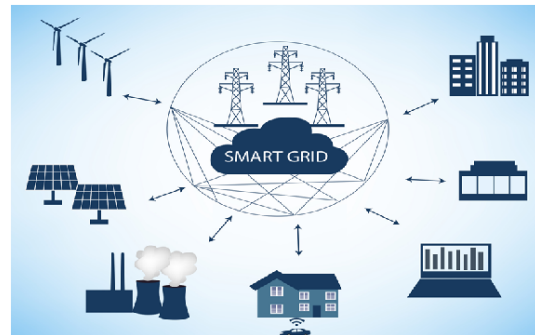


Réseaux Électriques Intelligents (Smart Grids)

Module Smart Grids



Enseignant de la matière: Imen Souhila Bousmaha
Docteure en Réseaux électriques UDL SBA- Maître
assistante classe B à l'école Supérieure des sciences
appliquées Tlemcen ESSAT. Contact :
imenbousmaha@yahoo.fr .

Nom du cours/ Unité d'Enseignement & niveau :
Réseaux électriques intelligents (Smart Grids)/ UEF 91
pour les 5^{ème} années ELT S5. Coefficient : 5 Crédits
: 5.

Table des matières



Objectifs	4
I - Objectifs du chapitre 1	5
II - Description et évolution des réseaux électriques HT, MT et BT	6
1. Réseaux électriques actuels	7
1.1. Composants des réseaux électriques actuels	7
1.2. Exercice : Trous 102	7
2. Centrales de production	7
2.1. Les centrales thermiques classiques	8
2.2. les centrales hydroélectriques	8
2.3. les centrales nucléaires	8
2.4. Exercice : Trous 100	9
3. Transport de l'énergie électrique	9
3.1. Types de lignes	9
3.2. Exercice : Câble de garde	10
3.3. Les lignes aériennes	10
3.4. Exercice : Trous 101	13
3.5. Les câbles isolés	13
4. Distribution de l'énergie électrique	15
4.1. Les postes HTA/BT	15
4.2. Exercice : poste HTA/BT	15
4.3. Structure d'un poste HTA/BT	15
4.4. Exercice	16
5. Exercice : Réseau de distribution	16
6. Classification des câbles	16
6.1. niveau de la distribution	16
6.2. niveau du transport	17
7. Exercice : Maîtriser les niveaux de tension sur le réseau électrique	17
8. Inconvénients des réseaux électriques Actuels	17
III - Mesure de compréhension des séquences pédagogiques de l'unité d'apprentissage 1	
19	
1. Exercice : Réseau de distribution	19
2. Exercice : Câble de garde	19
3. Exercice : poste HTA/BT	19

4. Exercice	19
5. Exercice : Maîtriser les niveaux de tension sur le réseau électrique	20
6. Exercice : Trous 100	20
7. Exercice : Trous 101	20
8. Exercice : Trous 102	20
9. Orientation et remédiation locale	20
Solutions des exercices	21
Glossaire	24
Abréviations	25
Références	26
Bibliographie	27

Objectifs

Le cours réseaux électriques intelligents vise à:

- Maîtriser le fonctionnement des réseaux actuels et leurs carences.
- Acquérir les fondements des smart grids et les micro-grids.
- Intégrer les technologies de stockage des énergies renouvelables.
- Employer les terminologies importantes utilisées.
- Estimer l'avenir de la technologie des réseaux intelligent.

Les pré-requis nécessaires au suivi de ce cours:

- Connaissances de base en électrotechnique.
- Connaissances approfondies sur les réseaux électriques.
- Notions fondamentales sur les énergies renouvelables.
- Notions générales sur la gestion économique des ressources fossiles.
- Notions générales sur la transition économique et écologique des réseaux d'électricité.

Objectifs du chapitre 1

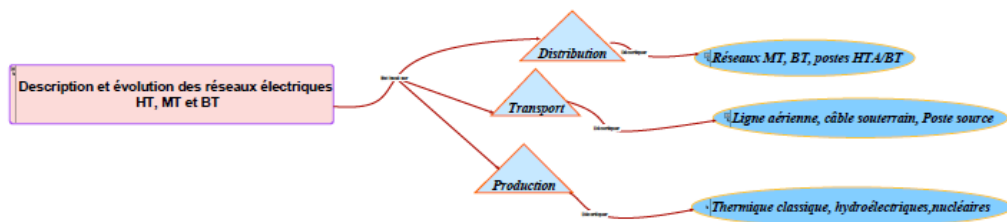
I

A l'issu du chapitre 1 l'étudiant sera capable de :

- Identifier les fonctions des différents filiales de la société nationale d'électricité.
- Différencier entre les lignes aériennes et les câbles souterrains.
- Intégrer les connaissances liées aux postes de transformations.
- Maîtriser les différents étages de tension.

