'ensemble des appareils de coupure ou d'isolement (disjoncteurs et sectionneurs), ainsi que l'appareillage de mesure et de protection propre à une liaison, sont regroupés dans une travée.

Outre les jeux de barres, un poste comporte donc autant de travées que de liaisons qui y sont raccordées.

a. Travées : Chaque étage électrique est constitué d'un jeu de barres sur lequel sont organisées des cellules appelés « travées ».

b. Transformateurs :

Un transformateur de puissance est typiquement un appareil à la fois électrique et magnétique qui peut :

- Transformer une tension alternative d'une grandeur à une autre grandeur.
- Transformer un courant alternatif d'une grandeur à une autre grandeur.
- Faire paraître une impédance comme ayant une autre valeur.
- Isoler un circuit électrique d'un courant continu circulant dans un autre circuit électrique



Figure 1 : transformateur dans le poste 400 KV HM

c. Disjoncteurs :

Un disjoncteur (Figure 2) est un appareil prévu essentiellement pour couper et établir le courant en cas de défaut (court de circuit par exemple).

Il permet donc la protection des machines et des réseaux en cas d'anomalie, en assurant l'ouverture du circuit sur ordre automatique émanant des relais de mesures (protection) ; il peut également effectuer des ré-enclenchements sur ordre automatique émanant des réenclencher.

Les types des disjoncteurs sont :

- ✚ Disjoncteurs *COUPURE A SOUFFLAGE SF6* ()
- ✚ Disjoncteurs à l'huile



Figure 2 : Disjoncteur dans le poste HM 220/60/30 KV

✚ Disjoncteurs à air comprimé

Le schéma suivant illustre un modèle de disjoncteur à SF6

SF6 Gaz Disjoncteur			
Type	HOSP-305	Temps d'ouverture	33 ms
Tension assignée	245 kV	Temps de fermeture	100 ms
Intensités nominales	2000 A	Puissance moteur	800 Watt
Courant coupé en court-circuit	31,5 kA	Premier pôle pour effacer le facteur	13
Courant de courte durée admissible assigné	31,5 kA	Cycle de service	0-0,3sec-0,3min-0,3
Tension assignée aux chocs de foudre	1950 kV	Contrôle/Moteur Tension	127 Vac / 220-240 Vac
Tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle	460 kV	Masse totale/MASS OF SF6	4600/100 Kg
Fréquence nominale	50 Hz	3C composantes de courant coupé en court-circuit	44 X
Gaz pression de nominale @ 20°C	6 bar @	Standard	IEC 62271-100
Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide	200 A	MFG NO.	8 DC 2 5 7 0 2 - 0
Pression d'ouverture de la tension de relâchement	2,0 kV/us	MFG DATE	2011
Isolation de temps de coupure	60 ms		

HYOSUNG CORPORATION

Figure 3 : Plaque signalétique disjoncteur SF6_ poste 400 KV HM

Visite des ouvrages de la région de Hassi Messaoud :

1. Centre Régional de Conduite (CRC/HM) :

Le réseau électrique de la région de Hassi Messaoud est exploité à distance par le *Centre Régional de Conduite (CRC/HM)* appelé aussi « dispatching ». La mission du CRC/HM est d'assurer la coordination du système Production / Transport d'électricité. Il gère le réseau électrique instantanément en collaboration avec le *Centre National de Conduite (CNC)*.

Généralement, l'exploitation locale de chaque poste est assurée par un chef de poste.

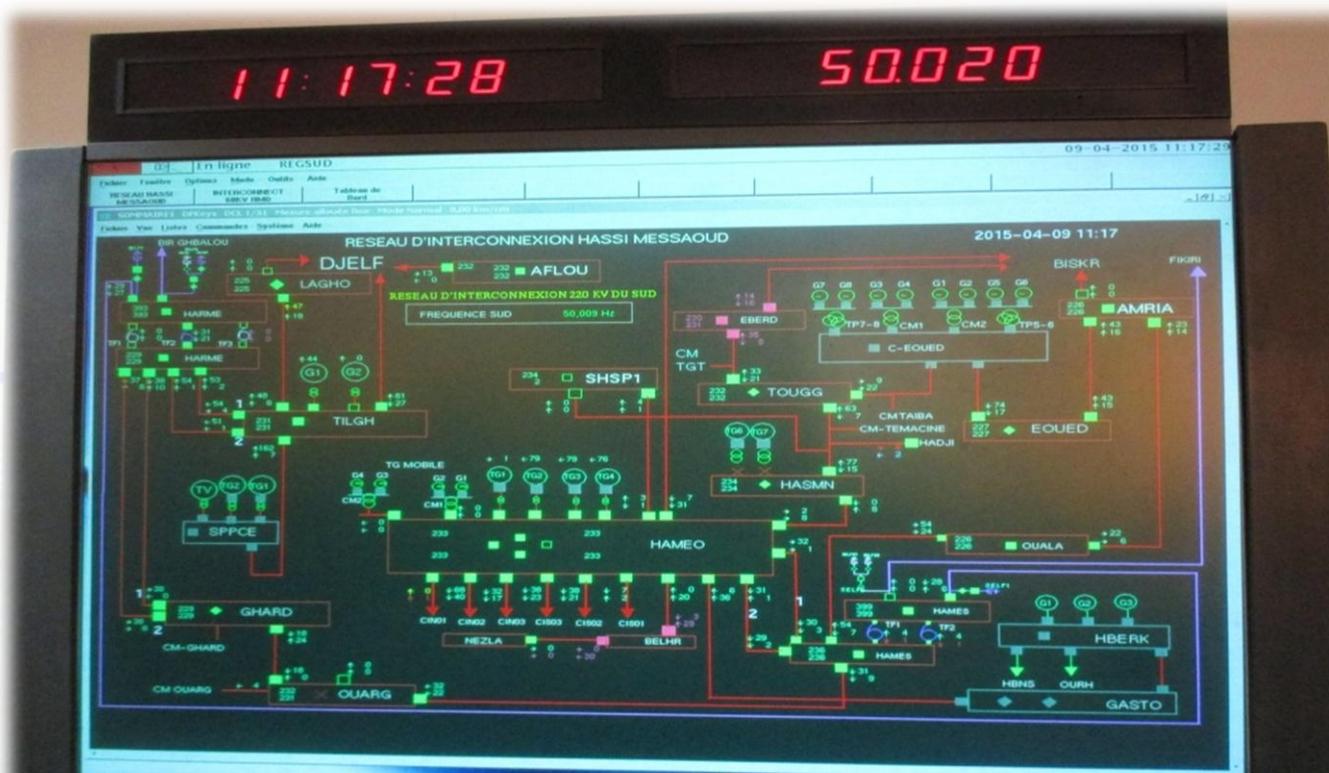


Figure 4 : Réseau d'interconnexion Hassi Messaoud

2. Centrale électrique de Hassi Mesaoud Ouest (HMO) :

La centrale HMO est une centrale thermique à turbine à gaz. Elle constituée de 04 groupes de 123 MW chacun qui présentent les caractéristiques suivantes :

- Type blindé ELK 114 (ABB).
- Tension nominale : 245kV.
- Un transformateur élévateur 11,5/220kV pour chaque groupe : le côté primaire est relié à la sorties du groupe et le côté secondaire est relié au départ 220kV.



Figure 5 : Hassi Messaoud ouest 245 KV