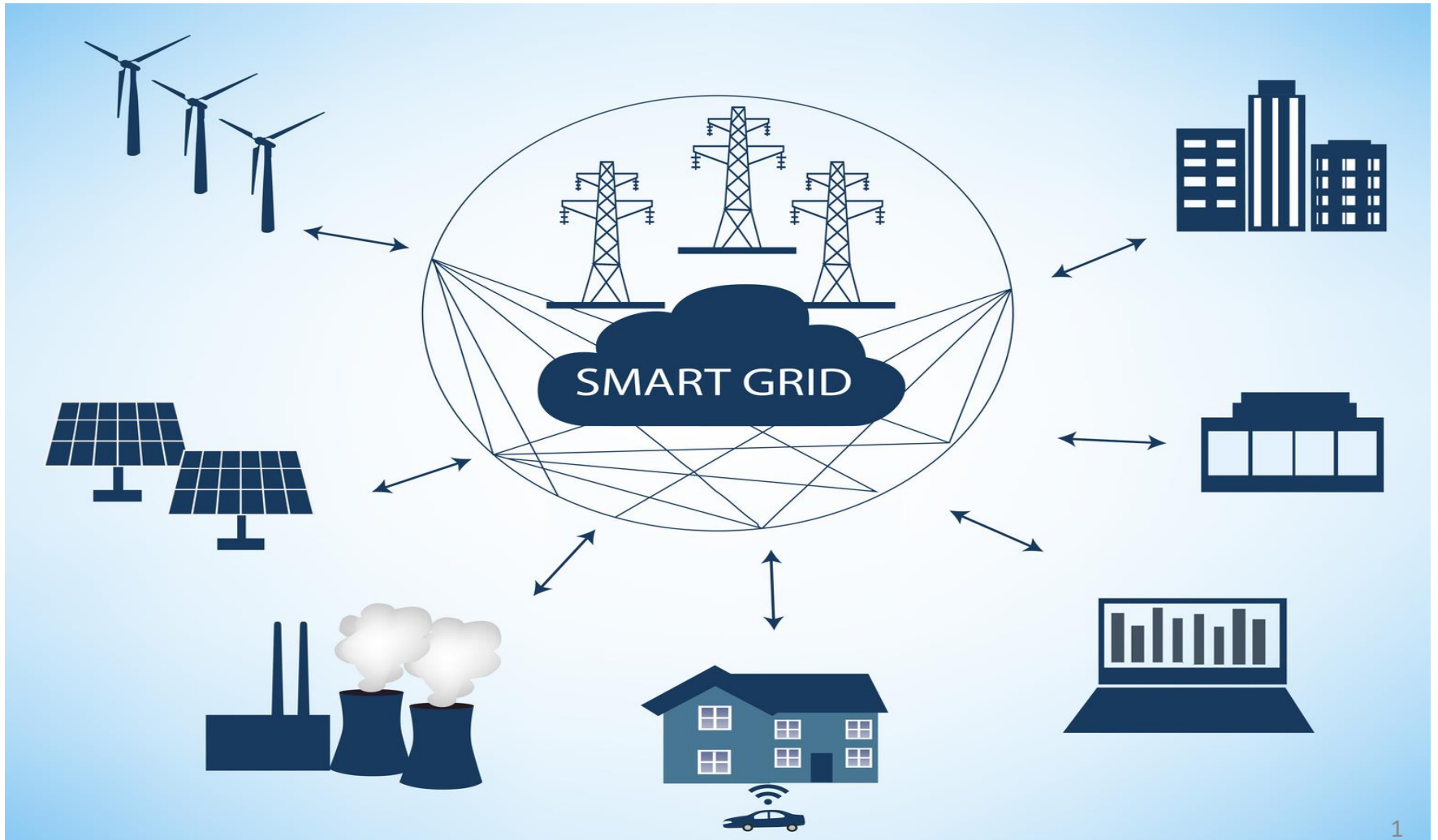


Réseaux Electriques Intelligents

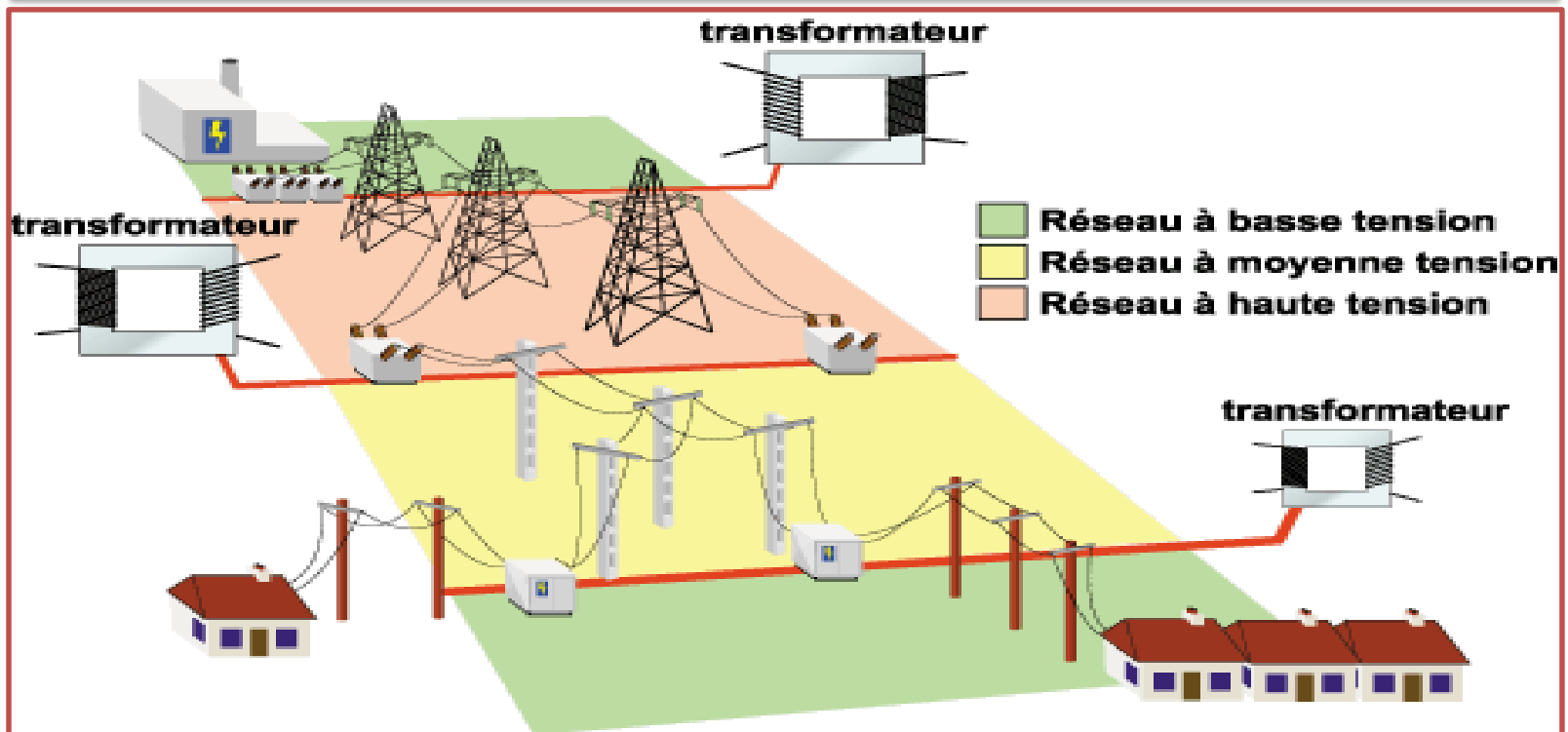
Smart Grids



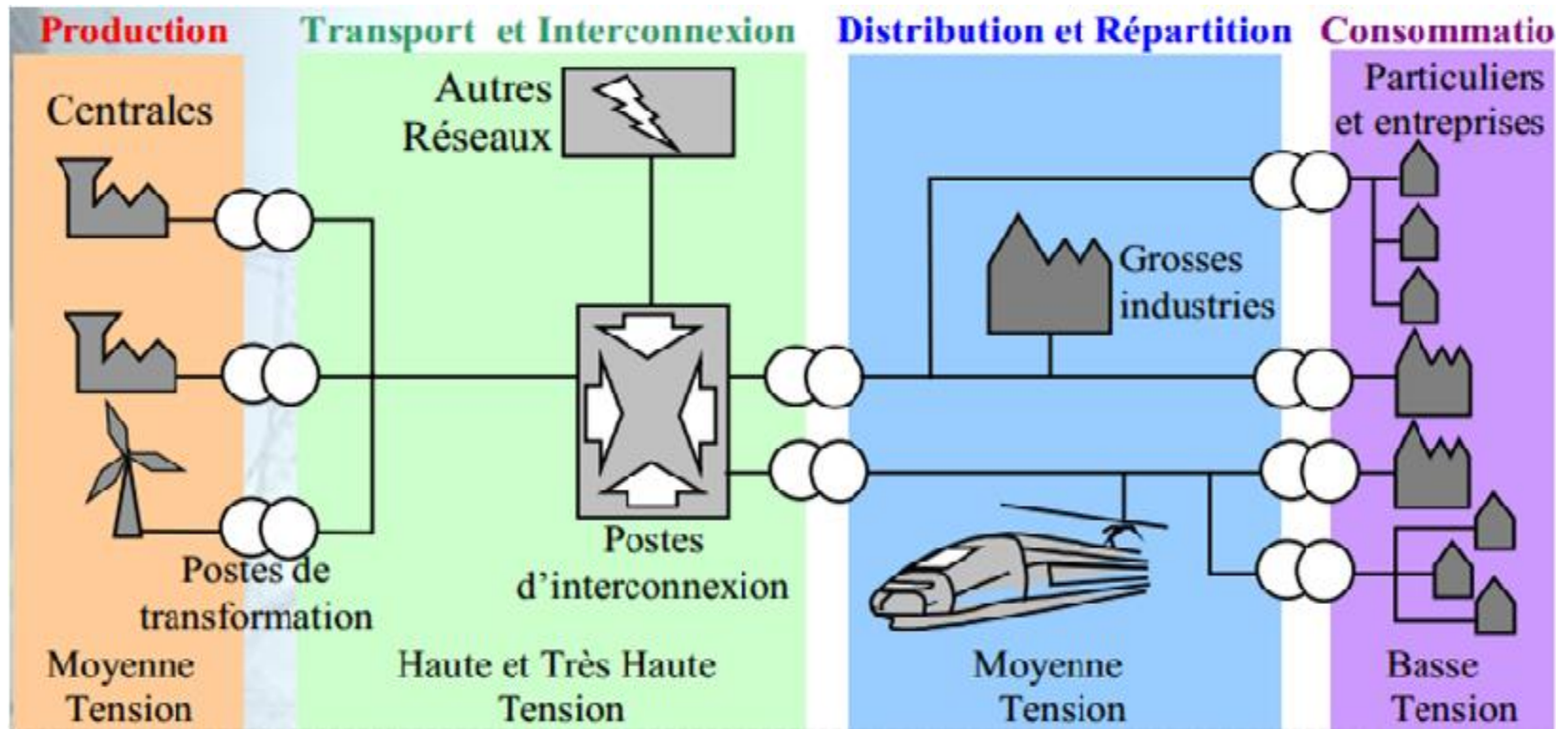
Chapitre I: Description et évolution des réseaux électriques HT, MT et BT



Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructure énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble .



Réseaux électriques Actuels (Composants)



Un réseau électrique est composé de quatre grandes parties: la production, le transport et interconnexion, la distribution et répartition et enfin la consommation. A chacune de ces étapes, gérées par SPE, GRTE et SADEG les niveaux de tension sont différents.

Réseaux électriques Actuels (Composants)

- **Les centrales de production** d'énergie électrique sont fréquemment situées à de grandes distances des lieux de consommation. **Cet état de fait se présente dans le cas où :**
 - les **sources d'énergie primaire sont intransportables** du site à la centrale (énergie hydraulique, énergie solaire, énergie géothermique, énergie éolienne, énergie des mers, etc.)
 - **la taille et l'environnement des centrales** rend impossible leur implantation à proximité des centres de consommation à forte densité de population (énergie nucléaire, énergie solaire, etc.)
- Dans ces conditions, on a recourt au **transport de l'énergie électrique** à moyenne (20 - 100 km) et grande distance (100 – 1000 km).
