

CHAPITRE N° 0

TITRE: PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE.

FONCTION : Produire et livrer l'énergie (1.)

COMPETENCES VISEES:

- Faire prendre conscience des énergies et des puissances mise en jeu par la production électrique, au niveau national.
- appréhender les différents paramètres qui interviennent, les dimensions des machines et les types d'appareillages utilisés.
- Recherche et définir les fonctions de la gestion d'énergie
- connaître la tarification E.D.F
- etc...

1 - Introduction.

Il existe 3 types d'énergie pour réaliser de l'énergie électrique.

- Les énergies diffuses sont générées par :

- ◇ Le soleil: Panneau solaire formé de cellules photopiles.
- ◇ Le vent: Energie provenant d'une éolienne.
- ◇ Les marrés: Usine marémotrice (La rance).

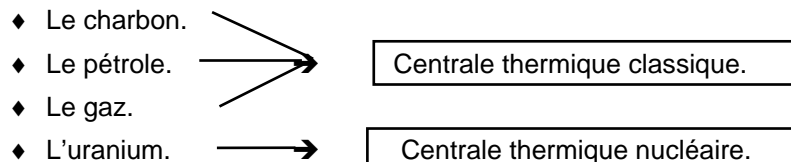
Energies renouvelables en cours d'étude et de développement pour remplacer le nucléaire

- Les énergies intermédiaires sont générés par l'eau:

il existe trois sortes de barrage hydraulique. L'eau qui alimente les sites hydroélectrique circule constamment sous l'effet du rayonnement solaire.

- Evaporation de l'eau.
- Condensation sous forme de nuage, brume...
- Retombé sur le sol à l'état liquide, pluie, neige, grêle.

- Les énergies denses sont réalisées à partir d'énergies non renouvelables tel que :



Remarque: il faut savoir que la densité énergétique du métal est très grande, environ des milliers de fois plus que les énergies fossiles. Par exemple, une pastille d'uranium de 10 g, plus petite qu'un dé à coudre, peu produire dans une centrale nucléaire classique à elle seule, autant d'énergie que 100 kg de pétrole.

2 - Généralités

En France l'électricité est produite industriellement dans des centrales thermiques à flamme et thermiques nucléaires, et dans des centrales hydrauliques. La consommation de l'énergie électrique est sans cesse en augmentation (plus de 300 milliard de kWh consommés en France en une année E.D.F. produit environ 90% de l'énergie électrique, le restant provenant des autres frontières (35 millions de kWh échangés avec d'autre pays).

2-1) Centrales hydrauliques . Elles sont situés surtout en montagne. L'énergie motrice est la puissance d'une masse d'eau en mouvement, celle-ci fait tournée une turbine qui entraîne un alternateur.

2-2) Les centrales thermiques à flamme(classique). Elles sont de moins en moins utilisées. L'énergie motrice est la vapeur, elle est produite à pression et à température élevée et sa détente fait tourner les turbines entraînant des alternateurs.

CHAPITRE 0 : Production et distribution de l'énergie électrique

2-3) Les centrales thermiques nucléaires. Dernier mode de production de l'énergie, l'énergie motrice est identique à celle d'une centrale thermique à flamme sauf que le mode de production de la vapeur change: au lieu d'être obtenu à partir de la chaleur dégagé par les combustibles (charbon, pétrole, gaz naturel) la vapeur est obtenu par la fission de l'uranium qui s'opère dans le réacteur.

2-4) Les caractéristiques de l'énergie électrique.

- Impossibilité de la stoker, d'où nécessité de la produire au fur et à mesure.
- Pour une même quantité d'énergie produite, le combustible nucléaire coûte 0,15 €uros, quand le charbon coûte 0,4 €uros et le fuel 1 €uro.
- Facilité de transporter l'énergie électrique.
- Facilité de modifier ses caractéristiques c'est-à-dire on peut la transformer à l'aide d'un transformateur
- Convertisseur alternatif/continu et continu/alternatif.

Les consommations d'énergies primaires.

	en 1973	en 1986	en 1990	en 2000
Nucléaire.	8%	63 %	73 %	83%
Hydraulique.	56%	20 %	14 %	13%
Combustible.	33%	16 %	13 %	4%
Energie naturelle.	3%	1 %	0 %	0%

3 - Production de l'énergie électrique

3-1) Production hydraulique.

les turbines hydrauliques transforment la puissance de l'eau (énergie potentiel) en une puissance mécanique. Elles entraînent un alternateur qui va produire une puissance électrique. Il est possible de les classer en trois groupes.

Types	hauteur	W potentiel	Turbines	nbres de tr/mn
Les hautes chutes	H > 200m	P=H x Q	Pelton	600 à 3000
les moyennes chutes	30m <H< 200m	P=H x Q	Francis	100 à 600
les basses chutes	H < 30m	P=H x Q	Kaplan	75 à 120

Il existe 2 autres types de centrale hydraulique moins courante:

☞ Les usines marémotrices (La Rance):

Le mouvement des marées est transformé en énergie mécanique qui grâce aux alternateurs devient de l'énergie électrique. Elles utilisent des turbines de type Kaplan.

☞ Les usines de pompages(Revin):

Elles permettent l'échange de l'eau d'un bassin supérieur vers un bassin inférieur pendant les heures pleines, et inversement pendant les heures creuses. L'eau circule dans les mêmes conduits un coup dans un sens, un coup dans l'autre. Elle traverse les mêmes machines qui tournant dans un sens travaillent en turbine classique et produisent de l'énergie électrique, et entraînées dans l'autre sens par l'alternateur utilisé en moteur, va entraîner les turbines. Ainsi pour 10 kWh consommés en pompage, l'eau lors de sa descente restitue une énergie de 7 kWh. Par ce procédé, il est possible de stocker de l'énergie électrique.

a) Les centrales de hautes chutes (Mont Cenis).