Les pré-requis nécessaires au suivi de ce cours: Électrotechnique, Architecture du réseau d'électricité, Exploitation des réseaux HTB, HTA, et BT.

Carte conceptuelle du chapitre 1



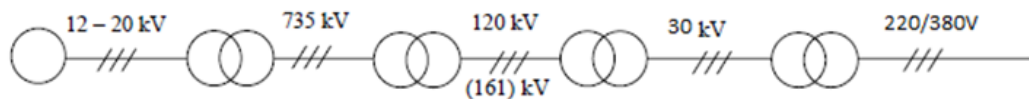
Carte conceptuelle Ch 1

1. Réseaux électriques actuels

1.1. Composants des réseaux électriques actuels

- 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 110 kV et l'énergie 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



Structure unifilaire du réseaux

1.2. Exercice : Trous 102

[solution n°1 p.21]

Elles sont utilisées :

- zones à fortes de population (agglomérations).

2. 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.[2]*

L'alternateur, au cœur de la centrale

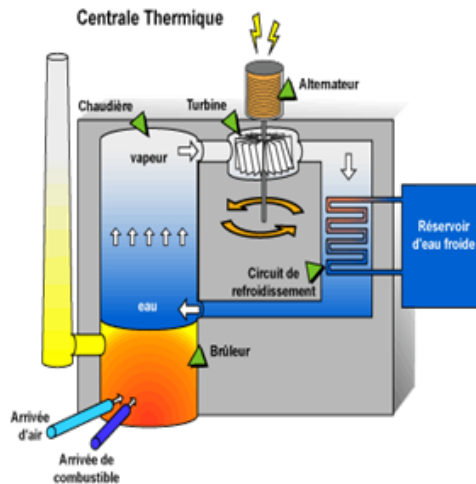
- Le principe de production d'énergie électrique est toujours le même: il faut un alternateur et une source d'énergie.

- 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. Référence 102*

2.1. Les centrales thermiques classiques

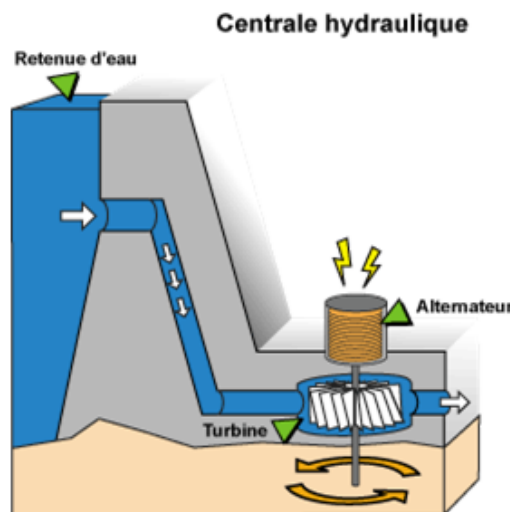
- alimentées par des combustibles fossiles : charbon, pétrole et gaz naturel. Dans la chaudière, la combustion du gaz, fioul ou charbon produit de la chaleur qui vaporise de l'eau.
- Cette vapeur d'eau, transportée sous haute pression, actionne les pales d'une turbine provoquant de l'énergie mécanique.
- Cette énergie mécanique est elle-même transformée en énergie électrique grâce à l'alternateur. Référence 103*



Centrales thermiques classiques

2.2. les centrales hydroélectriques

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

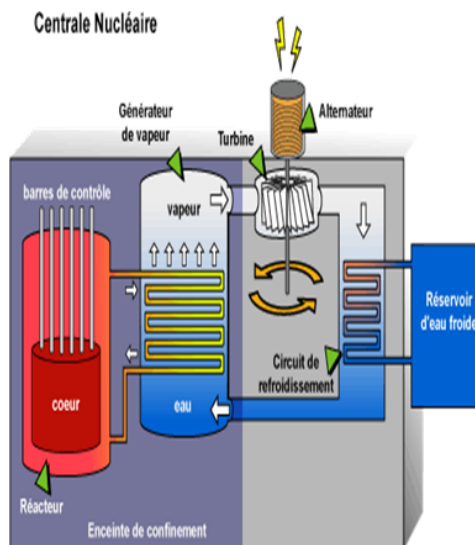


centrales hydroélectriques

2.3. 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.



