

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 électrique

Spécialité : Maintenance en instrumentation industrielle

THEME:

SOUS TITRE :

***Généralité sur les réseaux
électriques***

Représenter Par :

- **KHENNOUR Abdennour**
- **KHELILI BANOUEH Ali**

Jury:

M^r: HAMID OUDJANA Samir Attaché de Recherche, URAER, Ghardaïa **Encadreur**
M^r: SADOUNI Redouane Maître-Assistant Univ. Ghardaïa **Examineur**

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2013/2014

Sommaire

SOMMAIRE.....	2
LISTE DES FIGURES.....	2
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
1 Introduction generale.....	01
CHAPITRE I : Les centrales de Production de l'électricité	
I Les centres de production d'électricité.....	02
I.1 Introduction.....	02
I.2 Centrales thermoélectriques, thermopompes.....	02
I.2.1 Cycle de travail de la vapeur.....	03
I.2.3 Cycles des turbines à gaz.....	03
I.2.3 Centrale à cycle combiné.....	04
I.2.4 Les centrales nucléaires.....	04
I.2.4.1 Energie provenant de la fission et la fusion.....	04
I.2.4.2 La fusion thermonucléaire.....	05
I.2.4.3 Types de réacteurs.....	05
I.2.5 Les centrales hydroélectriques.....	05
I.3 Production alternative d'électricité.....	07
I.3.1 Énergie éolienne.....	07
I.3.1.1 L'énergie cinétique du vent.....	08
I.3.2 Energie photovoltaïque.....	10
I.3.2.1 Le soleil comme source d'énergie.....	10
I.3.2.2 Base physique, effet photoélectrique.....	11
I.3.2.3 Effet photovoltaïque, courant photoélectrique.....	12
I.3.3 L'énergie solaire thermique.....	12
I.3.3.1 principe de fonctionnement.....	13
I.3.3.2 Ressources.....	13
I.3.4 Piles à combustible.....	14
I.3.4.1 Structure et types.....	15
I.4 Localisation des unités de production dans le diagramme de charge... 16	

Sommaire

I.5	Chiffres clés de production en Algérie.....	18
I.5.1	La production d'électricité par les EnR représente 0,028% du bilan de production en 2005.....	18
I.5.2	Programme de développement de Production de l'électricité.....	18
I.5.3	Sonelgaz compte produire plus de 18.300 MW d'électricité d'ici à 2017	19
I.6	Conclusion.....	21
 CHAPITRE II : transport de l'électricité		
II.1	Introduction.....	22
II.2	L'interconnexion progressive des réseaux.....	23
II.3	La conduite du réseau.....	25
II.3.1	Le principe de l'égalité.....	25
II.3.2	Équilibrer l'offre et la demande en contrôlant la fréquence du courant	26
II.4	Les moyens de transport l'électricité.....	27
II.4.1	Le réseau de transport et d'interconnexion.....	27
II.4.2	Les réseaux de répartition régionale ou locale.....	28
II.5	Les lignes à haute tension.....	29
II.5.1	Utilisation de la très haute tension.....	30
II.5.2	Câble électrique à haute tension.....	30
II.6	Conclusion.....	31
 CHAPITRE III : distribution de l'électricité		
III.1	Introduction.....	32
III.2	Types de distribution.....	33
III.2.1	Distribution aérienne.....	33
III.2.2	Distribution souterraine.....	33
III.3	Les postes MT/BT.....	34
III.3.1	Les différents types de poste de livraison.....	35
III.3.1.1	Les postes d'extérieur.....	35
Postes MT/BT en haut de poteau.....		35

Sommaire

Postes préfabriqués monobloc.....	36
III.3.1.2 Postes d'intérieur.....	37
III.3.2 Structure d'un poste MT/BT.....	38
III.4 Architectures générales des réseaux MT.....	39
III.4.1 Simple antenne.....	39
III.4.2 Double antenne.....	39
III.4.3 Double antenne avec double jeu de barres.....	40
III.5 L'installation.....	41
III.5.1 La pose en caniveau.....	41
III.5.2 La pose en fourreau.....	41
III.5.3 La pose en mortier maigre.....	41
III.5.4 La pose en galerie.....	41
III.6 Tension de service, critères de choix.....	42
III.6.1 Pertes et chutes de tension.....	42
III.7 Panneau de distribution et la nature de raccordement.....	43
III.8 Conclusion.....	45
2 Conclusion générale.....	46
3 Les références bibliographique.....	47

LISTE DES FIGURES

- Figure 01 Présentation de divers centres de production
- Figure 02 Présentation du cycle de vapeur
- Figure 03 Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique
- Figure 04 Cycle d'énergie éolienne
- Figure 05 Schéma de PV- Cycle d'énergie solaire dans le PV-
- Figure 06 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique
- Figure 07 Schéma de base d'une installation d'un pile
- Figure 08 Localisations des unités de production dans un diagramme de charge (source CPTE)
- Figure 09 Une vue du futur (source : Communauté européenne) : partage de la production entre unités centralisées et décentralisées
- Figure 10 Dynamos alimentant les tramways de l'est parisien
- Figure 11 Exemple de diagramme de charge tel que prévu et effectif sur le réseau RTE le 29 mai 2006. [Ces courbes sont lisibles en temps réel sur le site : <http://www.rte-france.com/jsp/fr/courbes/courbes.jsp>]
- Figure 12 équilibres offre-demande
- Figure 13 Type poteau de très haute tension (THT) concerne les tensions (400 KV à 250KV)
- Figure 14 Type poteau de haute tension (HT) concerne les tensions (250 KV à 63KV)
- Figure 15 Structure d'un réseau électrique
- Figure 16 bronchement de l'électricité à domicile
- Figure17 schéma qui représenter la distribution sur l'air
- Figure 18 souterraine - conduite de refoulement
- Figure 19 Structure d'installation d'un poste sur poteau
- Figure 20 Exemples de raccordement d'un poste sur poteau.
- Figure 21 Structure d'un poste préfabriqué compact
- Figure 22 Schéma interne d'un poste préfabriqué compact.
- Figure 23 Schéma général d'un poste ouvert.

Liste des figures

- Figure 24 Structure générale d'un poste MT/BT
- Figure 25 Architecture simple antenne.
- Figure 26 Architecture double antenne.
- Figure 27 Architecture double antenne avec double jeu de barres.
- Figure 28 Relations entre puissance transportée par une ligne et section et longueur de cette ligne, pour des conducteurs en aluminium et âme en acier.
- Figure 29 Panneau de distribution avec sec composant

Liste des Tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 Force de vent et la vitesse du vent

Tableau 02 Relations entre puissance transportée par une ligne et section et longueur de cette ligne, pour des conducteurs en aluminium et âme en acier.

1. Introduction général

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne était difficilement envisageable, il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des usines (centrales électriques) capables de produire de l'électricité en grande quantité. Une fois le courant produit, il doit être amené jusque à le consommateur.

Le premier chapitre présente diverses sources d'énergies, et différents types des centrales électriques, soient les centrales thermiques, hydrauliques, nucléaires, et des centrales à base des énergies renouvelables.

Le deuxième chapitre sera consacré à l'historique d'évolution des réseaux électriques au monde, tel que le premier réseau électrique achevé aux Etats Unis d'Amérique, et nous allons donner un détail sur le réseau électrique européen, même le réseau de transport d'électricité (RTE) en France, en suite on va citer les niveaux des hautes tension exigés par l'opérateur du réseau de transport algérien(RTA) de la société de SONELGAZ .

Le troisième chapitre consiste sur le réseau électrique de distribution, où nous allons présenter la hiérarchisation de réseau de distribution, qui assure l'alimentation électrique vers les clients à travers des transformateurs abaisseurs, de la moyenne tension vers la basse tension.

Enfin, nous allons terminer notre mémoire par une conclusion générale, en présentant la structure de réseau électrique, dès les centrales de production via les lignes de transport, et vers la distribution aux consommateurs.

A blue scroll graphic with rounded corners and a vertical strip on the left side, resembling a rolled-up document. The text is centered on the scroll.

CHAPTER I

Les centrales de production de l'électricité

I.1 Introduction

La centrale de production est la composante élémentaire de l'organisation des moyens de production d'électricité. Une centrale peut regrouper sur un même site plusieurs unités de production, souvent de même technologie et de même puissance. Elle est formée d'un ensemble d'éléments en interaction entre eux c'est les groupes (alternateurs) et les éléments de commande

Ce volume étudie les centrales classiques hydroélectriques et celle thermoélectriques a combustibles fossile et nucléaire. Il traite également des méthodes alternatives de production de courant électrique par les énergies éolienne et solaire, des perspectives de la fusion nucléaire et des piles à combustible [01].

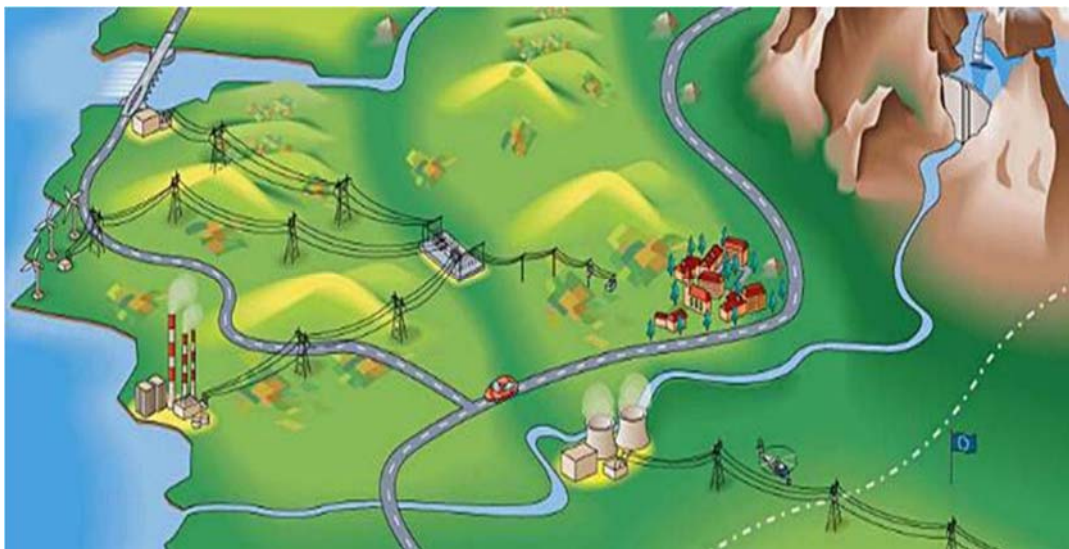


Figure 01 Présentation de diverses centrales de production

I.2 Centrales thermoélectriques, thermopompes

Partant des bases thermodynamique et énergétique, nous traitons, dans ce chapitre, des cycles des centrales thermoélectriques les plus importantes (à combustible fossile et nucléaire)

- Comment fonctionne une centrale thermique ?

Une centrale thermique à flamme produit de l'électricité à partir de la vapeur d'eau produite grâce à la chaleur dégagée par la combustion de gaz, de charbon ou de fioul, qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur.

I.2.1 Cycle de travail de la vapeur

La plus grande partie de l'énergie électrique est produite, à l'échelle mondiale, par les centrales à combustible fossile (66% en 2004), les combustibles les plus employés sont le charbon (lignite, houille, 39.8%), le pétrole (6.7%) et le gaz naturel (19.6%). Le cycle thermodynamique le plus employé est le cycle à vapeur

Dans le domaine de la vapeur humide (vapeur saturée + eau) la transformation isobare est en même temps une transformation isotherme. Il est ainsi possible, dans ce domaine, de réaliser entre deux isobares un cycle de Carnot, ou presque. La température supérieure qui ne peut pas atteindre des valeurs très élevées, le point critique pour l'eau étant $T_{cr}=374^{\circ}\text{C}$ pour une pression de 221 bar [01].

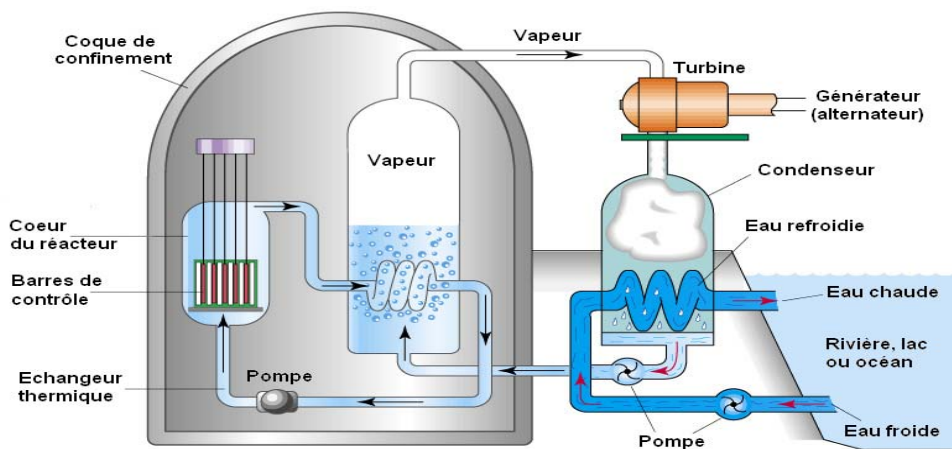


Figure 02 Présentation du cycle de vapeur

I.2.3 Cycles des turbines à gaz

Les turbines en cycle simple sont peu coûteuses à construire, de plus elles ont l'avantage de démarrer très rapidement (contrairement aux chaudières à vapeur qui ont une certaine inertie). Néanmoins, leur rendement faible (35% au mieux) empêche de les utiliser directement pour la production d'électricité sans valoriser leur chaleur résiduelle, sauf en appoint lors des pics de demande ou à toute petite échelle.

Les gaz d'échappement des turbines à gaz étant très chauds (de l'ordre de 600°C), la chaleur peut être réutilisée de diverses façons. La cogénération (ou tri génération) est le plus souvent associée aux turbines à gaz, les gaz d'échappement alimentant une chaudière qui fournit de la chaleur (généralement sous forme de vapeur) et/ou une turbine fournissant de l'énergie mécanique (mouvement) pour un procédé industriel [18].