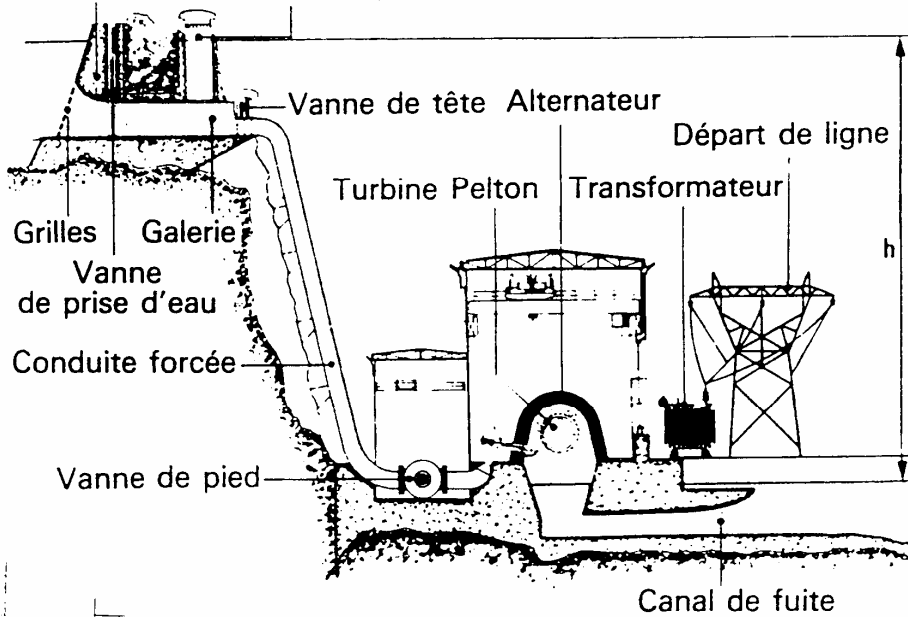
Vitesse de la turbine importante. Elles regroupent les éléments suivants:

- Un barrage de retenu constituant un réservoir (270 millions de m³ d'eau) situé en altitude. une galerie d'amenée et conduite forcé (de 5 m de diamètre) et de forte pente, hauteur de la chute 882 m de façon à amener le débit d'eau sous forte pression (50 m³/s).
- Une usine électrique comprenant des turbines de type Pelton a axe vertical alimenté par six injecteurs répartis autour de la roue, son équipement de production comprend deux groupes d'alternateurs + turbines pour fournir 195 000 kVA.

Un poste extérieur équipé de deux transformateurs triphasés qui permettent une transformation de tension de 15,5 kV à 400 kV. L'usine de Villarodin est conçu pour fournir une puissance de pointe et participé à la régulation du réseaux.

Remarque: L' alternateur (génératrice synchrone). C'est une machine tournante électrique qui permet d'obtenir des tensions alternatives. Sa vitesse de rotation nominale est en fonction du nombre de paires de pôles (P) composant l'alternateur et f est la fréquence du réseau (50 Hz).
 Formule : $n = f / P$ (n : nbres de tr/sec) avec $n_{maxi} = 3000$ tr/mn.

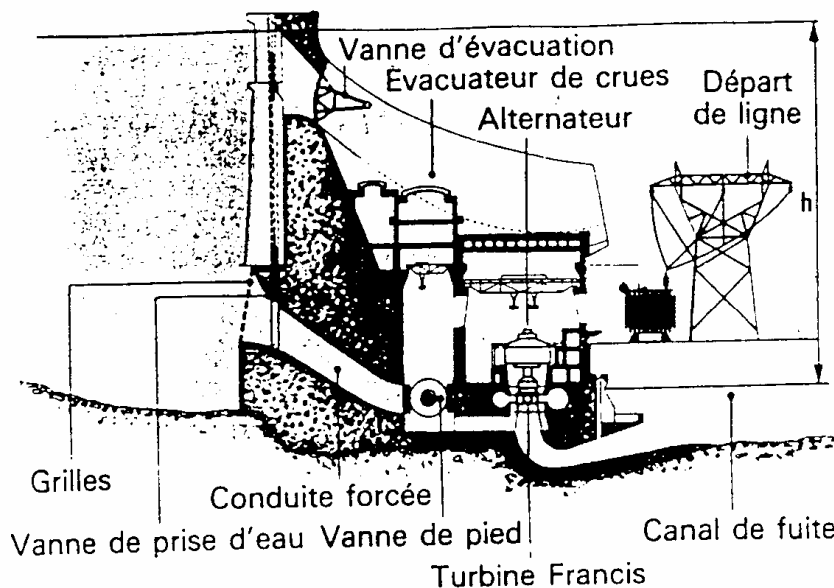
Retenue Cheminée d'équilibre



b) Les centrales de moyennes chutes.(Serre Ponçon).