Centrales nucléaires

2.4. Exercice : Trous 100

[solution n°2 p.21]

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 ainsi de l'énergie.

3. 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.

3.1. 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.

3.2. Exercice : Câble de garde

[solution n°3 p.21]

Le rôle du câble de garde est

- protection des conducteurs de phase contre les coup de foudre direct.
- transport des courants homo polaires et harmoniques.
- Transport de l'énergie

3.3. 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*).

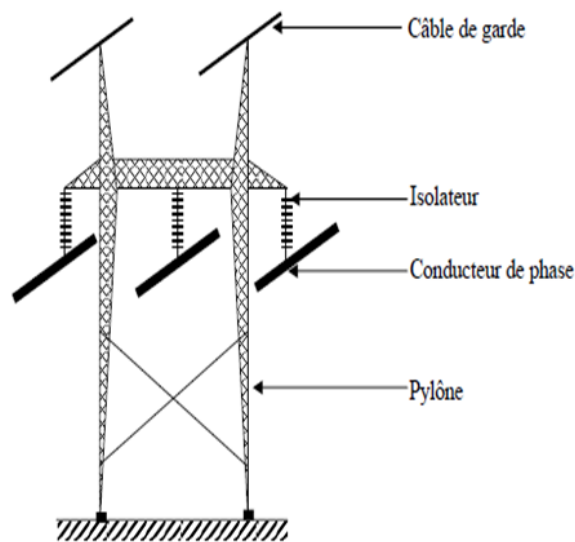


Schéma simplifié d'une ligne de transmission

3.3.1. 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.

La relation donnant la résistance R d'un cylindre de section constante (mais de forme quelconque) est la suivante :

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

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).

	ρ ($\Omega \cdot m$)	Densité (kg/m^3)	Conductivité thermique (W/m)	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	$2,78 \cdot 10^{-8}$	$2,710^3$	220	660	13	1580

quelques caractéristiques des conducteurs cuivre et Aluminium

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 \approx plusieurs lignes.

3.3.2. 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 almélec-acier.

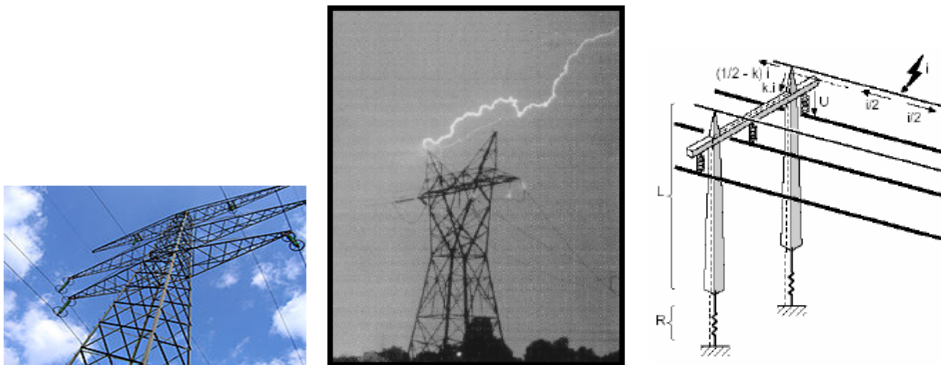
Remarque : Rôle des câbles de garde

- protection des conducteurs de phase contre les coups de foudre* direct.
- transport des courants homo polaires 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.

Coup de foudre sur un câble de garde



3.3.3. 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.

3.3.4. Capacités de transmission des lignes

la puissance à transporter ou capacités des lignes (tension). Cette capacité 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		

Niveau de transmission économique pour les lignes aériennes.

3.3.5. 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 11*).