- Les alternateurs génèrent des tensions entre 12 et 20 kV. Des **transfos élèvent** ces tensions à des niveaux beaucoup plus importants entre 220 et 735 kV pour les **lignes de transmission** qui l'acheminent vers les centres d'utilisation. Près des grands centres, **la tension est baissée** d'abord à environ 120 kV à 160 kV et l'énergie est transportée à ce niveau de tension à des **postes de distribution** où la tension est alors diminuée à 30 kV.
- C'est ce niveau de tension qui se trouvent dans les rues et qui alimente les **transformateurs de distribution** qui baissent la tension à 220/380 V pour les abonnés résidentiels

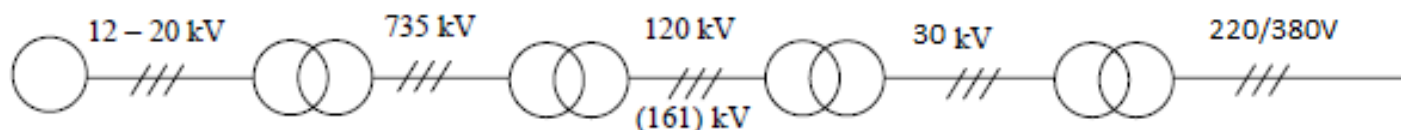


Figure: structure unifilaire du réseau de distribution

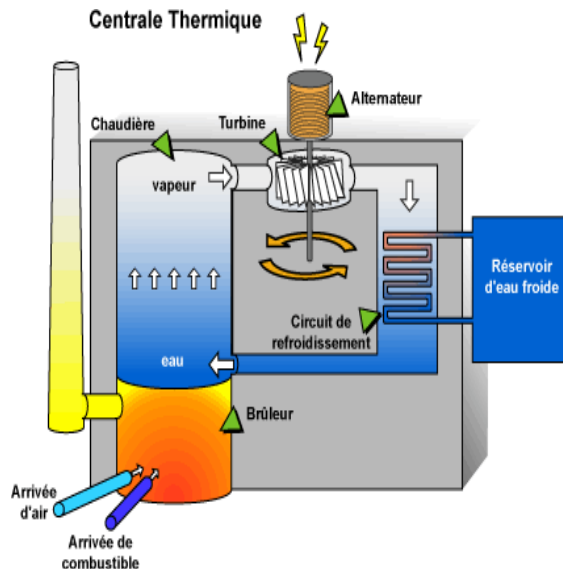
Centrales de production

- **Une centrale électrique** est un site industriel destiné à la production d'électricité, elle transforme diverses sources d'énergie primaire en énergie électrique afin d'alimenter en électricité, au moyen du réseau électrique, les consommateurs, particuliers ou industriels éloignés de la centrale.
- **L'alternateur, au cœur de la centrale**
 - Le principe de production d'énergie électrique est toujours le même : il faut un alternateur et une source d'énergie.
 - L'énergie reçue est mécanique : c'est un objet en mouvement qui va faire tourner une turbine et mettre en mouvement l'alternateur. Par exemple, les hélices d'une éolienne sont entraînées par le vent (air en mouvement). Il y a un alternateur dans chaque éolienne qui va transformer ce mouvement en électricité.
 - On dit que l'alternateur convertit l'énergie : il reçoit de l'énergie mécanique qu'il transforme en énergie électrique.