Vitesse de la turbine moyenne $n = 214$ tr/min. Elle est formée:

- D'un réservoir de grande capacité grâce à l'édification d'un barrage en terre de hauteur 790 m, largeur de base max. 650 m. Sa réalisation est faite dans un goulet relativement étroit (capacité du réservoir 1 270 000 000 de m^3 d'eau).
- De galeries de vidange qui dirigent l'eau recueillie et accumulée dans la partie inférieure. Ces galeries ont un diamètre de 9,3 m pour une hauteur de chute de 70m et avec un débit d'eau de 1 200 m^3 /sec. Donc $P = 84\ 000$ Watts/sec. Puis quatre conduites forcées prennent naissance dans les deux galeries de vidange.
- D'une usine électrique composée de turbines de type Francis à axe vertical. L'équipement de production se compose de quatre groupes alternateurs + turbines de 90 000 kVA chacun.
- D'un poste équipé de 4 transformateurs réalisant la conversion de la tension de 10,3 kV en 225 kV.

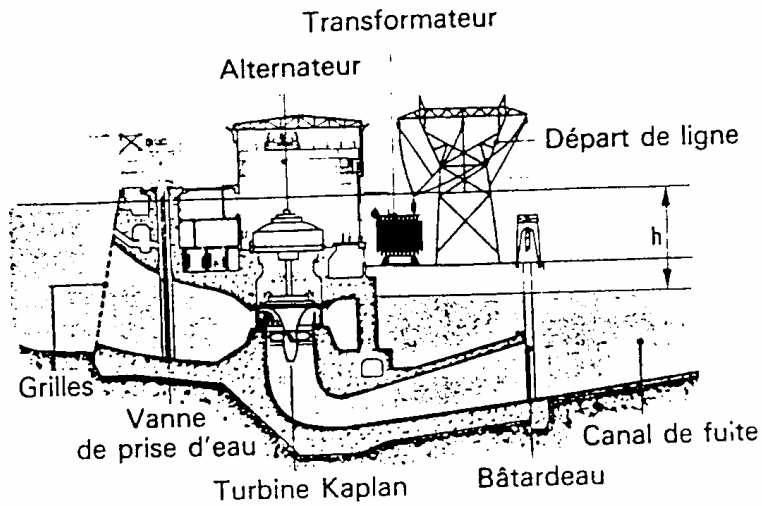


CHAPITRE 0 : Production et distribution de l'énergie électrique

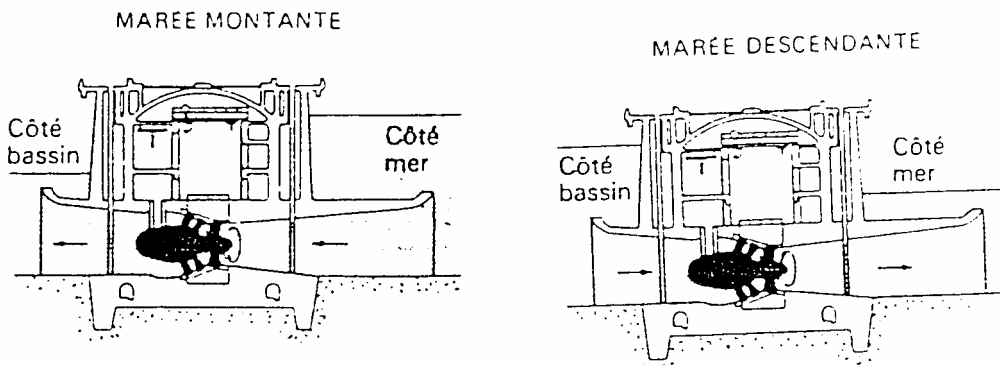
c) Les centrales de basses chutes (Rhinau).

Vitesse de la turbine $n = 75 \text{ tr/min}$. (40 paires de pôles). Son aménagement comprend:

- un barrage réalisé à sec sur la rive gauche du Rhin et lors de sa réalisation l'eau passait par un canal de dérivation où l'on a installé par la suite des écluses. L'ouvrage mobile comporte sept passes de 20 m de largeur, obstruées par des vannes ($5\,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ par vanne). L'usine de longueur 170 m, de largeur 70 m de hauteur 50m. Turbine de type Kaplan. Il comporte quatre groupes de 42000 kVA chacun.
- Le poste de transformation extérieur qui va utiliser des transformateurs élévateurs de tension 10,3 kV en 225 kV.