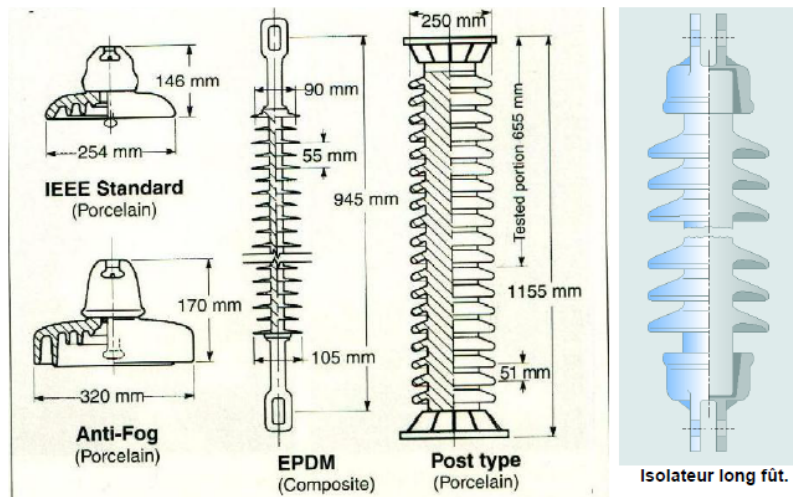
La tâche est en particulier complexe, dû à la combinaison de multiple stress : mécanique, électrique et environnemental.

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. *La Figure 12* montre schématiquement une classification des principaux types d'isolateurs en haute tension. Quelques uns de ces isolateurs utilisés dans la distribution sont présentés à *La Figure 13* de la galerie ci dessous. Référence 104*

Complément

Les isolateurs présentent quelques fois des anneaux de garde ou de contournement constitués de deux «cornes» permettant d'éloigner et d'allonger l'arc de l'isolateur, de faciliter le rétablissement de qualités diélectriques par dé-ionisation de l'intervalle d'amorçage et d'aboutir, dans certains cas, à l'extinction.

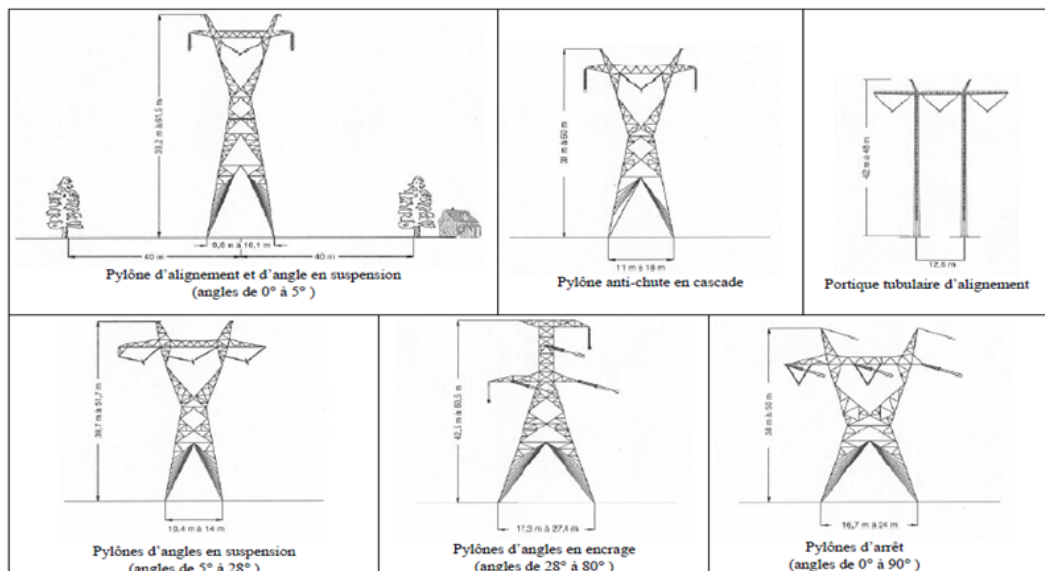


Quelques types d'isolateurs utilisés dans le réseau de transmission

3.3.6. Les pylônes

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

Méthode : Conception des pylônes



Quelques pylônes utilisés

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

3.4. Exercice : Trous 101

[solution n°4 p.21]

- pour palier à la faible rigidité mécanique

⇒ utilisation d'