I.2.3 Centrale à cycle combiné

La combinaison a cycle à vapeur et de la turbine à gaz en cycle ouvert permet d'améliorer le rendement de la production d'électricité par rapport aux centrales à vapeur et aux centrales à turbine de gaz

La combinaison vapeur-gaz est réalisée de différentes manières :

Centrales à cycle combiné proprement dit : la chaleur résiduelle de la turbine à gaz est utilisée pour chauffer la chaudière du cycle à vapeur rapport des puissances turbine à gaz/turbine à vapeur environ 2 :1

Centrale de charbon complétée par une turbine à gaz dont la chaleur résiduelle est utilisée dans a chaudière auxiliaire supplémentaire pour produire de la vapeur utilisée dans la turbine a moyenne pression. Rapport des puissances turbine à gaz/turbine à vapeur 1:4

Centrale de charbon complétée par une turbine à gaz dont les gaz d'échappement sont utilisés avec de l'air frais par la combustion du charbon. Rapport des puissances turbine à gaz/turbine à vapeur : 1:4

Gazéification sous pression du charbon combinée à une turbine à gaz ou à un cycle combine proprement dit [01].

I.2.4 Les centrales nucléaires

Les centrales nucléaires sont essentiellement des centrales thermiques utilisant un combustible nucléaire à la place de la combustion fossile dans les centrales thermiques. Alor La chambre de combustion est remplacée par le réacteur. Entre le réacteur et la turbine, il peut y avoir un circuit de refroidissement supplémentaire. Elles produisent environ 15% de l'électricité mondiale

On distingue deux systèmes qui peut-être les centrales nucléaires :

- Système primaire : réacteur +circuit supplémentaire de refroidissement

- Système secondaire : éléments conventionnels restant du cycle à vapeur ou d'un cycle combine [01].

I.2.4.1 Energie provenant de la fission et la fusion

L'énergie nucléaire peut être obtenue de deux manières différentes

- Par la fusion de noyaux d'atomes légers, c'est-à-dire d'isotopes d'hydrogène deutérium et tritium, transformés en hélium ; l'industrielle est encore loin d'être atteinte

- Par la fission d'éléments fissiles, c'est-à-dire de noyaux d'atomes lourds comme l'uranium, le thorium et le plutonium, dont la désintégration mène à des noyaux de poids moyen

La production actuelle d'énergie nucléaire se base sur la fission de l'uranium. Le thorium peut être utilisé dans le réacteur à haute température. Le plutonium est un produit secondaire de la fission de l'uranium. Pour l'utiliser

Dans les réacteurs surgénérateurs, il doit d'abord être produit à partir de l'uranium 238 [01].

I.2.4.2 La fusion thermonucléaire

Depuis les années 1950, des recherches ont été entreprises pour obtenir de l'énergie par la fusion contrôlée de noyaux d'hydrogène en hélium (réalisation sur terre des processus qui libèrent l'énergie du soleil et des étoiles). Malgré les grands progrès atteints, la réalisation technique est loin d'être à son terme, il est encore difficile de juger de la rentabilité économique de cette technique. La communauté internationale essaie de maintenir cette option ouverte pour l'avenir, dont l'importance énergétique est évidente dans le contexte des problèmes climatiques discutés. Il semble toutefois difficile que cette technique ait un rôle important pour l'économie énergétique avant la moitié du siècle en cours. Notons que la fusion, ainsi que l'énergie du rayonnement solaire, sont à long terme les seules sources d'énergie dont le potentiel est pratiquement infini [01].

I.2.4.3 Types de réacteurs

Les réacteurs réalisés peuvent être réalisés selon le type de modérateur employé :

- Réacteur thermique à eau léger
- Réacteur thermique à eau lourd

- Réacteur thermique au graphite
- Réacteur thermique surgénérateur (sans modérateur)

La majeure partie des réacteurs en services sont de loin, des réacteurs à eau léger qui ont donc atteint une grande importance énergétique [01].

I.2.5 Les centrales hydroélectriques

La Centrale de production d'électricité dans laquelle le flux crée par l'eau amenée par écoulement libre (canaux) ou par des conduites en charge (conduites forcées) actionne la rotation des turboalternateurs, avant de retourner à la rivière. C'est une forme d'énergie renouvelable, propre et non polluante.

Une centrale hydroélectrique transforme l'énergie sauvage d'une chute d'eau en énergie mécanique grâce à une turbine, puis en énergie électrique grâce à un générateur.

Deux types d'installations existent :

- les installations qui fonctionnent par éclusées c'est-à-dire de grands barrages dotés de réservoirs permettant de répondre aux pointes de consommation,
- les centrales installées au fil de l'eau, ce qui est le cas de la majorité des petites centrales hydroélectriques (PCH)

La petite hydroélectricité (PHE) se caractérise par des installations de production capables de développer une puissance électrique de quelques kilowatts à plusieurs mégawatts (10 MW au maximum), à partir de chutes d'eau de quelques mètres de haut à plusieurs centaines de mètres de haut. Trois types de turbines sont utilisés : Kaplan pour les basses chutes (5-10 m), Francis pour les chutes moyennes (10-100 m) et Francis et Pelton pour les hautes chutes (50 à 400 m)

Les centrales de basse chute consistent en un seuil qui dérive l'eau dans un canal d'amenée qui la conduit à la centrale. La restitution de l'eau se fait en aval dans le canal de fuite qui rejoint le cours d'eau dérivé. Les centrales de haute chute sont dotées d'une prise d'eau en montagne et d'une conduite forcée qui amène l'eau à la centrale puis la restitue [11].

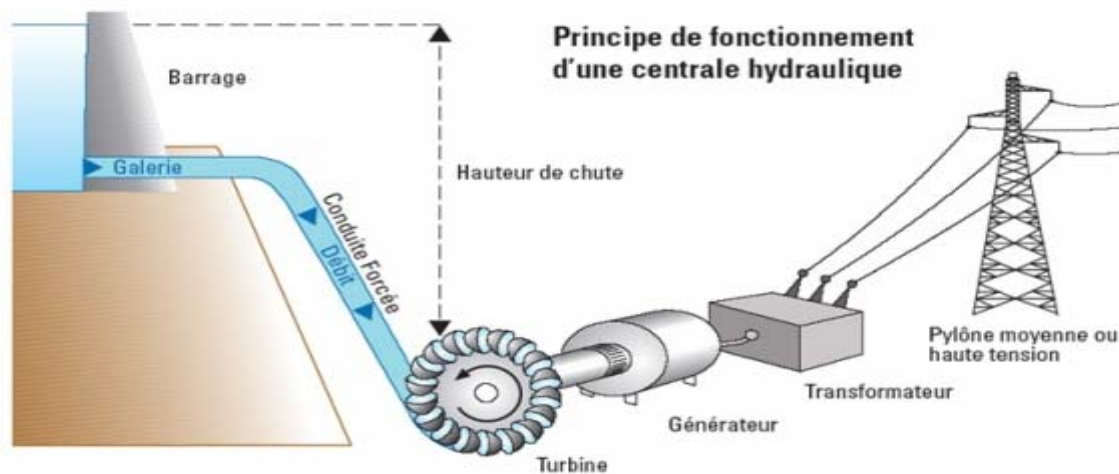


Figure 03 Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique

- **Fonctionnement de production l'électricité d'un centre hydroélectrique**

Ce type de centrale mis au point en Autriche, au potentiel immense et demandant peu de technique, n'a pas besoin d'une grande pente pour fonctionner. Un canal d'amenée d'eau d'une rivière vers un bassin de rotation circulaire d'un certain diamètre avec un rotor à pales placé au centre du bassin, permet la production de 80 à 130 MWh par an, selon la quantité d'eau et la profondeur du bassin. Le rotor fonctionne par la force du courant et de la pesanteur, entraînant un générateur qui va produire l'électricité.

Une centrale hydraulique à tourbillons peut fonctionner dès une hauteur de chute de 0,7 mètre et une quantité d'eau moyenne de 1000 litres par seconde. Cette technologie ne présente pratiquement pas de danger pour les poissons car ces derniers peuvent traverser sans danger la petite centrale hydraulique aussi bien en amont qu'en aval.

Une première centrale hydraulique à tourbillons de Suisse a été inaugurée à Scotland dans le canton d'Argovie en Suisse, le 25 septembre 2010. Cette centrale utilise un bassin de 6,5 mètres de diamètre et un rotor de 1,7 tonne tournant à 20 tours par minute et étant donc sans danger pour la faune des rivières. Elle produit 10 à 15 kW en continu, soit 130 000 kWh sur un an, permettant ainsi d'alimenter en électricité environ 25 foyers [18].

I.3 Production alternative d'électricité

Cette partie comprend 4 types des énergies qui se produisent le courant en forme alternative: 1(éolienne), 2(photovoltaïque), 3(solaire thermique), 4(piles à combustible), Ces énergies pourraient révolutionner, au cours de ce siècle, l'économie énergétique

Les énergies renouvelables correspondent à différentes sources d'énergies qui se renouvellent à l'échelle humaine.

I.3.1 Énergie éolienne

L'énergie éolienne est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie directement tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur comme une éolienne ou un moulin à vent. L'énergie éolienne est une des formes d'énergie renouvelable.

Elle tire son nom d'Éole (en grec ancien Αἴολος, Aiolos), le maître des Vents dans la Grèce antique.

L'énergie éolienne peut être utilisée de trois manières :

- Conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour irriguer ou abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin
- Transformation en force motrice (pompage de liquides, compression de fluides...)
- Production d'énergie électrique : l'éolienne est alors couplée à un générateur électrique pour produire un courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou bien fonctionne au sein d'un système « autonome » avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie [12].

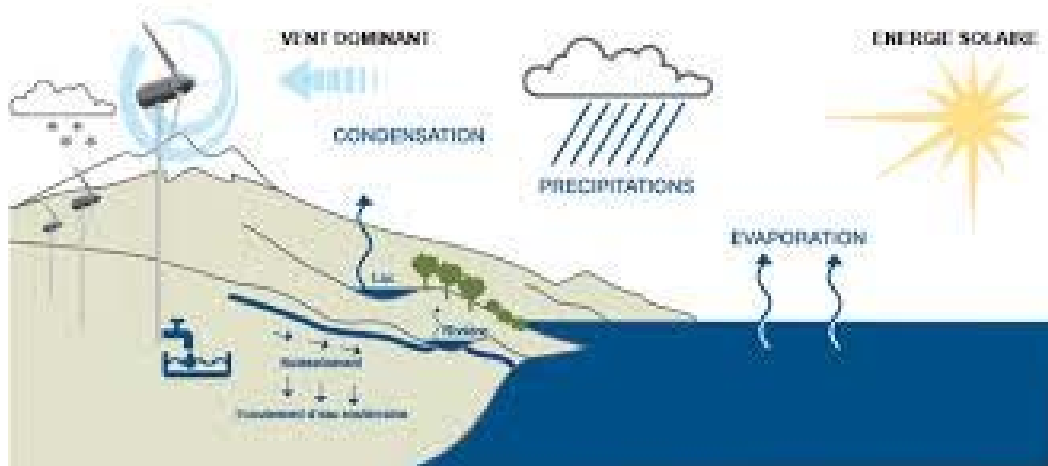


Figure 04 Cycle d'énergie éolienne

I.3.1.1 L'énergie cinétique du vent

- Puissance théorique de vent

Une masse d'air m qui se déplace à la vitesse v_0 possède l'énergie cinétique :

$$E_c = \frac{1}{2} m v_0^2 \left[\text{kg} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = \text{J} \right] \quad (1)$$

A une section A traversée par le flux d'air m dont la densité est ρ et la vitesse v_0 :

$$m = A \rho v_0 \left[\text{m}^2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (2)$$

On peut attribuer la *puissance théorique* du vent :

$$P_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} A \rho v_0^3 \quad [\text{W}] \quad (3)$$

La puissance du vent croît avec le cube de la vitesse du vent qui détermine fortement la rentabilité de l'exploitation de l'énergie éolienne [01].

- Relation entre la force et vitesse du vent :

La relation entre la force et la vitesse du vent peut être tirée de tableau suivante. Des valeurs moyennes de la vitesse de vent qui dépassent 5 m/s n'apparaissent normalement que dans les régions côtières ou le long des crêtes des montagnes. Remarque que la

moyenne à elle seul, à cause de v_0^3 (équation 3), n'est pas un indice suffisant pour déterminer l'énergie disponible. De plus, le frottement avec le sol fait que la vitesse du vent varie avec la hauteur, selon la formule :

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha, \text{ ou } \alpha = 0.16 \text{ (mer)}$$

$$\alpha = 0.17 \dots \dots \dots 0.2 \text{ (plaine sans obstacles)}$$

En cas d'obstacles (arbres, bâtiments) le coefficient α peut atteindre des valeurs nettement plus élevées. Une topographie irrégulière (vallées, collines) peut donner lieu à de fortes différences locales et modifier le profil vertical de la vitesse du vent.

Ceci montre que le choix du site est très important pour l'installation d'une éolienne [01].

Tableau 01 Force du vent et la vitesse du vent

Force du vent (Beaufort)	Vitesse de vent		Effet du vent
	m/s	Nœuds	
0 calme	0.....0,2	0.....1	Fumée verticale
1 très léger	0,3.....1,5	1.....3	Fumée oblique
2 léger	1,6.....3,3	4.....7	Vent perçu au visage
3 fiable	3,4.....5,4	8.....11	Feuilles agitées
4 modère	5,5.....7,9	12.....15	Petit branches agitées
5 Boone brise	8.....10,7	16.....21	Arbustes se balancent
6 frais	10,8.....13,8	22.....27	Vent qui hurle
7 grand frais	13,9.....17,1	28.....33	Arbres agites
8 orageux	17,2.....20,7	34.....40	March contre le vent difficile
9 orage	20,8.....24,4	41.....47	Toiture endommagées
10tempête	24,5.....28,4	48.....55	Arbres déracines
11violente tempête	28,5.....32,6	56.....63	Ravages étendus
12 ouragan	32,7.....36,9	64.....71	Destruction générale

I.3.2Energie photovoltaïque

I.3.2.1Le soleil comme source d'énergie

Il y a environ 5 milliards d'années, en un point bien défini de la voie lactée, s'amorça le réacteur de fusion <<soleil>> par la compression des gaz primordiaux qui constituaient l'univers (environ 75% de H et 25% de He), compression qui donna lieu à la température critique d'environ 12 millions de K et dont l'origine fut probablement l'explosion d'une

supernova au cours des derniers 5 milliards d'années, l'intensité de rayonnement solaire du soleil a augmenté, probablement de 25%. Dans les 5 milliards d'années à venir, le soleil continuera à convertir l'hydrogène en hélium et son intensité de rayonnement augmentera encore, le soleil aura ensuite une crise énergétique et dilatera en devenant une étoile (géante rouge) pour ensuite s'effondrer sur elle-même et continuer à briller comme (naine blanche) et s'éteindre lentement jusqu'à terminer sa vie d'étoile comme sphère invisible [01].