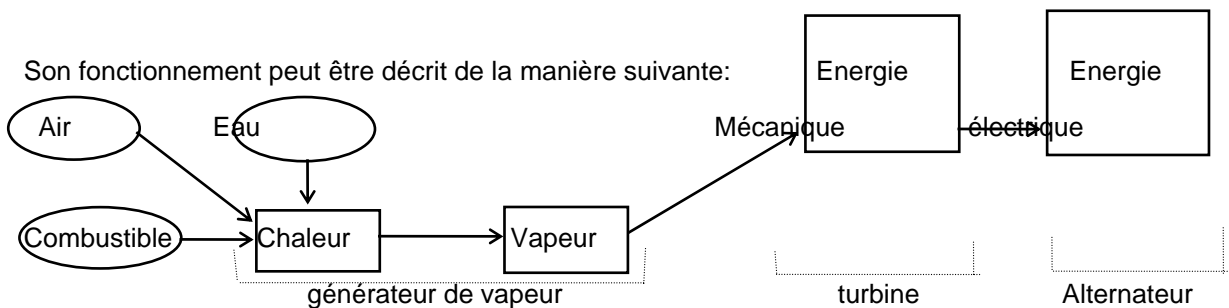


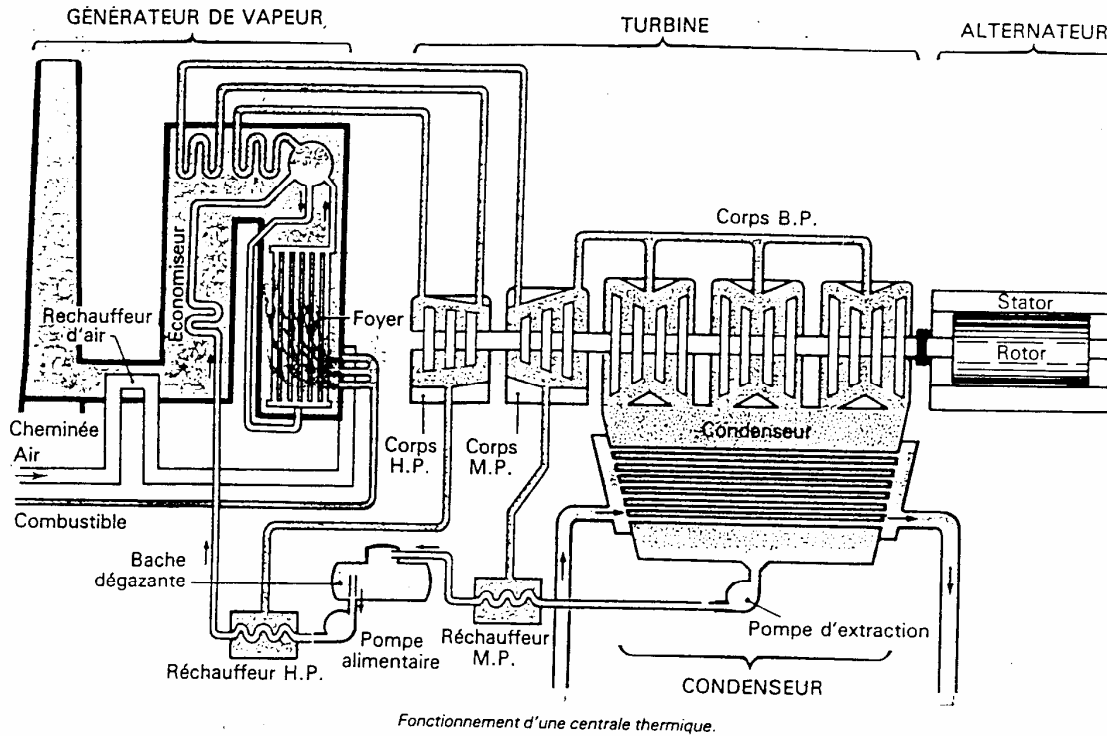
d) Les usines marémotrices.



3-2) Les centrales thermiques classiques (à flamme).

La centrale thermique classique produit de l'énergie calorifique obtenu en brûlant un combustible.





Fonctionnement d'une centrale thermique.

a) Le générateur de vapeur:

L'eau qui circule dans les tubes tapissant les parois de la chambre de combustion et se transformant en vapeur sous l'action de la chaleur dégagée par le combustible. Cette chaleur dégagée par l'évacuation des gaz de combustion est utilisée pour:

- Surchauffer la vapeur à la sortie du générateur de vapeur.
- Resurchauffer la vapeur ayant subi un certain travail dans la turbine.
- Réchauffer l'eau revenant du condenseur pour le générateur de vapeur.
- Réchauffer l'air extérieur pour aider la combustion.

Ainsi un maximum de calories est recyclé et ceci permet d'améliorer le rendement de la centrale. L'eau chimiquement pure circule sous forte pression dans les tubes du générateur de vapeur (163 bars) et se transforme en vapeur de 565°C.

b) Les turbines. Cette vapeur surchauffée et à haute pression, se détend dans la turbine haute pression (H-P). Puis elle retourne dans un réchauffeur pour aller ensuite dans les corps moyenne et basse pression (respectivement M-P et B-P).

En se condensant, la pression descend à un vide relatif, l'eau est ainsi récupérée dans le condenseur, réchauffée par des soutirages de vapeur des corps de turbine et par la chaleur des gaz de combustion avant d'être injecté dans le ballon du générateur de vapeur ainsi le cycle recommence toujours avec la même eau à peu de pertes près. (voir schéma de fonctionnement d'une centrale thermique) . L'énergie mécanique engendrée par la vapeur de la turbine se transforme dans l'alternateur en énergie électrique, puis un transformateur élève la tension à celle du réseau du transport.

c) L'alternateur: Il transforme l'énergie mécanique de l'arbre des turbines en énergie électrique et il comprend

une partie fixe (stator) et une partie tournante (rotor) tournant à la vitesse maximum de 3000 tr/mn. Le rotor est constitué d'un circuit magnétique massif et d'un enroulement réparti sur la périphérie: il est alimenté en courant continu par le système d'excitation statique grâce au progrès des ponts redresseurs au silicium (absence de contacts glissants moins d'usure). Le stator se compose d'un circuit magnétique en tôle et d'un enroulement triphasé. On recueille l'énergie électrique induite au bord du stator sous une tension de 20 kV (trop faible pour transport économique d'ou la présence du transformateur élévateur de tension) .

3-3) Les centrales thermiques nucléaires.

CHAPITRE 0 : Production et distribution de l'énergie électrique

Les centrales thermiques nucléaires produisent de l'énergie mécanique à partir d'un autre combustible (l'uranium) puis un alternateur transforme cette énergie mécanique en énergie électrique.

(visite de la centrale du Bugey).

4 - Le transport de l'énergie électrique.