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

3.5. Les câbles isolés

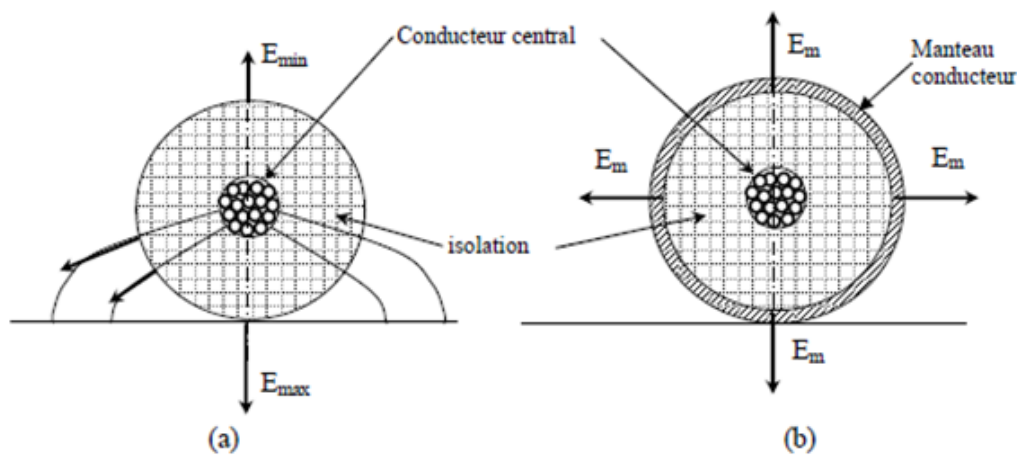
Les câbles se composent d'un (ou plusieurs) conducteurs central, d'une isolation dont la rigidité diélectrique est élevée, la permittivité et les pertes diélectriques les plus faibles possibles et d'un manteau conducteur en général mis à la terre.[1]*

Complément : Utilités

Elles sont utilisées :

- 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. Référence 105*



Câble unipolaire

(a) sans manteau (cette solution est à prohiber car la répartition des champs électriques est fonction du mode de pose); (b) avec manteau.

4. Distribution de l'énergie électrique

4.1. 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. [3]*

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

Types des postes de transformation HTA/BT



4.2. Exercice : poste HTA/BT

[solution n°5 p.21]

c'est quoi un poste HTA/BT

4.3. 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.[4]*

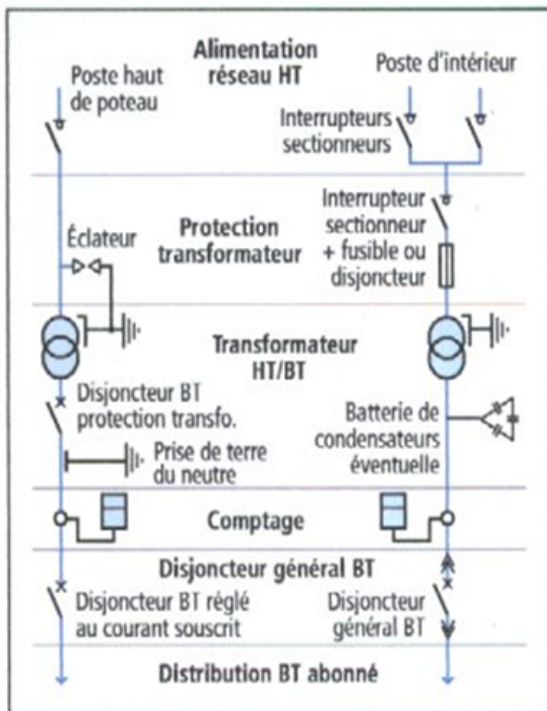


Fig. 1 : Structure générale d'un poste HTA/BT.