Centrales de production

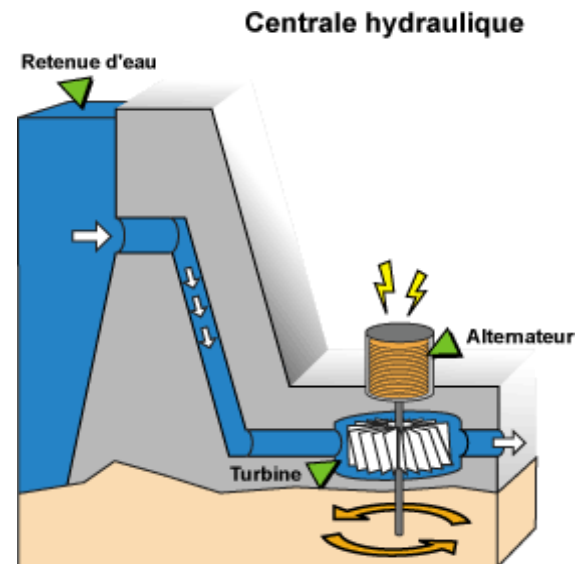
- **Les centrales thermiques classiques:**

- alimentées par des combustibles fossiles : charbon, pétrole et gaz naturel. Dans la chaudière, la combustion du gaz, fioul ou charbon produit de la chaleur qui vaporise de l'eau.
- Cette vapeur d'eau, transportée sous haute pression, actionne les pales d'une turbine provoquant de l'énergie mécanique.
- Cette énergie mécanique est elle-même transformée en énergie électrique grâce à l'alternateur.



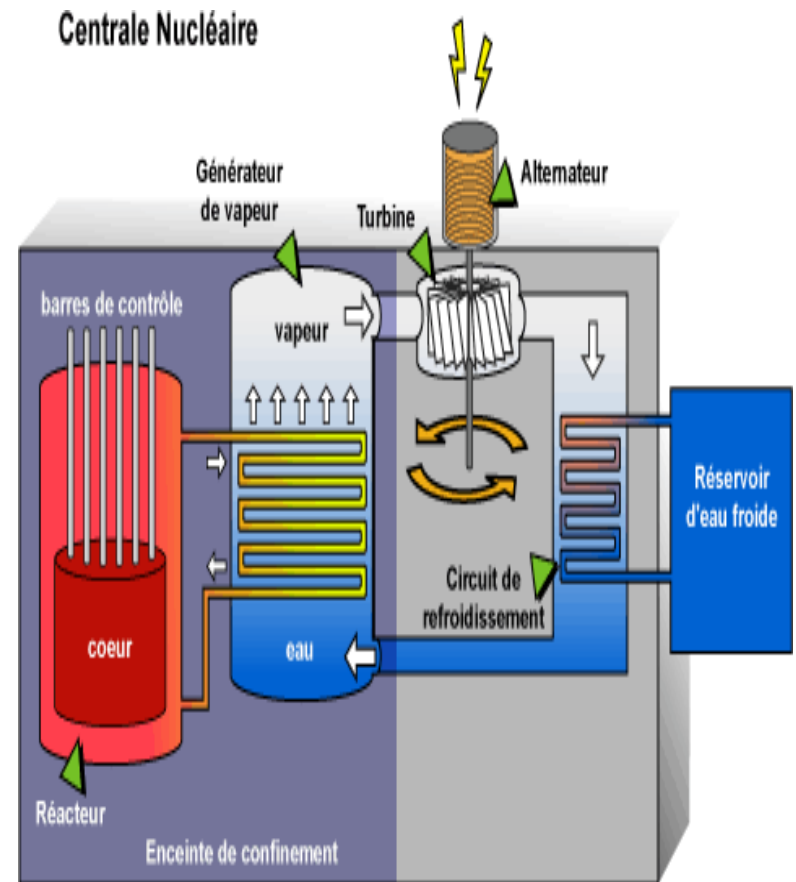
- **les centrales hydroélectriques :**

- la force motrice de l'eau actionne une turbine qui entraîne un alternateur produisant ainsi de l'électricité



Centrales de production

- **les centrales nucléaires :**
 - c'est l'énergie de fission qui est utilisée pour produire de la chaleur.
 - La fission consiste à casser le noyau de l'atome d'uranium, en le bombardant de neutrons, afin qu'il se brise en plusieurs noyaux plus petits produisant ainsi de l'énergie.
 - La fission libère également des neutrons qui eux-mêmes provoquent une réaction de fission du noyau d'uranium : c'est une réaction en chaîne.
 - La chaleur produite forme de la vapeur d'eau qui mise sous pression entraîne une turbine faisant fonctionner un alternateur qui dégage une énergie électrique.



Transport de l'énergie électrique :

- **Le transport** de l'énergie électrique du producteur (centrale électrique) au consommateur (villes, quartier, maison, ensemble industriel) se fait à l'aide de lignes électriques, qui constituent les artères d'un système d'énergie électrique.

. **Nécessité de la Haute tension**

Il est impossible de transporter directement, même pour de modestes distances, l'énergie électrique générée par les générateurs synchrones. Des pertes inacceptables en découleront.

. **Types de lignes**

Les lignes électriques peuvent être classées suivant trois critères :

- situation dans l'espace : lignes aériennes, lignes souterraines (câbles) ;
- classe de tension : lignes à basse tension et ligne à haute tension.
- Nature de la tension : continue, alternative monophasée ou triphasée.

Transport de l'énergie électrique :

1. Les lignes aériennes

- Les lignes aériennes sont constituées par des conducteurs de phase fixés par des isolateurs sur des pylônes métalliques, des poteaux en béton ou en bois
- Elles sont utilisées pour :
 - les longues distances,
 - les HT et THT surtout,
 - en zones rurales (BT).

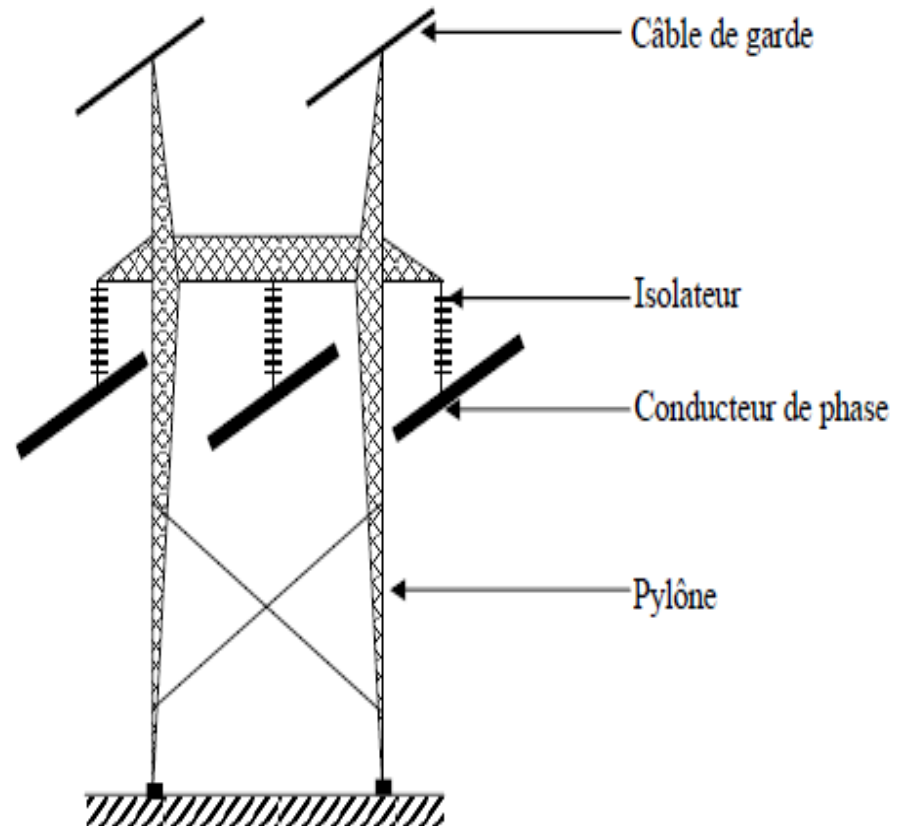


Fig: Schéma simplifié d'une ligne de transmission

Transport de l'énergie électrique :

- **a) Les conducteurs de phases**

Ils ne sont pas isolés pour faciliter le dégagement de chaleur.