Dès l'instant où un client consomme de l'énergie électrique (radiateur, machine, lampe...), il faut simultanément produire et transporter cette énergie au lieu d'utilisation. Et contrairement aux autres énergies, **l'électricité ne peut être stockée en masse** sauf pour de rares exceptions (usine marémotrice et station de pompage). La production va donc, à chaque instant, être ajustée au besoin selon la saison, le jour, l'heure et même les secondes. Et donc son transport est supervisé par le dispatching central et les dispatching régionaux, pour pouvoir contrôler le bon acheminement de l'électricité.

4-1) Les Problèmes liés aux transports de l'énergie.

Les centrales qui produisent l'énergie électrique sont implantées selon des conditions géographiques (centrales hydrauliques), ou selon des contraintes d'approvisionnement en combustible (centrales thermiques nucléaires) ou d'alimentation en eau de refroidissement. Quant aux consommateurs d'énergie, ils sont répartis sur tout le territoire et souvent éloignés des grands centres de production ou d'énergie. Après avoir été produits dans différentes usines hydrauliques, thermiques, nucléaires, les kWh obtenus ont besoin de parvenir à leurs utilisateurs et doivent parcourir plusieurs chemins plus ou moins longs et complexes. Ces chemins constituent alors un réseau de lignes des transports interconnectés. Le réseau de transport et d'interconnexion de l'énergie électrique assure une liaison permanente entre les centrales de production et les lieux d'utilisation (figure 2).

4-2) Les interconnexions.

Ces interconnexions permettent de mobiliser tous les moyens de production nécessaires pour satisfaire à la demande des clients et donc d'équilibrer à chaque instant la production et la consommation (figure 1).

Donc les lignes de très hautes tensions sont reliées entre elles par des interconnexions. Les postes d'interconnexions regroupent (figure 6):

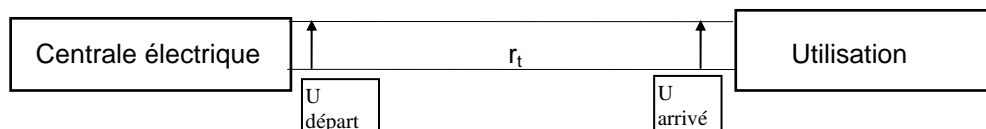
- Trois disjoncteurs très haute tension, permettant la protection et la continuité entre les lignes de très haute tension.
- Un transformateur abaisseur de tension qui permet l'alimentation de lignes de moins forte tension.
- Un ou plusieurs disjoncteurs de départ permettant ainsi la distribution de l'énergie électrique aux clients sous différentes tensions.

L'interconnexion permet:

- Des échanges entre les régions.
- En cas de défauts sur une ligne ou dans une centrale, l'alimentation par une autre ligne. D'où une sécurité d'alimentation.
- Des échanges entre les pays voisins.
- Des économies d'exploitation" pour faire face aux défaillances : il faudrait installer le double de la puissance appelée. Grâce à l'interconnexion des groupes de production par un réseau très haute tension, il est possible de limiter à moins de 40%, le supplément des puissances à installer.

4-3) Nécessité de la haute tension.

L'un des grands intérêts de l'énergie électrique est de transporter seul, rapidement et sans bruit. Toutefois, une partie de l'énergie transportée se dissipe en chaleur, en effet joules, dans la résistance de ligne (r).



Exemple: Calcul des pertes en ligne pour un courant qui transite d'une centrale électrique à un point d'utilisation $P=1\ 200\ \text{MW}$.

a) Détermination de l'intensité du courant en ligne pour $U= 400\ \text{kV}$ et $U = 20\ \text{kV}$.

1) $P = U \times I$ donc $I = 120 \times 10^6 / 400\ 000 = 3\ 000\ \text{A}$.

2) $P = U \times I$ donc $I = 120 \times 10^6 / 20\ 000 = 60\ 000\ \text{A}$.

Remarque: Plus l'intensité augmente plus la chute de tension en ligne augmente et plus il faut augmenter la section de ligne pour diminuer la chute de tension.

b) Détermination des pertes en ligne.

CHAPITRE 0 : Production et distribution de l'énergie électrique

Pertes = $r_t \times I^2$ avec pertes en Watts; r_t résistance totale d'une ligne en Ohms; et I intensité en ligne en Ampères et en remplaçant par sa valeur $I = P / U$ on obtient $p = r_t \times P^2 / U_d^2$ avec P : puissance transportée et U_d : tension de départ de ligne.

EXERCICE : EFFECTUER LE CALCUL pour une résistance de 1 mΩ.

Pertes pour 20 KV = _____

Pertes pour 400 KV = _____

On constate aussi que les pertes en ligne sont proportionnelles au carré de la tension. D'où l'intérêt de la présence de la très haute tension 400 kV(figure 7).

Pour transporter une puissance de 2000 MW il faut une ligne de 400 kV à deux circuits ou trois lignes de 225 kV à trois circuits, ou vingt lignes de 90 kV à deux circuits (figure 5).

Le choix de la tension à 400 kV permet de réduire le nombre de lignes électriques. Les lignes sont composées de leurs câbles et de leurs supports et elles transportent du courant alternatif triphasé sur 3 câbles. Un circuit représente l'ensemble des 3 câbles et souvent on regroupe 2 circuits sur 1 seule ligne, deux câbles supplémentaires dit "câble de garde" sont placés au dessus du circuit et protègent ainsi la ligne contre la foudre. Ils répartissent l'effet de la foudre sur l'ensemble de l'ouvrage.