Aujourd'hui, le soleil est une sphère de gaz avec les données suivantes :

Rayon : 696000 km (109 fois plus que la terre)

Volume : $1.412 \cdot 10^{27} \text{m}^3$

Surface : $6.087 \cdot 10^{18} \text{m}^2$

Densité : 1.41t/m^3 (1/4 de la terre)

Masse : $2 \cdot 10^{27} \text{t}$ (terre $6 \cdot 10^{21} \text{t}$)

Le rayonnement total est $380 \cdot 10^{12} \text{TW}$; ramené à la surface qui a une température de 5900K, on obtient 62TW/m^2

L'énergie rayonnée est de $12 \cdot 10^{33} \text{J/a}$ et perte de masse correspondante, selon la relation $E=mc^2$, de $\Delta m = 133 \cdot 10^{12} \text{t/a}$. La quantité d'hydrogène convertie en hélium est de environ $20 \cdot 10^{15} \text{t/a}$. En 5 milliards d'années ce sont 10^{26}t . Ce qui correspond à environ 10-15% des réserves d'hydrogène originelles [01].

I.3.2.2 Base physique, effet photoélectrique

Le comportement des semi-conducteurs et des isolants peut être décrit par le modèle des bandes d'énergie. Pour l'effet photoélectrique, déterminant pour les phénomènes photovoltaïques, ce sont la bande de valence avec limite supérieure E_V et la bande de conduction avec la limite inférieure E_C qui jouent le rôle principal. Les deux bandes sont séparées par la bande interdite $\Delta E = E_C - E_V$ qui dans le cas du silicium, est de 1.12 eV. La densité des états $Z(E)$ de l'énergie E des électrons est décrite à l'intérieur des bandes par une courbe parabolique. Selon le principe d'exclusion de Pauli, on obtient la probabilité d'un état énergétique en multipliant cette densité par la statistique de Fermi-Dirac: z

$$\frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)} \quad (4)$$

Où E_F : énergie de Fermi et

$$K : \text{constante de Boltzmann} = 8.62 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{K}} = 1.30805 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

L'intégration sur la bande de conduction donne la densité des électrons

$$n = \int_{E_C}^{\infty} F(E) Z(E) dE = N_c \exp\left(\frac{-E_C - E_F}{kT}\right) \quad (5)$$

$$\text{Avec } N_c = 2\left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2}\right)^{3/2}$$

I.3.2.3 Effet photovoltaïque, Courant photoélectrique

Si on applique à la jonction P-N une tension externe U , la jonction se comporte comme une diode avec la caractéristique de. Pour $U < 0$ la barrière de potentiel est renforcée et la diffusion réduite. La diode bloque les électrons générés thermiquement sont aspirés et donnent le courant de saturation I_s dans le sens du blocage [01].

$$I_s \text{ prop. } T^3 \exp\left(\frac{-U_d}{U_r}\right) \quad (6)$$

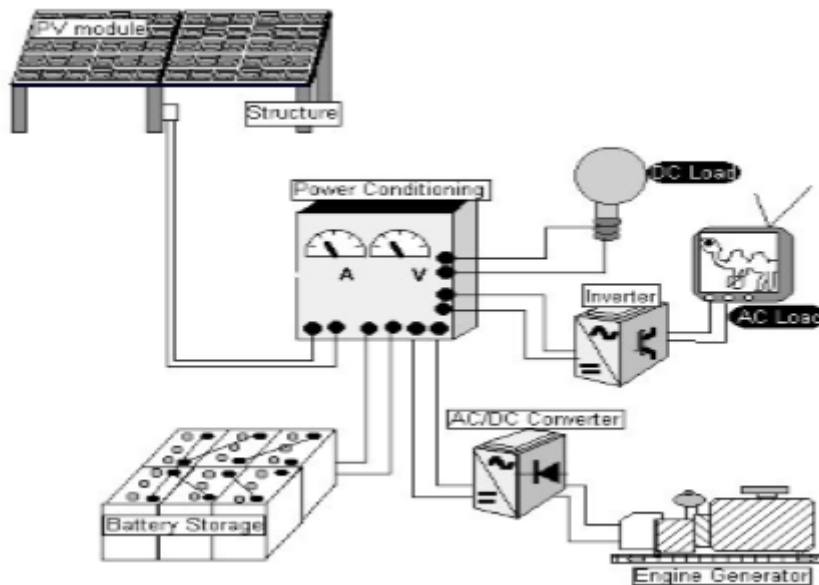


Figure 05 Cycle d'énergie solaire dans le PV

I.3.3 L'énergie solaire thermique

Le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à le stocker dans le cas des systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) ou, s'il s'agit de système actif, à redistribuer cette énergie par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air.

L'énergie solaire thermique se trouve sous nombreuses applications :

- la production d'eau chaude
- le chauffage des maisons
- le chauffage de l'eau des piscines
- le séchage des récoltes
- la réfrigération par absorption pour les bâtiments
- la production de très haute température[02].

I.3.3.1 principe de fonctionnement

Les capteurs solaires de type plan sont le plus couramment utilisés. Ils se composent d'un absorbeur situé dans un coffrage isolé en face arrière et constitué d'un vitrage en face avant. Cet absorbeur possède une couche sélective qui augmente la captation de l'énergie solaire tout en limitant les pertes par rayonnement. Le vitrage quant à lui évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent et crée un effet de serre qui augmente le rendement du capteur. L'isolation à l'arrière du capteur diminue les pertes de chaleur.

C'est à la surface de l'absorbeur que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un liquide caloporteur circule dans l'absorbeur et vient transmettre sa chaleur via un échangeur à l'eau sanitaire. De ce fait, le circuit solaire est totalement indépendant du circuit consommateur[02].

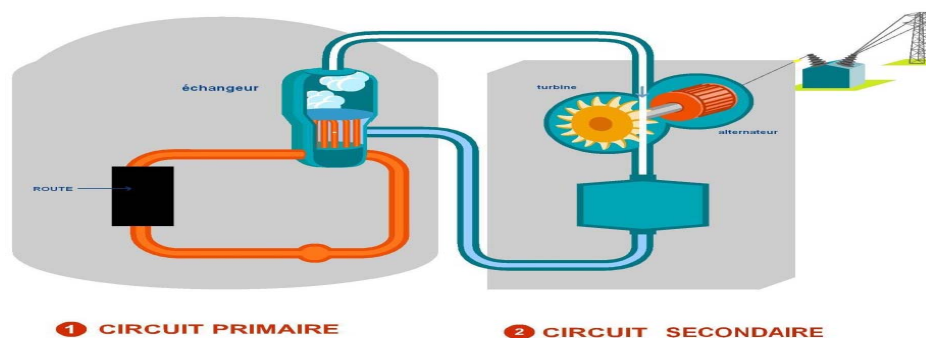


Figure 06 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique

I.3.3.2 Ressources

L'ensoleillement moyen annuel est bon et relativement homogène sur le territoire, il permet une utilisation pertinente et intéressante d'installations solaires sur le département.

La productivité moyenne d'un mètre carré de panneau solaire thermique est de :

520 kWh/m²/an environ, pour une installation solaire collective

460 kWh/m²/an pour un chauffe-eau individuel

350 kWh/m²/an pour un système solaire combiné (eau chaude et chauffage d'une habitation)

300 kWh/m²/an pour des capteurs moquettes pour le chauffage de l'eau des piscines [02].

I.3.4 Piles à combustible :

Les piles à combustible permettent de transformer l'énergie de l'hydrogène, du gaz naturel et d'autres hydrocarbures (essence, éthanol) ou du biogaz, par voie électrochimique, directement en énergie électrique. Par rapport aux machines thermiques qui font le détour par l'énergie mécanique, on obtient des rendements supérieurs, et cela sans parties tournantes et émissions sonores correspondantes. déjà pour les petites puissances, on obtient des rendements de 50-60% ce qui par des techniques conventionnelles n'est possible qu'avec des installations à cycle combiné à partir de 10 à 100 mW. L'impact sur l'environnement lors de l'utilisation de gaz naturel est moindre par rapport aux centrales thermiques grâce aux rendements plus élevés et à une combustion différente (pas de suie, pas d'oxydes d'azote, pas d'hydrocarbures non carburés) les émissions de CO₂ peuvent être réduites en augmentant le contenu en hydrogène.

La technique continue à se développer mais n'a pas encore atteint la limite de rentabilité. On peut tout de même prévoir qu'au cours des décennies à venir elle deviendra intéressante pour des applications mobiles et stationnaires [01].

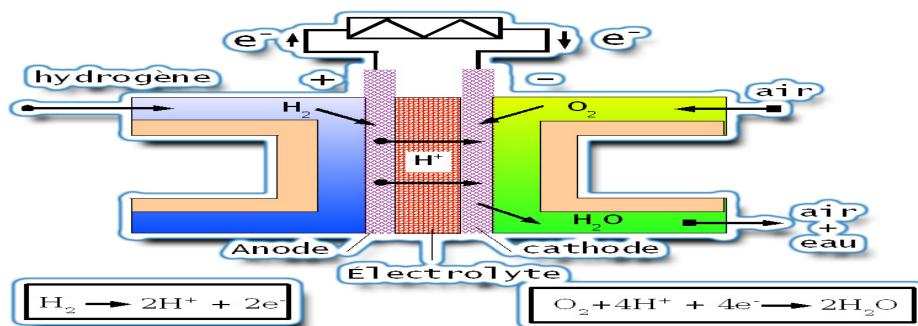


Figure07 schéma de base d'une installation d'une pile

I.3.4.1 Structure et types

La structure de base d'une pile à combustible, Elle se compose, comme les batteries, de l'anode A, de la cathode C et d'un électrolyte L. L'anode poreuse est traversée par un gaz combustible (H_2 , CO , CH_4), la cathode par de l'air. L'électrolyte est imperméable aux gaz, ne permet donc pas de réaction entre le combustible et l'oxygène de l'air. Les électrons qui forment le courant généré, sont transportés de la cathode à l'anode par des ions dont la nature dépend de l'électrolyte utilisé.

On connaît essentiellement cinq familles de pile à combustible qui se distinguent surtout par le type d'électrolyte utilisé. Elles sont classées par la suite selon la température décroissante de la pile :

- Pile à céramique (SOFC Solide Oxyde Fuel Cell), $800^\circ C$:
- pile à carbonate (MCFC Molten Carbonate Fuel Cell), $650^\circ C$
- pile à acide phosphorique (PAFC Phosphoric Acid Fuel Cell), $200^\circ C$
- pile à membrane polymère (PEFC Polymère Electrolyte Fuel Cell), $80^\circ C$
- pile alcaline (AFC Alkaline Fuel Cell), $70^\circ C$

Ces cinq types de pile peuvent fonctionner au gaz naturel. Le gaz doit être d'abord transformé en hydrogène ou hydrogène+ CO , sauf pour les piles SOFC et MCFC. Cette transformation est très coûteuse et grand encombrement (jusqu'à 60% du volume total de l'installation).

En ce qui concerne les piles AFC, on ne leur donne aujourd'hui peu de chances d'atteindre la rentabilité. La pile PEFC présente de l'intérêt pour les applications mobiles et est développée, en première ligne, par l'industrie automobile. Outre les cinq familles nommées, il faudrait mentionner la pile à combustible à méthanol direct DMFC qui peut donc utiliser directement le méthanol (sans reformeur). Pour elle la perspective est encore incertaine. La température de travail est à celle des piles PEFC.

Pour les applications stationnaires (production d'électricité et de chaleur) ce sont surtout les piles PAFC, MCFC et SOFC qui sont prédestinées. La pile à combustible à l'acide phosphorique est la plus avancée et se trouve dans le commerce (par exemple 200KW PC25 Cd'ONSI). Elle est rentable pour certaines applications. La pile à combustible à céramique est encore en développement, mais présente un grand potentiel [01].

I.4 Localisation des unités de production dans le diagramme de charge

En base on utilise les centrales à faible coût de combustible (hydraulique) ou à temps de démarrage lent (nucléaire), de toute façon celles qui produisent le kWh au meilleur prix. Viennent ensuite les centrales thermiques classiques et les TGV (ces dernières avec un rendement nettement meilleur - proche de 55%), puis les unités plus coûteuses (vieilles unités thermiques), la crête et la sécurité dite N-1 (perte d'un groupe important, en Belgique c'est environ 1040 MW) étant assurée par des centrales à mise en route rapide (turbine à Gaz et centrale de pompage).(fig. 8)

Le dispatching national (Linkebeek) possède une liste ordonnée des centrales à mettre progressivement en service pour couvrir la charge, en tenant compte de leur coût marginal d'exploitation (cette fonction va disparaître avec la libéralisation du marché).

Les centrales de pompage écrêtent la pointe ou interviennent en urgence (perte d'un groupe nucléaire par exemple), elles fonctionnent en pompe en période de faible charge. (La centrale de Coe peut fournir 1000 MW pendant 6 heures par exemple (elles contribuent par leur fonctionnement à uniformiser le diagramme de charge) [03].