Les brins donnent beaucoup de souplesse.

Les conducteurs sont constitués en aluminium, des brins toronnés et renforcés en acier.

- *Choix de l'aluminium ?* **Résistance...**

- La résistance d'un corps dépend de sa nature par sa résistivité (qui n'est autre que sa faculté à s'opposer au passage des électrons) et de ses dimensions (longueur et section).
- La relation donnant la résistance R d'un cylindre de section constante (mais de forme quelconque) est la suivante :

$$R = \rho \frac{l}{S} \text{ où } \begin{cases} R \text{ est la résistance (en } \Omega) \\ \rho \text{ est la résistivité du matériau en } \Omega \cdot \text{m.} \\ l \text{ est la longueur du conducteur en m.} \\ S \text{ est la section transversale du conducteur en } \text{m}^2. \end{cases}$$

quelques exemples de valeurs de résistivité à 20°C pour les principaux conducteurs.

Matériaux	Symbole chimique	ρ ($\Omega.m$)
Aluminium	Al	$2,78.10^{-8}$
Argent	Ag	$1,6.10^{-8}$
Cuivre	Cu	$1,7.10^{-8}$
Etain	Sn	$1,2.10^{-8}$
Laiton	60% Cu + 40%Zn	5.10^{-8}
Nickel	Ni	$8,7.10^{-8}$
Tungstène	W	$5,9.10^{-8}$
Zinc	Zn	$6,1.10^{-8}$

quelques caractéristiques des conducteurs cuivre et Aluminium

	ρ ($\Omega.m$)	Densité (kg/m^3)	Conductivité thermique ($W/m \text{ } ^\circ K$)	Température de fusion ($^\circ C$)	Rigidité mécanique (N/mm^2)	Prix (\$US/tonne)
Cuivre	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^3$	386	1083	250	2510
Aluminium	$2,78 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^3$	220	660	13	1580

L'aluminium est préféré pour les raisons suivantes :

- le cuivre est 3 fois plus lourd et 63% plus cher,
- pour palier à la faible rigidité mécanique

⇒ utilisation d'alliage

⇒ conducteur multiples en faisceau pour une phase : lignes à plusieurs ternes ≈ plusieurs lignes.

Transport de l'énergie électrique :

- ⇒ Renforcement en acier à l'intérieur du câble pour assurer la résistance mécanique du conducteur.
- L'intérieur n'intervient pas à cause de l'effet de peau.
- Les conducteurs sont constitués de plusieurs torons (conducteurs cylindriques tordus) enroulés les uns contre les autres, que nous appelons des conducteurs toronnés.

De tels conducteurs ne possèdent non seulement une plus grande flexibilité, mais aussi une plus grande résistance mécanique par rapport à un conducteur unique de même section.

- Le choix des conducteurs se fait selon un certain nombre de critères :

Critère #1 : Les pertes ohmiques doivent être inférieures à 2% de la puissance maximale transportée par la ligne.

Critère #2 : Les pertes par effet de couronne doivent être inférieures ou égales à 1,5 kW/km de ligne.

Critère #3 : le niveau de perturbation radiophonique .

- Le givrage en hiver conduit en effet à la formation d'une gaine de glace autour du fil qui augmente son poids. En général, cette augmentation n'excède pas 1 kg au mètre et la vie de la ligne n'est pas en danger.



Transport de l'énergie électrique :

- **b) Câbles de garde**

Les câbles de garde ne transportent pas le courant. Ils sont situés au-dessus des conducteurs. Ils jouent un rôle de paratonnerre au-dessus de la ligne, en attirant les coups de foudre pour éviter une éventuelle surtension au niveau des conducteurs. Ils sont en général réalisés en alu-méc-acier.

Au centre du câble de garde on place parfois un câble en fibre optique qui sert à la communication de l'exploitant; on parle alors de OPGW , **Câble de garde à fibre optiques/ Optical ground wire, ou fibre optique composite**. Si on décide d'installer la fibre optique sur un câble de garde déjà existant, on utilise alors un robot qui viendra enrouler en spirale la fibre optique autour du câble de garde.



Transport de l'énergie électrique :

b) Rôle des câbles de garde

- protection des conducteurs de phase contre les coups de foudre direct.
- transport des courants homopolaires et harmoniques.

Si R_t est important :

- la différence de potentiel entre le pied et le sommet du pylône devient importante,
- amorçage en retour entre le pylône et le câble de garde par contournement de l'isolateur

⇒ Choc en retour

⇒ Surtension sur les lignes de phases.

R doit être le plus faible possible.

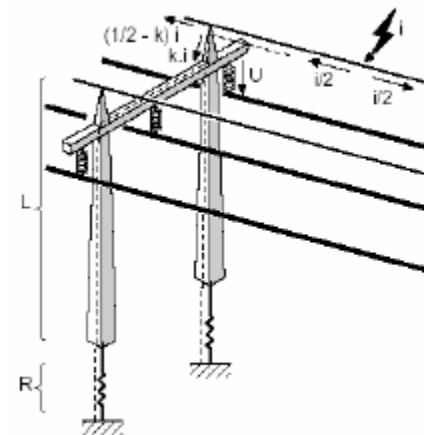


Figure : Coup de foudre sur un câble de garde.¹⁵

Transport de l'énergie électrique :

c) Espacement des lignes

Le nombre, la dimension et l'espacement des conducteurs par phase. Un critère décisif

- effet de couronne,
- effet des impédances,
- espacement phase-phase,

Le nombre, le positionnement et le type de conducteurs pour les câbles de garde.

d) Capacités de transmission des lignes

- la puissance à transporter ou capacités des lignes est liée à la distance.
- On choisit la tension économique optimale (pour les très grande distance, la transmission en courant continu est meilleur).

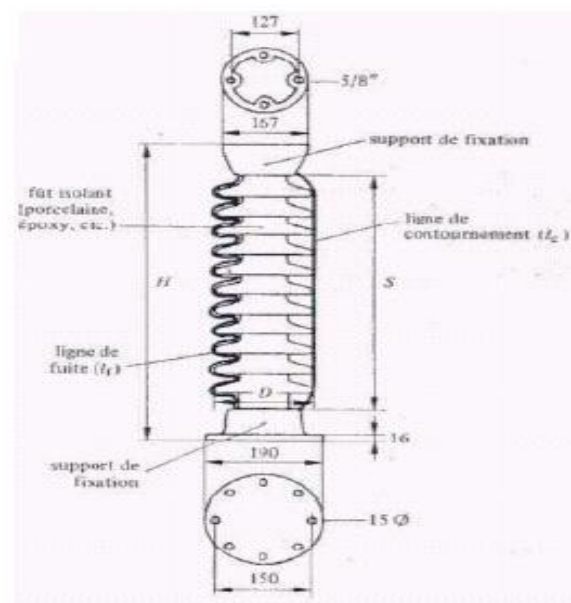
Tableau : Niveau de transmission économique pour les lignes aériennes.