Il existe différentes formes de pilonnes, supports étant actuellement les plus utilisés (figure 8)

Le plus cher est le type "muguet", pour des raisons d'esthétique, on serait tenté de remplacer les lignes aériennes par des câbles souterrains, mais cela pose de nombreux problèmes. Un câble souterrain se comporte comme un condensateur (âmes et armatures sont les électrodes).

Exemple : pour un câble de 400 kV la distance critique de 45 km nous interdit le passage du courant.

- Une canalisation souterraine est assez vulnérable et beaucoup plus difficile à localiser et à réparer en cas d'avarie sur le câble.

- Une ligne souterraine coûte 10 à 15 fois plus chère qu'une ligne aérienne.

- L'emprise au sol est plus faible en aérien qu'en souterrain, bande de 5 m de large sur toute la longueur du câble enterré.

A proximité des villes les câbles sont en souterrain.

4-4) Implantations des lignes hautes tensions.

Le transport de l'énergie électrique se fait sous des très hautes tensions (400 kV) et souvent avec deux circuits. Les lignes aériennes doivent permettre à chaque centre de consommation important (ville, village, usine,...) de recevoir l'énergie dont il a besoin (centrale électrique, agglomération) pour une distance inférieure à 200 km (figure 10).

4-5) Perte d'énergie dans les lignes.

Le tableau de la figure 9 montre que les pertes dans les lignes ne sont que de 34% de la puissance transportée. (figure 9)

4-6) Les mouvements de l'énergie électrique.

A chaque instant, les 27 millions de client doivent être fournis en électricité et c'est la demande qui conditionne la production des centrales. Cette énergie électrique doit être distribuée:

- ◆ A une tension fixe (230V ou 400V à 10% près).
- ◆ A une fréquence fixe (f = 50 Hz).
- ◆ A une puissance variable.

Ainsi sur l'ensemble de la journée, de grosses variations de la production d'électricité vont entraîner une structure d'utilisation des centrales électriques dans l'ordre suivant (figure 4):

- Les centrales hydrauliques au fil de l'eau: utilisation optimale de l'énergie, ces centrales n'ont pas de réserves, elles tournent à plein rendement.

- Les centrales thermiques nucléaires: elles fonctionnent à 90 % de leur capacité et leur intérêt est:

 - + prix du kW/h faible.

 - + Mais peu de souplesse pour les variations de charge.

- Les centrales hydrauliques de montagne dépendent de leur disponibilité en réserve d'eau.

- Les centrale de pompage et turbines a gaz (centrales thermiques à flamme) permettent de compenser le manque de puissance lors des heures de pointe.

CHAPITRE 0 : Production et distribution de l'énergie électrique

Cette exploitation compliquée du réseau électrique français exige un centre de coordination général appelé DISPATCHING national qui va commander par l'intermédiaire d'un réseau informatique les terminaux régionaux situés dans les dispatchings régionaux pour optimiser en permanence l'exploitation du réseau. En quelque sorte les centres de dispatchings sont les centres nerveux du système: PRODUCTION , TRANSPORT , DISTRIBUTION de l'énergie électrique. (voir commentaires figure 4)

5 - Les canalisations aériennes

Elles sont utilisées pour les réseaux d'éclairage, pour le transport en haute tension et très haute tension, pour la distribution en basse et moyenne tension.

5-1) Les réseaux sur poteaux. (figure 5)

Surtout utilisés pour les lignes rurales, ce type de réseaux présente beaucoup d'avantage:

- Chute de tension plus faible.
- Simplification des études.
- poteaux de plus faible hauteur.
- Simplification de l'armement des poteaux.
- Augmentation de la sécurité.

5-2) Les isolateurs (figure 3).

Ils servent à amarrer le conducteur et à isoler les supports (matériaux: verre ou porcelaine) ensuite ils doivent supporter des contraintes électriques et mécaniques.

L'armement des supports: c' est l'ensemble constitué par les ferrures du poteau et l'isolateur (armature).

5-3) Les poteaux supports (figure 4).

Il y en a trois types:

- ◆ En bois (risque de givre).
- ◆ En béton armé (basse et moyenne tension).
- ◆ En métal (haute tension).

5-4) Distance entre support.

- Moyenne tension et basse tension, $45 \text{ m} < d < 100 \text{ m}$ (selon le relief du terrain) .
- Hautes et très hautes tensions.
- Chaque poteau métallique doit être relié à la terre.

6 - Structure d'un Poste de livraison

L'alimentation d'une installation électrique est à prévoir avec un poste de transformation dès que la puissance atteint 50 kVA. L'abonné qui est livré en énergie électrique haute tension n'est pas dérangé par les autres abonnés, il peut choisir son régime de neutre, il n'est pas limité en puissance et bénéficie d'une tarification plus économique. Pour l'abonné le poste de transformation s'appelle le poste de livraison. (figure 9)

6-1) Le cahier des charges. L'utilisateur va d'abord indiquer son :

- Besoin en puissance.
- Emplacement du poste.
- Alimentation en continu (permanence).