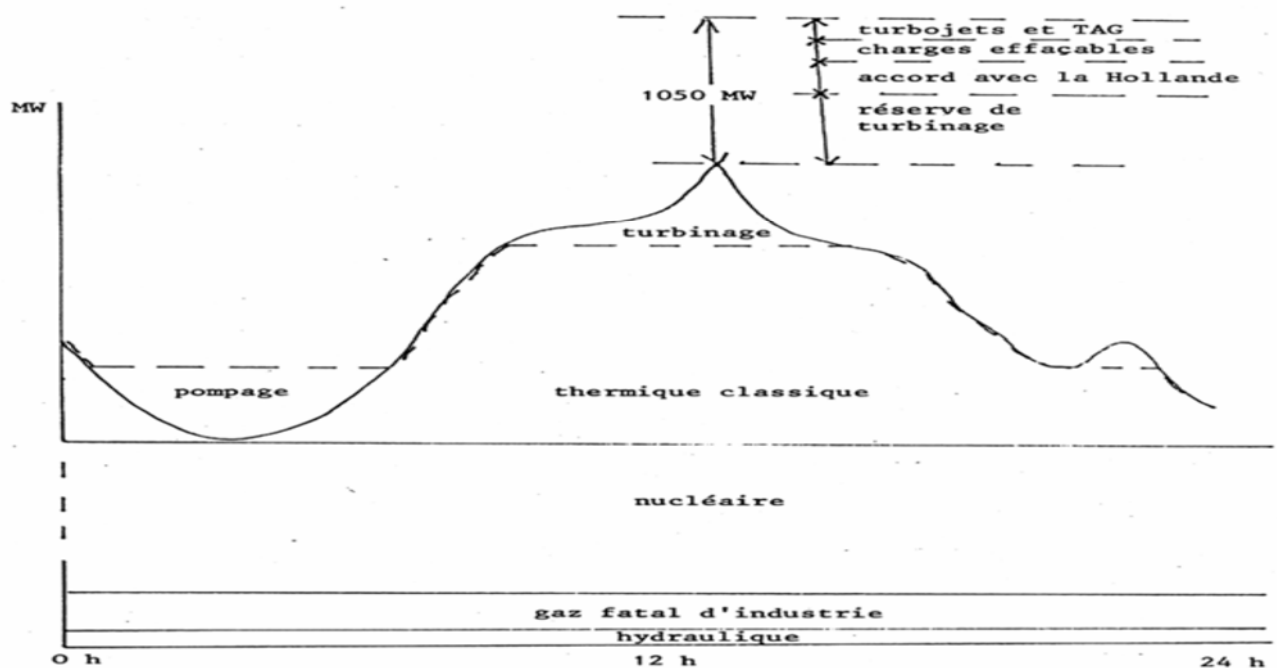


Figure 08 localisations des unités de production dans un diagramme de charge (en France)

A nouveau la libéralisation du marché va modifier profondément la manière de gérer l'attribution des quotas de production. En effet les producteurs vont maximiser leur profit et vendre au plus cher (aux heures de pointe) un maximum d'énergie peu coûteuse (nucléaire, coût de production de environ 10 à 15 euros le MWh comparé au coût du thermique classique aux environs de 60 à 70 euros/MWh). Toutefois ce mécanisme sera sans doute contrôlé (mutualisation de ces coûts à tous les producteur «strandedbenefit » ? accises sur l'uranium ? favorisation des petits producteurs ?) Par ailleurs la production décentralisée va faire évoluer les réseaux vers la notion de « smart grid » (fig.09) qui regroupera de nombreux moyens de production renouvelable, de cogénération.[03].

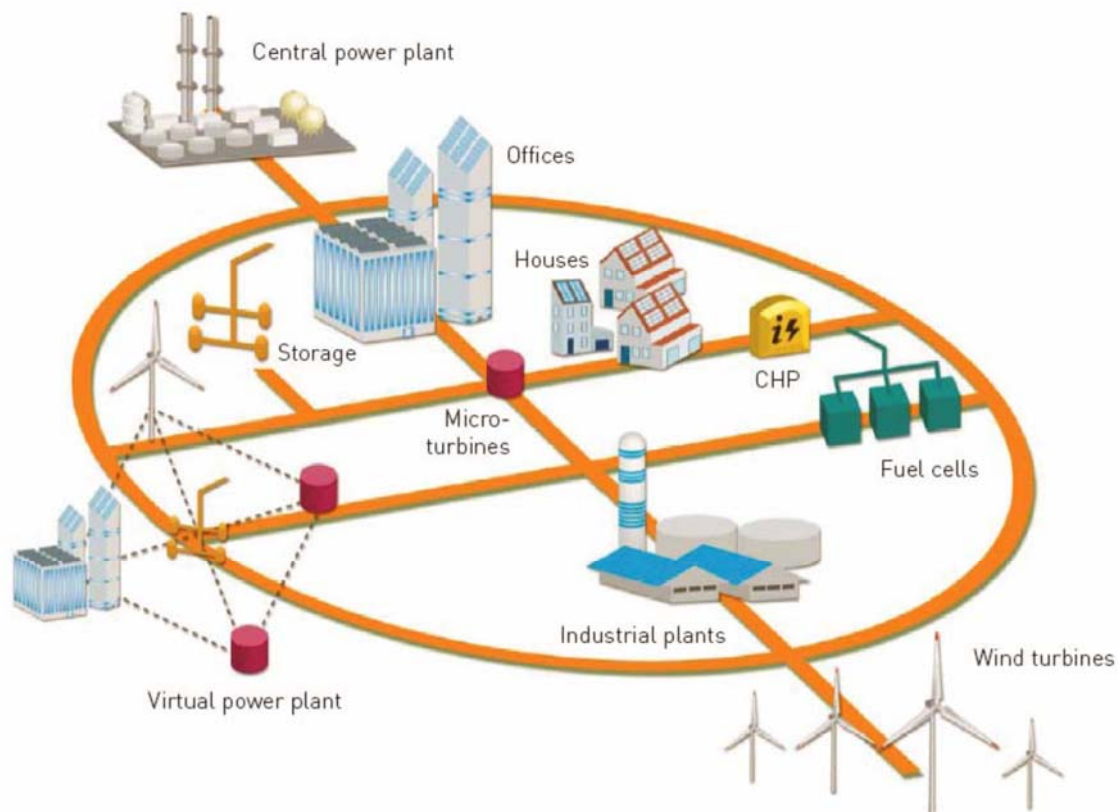


Figure 09 Une vue du futur (source : Communauté européenne) : partage de la production entre unités centralisées et décentralisées.

Possibilité de créer des agrégats en micro-réseau pour former des VPP (Virtual Power Plants) afin de faciliter leur intégration à la fois dans le système physique et dans le marché.

I.5 Chiffres clés de production dans Algérie

I.5.1 La production d'électricité par les EnR représente 0,028% du bilan de production en 2005

Quelques données :

- Capacité installée hydraulique : 275 MW
- Parc solaire en fonctionnement : 108 installations PV
- Puissance installée crête : 453 KWc
- Capacité de raccordement solaire : 906 foyers [04].

La politique énergétique préconise l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national. L'objectif est d'atteindre une contribution des énergies renouvelables de l'ordre de 6% dans le bilan national à l'horizon 2015 à travers les filières, photovoltaïques, thermique solaire et éolienne :

- **Photovoltaïque** : Dans le cadre de l'électrification rurale, il est prévu l'électrification de 500 foyers par an à raison d'une moyenne de 0,75 kW par foyer, la puissance à installer serait en moyenne de 500 kW par an à partir de 2007.
- **Solaire thermique** : la société NEAL prévoit la construction de 04 centrales hybrides solaire/gaz à l'horizon 2015 totalisant une capacité installée de l'ordre de 1350 MW.
- **Eolien** : Le programme retenu prévoit à l'horizon 2015 la construction de 04 fermes éoliennes totalisant une capacité installée de 40MW [04].

I.5.2 Les programmes de développement de Production de l'électricité en Algérie

La capacité de production additionnelle prévue sur la période 2013-2023 s'élève à 35 505 MW dont 21 305 MW sont décidés et 14 200 MW sont en idée de projet (type conventionnel).

Les 21 305 MW déjà décidés sont composés de :

- 5 539 MW en EnR,
- 14 370 MW en conventionnel pour le réseau interconnecté nord (RIN),
- 50 MW en turbines à gaz pour le pôle In Salah - Adrar - Timimoun (PIAT),
- 421 MW en turbines à gaz et diesel pour les réseaux isolés du sud (RIS).

- 925 MW pour la réserve stratégique en mobile [13].

Le montant global du programme de développement de la production d'électricité 2013-2023, s'élève à plus de 4 791 391 millions de dinars (dont plus de 2 664 878 millions de dinars pour les EnR)

14 370 MW de capacité de production additionnelle développable sont en cours de construction sur la période 2013-2017, dont 1 140 MW de la centrale Koudiet Eddraouech (SKD)

Additivement aux capacités conventionnelles, il est prévu la réalisation par SKTM d'un parc d'énergie renouvelable (ENR) de 5 539 MW, répartis comme suit:

Réseau interconnecté nord (R.I.N): 5 084 MW de puissance EnR prévue sur la période 2013 et 2023.

Réseaux isolés du sud (R.I.S): 167 MW de puissance EnR prévue sur la période 2013 et 2023.

Pôle InSalah-Adrar-Timimoun(P.I.A.T): 288 MW de puissance EnR prévue sur la période 2013 et 2023 [13].

I.5.3 Sonelgaz compte produire plus de 18.300 MW d'électricité d'ici à 2017

Le groupe Sonelgaz prévoit la production de 18.344 Mégawatts (MW) d'électricité, dont 11.350 MW (62%) provenant des centrales à cycles combinés, dans le cadre de son programme de développement pour la période 2013-2017 transmis mardi à l'APS.

Ce programme ayant une enveloppe de 2.600 milliards de dinars (près de 33 milliards de dollars) a été allouée, comprend également la mise en place de 5.544 MW produits par les centrales de turbines à gaz et 400 MW issus des centrales photovoltaïques.

En parallèle, la capacité de production installée du groupe devrait passer de 11.515 MW en 2013 à 27.644 MW en 2017 avec une évolution annuelle moyenne de plus de 3.668 MW sur les quatre prochaines années.

Ainsi, la capacité de production prévue pour 2014 sera de 14.961 MW, soit une progression de 3.446 MW par rapport à l'année passée, alors que celle de 2015 sera de 22.181

MW (+7.220 MW). Pour l'année 2016, la capacité installée passera à 24.326 MW (+2.145 MW), pour atteindre 27.644 MW (+3.318 MW) en 2017, selon le programme de développement de Sonelgaz.

Ce même plan prévoit la réalisation de 467 ouvrages de distribution d'électricité dont 375 postes réseau, 52 transformateurs et 40 cabines mobiles.

Il s'agit aussi de la mise en service d'un linéaire supplémentaire de 19.974 km du réseau de distribution, ce qui permettra de porter la totalité du réseau national à 54.052 km.

La société de Sonelgaz a affirmé que le plan de développement du groupe est déjà en route.

La plupart des contrats sont signés et les chantiers sont ouverts. A partir de 2015, une partie des grands équipements des nouvelles centrales sera progressivement réceptionnée et ce jusqu'en 2017 qui verra la mise en place d'une capacité de production de plus de 18.000 MW, a-t-il indiqué.

Parallèlement à son programme de développement, Sonelgaz a mis en place une nouvelle stratégie destinée à doter le groupe de ses propres moyens de production.

Cette stratégie répond à la nécessité de créer des capacités nationales de fabrication des équipements et de réalisation nécessaires à la production, au transport et à la distribution de l'électricité

Elle prévoit, entre autres, d'opter pour la domiciliation des fabrications en Algérie en abandonnant progressivement la formule "clé en main" pour la construction des centrales, de créer des entreprises locales de construction et de fabrication de blocs de puissance.

Ceci permettra aussi l'émergence d'un tissu national d'entreprises industrielles et de sous-traitance dans le domaine de construction et d'équipement [05].

I.6 Conclusion

Il existe plusieurs centrales différentes pour la production de l'énergie électrique, telles que les centrales thermiques, hydroélectriques, nucléaires, et des centrales alternatives à base des énergies renouvelables, dont les centrales photovoltaïques, éoliennes, et piles à combustible. Ensuite on a cité le principe de fonctionnement de chaque type de ces centrales soit la transformation de l'énergie mécanique, chimique, éolienne, ou solaire vers l'énergie électrique. Afin d'alimenter les consommateurs par l'électricité, particuliers ou industriels relativement lointains.

A blue graphic element resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and rounded corners. The text 'CHAPITRE II' is centered on the scroll.

CHAPITRE II

Transport de l'électricité

II.1 Introduction

Comme l'électricité ne se stocke pas en grande quantité, la production doit s'adapter sans cesse à la consommation. C'est pourquoi l'énergie produite doit être acheminée en temps réel jusqu'aux consommateurs.

Depuis les sites de production, l'électricité emprunte d'abord le réseau de transport à haute et très haute tension (HT/THT), mais aussi chez de très grand client industriels, (usine pétrochimiques, sidérurgiques, métallurgiques, papeteries,...).

Il est gère en France par le RTE (réseau de transport d'électricité)

Les grandes puissances transitées imposent des lignes électriques de forte capacité de transit, ainsi qu'une structure maillée (ou interconnectée).

Les réseaux maillés garantissent une très bonne sécurité d'alimentation, car la perte de n'importe quel élément (ligne électrique, transformateur ou groupe de production) n'entraîne aucune coupure d'électricité si l'exploitant du réseau de transport respecte la règle dite du "N-1" (possibilité de perdre n'importe quel élément du réseau sans conséquences inacceptables pour les consommateurs).

Impressionnantes par leurs dimensions, les lignes très hautes tension (THT) sont conçues pour transporter de grandes puissances, et résister à des conditions climatiques sévères. On reconnaît facilement les lignes aériennes THT à leur support (pylônes et poteaux) qui peuvent atteindre 45 m de hauteur et 57 m de largeur

La plupart des lignes sont aériennes, ce qui facilite leur entretien. Bien que plus coûteux, l'enfouissement des lignes progresse, pour plus de sécurité et moins de déperditions d'énergie [18].

- Pourquoi « transformer » l'électricité ?

Plus la longueur des lignes est importante plus le courant perd de son énergie (pertes par effet Joules notamment).

C'est la raison pour laquelle le transport sur de grandes distances se fait sous une tension élevée.

II.2L'interconnexion progressive des réseaux

L'Interconnexion électrique a été progressive. À la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle, les usages de l'électricité se multiplient, aussi bien au niveau domestique qu'industriel (notamment l'électrification des tramways, métros et chemins de fer). Dans chaque grande ville s'implantent des compagnies d'électricité. Ces dernières construisent des centrales électriques et de petits réseaux locaux, chacun utilisant des fréquences et des niveaux de tension différents. Les opérateurs se rendent compte tardivement de l'intérêt d'utiliser une fréquence unique (indispensable à l'interconnexion des réseaux), et l'on voit apparaître finalement 2 standards de fréquence : le 60 Hz sur la majorité du continent américain et le 50 Hz quasiment partout dans le reste du monde.