U ligne à ligne (kV)	Capacité de transmission (MW)	Longueur maximale (km)
20	3 – 10	1 – 20
110	30 - 40	30 – 150
220	100 - 200	150 – 250
400	400 - 700	300 – 500
750	1800 - 2400	1200 – 2000
1150	4000 - 6000	2500 - 3000
DC		

Transport de l'énergie électrique :

- **e) Les isolateurs**
- Le diélectrique principal utilisé sur des lignes aériennes à haute tension est l'air. L'air entourant les conducteurs, est un bon isolant, à condition que le stress électrique soit tenu au-dessous du seuil d'ionisation. Il est, cependant, nécessaire d'attacher les conducteurs à certains points sur les bras mutuels des pylônes (Figure V-9).
- La tâche est en particulier complexe, dû à la combinaison de multiple stress : mécanique, électrique et environnemental.
- Les isolateurs à haute tension se sont développés rapidement très tôt ce siècle, commençant par des isolateurs en porcelaine types. Aujourd'hui, des isolants modernes en polymères sont employés, ainsi que divers matériels.

Fig. V-9: rôle des isolateurs et terminologies associées.



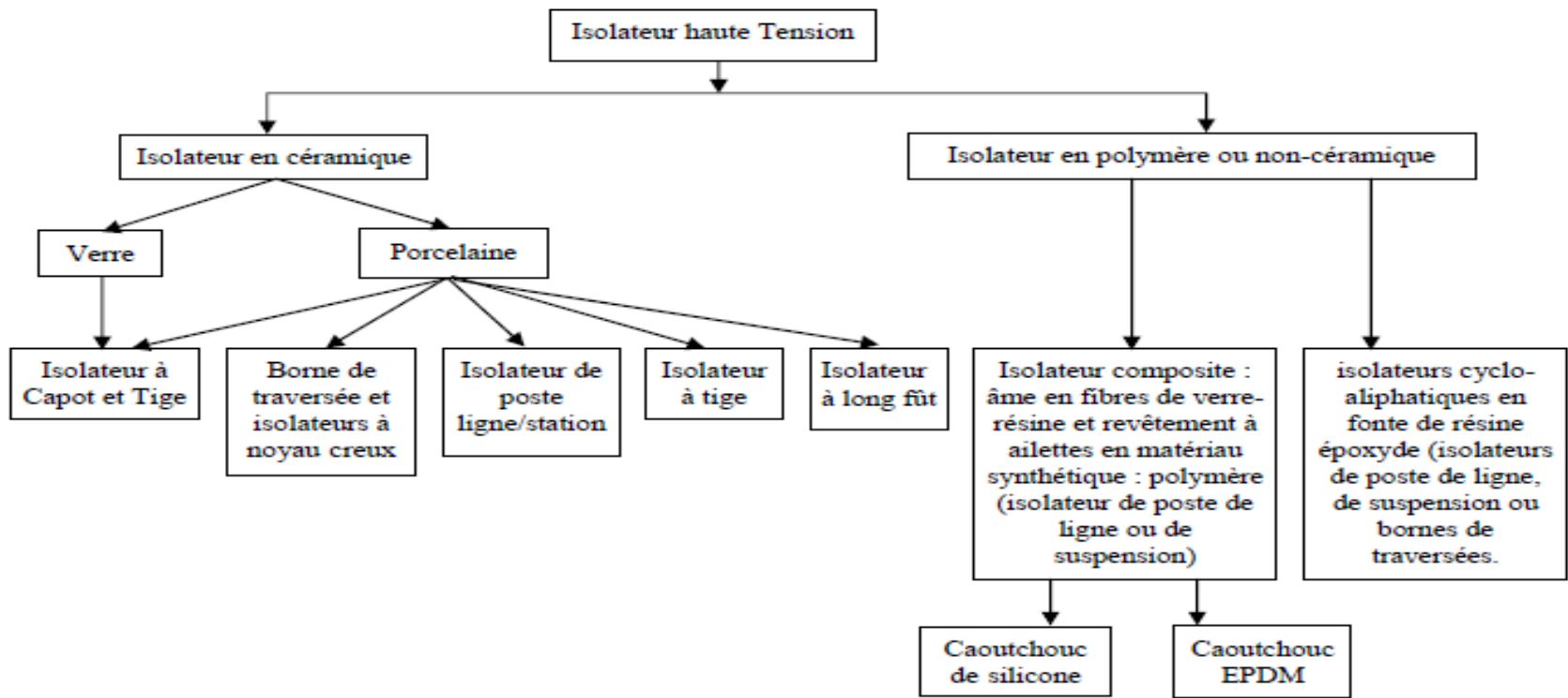


Figure V-10: Classification des isolateurs utilisés dans les lignes de transmissions.

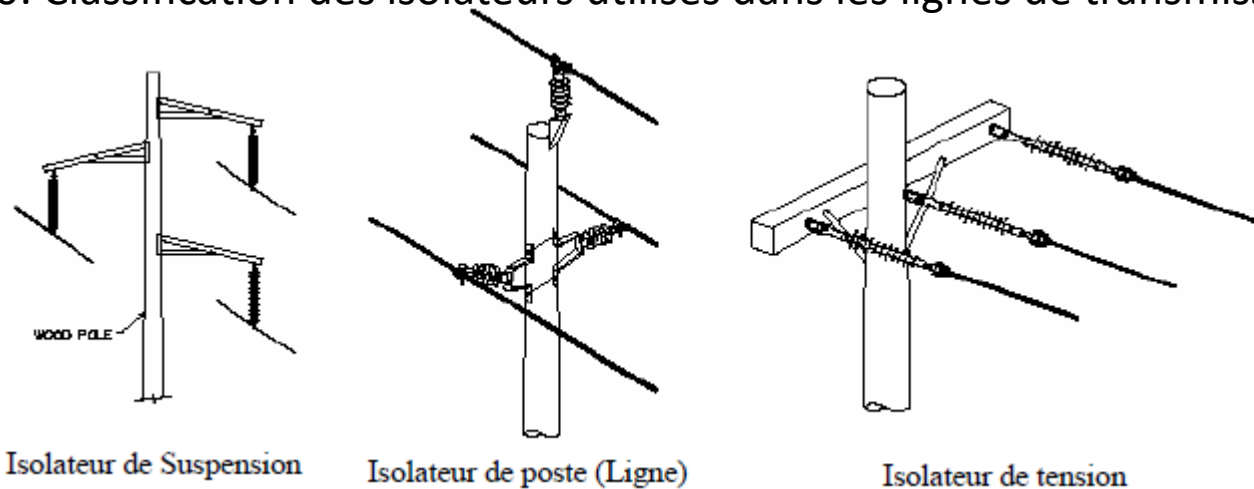


Figure V-11: Quelques types d'isolateurs utilisés dans les réseaux de distribution.



Porcelaine

Verre



céramiques

polymère

Polymer pin insulator **15kV**



Transport de l'énergie électrique :

f) Les pylônes

- La largeur du pylône dépend de la distance entre conducteurs de phase tandis que la hauteur dépend du niveau de tension.