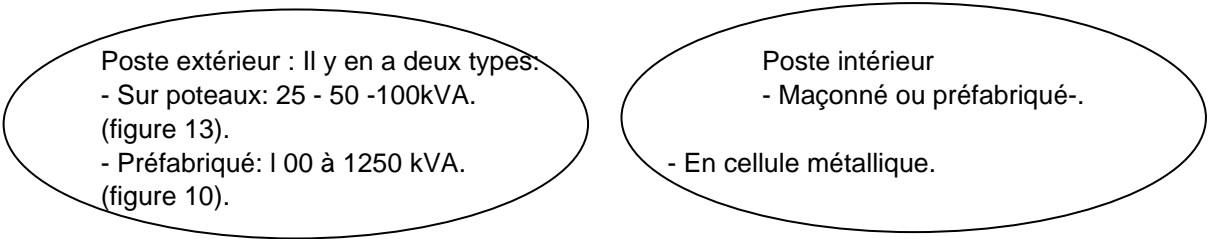
Le distributeur aura au niveau du cahier des charges, les contraintes suivantes:

- ◆ Nature du réseau (aérien ou souterrain) .
- ◆ Puissance du court-circuit.
- ◆ Tension de service (20 kV).
- ◆ Type d'alimentation.
- ◆ Tarification d'énergie.

L'installateur doit:

- Tenir compte de la position du poste.
- Tenir compte du schéma électrique au poste et des circuits de terre.
- Faire la nomenclature du matériel et des caractéristiques.
- Faire le plan du poste et la tarification E.D.F.

6-2) Les différents types de poste.



Le poste de livraison est alimenté par E.D.F. en 20 kV.

6-3) Conception général d'un Poste de livraison:

Il comporte essentiellement de l'appareillage et un ou plusieurs transformateurs pour pouvoir assurer les fonctions suivantes:

- ◇ Dérivation du courant sur le réseau.
- ◇ Protection du transformateur côté haute tension.
- ◇ Transformation haute tension en basse tension.
- ◇ Transformateur protection basse tension.
- ◇ Comptage de l'énergie. (figure 9).

7 - Comptage de l'énergie

Il se fait du côté basse tension si le poste à une puissance installée < 1 000 kVA , sinon il se fait en moyenne tension.

7-1) Le Point de livraison.

C'est la frontière entre les ouvrages qui sont propriétés du distributeur (E.D.F.) et les installations intérieures privées. Le compteur se trouve généralement dans le coffret extérieur aux habitations ,et le disjoncteur est placé à l'intérieur du local de l'utilisateur. En basse tension le comptage est pris directement sur les bornes du transformateur basse tension (industriel).

7-2) Tableau de comptage en monophasé. (figure 15)

$$P = U \times I \times \cos \varphi$$

$$Q = U \times I \times \sin \varphi$$

$$Q / P = \operatorname{tg} \varphi$$

8 - Tarification EDF

Elle est liée à la loi de l'offre et de la demande et comporte une prime fixe qui traduit les coûts de la mise à disposition permanente de la puissance souscrite. Chez E.D.F, il existe trois types de tarif basés sur le niveau de puissance: tarif bleu ; tarif jaune; tarif vert .

8-1) Tarif bleu: pour le domestique ; soit un prix hors taxe du kWh en centimes d'euros de 7,87 en option de base.

8-2) Tarif jaune: livraison basse tension.(figure 16). Il ne comporte que quatre prix du kW/h.

8-3) Tarif vert: livraison haute tension.(figure 17). Présent pour les installations moyenne et haute-tension et est basé sur cinq périodes tarifaires: P1: Heures de pointe (H.P). P2: Heures Pleines Hiver (HPH). P3: Heures Creuses Hiver (HCH). P4: Heures Pleines été (HPE). P5: Heures Creuses été (HCE).

8-4) Remarque: Dans le cas du tarif vert, l'abonné doit bien faire gérer l'énergie électrique:

Souscrire une puissance nécessaire et suffisante.

Adapter sa consommation en fonction des périodes tarifaires.

8-5) Option EJP

A certaine période de l'année, les coûts de production de l'énergie électrique se situent à des coûts très élevés. Cela provient: Le tarif EJP permet de bénéficier d'un prix du kW/h voisin de celui des heures creuses. Par contre durant les heures chargées durant 22 jours de l'année le prix du kW/h est multiplié par 9, il faut avoir une autre source d'énergie pour prendre et cette option n'est plus disponible à l'heure actuelle.

8.6) Option TEMPO

Nouveau et remplaçant du tarif EJP dans le cas d'installation domestique monophasé.

CHAPITRE 0 : Production et distribution de l'énergie électrique

Puissance en kVA	Abonnement mensuel Prix HT en €uros	Prix hors taxe du kWh en centimes d'€uros en novembre 2001					
		Jours bleus (300 jours)		Jours blancs (43 jours)		Jours Rouges (22 jours)	
		Heures pleines	Heures creuses	Heures pleines	Heures creuses	Heures pleines	Heures creuses
9	11,23	3.35 soit 0,22F	4.15 soit 0,27F	6,77 soit 0,44F	8.01 soit 0,53F	12.5 soit 0,82F	34.87 soit 2,30F
12-15-18	15,38						
24--30	28,29						
36	37,99						

9 - Compensation du facteur de puissance.

9-1) But:

Diminuer les pertes dans une installation et éviter la facturation E.D.F. de l'énergie réactive.

9-2) Solution.

On place des batteries de condensateurs pour relever le $\cos\phi$.

9-3) Rappels d'électrotechnique.

P = Puissance restituée sous forme de travail mécanique ou en chaleur ou lumineux (en Watts: W).

Q = Puissance réactive (dévattée), générée par un champ magnétique (en Volts Ampère Réactifs: var).

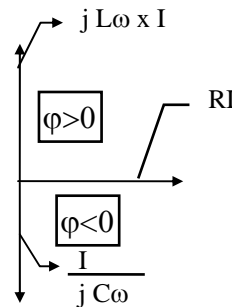
S = Puissance apparente (puissance réelle consommée) (Volts Ampères: V.A.). (figure 20).