Figure 10 Dynamos alimentant les tramways de l'est parisien

Dans la première moitié du XX^e siècle les réseaux urbains des pays industrialisés grandissent pour notamment électrifier les campagnes. Parallèlement, ils s'interconnectent au niveau régional, permettant des économies d'échelle sur la taille des centrales de production et de mieux valoriser des ressources énergétiques géographiquement localisées, comme la production hydraulique essentiellement produite en montagne, loin des grands centres de consommation. Alors qu'augmentaient les puissances appelées et les distances des lignes d'interconnexion, la tension d'exploitation des lignes a aussi augmenté (1^{re} ligne à 220 kV construite en 1923 aux États-Unis, celle à 380 kV en 1930 en Allemagne). L'apparition en 1937 du premier turbo-alternateur refroidi à l'hydrogène, d'une puissance de 100 MW, ouvre la voie des centrales électriques de forte puissance.

L'héritage du passé limite le développement des réseaux électriques car les infrastructures énergétiques sont conçues pour durer plusieurs dizaines d'années.

L'électrification des campagnes faite de l'absence de réseau antérieur a permis de mettre en œuvre les standards du moment (en termes de tension et de fréquence). Au niveau urbain en revanche le problème était complexe car plusieurs réseaux non interconnectables coexistaient, conduisant à la multiplication des câbles. Des réseaux en courant continu ont ainsi très longtemps subsisté localement : jusque 1965 à Paris , et 2007 à New York !

Dans les années 1950, les compagnies européennes se coordonnent pour uniformiser les tensions des réseaux de transports à 400 kV. Ceci permet en 1967 la première interconnexion des réseaux français, allemands et suisse à Lauenbourg (Suisse).

La deuxième moitié du XX^e, les interconnexions intra-nationales accompagnent le développement des interconnexions transnationales, principalement pour créer des capacités de secours mutuel entre opérateurs et pour améliorer la stabilité globale des réseaux électriques, et plus ponctuellement créer des capacités d'échange d'énergie sur le long terme.

L'Europe, avec sa forte densité de population et un niveau élevé de développement économique et industriel, présente un réseau électrique dense et maillé. Son interconnexion physique a nécessité des règles communes de sûreté entre exploitants des divers systèmes (souvent nationaux) pour prévenir les risques d'incident de grande ampleur. Aujourd'hui, c'est l'ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) , anciennement UCTE (Union pour le Coordination du Transport de l'électricité), qui effectue cette coordination en Europe. En créant un « marché intérieur de l'électricité » de plus en plus « intégré », la Commission européenne encourage l'interconnexion transfrontalière, afin d'accroître les potentiels d'échange et l'interconnexion « commerciale » des marchés nationaux, ce qui demande « d'adopter des règles claires et transparentes sur la répartition transfrontalière des coûts afin d'accélérer les investissements dans les infrastructures transfrontalières ». En 2002, l'Europe a demandé à chaque État de viser un niveau d'interconnexions électriques au moins équivalent à 10 % de sa capacité de production installée. En mars 2010, le Conseil européen a accepté la nouvelle stratégie «Europe 2020» proposée par la Commission. Elle promeut une interconnexion au niveau continental. Une communication intitulée « Priorités en matière d'infrastructures énergétiques pour 2020 et au-delà - Schéma directeur pour un réseau énergétique européen intégré » précise la stratégie. Le conseil européen du 4 février 2011 soulignant la nécessité d'aussi pouvoir accueillir et faire transiter la production issue des énergies renouvelables dans un réseau intelligent et résilient, conformément à la directive 2009/28/CE qui promeut les « sources renouvelables ».

À ces sujets, les prospectivistes annoncent un réseau intelligent (Smart grid) plus souple et capable de mieux intégrer les sources d'énergies propres et sûres, mais diffuses et non continues telles que l'éolien et le solaire[18].

II.3 La conduite du réseau

II.3.1 Le principe de l'égalité

Le principe de l'égalité ($\text{Production} = \text{Consommation} + \text{pertes}$) est assuré par une prévision statistique de l'évolution de la charge, seule une gestion rigoureuse et continue permet d'éviter une instabilité, c'est le rôle du dispatching national.

Dans la plupart des pays, ce travail se fait la veille pour le lendemain. La préparation de l'exploitation est contractualisée entre les acteurs. C'est lors de la préparation journalière que sont figées les demandes de chacun, que l'accès au réseau de transport est accepté ou refusé, et que sont définies précisément les conditions techniques et économiques de la production électrique et des services de transport de l'énergie[02].

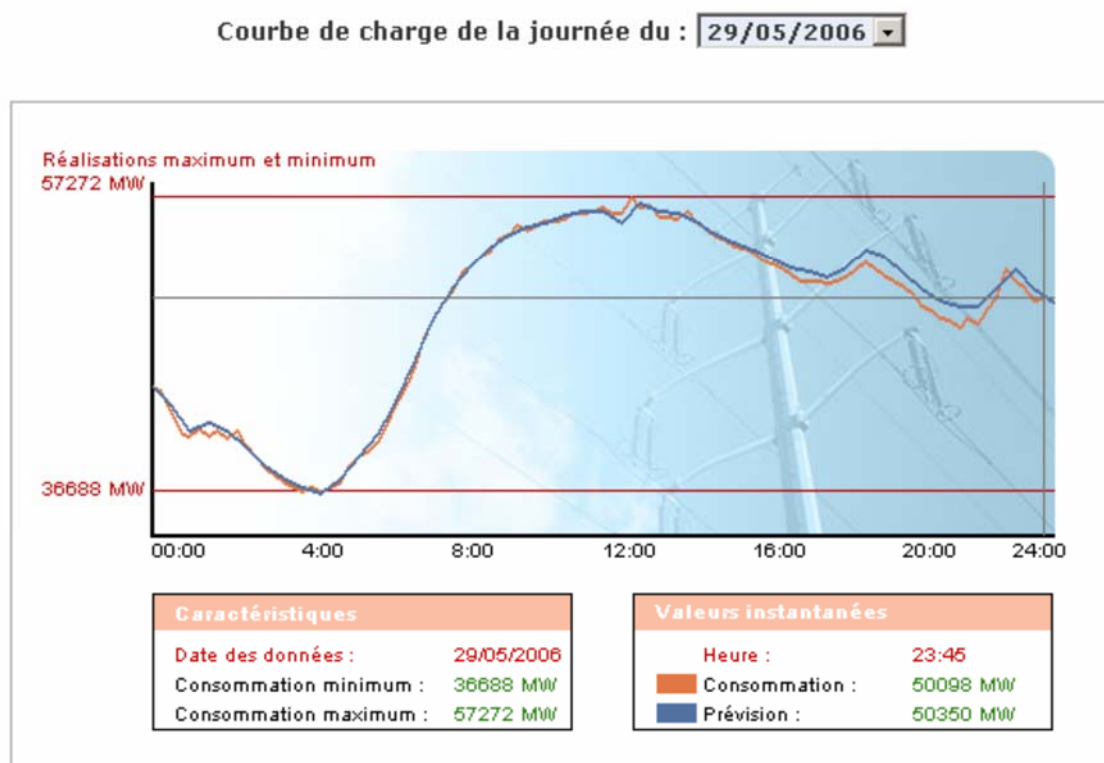


Figure 11 Exemple de diagramme de charge tel que prévu et effectif sur le réseau RTE le 29 mai 2006.

II.3.2 Équilibrer l'offre et la demande en contrôlant la fréquence du courant

Un aspect fondamental du fonctionnement des réseaux électriques est **l'obligatoire équilibre entre l'offre et la demande** : la production et la consommation. L'électricité ne se stocke pas sous forme directe, on doit donc consommer à chaque instant ce qui est produit, et produire à chaque instant ce qui est consommé. C'est une des lois fondamentales des systèmes électriques.

Cet équilibre se traduit dans une grandeur électrique qui est la **fréquence du courant alternatif**. En Europe, le système électrique fonctionne à une fréquence de référence de 50 Hz (dans le monde, d'autres systèmes comme les réseaux nord-américains fonctionnent à 60 Hz). Tous nos appareils domestiques (micro-ondes, TV, réfrigérateur...), les moteurs industriels ainsi que les centrales de production sont conçus pour fonctionner de manière optimale à cette fréquence. En cas d'écart trop important par rapport à cette fréquence de référence, les équipements cessent de fonctionner.

La production d'électricité provient très majoritairement de machines tournantes, des alternateurs électriques, entraînés grâce à différentes énergies primaires – l'énergie nucléaire, l'éolien, l'hydraulique, des sources thermiques diverses (pétrole, gaz,...), etc.

La production d'électricité est une transformation d'une énergie primaire en énergie mécanique (rotation des alternateurs) puis en énergie électrique. À l'équilibre, la fréquence de rotation des alternateurs est rigoureusement égale à 50 Hz (ou à un multiple de 50 Hz) : c'est la base du fonctionnement du système électrique. On a alors une puissance électrique consommée strictement égale à la puissance mécanique fournie par les groupes de production.

Si un utilisateur demande un peu plus de puissance électrique, l'équilibre entre la puissance électrique et la puissance mécanique est rompu. Les alternateurs doivent fournir plus de puissance électrique et donc requièrent plus de puissance mécanique. Sans modification rapide de la puissance mécanique, la fréquence de rotation des alternateurs va se modifier. Si on laisse l'évolution se faire, les alternateurs vont ralentir, la fréquence du courant alternatif va baisser en dessous de 50 Hz, les équipements des utilisateurs vont dysfonctionner puis les machines atteindre leur point de décrochage et s'arrêter; de proche en proche, c'est un des phénomènes qui peut conduire au black-out !

Inversement, si l'on produit plus que l'on ne consomme, les machines tournantes n'ont pas assez de frein électrique, leur fréquence de rotation se met à augmenter, et leurs sécurités de fonctionnement vont les arrêter avant d'éventuels emballements.

Au sein du système interconnecté européen, l'équilibre offre-demande est perturbé en permanence par différents phénomènes : modification de la consommation, aléa sur une centrale de production, variation du niveau de production des centrales éoliennes ou photovoltaïques... Des systèmes automatiques de régulation permettent de compenser les petits déséquilibres [06].

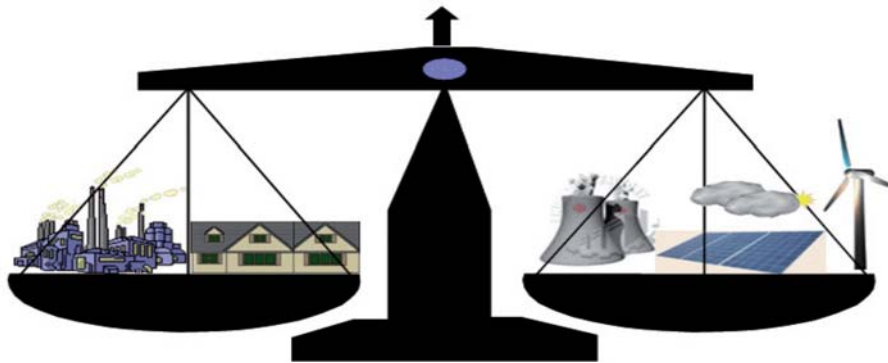


Figure 12 équilibres offre-demande

La Figure 12 représente ces contraintes de façon imagée, illustrant l'impératif absolu d'éviter l'écroulement du système électrique en équilibrant l'offre et la demande par la nécessité de contrôler la fréquence du courant alternatif.

Cet impératif ne sera pas sans conséquence sur la façon de mettre en œuvre une transition énergétique, ainsi qu'il sera expliqué plus loin [06].

II.4 Les moyens de transport l'électricité

Le réseau de transport d'électricité est situé en amont des réseaux de distribution, il se compose de deux sous-ensembles [07].

II.4.1 Le réseau transport et d'interconnexion

Il est destiné à transporter des quantités importantes d'énergie sur de longues distances (vu la dispersion géographique entre les lieux de production et les centres de consommation).

Il constitue l'ossature principale pour l'interconnexion de grandes centrales de production. Ce réseau peut être assimilé au réseau autoroutier. Ses lignes atteignent des milliers de kilomètres [07].

Comme le réseau de transport d'électricité français est interconnecté avec 6 pays : 5 Etats membres (Grande-Bretagne, Belgique, Allemagne, Italie, Espagne) et la Suisse.

L'interconnexion entre réseaux de transport d'électricité européens permet une assistance mutuelle entre pays voisins en cas de défaillance et une complémentarité de la demande et des parcs de production. Ce foisonnement renforce la sécurité d'approvisionnement.

Les interconnexions électriques sont aussi le vecteur de transactions commerciales transfrontalières qui favorisent la concurrence et participent à la création d'un marché intégré de l'électricité en Europe.

Les caractéristiques physiques du réseau limitent les capacités d'échange globales de la France à environ 12000 MW pour l'export et 8000 MW pour l'import. La croissance des échanges transfrontaliers tend à créer des phénomènes de congestion (goulots d'étranglement) conduisant RTE à mettre en place des modalités d'allocation de capacités.

Ces interconnexions sont gérées par RTE. Depuis 2006, d'autres acteurs peuvent également construire et exploiter des interconnexions. Pour cela, ils doivent obtenir une dérogation de certaines parties de la régulation (interconnexions exemptées) [14].

II.4.2 Les réseaux de répartition régionale ou locale

Ils sont destinés à répartir l'énergie en quantité sur des distances plus courtes. Le transport est assuré en très haute tension (225000 volts) et en haute tension (90000 et 63000 volts). Ce type de réseau est l'équivalent des routes nationales dans le réseau routier. La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers les grands centres de consommation. Ces derniers sont : soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution HTA, soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MVA) livrés directement en HT

Fait à base d'une configuration arborescente de même niveau de tension, alors ces lignes sont placées en parallèle servent à transiter la marchandise d'un point A vers le point B. Ces lignes se caractérisent par leurs capacités de transport, fiabilité, aussi leurs coûts.

De plus les puissances transportées sont telles, que l'utilisation d'une tension basse entraînerait des sections de câble tout à fait inadmissibles. L'usage des tensions élevées se trouve donc imposé malgré les contraintes d'isolement qui se traduisent par des coûts de matériel plus importants, La solution la plus facile étant l'utilisation de lignes aériennes.

Dans tous les cas, le choix d'une tension de transport est avant tout un compromis technico-économique, fonction des puissances à transporter et des distances à parcourir.

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Dans ce domaine, les politiques de respect de l'environnement et de protection des sites [07].