⇒ Conception ou choix des pylônes en considérant les conditions climatiques locales (givrage, vents,...),

- la température (échange thermique) et dilatation des conducteurs, échauffements
- la vitesse du vent entraîne une force additionnelle sur les conducteurs

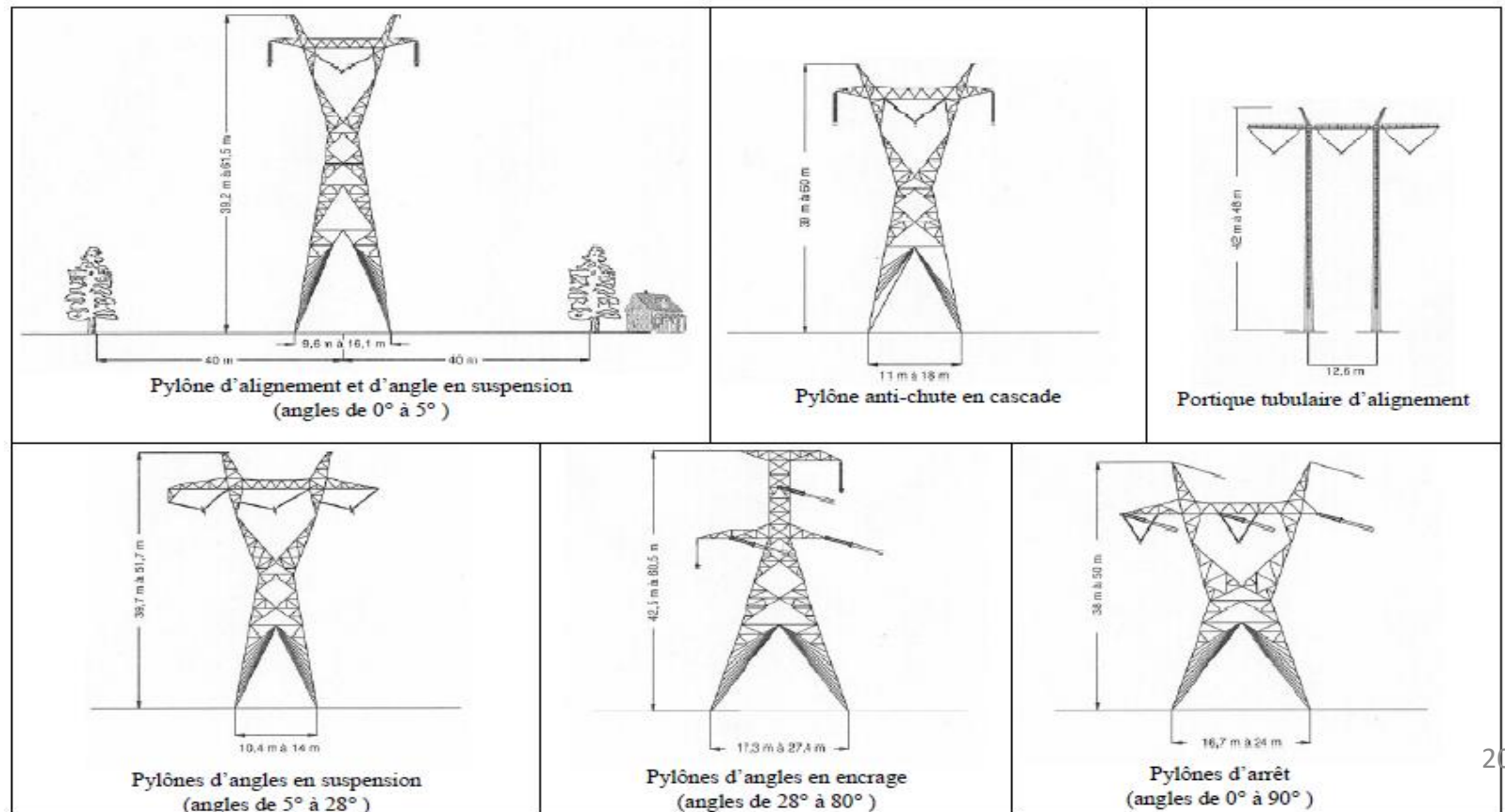


Fig. V-12: Quelques pylônes utilisés

Transport de l'énergie électrique :

- **2. Les câbles isolés**
- Les câbles se composent d'un (ou plusieurs) conducteurs central, d'une isolation dont la rigidité diélectrique est élevée, la permittivité et les pertes diélectriques les plus faibles possibles et d'un manteau conducteur en général mis à la terre (Fig. V-13).
- Ils sont utilisés :
 - zones à fortes densités de population (agglomérations).
 - Pour les liaisons souterraines et sous marines,
 - Distribution,
 - Impédance caractéristique (50Ω) largement inférieure à celles des lignes aériennes (300Ω).
- La présence du manteau permet d'homogénéiser la répartition du champ électrique E rendant les caractéristiques électriques du câble indépendantes du milieu de pose.

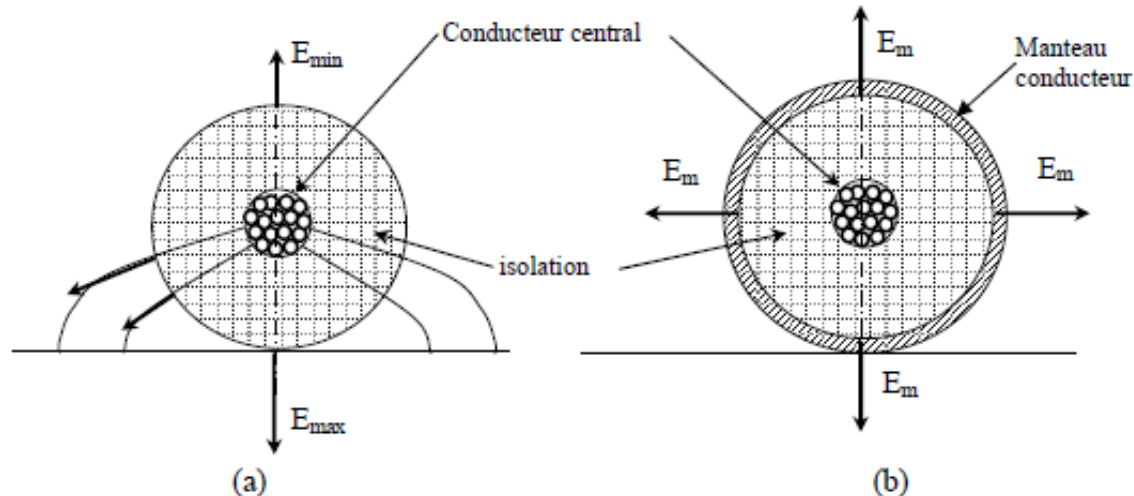
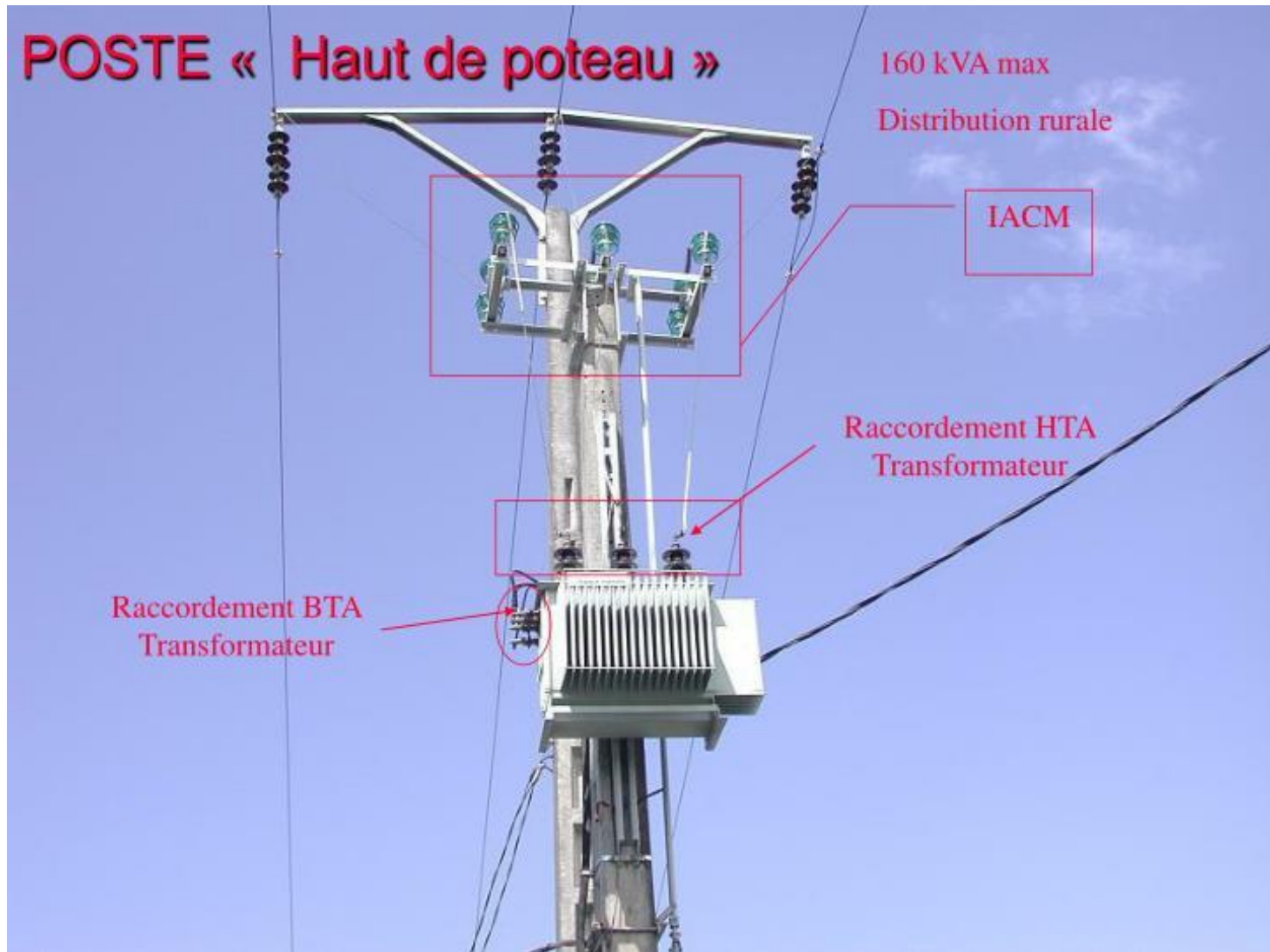