Z \leftrightarrow R en alternatif.

|Z| = 1 / C ω pour un condensateur

|Z| = L ω pour une self.

avec $\omega = 2 \pi f$ (rad/s)



Moteur asynchrone triphasé:

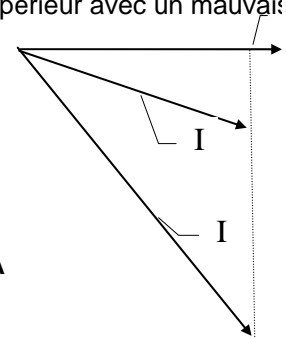
Charge	0%	25%	50%	75%	075%
cos ϕ	0,17	0,55	0,73	0,80	0,83

9-4) Inconvénient d'un mauvais cos ϕ

- Intensité en ligne trop élevée.

- Pour une même intensité active utilisée par un récepteur, le courant en ligne est supérieur avec un mauvais $\cos\phi$

$\cos \phi_1 < \cos \phi_2$ et $I_1 < I_2$



Exemple : pour transporter 20 kW,

- avec $\cos \phi_1 = 1$, l'intensité en ligne est $I_1 = \frac{P}{U \times \cos \phi \times \sqrt{3}} = \frac{20000}{400 \times 1 \times \sqrt{3}} = 29 \text{ A}$

- avec $\cos \phi_2 = 1/2$, l'intensité en ligne est $I_2 = \frac{P}{U \times \cos \phi \times \sqrt{3}} = \frac{20000}{400 \times 0,5 \times \sqrt{3}} = 58 \text{ A}$ (le double)

a) Facturation de l'énergie réactive:

Pour les abonnés dépendant du tarif Jaune ou vert et lorsque l'énergie réactive dépasse de 40% l'énergie active consommée le distributeur facture la consommation d'énergie. $\tan \phi = 0.4 \Rightarrow \phi = -21.8^\circ \Rightarrow \cos \phi = 0.93$

0,93 < $\cos \phi$ < 1 pour ne pas avoir de pénalités E.D.F.

b) Diminution de la puissance disponible:

Un transformateur: S = 200kVA - $\cos \phi = 0.5$ et sachant que P = S x $\cos \phi = 100 \text{ kW}$

- $\cos \phi = 1$ et sachant que P = S x $\cos \phi = 200 \text{ kW}$

CHAPITRE 0 : Production et distribution de l'énergie électrique

9-5) Calcul de la puissance réactive:

Ceci permet de déterminer la puissance de la batterie de condensateurs à installer.

9-5-1) Calcul à partir des factures E.D.F.

Ces factures donnent les valeurs de $\tan \varphi$ et de la puissance active. Et sachant que $\tan \varphi'_{\max} = 0.4$, on peut calculer la puissance réactive pour la compensation.

$Q_c = P \times (\tan \varphi - 0.4)$ avec Q_c : puissance réactive consommée de plus on sait que $Q_c = U \times C \omega$ avec $\omega = 2 \pi f$

9-5-2) Calcul à partir des compteurs.

On relève sur les appareils de mesure d'une installation. $U = 400$ V triphasé.

$$I = 750 \text{ A} \quad \cos \varphi = 0.77$$

Calculer $\tan \varphi$; l'angle de déphasage φ ; Q_c et déterminer C.

$$\tan \varphi = \sqrt{\frac{1}{(\cos \varphi)^2} - 1} = 0.828$$

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi = 400 \text{ kW} \text{ et } Q_c = P \times (\tan \varphi - 0.4) = 400 \times (0.828 - 0.4) = 168 \text{ kvar}$$

$$S = U \times I \times \sqrt{3} = 520 \text{ kVA.}$$

$$\text{et sachant que } Q_c = U^2 \times \sqrt{3} \times C \omega \text{ donc } C = \frac{Q_c}{U^2 \times \omega \times \sqrt{3}} = \frac{168000}{400^2 \times \omega \times \sqrt{3}} = 1 \text{ 930 } \mu \text{ F}$$

10 -Principe de gestion de l'énergie.

10-1) Principe d'économie.

Il faut augmenter le rendement de l'installation et diminuer les pertes.

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{utile}} + \text{pertes}}$$

10-2) Principe du moindre coût.

Il faut rechercher l'énergie la moins coûteuse pour un emploi déterminé.

Ex: Chauffage au fuel ou au gaz aux heures de pointes.

10-3) Principe d'adaptation de l'énergie.

Il faut adapter les besoins en énergie électrique aux périodes où le prix est le plus bas.

10.4) Fonction de gestion de l'énergie.

a) Délestage - Relestage.

Cette fonction permet de décharger temporairement une installation électrique. L'appel de puissance reste inférieur à la puissance souscrite.

- Délestage sur ordre: Ordre provenant d'E.D.F. (heures pleines).
- Délestage sur comptage d'énergie: temps de dix minutes en tarifs vert pour couper les circuits secondaire.
- Délestage à seuil de puissance ou de courant: dès que le seuil de courant ou de puissance est dépassé un relais de délestage coupe les circuits secondaires.

b) Gestion des alimentations.

Elle répond à deux préoccupations: -Assurer la continuité des alimentations. -Optimiser le prix de l'énergie.

c) Décalage des consommations.

On interdit aux heures pleines le fonctionnement de certains appareils pouvant fonctionner aux heures creuses.

d) Amélioration du $\cos \varphi$.

Le mauvais $\cos \varphi$ introduit: - Des pertes en lignes importantes.
- Une facturation de l'énergie réactive par l'E.D.F.