II.5 Les lignes à haute tension

La très haute tension (THT) est la dénomination des lignes électriques qui dépassent les 100.000 volts, et qui concerne principalement les tensions utilisées pour le transport de longue distance. Souvent associées à la haute tension (HT), les lignes électriques à très haute tension représentent en France un réseau de lignes à 400.000 volts (pour le transport) et 225.000 volts (pour le réseau de répartition), en Algérie les niveaux de tension au réseau de transport sont 60, 220, et 400 KV [15].

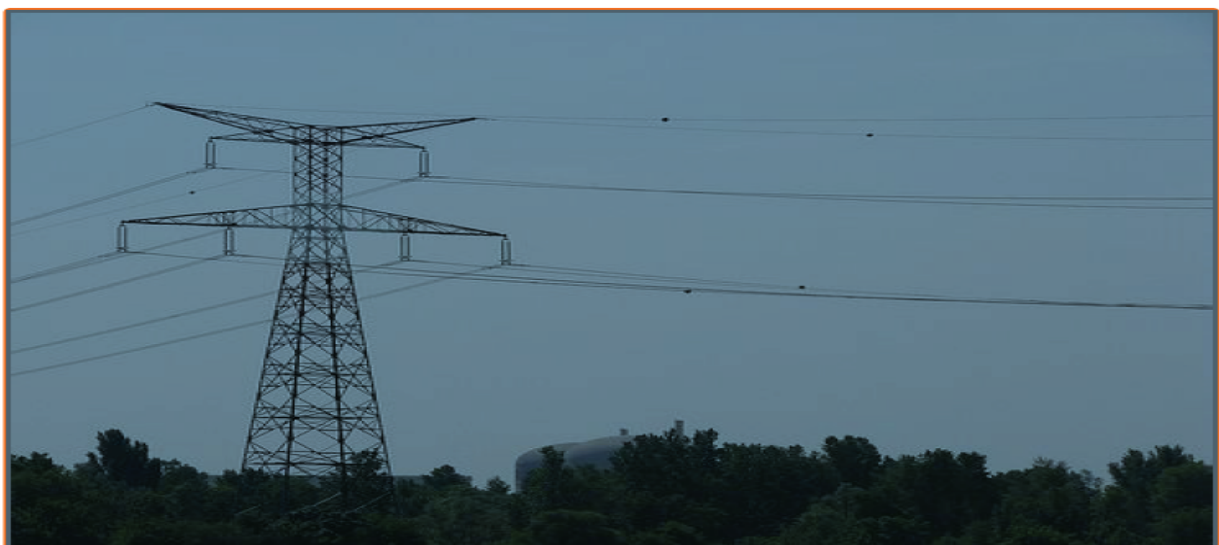


Figure 13Type poteau de très haute tension (THT) concerne les tensions (400 KV à 250KV)



Figure 14 Type poteau de haute tension (HT) concerne les tensions (250 KV à 63KV)

II.5.1 Utilisation de la très haute tension

Les lignes électriques à très haute tension sont notamment utilisées par les centrales nucléaires pour transporter l'électricité produite sur de très longues distances. Outre son aspect peu esthétique dans un paysage, la très haute tension est l'objet depuis plusieurs années de vives critiques sur ses aspects potentiellement nocifs pour la santé humaine et animale. Des études tentent ainsi de mettre en avant des risques de cancer ou d'électro hyper sensibilité liés à la proximité des lignes à très haute tension [15].

II.5.2 Câble électrique à haute tension

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, 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 bonnes propriétés mécaniques et le protège des agressions extérieures[18]

II.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté l'historique et l'évolution du réseau électrique de transport en Amérique et en Europe. Afin de diminuer les pertes par effet de joule, Le niveau de tension exigé est plus de 60 KV, L'acheminement de l'électricité entre les grandes centrales de production et la destination finale transite par des réseaux de transport et d'interconnexion des lignes de (THT 400 – 250 KV) et de (HT 250 – 63 KV), pour vérifier cette acheminement a brièvement il faut les réseaux se soumettent à la règle de l'égalité entre la production et le consommation.

CHAPTER III

Distribution

de l'électricité

III. 1 Introduction

La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de répartition aux points de consommation. Les réseaux de distribution sont destinés à acheminer l'électricité à l'échelle locale, c'est-à-dire directement vers les consommateurs de plus faible puissance.

Les réseaux de distribution ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs. Il existe deux sous niveaux de tension :

- les réseaux moyenne tension (anciennement MT devenu HTA de 3 à 50 kV)
- les réseaux basse tension (anciennement BT devenu HTB de 110 à 600 V), sur lesquels sont raccordés les utilisateurs domestiques [18].

La figure 15 représente en générale le schéma d'un réseau électrique, de la production via le transport en enfin la distribution jusqu'aux consommateurs.

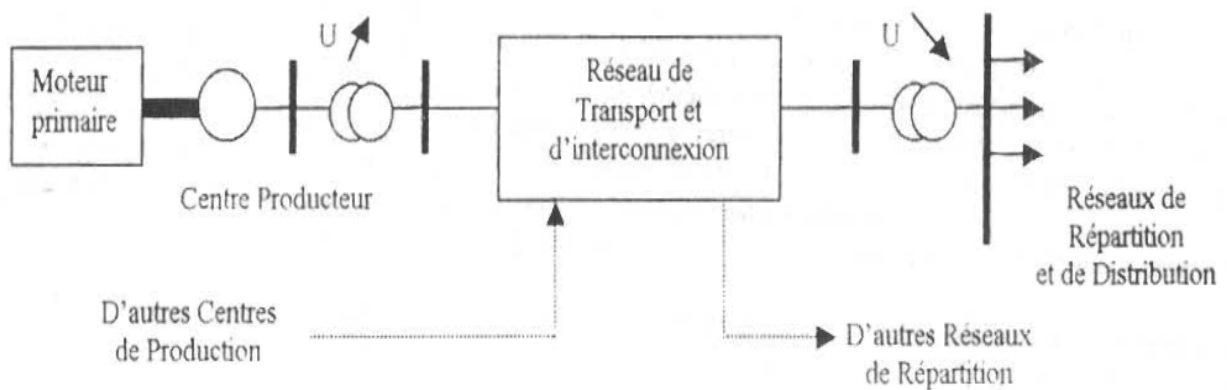


Figure 15 Structure d'un réseau électrique

La figure 16 représente le réseau de distribution.

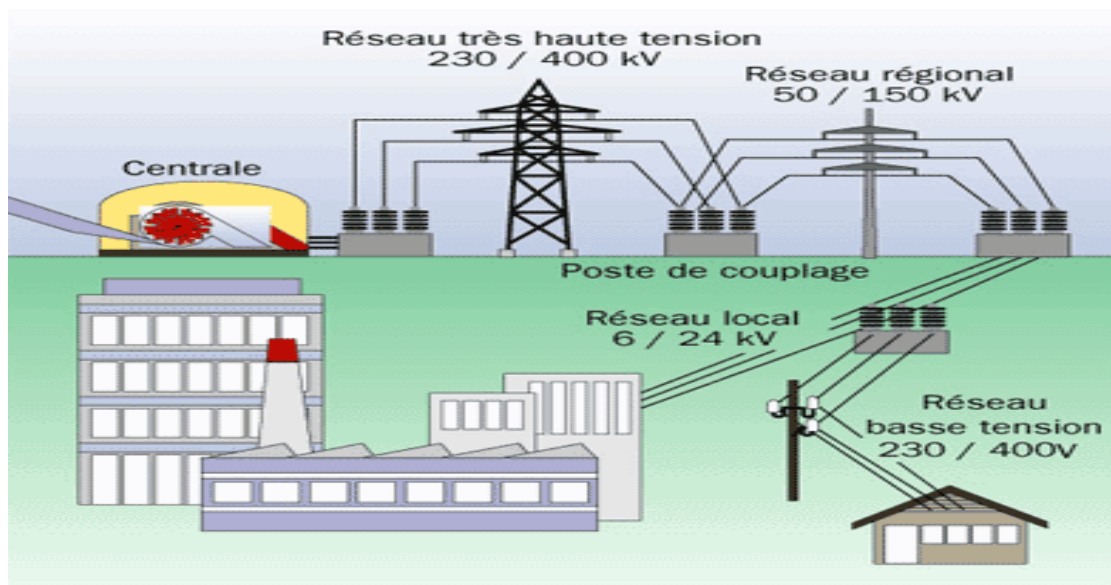


Figure 16 Bronchement de l'électricité à domicile

III. 2Types de distribution

III.2.1 Distribution aérienne

Le réseau de distribution aérien sur poteaux de bois constitue le réseau de base dans la plupart des régions desservies. Il s'étend sur plus de 97 000 km et 99 % des 2 500 000 poteaux du réseau de distribution sont en bois. En Algérie la majorité des poteaux sont en béton ou acier (métallique)[16].

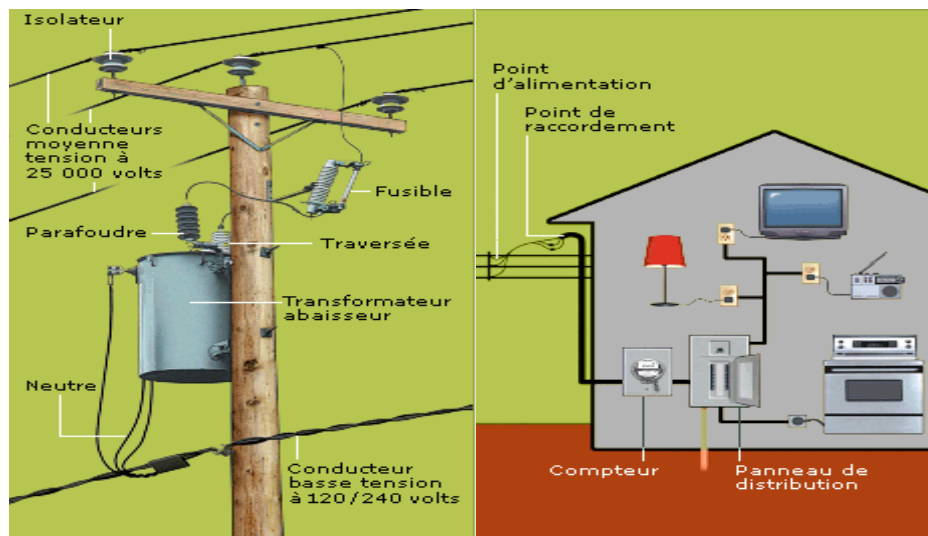


Figure17 schéma qui représenter la distribution sur l'air

III.2.2 Distribution souterraine

Il n'y a pas que les lignes aériennes qui nous permettent d'amener l'électricité aux maisons. Quand on ne voit pas de poteaux près des maisons, c'est que les lignes sont enfouies.

Si seules les lignes à basse tension sont enfouies et que les transformateurs et les lignes à moyenne tension demeurent en aérien, on parle d'un réseau aéro souterrain. Lorsque le réseau est entièrement souterrain, les lignes à moyenne tension sont également enfouies, et les transformateurs sont installés sur socle (hors terre) ou dans des chambres souterraines. Ce dernier type de réseau se trouve en milieu très urbanisé ou dans certains ensembles résidentiels.

L'enfouissement des lignes électriques de distribution gagne en popularité. Aux États-Unis, la plupart des nouveaux ensembles résidentiels profitent d'un réseau de distribution souterrain. Au Québec, l'environnement sans fil commence à faire partie des pratiques d'urbanisme. De plus en plus de villes choisissent d'enfouir les lignes de distribution lorsqu'elles aménagent de nouveaux quartiers résidentiels [16].



Figure 18souterraine - conduite de refoulement

En plus d'améliorer l'environnement visuel, l'enfouissement du réseau protège les installations électriques des intempéries et de la végétation, sans oublier qu'on gagne de l'espace. Au Québec, environ 11 % des lignes de distribution sont souterraines ; ces données sont comparables aux taux d'enfouissement ailleurs au Canada. Plus de la moitié du réseau montréalais est souterrain, soit plus de 4 106 kilomètres de lignes de distribution.

Plus coûteux qu'un réseau aérien, l'enfouissement est une décision qui appartient aux autorités municipales ou gouvernementales, et non pas au fournisseur d'électricité [16].

III.3 Les poste MT/BT

Dès que la puissance demandée atteint 50 kVA, les entreprises industrielles ou tertiaires sont alimentées en haute tension 20 kV (MT). L'étendue de leur site fait qu'elles sont généralement amenées à réaliser un réseau interne MT. L'alimentation d'une installation électrique est effectuée avec un poste de transformation MT/BT qui est disposé au plus près des éléments consommateurs d'énergie. L'abonné livré en énergie électrique MT (de 5 à 30 kV) peut choisir son schéma de liaison du neutre. Il n'est pas limité en puissance et il bénéficie d'une tarification plus économique.

Le poste de transformation MT/BT s'appelle aussi poste de livraison [09].

III.3.1 Les différents types de poste de livraison

On peut classer les postes MT/BT en deux catégories.

III.3.1.1 Les postes d'extérieur

a) Postes MT/BT en haut de poteau

Le transformateur et l'appareillage sont fixés sur le poteau (fig.19)[09].

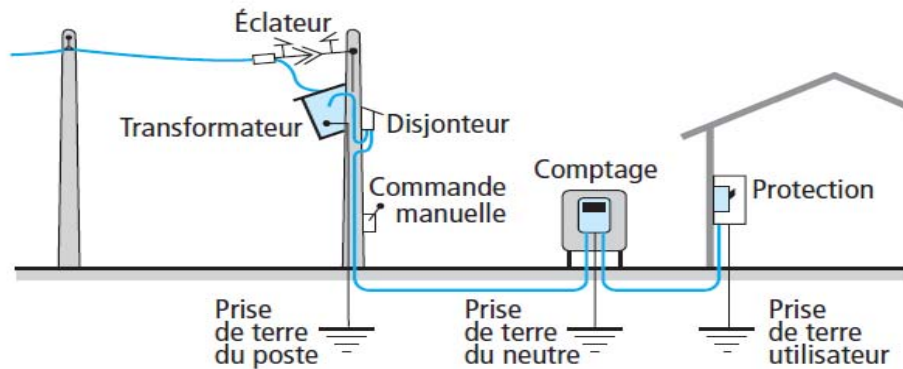


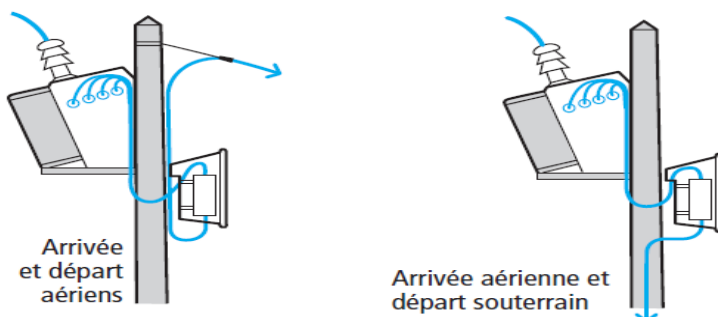
Figure 19 Structure d'installation d'un poste sur poteau

- Protection

- **Côté moyenne tension** : protection contre la foudre par éclateur.
- **Côté basse tension** : un disjoncteur protège le transformateur contre les surintensités.