Fig V-13: Câble unipolaire: (a) sans manteau (cette solution est à proscrire car la répartition des champs électriques est fonction du mode de pose); (b) avec manteau.

Distribution de l'énergie électrique :

- **III.1-Les postes HTA/BT :**
- L'alimentation d'une installation électrique est effectuée avec un poste de transformation HTA/BT qui est disposé au plus près des éléments consommateurs d'énergie.
- Le poste de transformation HTA/BT s'appelle aussi :
 - poste de livraison s'il alimente un client (usine...)
 - ou poste de distribution publique s'il alimente les consommateurs ordinaires.
- Le poste de transformation HTA/BT peut être de type maçonné ou sur poteau selon la puissance demandé :
 - Poste HTA/BT sur poteau pour une puissance inférieure ou égale à 160 KVA
 - Poste HTA/BT maçonné pour une puissance supérieure ou égale à 250 KVA

Distribution de l'énergie électrique :



Poste de transformation HTA/BT aérien

Distribution de l'énergie électrique :



Poste de transformation HTA/BT maçonné (vue d'extérieur et d'intérieur)

Distribution de l'énergie électrique :

- Structure d'un poste HTA/BT :

- Le poste de livraison comporte essentiellement de l'appareillage et un ou plusieurs transformateurs afin d'assurer les fonctions suivantes
 - dérivation du courant sur le réseau
 - protection du transformateur côté HT
 - transformation HTA/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.

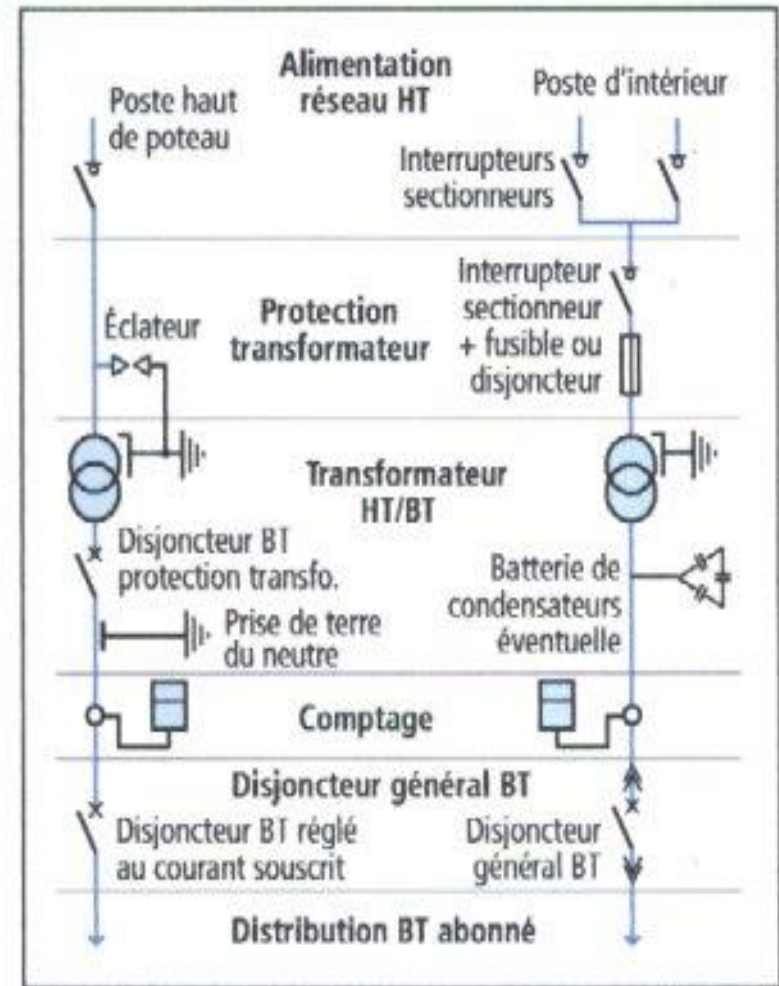


Fig. 1 : Structure générale d'un poste HTA/BT.

Distribution de l'énergie électrique :