- Raccordement

Le transformateur est alimenté en aérien, le départ BT s'effectue soit en aérien, soit en souterrain (fig.20).



Transformateur aérien (Schneider Electric).

Figure 20 Exemples de raccordement d'un poste sur poteau.

b) Postes préfabriqués monobloc

Les postes préfabriqués monobloc peuvent être soit en bas de poteau, soit sur une Plate-forme extérieure.

- Constitution

Le tableau BT comporte un interrupteur avec fusibles ou un disjoncteur avec coupure visible.

La puissance du transformateur est comprise entre 100 k VA et 1 000 KVA (fig.21).

Ce type de poste est transporté par camion. Il est déposé sur une dalle en ciment. Le montage consiste à raccorder les câbles d'arrivée et de départ. Arrivée aérienne et départ souterrain arrivée et départ aériens [09].

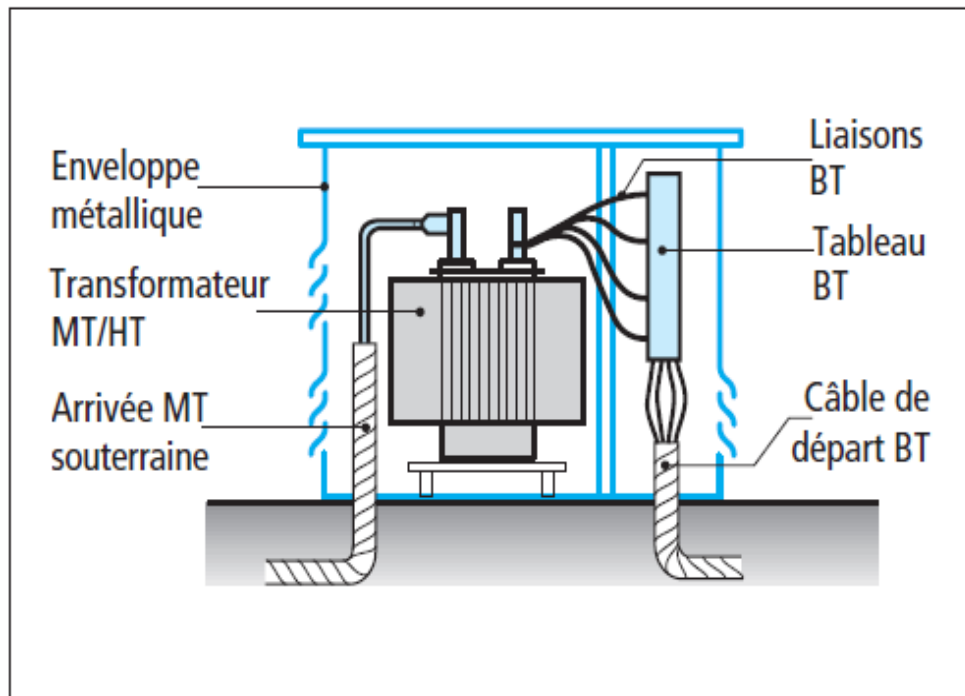


Figure 21 Structure d'un poste préfabriqué compact

- Schéma interne

Ces postes sont très compacts et leur mise en place est très rapide. Il en existe une grande variété selon le milieu (urbain ou rural), selon les puissances installées et le type d'alimentation (en aérien ou en souterrain) (fig. 22)

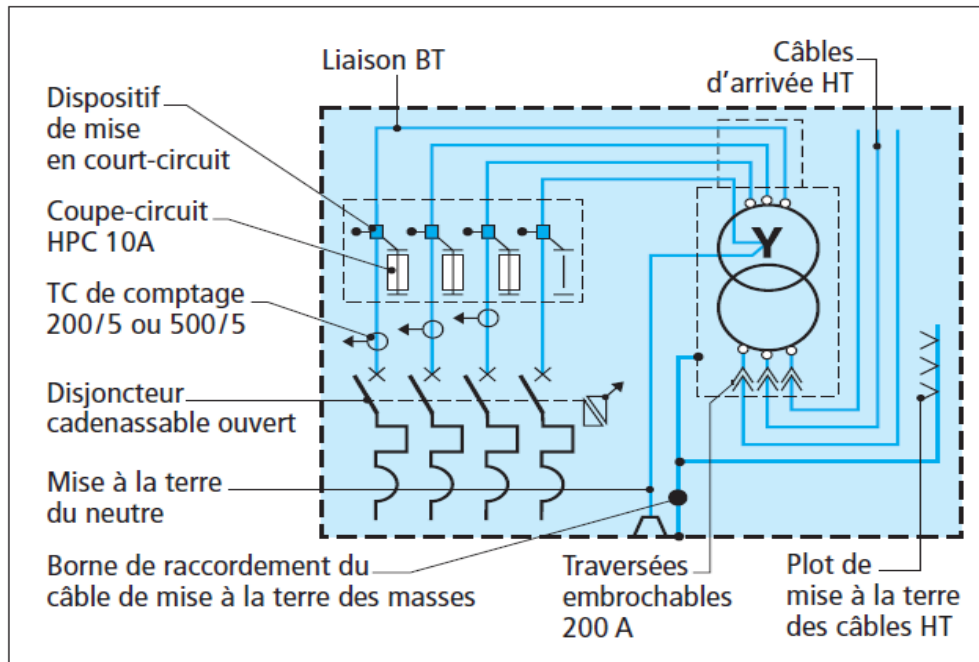


Figure 22 Schéma interne d'un poste préfabriqué compact.

III.3.1.2 Postes d'intérieur

L'installation d'un poste de livraison en intérieur se justifie lorsqu'on doit protéger l'appareillage MT et BT du poste contre les fortes variations de température, ou dans le cas de puissances importantes (fig.23).

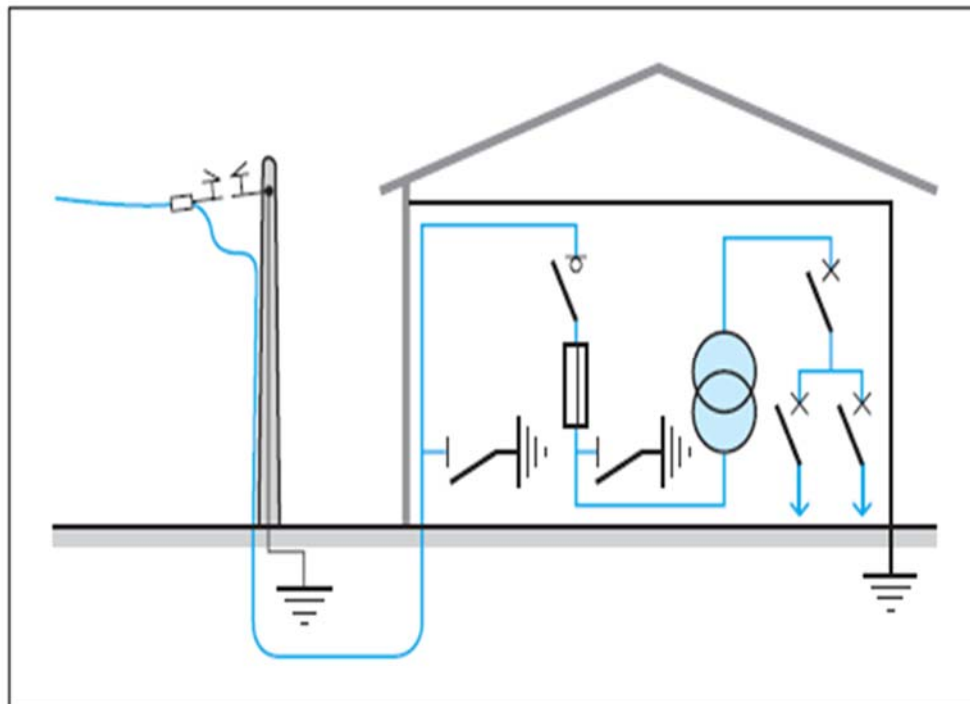


Figure 23 Schéma général d'un poste ouvert.

On distingue les postes dont l'appareillage MT est sous enveloppe métallique et les postes équipés d'appareillage MT sans enveloppe. Le matériel, dans ce dernier cas, est dit « ouvert ».

Ces postes maçonnés sont de plus en plus remplacés par des cellules préfabriquées.

Les postes avec cellules préfabriquées métalliques ont pratiquement remplacé tous les postes maçonnés avec appareillage ouvert. Ils présentent l'avantage d'offrir une meilleure sécurité et une mise en place plus rapide [09].

III.3.2 Structure d'un poste MT/BT

Le poste de livraison comporte essentiellement de l'appareillage et un ou plusieurs transformateurs afin d'assurer les fonctions suivantes (fig.24)

Dérivation du courant sur le réseau

- protection du transformateur côté MT
- transformation MT/BT
- protection du transformateur côté BT
- comptage d'énergie.

Toutes les masses métalliques du poste sont reliées à la terre. Pour l'intervention dans le poste, les arrivées doivent être sectionnées et les câbles reliés entre eux mis à la terre [09].

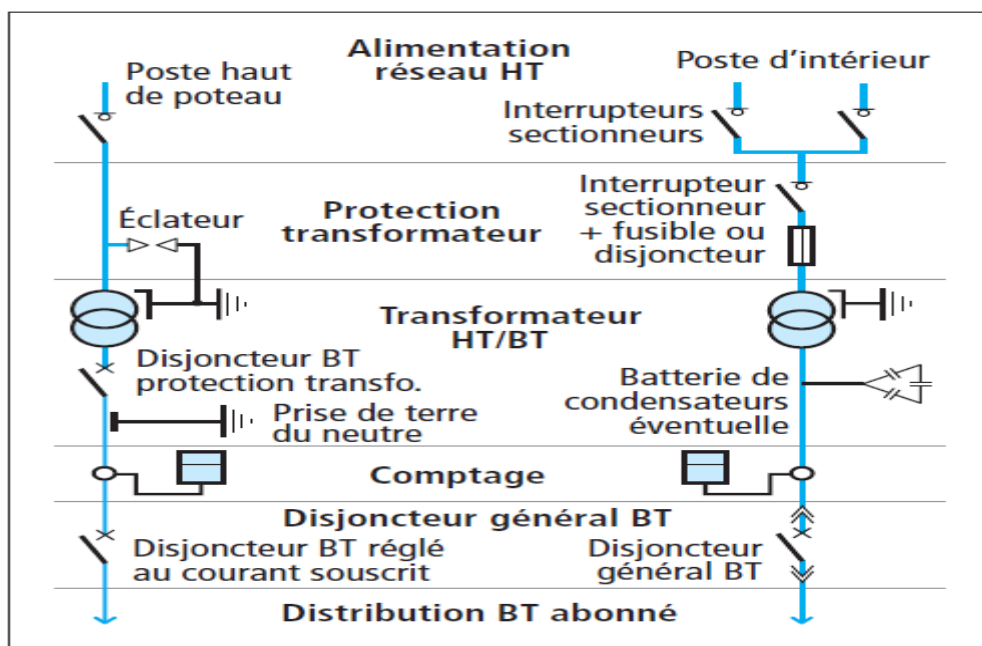


Figure24 Structure générale d'un poste MT/BT

III.4 Architectures générales des réseaux MT

III.4.1 Simple antenne :

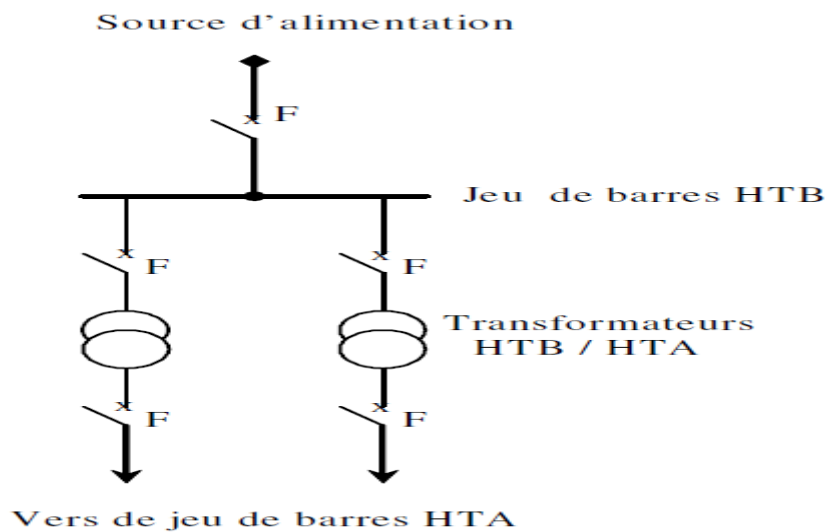


Figure 25 Architecture simple antenne.

- Fonctionnement

Normal : Les transformateurs MT/MT sont alimentés par un seul jeu de barre MT.

Perturbé : En cas de perte d'une source d'alimentation, les transformateurs MT/MT sont mis hors service.

- Avantages et Inconvénient :

Avantage : Coût minimal.

Inconvénient: Disponibilité faible [08].

III.4.2 Double antenne

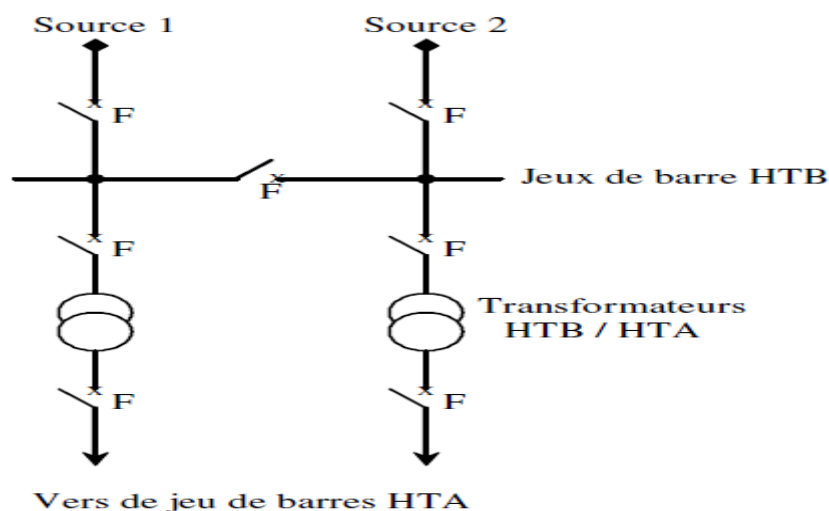


Figure 26 Architecture double antenne.

- Fonctionnement

Normal :

- Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage.
- Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément.

Perturbé : En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

- **Avantages et Inconvénient**

Avantage :

- Bonne disponibilité, dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau
- Maintenance possible du jeu de barres, avec un fonctionnement partiel de celui-ci

Inconvénients :

- Solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne
- Ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance de celui-ci [08].

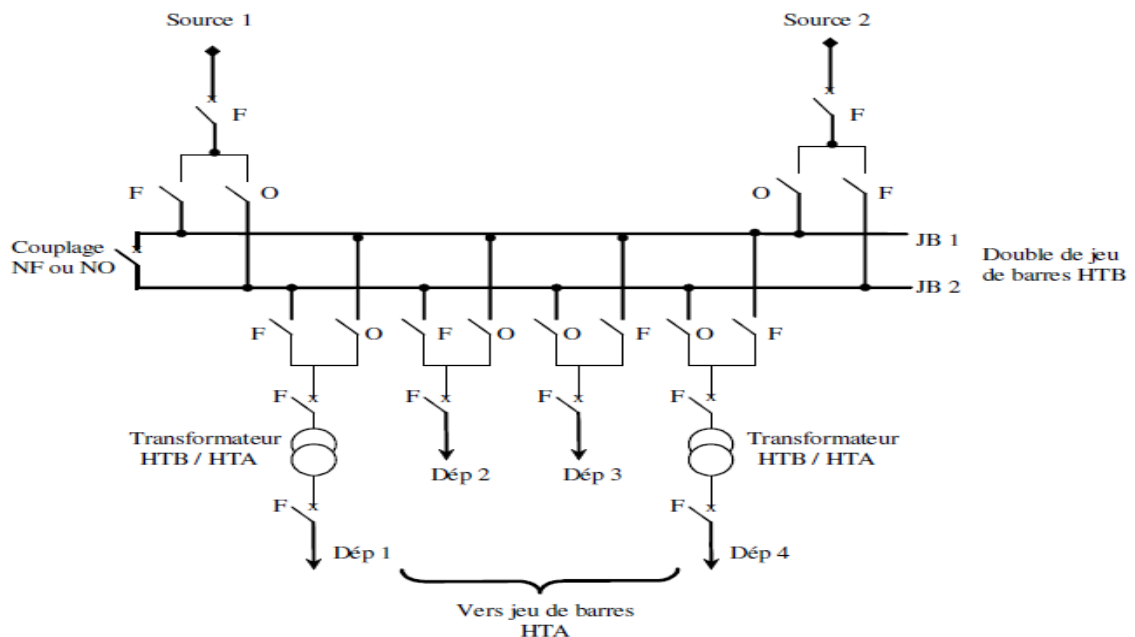
III.4.3 Double antenne avec double jeu de barres

Figure 27 Architecture double antenne avec double jeu de barres.

- **Fonctionnement**

Normal :

- La source 1 alimente, par exemple, le jeu de barres JB1 et les départs Dép 1 et Dép 2.
- La source 2 alimente, par exemple, le jeu de barres JB2 et les départs Dép 3 et Dép 4.
- Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.

Perturbé :

- En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.
- En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et l'autre jeu de barres alimente la totalité des départs.

- **Avantages et Inconvénient**

Avantage :

- Bonne disponibilité d'alimentation,
- Très grande souplesse d'utilisation pour l'affectation des sources et des charges, et pour la maintenance des jeux de barres,
- Possibilité de transfert de jeu de barres sans coupure (lorsque les jeux de barres sont couplés, il est possible de manœuvrer un sectionneur si son sectionneur adjacent est fermé).

Inconvénient :

- Surcoût important par rapport à la solution simple jeu de barres [08].

III.5 L'installation

RTE pratique plusieurs modes de pose en fonction de la nature du câble utilisé, du milieu traversé et des obstacles rencontrés. Les plus couramment utilisés sont :

III.5.1 La pose en caniveau, qui consiste à mettre les câbles dans des caniveaux en béton armé remplis de sable et munis d'un couvercle. Cette pose est utilisée là où la durée d'ouverture de la tranchée n'est pas contraignante

III.5.2 La pose en fourreau, qui consiste à mettre les câbles dans des fourreaux pré-intégrés dans des blocs de béton. Cette pose est utilisée pour les passages sous chaussée ou les zones à fort encombrement du sous-sol

III.5.3 La pose en mortier maigre, qui consiste à installer les câbles directement dans un mortier maigre (uniquement pour les 63 000 et 90 000 volts). Cette technique se prête bien à la pose "mécanisée" qui est possible lorsque le sous-sol n'est pas encombré, c'est-à-dire dans les zones rurales

III.5.4 La pose en galerie, qui consiste à regrouper les câbles dans des galeries souterraines. Ce procédé est utilisé à la sortie des postes de transformation urbains [18].

III.6 Tension de service, critères de choix

III.6.1 Pertes et chutes de tension

Les pertes pour un réseau de distribution MT correspondent essentiellement à la dissipation thermique par effet Joule dans les conducteurs. Il s'agit d'un critère économique du fait qu'elles dégradent le coefficient d'efficacité globale du réseau.

Elles sont proportionnelles au carré du courant et à puissance distribuée donnée, inversement proportionnelles au carré de la tension de service. À ce titre, il est intéressant d'utiliser une tension de service élevée afin de les minimiser, mais d'autres facteurs, notamment économiques, peuvent réduire cet intérêt. Les chutes de tension au niveau des bornes de livraison des clients correspondent à la différence (ΔU) entre les tensions à vide (e) et en charge du réseau (U_{Charge}). L'amplitude et la phase (ϕ) du courant sont déterminées par la puissance et la nature de la charge. Le réseau ayant un comportement essentiellement inductif, la chute de tension en ligne (U_{Ligne}) est presque en quadrature avec le courant.

Différentes réglementations définissent des limites de valeur de tension que les distributeurs doivent respecter aux points de livraison. Par exemple, il peut être imposé simultanément une tolérance de 10 % sur le réseau basse tension et une tolérance de 7,5 % sur le réseau moyenne tension. Le respect de telles tolérances devient plus difficile quand la puissance distribuée augmente. Pour des longueurs et sections de conducteurs données, une tension d'alimentation plus élevée autorise une puissance délivrée plus importante avec les mêmes tolérances. Pour une chute de tension maximale imposée, la figure (28) et tableau (2), illustre la capacité de transport d'une ligne en fonction de sa section et de sa tension de service.

L'appréciation de la capacité d'un réseau est un outil de planification : elle permet de déclencher des opérations de renforcement de lignes ou de création de nouvelles lignes quand les perspectives de croissance de la puissance appelée approchent des limites admissibles. L'hypothèse du changement de tension de service est rarement évoquée dans ce cas, car une telle opération présente de nombreuses difficultés :

Remplacement de tous les transformateurs, d'une grande partie des conducteurs, des appareillages et des isolateurs... Il est donc très important que cette tension soit bien choisie dès la création du réseau, à un niveau adapté avec la prise en compte de l'évolution prévisible des charges sur plusieurs dizaines d'années [10].

Les disjoncteurs sont des interrupteurs qui coupent automatiquement le courant lors d'une surcharge ou d'une anomalie quelconque. Ils empêchent les circuits de surchauffer, par exemple à cause d'un problème de câblage ou d'un appareil électrique défectueux. Pour former un circuit, chaque disjoncteur est relié par trois fils à une série de prises de courant ou de boîtiers de raccordement.

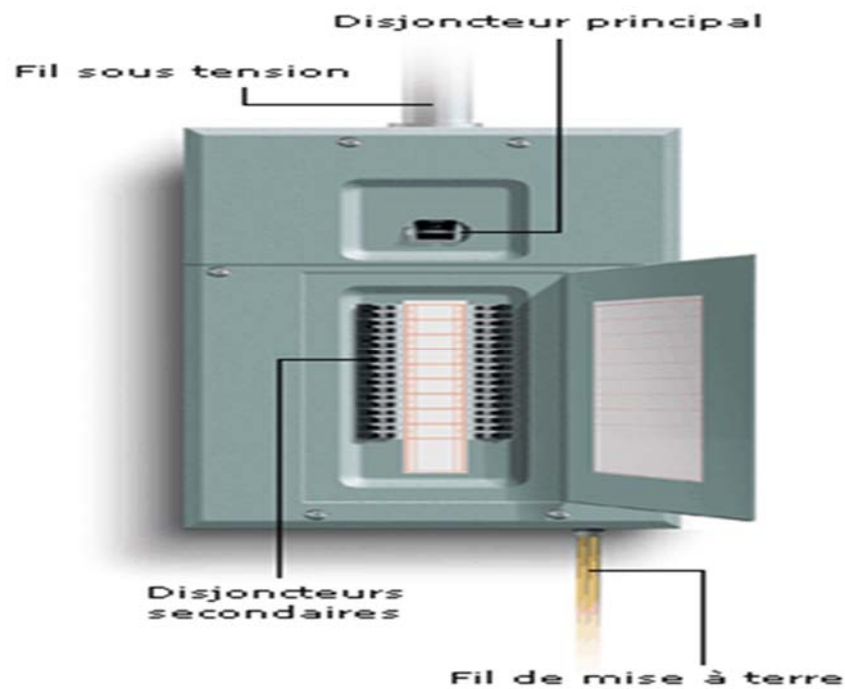


Figure 29 Panneau de distribution avec sec composant

Le fil sous tension achemine le courant. Le fil neutre, aussi appelé « retour », et le fil de terre jouent un rôle de protection. Les fils neutres et de terre aboutissent à la même borne du disjoncteur, laquelle est raccordée au câble de mise à la terre du panneau de distribution.

Certains circuits spécialisés ne comportent qu'une seule prise ou un seul boîtier, par exemple le réfrigérateur ou le chauffe-eau. D'autres circuits sont associés à des prises à disjoncteur différentiel pour assurer une protection additionnelle à l'utilisateur, la prise de la salle de bains par exemple [17].

III.8 Conclusion

Pour amener l'électricité aux consommateurs à partir de la production et du transport il faut utiliser nécessairement les postes de transformation et livraison après transport d'électricité. La majeure partie des consommateurs d'énergie électrique sont alimentés par le réseau basse tension (230 et 400 volts) : pavillons, immeubles d'habitation, écoles, artisans, commerçants, professions libérales, exploitations agricoles... D'autres sont alimentés en moyenne tension : grands hôtels, hôpitaux et cliniques, petites et moyennes entreprises... De gros industriels sont alimentés directement par le réseau de transport, avec un niveau de tension adapté à la puissance électrique dont ils ont besoin.

2. Conclusion générale

L'électricité peut être produite de différentes façons, mais presque toujours selon le même principe. Grâce à un alternateur, la transformation d'un mouvement tournant en énergie électrique. Une fois l'électricité produite, elle emprunte un réseau de lignes aériennes et souterraines que l'on peut comparer au réseau routier, avec ses autoroutes et ses voies nationales (lignes à très haute et haute tension du réseau de transport), ses voies secondaires (lignes moyenne et basse tension des réseaux de distribution) et ses échangeurs (postes électriques).

Le courant produit est porté à une tension de (THT, 400 000 volts), qui permet de transporter des grandes quantités d'énergie sur de longues distances avec le minimum de pertes d'électricité, ou transport à l'échelle régionale ou locale est assuré en niveaux de haute tension : 225 000, 90 000 et 63 000 volts.

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 (15 000 ou 20 000 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.

Les références bibliographiques

- [01] Valentin crastan, "centrales électriques et production alternative d'électrique" Hermès-Lavoisier, partie II, 2009
- [02] Rapport du conseil générale des landes, " l'énergie solaire thermique", 2008
- [03] J.L. LILIEN, " Transport et Distribution de l'Energie Electrique", cours de l'Institut d'Electricité Montefiore, Université de Liège, 2006
- [04] Ministère de l'Energie et des Mines, " Consommation Energétique Finale de l'Algérie" Chiffres clés Année 2005, 2007
- [05] Ismail Noureddine, " Union Nationale des Investisseurs", Archive Presse, 2014
- [06] Sébastien Henry, " Réseaux de transport d'électricité et transition énergétique "
- [07] Sihem Bouri, " Optimisation de la production et de la structure d'énergie électrique par les colonies de fourmis", Thèse de Doctorat, Université Djilali Liabès, 2007
- [08] Mr. Zellaghi Mohamed, " étude des protections des réseaux électriques MT (30 à 10 KV)"mémoire de Magister, université mentouri Constantine, 2010
- [09] Rapport sur distribution de l'énergie, " les postes MT/BT "
- [10] Didier Fulchiron, " Choix de base des réseaux MT de distribution publique" Collection Technique, Cahier technique n° 203
- [11] [www.actu-environnement.com/.../centrale hydroélectrique](http://www.actu-environnement.com/.../centrale-hydroelectrique), Dernière mise à jour : 16/02/2012
- [12] ([http:// www. repower. fr/ index. =228](http://www.repower.fr/index.=228))
- [13] www.sonelgaz.dz/page=article=19
- [14] www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics

La référence bibliographique

- [15] <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dico/d/maison-tht-10938>
- [16] www.hydroquebec.com/comprendre/distribution/voie-aerienne.html
14/05/14
- [17] www.hydroquebec.com/comprendre/consommation/disjoncteur.html
- [18] Source internet, Wikipédia

Les références bibliographiques