Matériel d'exploitation électrique

Transformateur et TBT



Classification des câbles

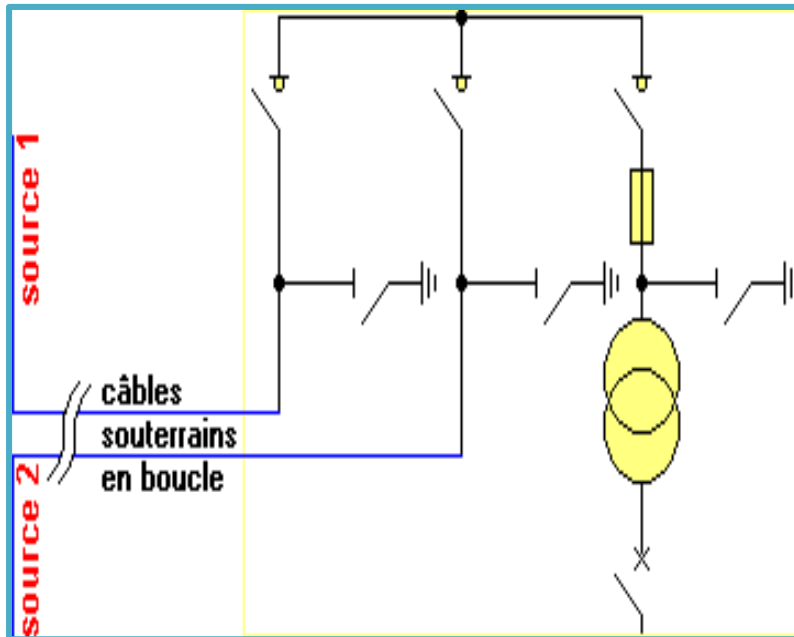
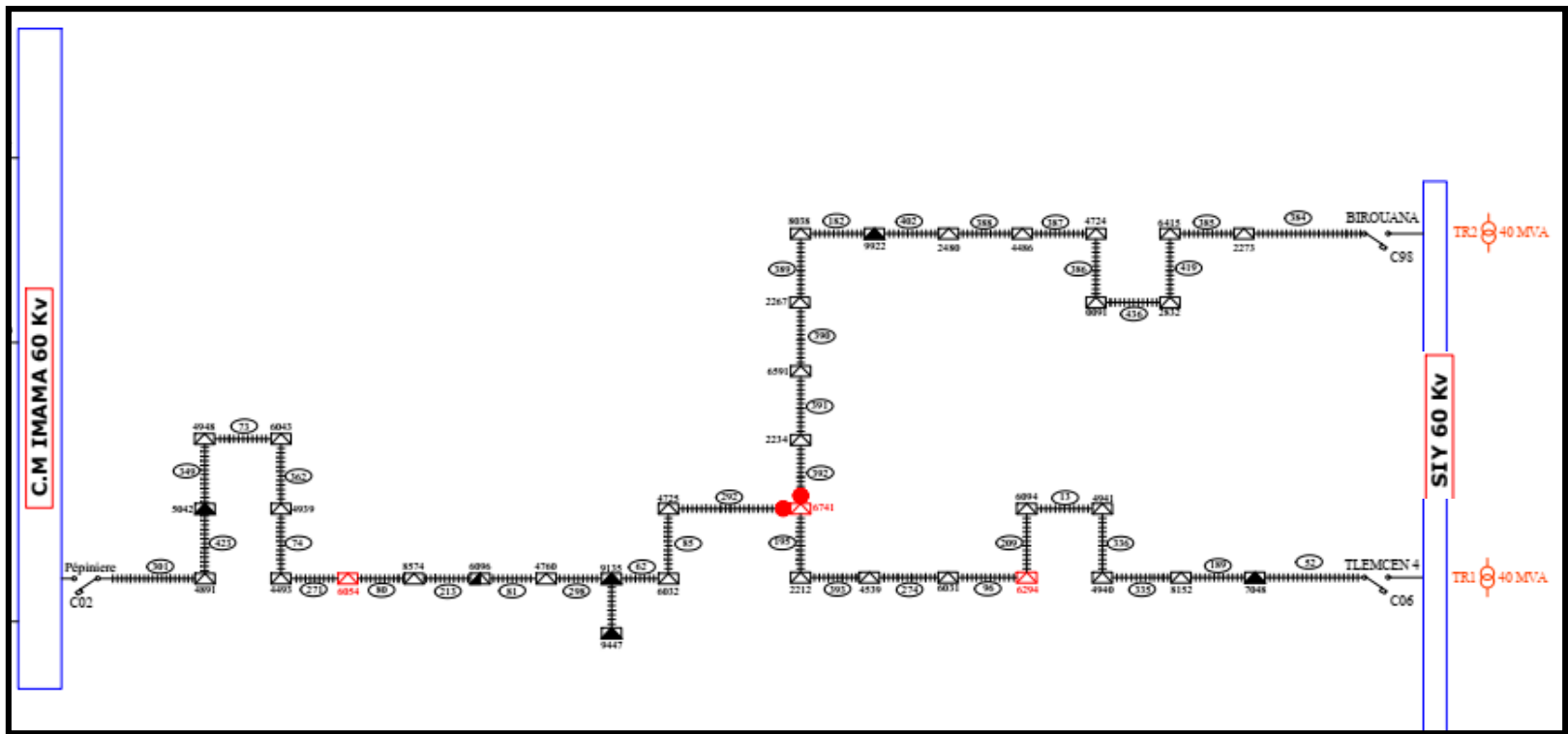
- Selon le niveau de tension, on classe les câbles selon les critères suivants :

au niveau de la distribution

- les câbles à basse tension ($U \leq 1 \text{ kV}$)
- les câbles à moyenne tension ($1 \text{ kV} < U < 60 \text{ kV}$)

- au niveau du transport

- les câbles à haute tension ($60 \text{ kV} < U < 150 \text{ kV}$)
- les câbles à très haute tension ($U > 150 \text{ kV}$)

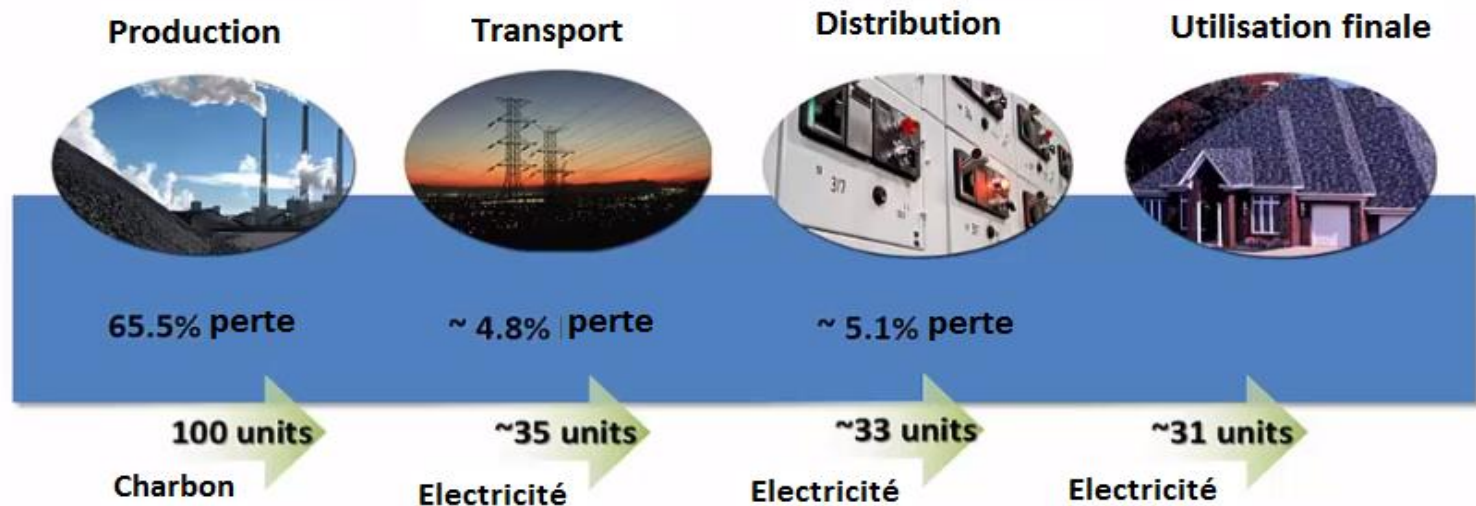


Réseaux électriques Actuels (**Inconvénients**)

- ❖ Vieillesse de l'infrastructure du réseau en raison des contraintes budgétaires qui ont empêché son renouvellement et les questions de sécurité qui l'accompagnent.
- ❖ La limitation et l'insuffisance des centrales de production existantes qui dépendent totalement des générateurs à combustibles fossiles de grandes capacités qui ont un impact négatif sur l'environnement soit à cause de l'émission de l'oxyde de carbone ou le problème des déchets radioactifs.
- ❖ Le système électrique avec le concept actuel n'accepte pas l'intégration des ressources renouvelables et la production décentralisée à grande échelle de plus il est incapable de gérer la situation lors de l'occurrence des événements climatiques (tels que la chute des arbres sur les lignes de transports et les tornades).

Réseaux électriques Actuels (**Inconvénients**)

- ❖ L'augmentation des pertes dans le réseaux accompagné d'un faible rendement des centrales de production.



- ❖ La concentration d'une grande quantité de puissance produite en **un seul endroit**.
- ❖ Augmentation de la demande en énergie et réduction de la compétitivité mondiale.
- ❖ Les pertes non-techniques.