4.4. Exercice

Transport

Production

Distribution

[solution n°6 p.21]

5. Exercice : Réseau de distribution

La distribution d'électricité se fait en:

- Haute tension
- Basse tension

[solution n°7 p.22]

6. Classification des câbles

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

6.1. niveau de la distribution

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

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

6.2. niveau du transport

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

7. Exercice : Maîtriser les niveaux de tension sur le réseau électrique évolution n°8 p.22]



Tension de la centrale de production	Tension lors du transport	La distribution se fait en

8. Inconvénients des réseaux électriques Actuels

- Vieillesse de l'infrastructure du réseau en raison des contraintes budgétaires qui ont empêché son renouvellement et les questions de sécurité qui l'accompagnent.
- Le réseau électrique actuel est une infrastructure électromagnétique centenaire (100 ans), avec des unités de production dont l'âge moyen de 50 ans. Et un réseau de transport comprenant des transformateurs qui ont en moyenne environ 42 ans alors que la durée de vie prévue est de 40 ans ; cela diminue considérablement le rendement de ces équipement et augmente le nombre de défaillances.
- De plus l'appareillage est de type électromagnétique analogique qui n'accepte pas facilement l'intégration des nouvelles technologies numériques.
 - 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).
 - L'augmentation des pertes dans le réseaux accompagné d'un faible rendement des centrales de production de sorte que pour chaque unité d'énergie qui atteint effectivement l'utilisateur final, environ quatre unités d'énergie sont entrées dans le processus de génération, et les trois autres sont perdus(*Figure 20*).
 - La concentration d'une grande quantité de puissance produite en un seul endroit afin d'être transporté à des longues distances vers les zones de consommation dans un seul sens nécessitant un investissement massif et présente aussi une faible fiabilité lors des défauts.
 - Augmentation de la demande en énergie et réduction de la compétitivité mondiale.

- Les pertes non-techniques telles que les fraudes et le manque d'une stratégie de contrôle.

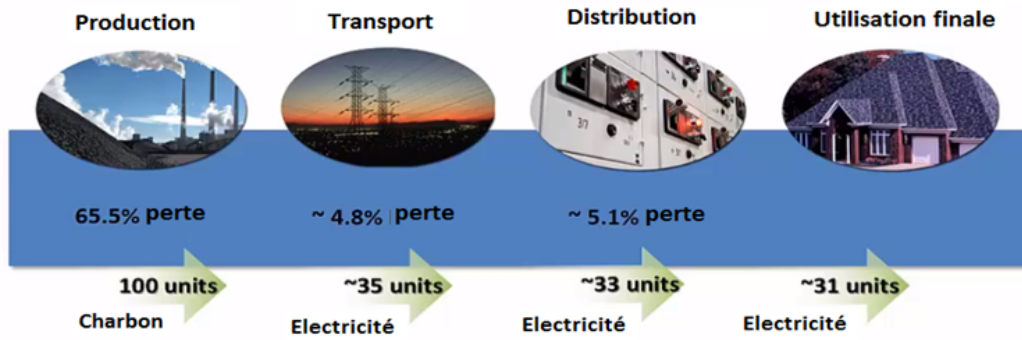


Figure20 : Inconvénients des grids

Mesure de compréhension des séquences pédagogiques de l'unité d'apprentissage 1



1. Exercice : Réseau de distribution

[solution n°9 p.22]

La distribution d'électricité se fait en:

- Haute tension
- Basse tension

2. Exercice : Câble de garde

[solution n°10 p.22]

Le rôle du câble de garde est

- protection des conducteurs de phase contre les coup de foudre direct.
- transport des courants harmoniques et polaires.
- Transport de l'énergie

3. Exercice : poste HTA/BT

[solution n°11 p.22]

c'est quoi un poste HTA/BT

4. Exercice

[solution n°12 p.23]

Transport

Production

Distribution

Solutions des exercices



> Solution n°1

Exercice p. 7

Elles sont utilisées :

- zones à fortes densités de population (agglomérations).

> Solution n°2

Exercice p. 9

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.

> Solution n°3

Exercice p. 10

Le rôle du câble de garde est

- protection des conducteurs de phase contre les coup de foudre direct.
- transport des courants homo polaires et harmoniques.
- Transport de l'énergie

> Solution n°4

Exercice p. 13

- pour palier à la faible rigidité mécanique

⇒ utilisation d'alliage

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

> Solution n°5

Exercice p. 15

c'est quoi un poste HTA/BT

C'est un transformateur abaisseur de la haute tension classe A à la basse tension



> **Solution n°6**

Exercice p. 16

Production Transport Distribution

Un réseau d'électricité doit subir ces trois phases et dans cet ordre

> **Solution n°7**

Exercice p. 16

La distribution d'électricité se fait en:

- Haute tension
- Basse tension

> **Solution n°8**

Exercice p. 17

Tension de la centrale de production	Tension lors du transport	La distribution se fait en
HTA	HT	BTA
MT	HTB	BTB
	THT	

> **Solution n°9**

Exercice p. 19

La distribution d'électricité se fait en:

- Haute tension
- Basse tension

> **Solution n°10**

Exercice p. 19

Le rôle du câble de garde est

- protection des conducteurs de phase contre les coup de foudre direct.
- transport des courants homo polaires et harmoniques.
- Transport de l'énergie

> **Solution n°11**

Exercice p. 19

c'est quoi un poste HTA/BT

C'est un transformateur abaisseur de la haute tension classe A à la basse tension

> **Solution n°12**

Exercice p. 19



Un réseau d'électricité doit subir ces trois phases et dans cet ordre

> **Solution n°13**

Exercice p. 20

Tension de la centrale de production	Tension lors du transport	La distribution se fait en
HTA	HT	BTA
MT	HTB	BTB
	THT	

> **Solution n°14**

Exercice p. 20

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.

> **Solution n°15**

Exercice p. 20

- pour palier à la faible rigidité mécanique

⇒ utilisation d'alliage

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

> **Solution n°16**

Exercice p. 20

Elles sont utilisées :

- zones à fortes densités de population (agglomérations).

Glossaire



aluminium

L'aluminium est l'élément chimique de numéro atomique 13, de symbole Al.

coup de foudre

est un phénomène qu'un individu peut expérimenter lors d'une rencontre subite avec une personne inconnue durant laquelle l'attirance est amplifiée par la sensation de surprise liée à la rencontre.

résistivité ρ

La résistivité d'un matériau, généralement symbolisée par la lettre grecque rho (ρ), représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique. Elle correspond à la résistance N 1 d'un tronçon de matériau d'un mètre de longueur et d'un mètre carré de section et est exprimée en ohms-mètres ($\Omega \cdot m$)

Abréviations

BT : Basse tension

GRTE : Gestion du réseau de transport d'électricité

HT : Haute tension

Rt : Résistance de la terre

SDA : Société de distribution d'électricité et du gaz Alger

SDC : Société de distribution d'électricité et du gaz centre (Blida)

SPE : société de production d'électricité

THT : très haute tension

Références



Référence 101

ISLAM, Boucherit Moussa; AHMED, Benzahra. Commande Adaptative Décentralisé d'un Réseau Electrique Multi-machines. 2018.

Référence 102

MOHAMED, TAIEB BENABBAS; HABIBA, MESSADIA. Régulation de tension d'un alternateur de puissance. 2018.

Référence103

MULAMBA, Fontaine Ngeleka. Perspective et choix des méthodes de production d'énergie électrique adaptées à l'équilibre écologique en République Démocratique du Congo: Cas de la Province du Katanga. International Journal of Innovation and Applied Studies, 2018, 24.4: 1908-1916.

Référence 104

KARADJIAN, Marine. Endurance et tenue diélectrique de l'isolation de câbles électriques pour l'aéronautique. 2018. PhD Thesis. Université Paris-Saclay.

Référence 105

SIAD, Ali. Pathologie des constructions en béton, diagnostic et méthodes de réparations. Etude de cas de l'effet combiné de pré-fissuration/corrosion sur les propriétés mécaniques des poutres en béton armé. 2018. PhD Thesis. Université de M'sila.

Bibliographie

[1]<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00674684/document> RIOUS, Vincent. *Le développement du réseau de transport dans un système électrique libéralisé, un problème de coordination avec la production*. 2007. PhD Thesis. Université Paris Sud-Paris XI.

[2]MULTON, Bernard. *L'énergie électrique: analyse des ressources et de la production*. In: Journées de la section électrotechnique du club EEA 1999. 1999. p. 22p. https://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/67/40/84/PDF/Energie_JEEA_1999.pdf

[3]LILIEN, Jean-Louis. *Transport et distribution de l'énergie électrique*. Cours donné à l'Institut d'Electricité Montefiore-Université de Liege, 2006, 92. <http://www.abcelectronique.com/annuaire/cours/cache/1032/transport-et-distribution-de-l-energie-electrique.pdf>

[4]DOULET, Alain. *Le concept d'énergie non distribuée, outil d'aide à la décision dans la gestion des réseaux électriques*. Réalités industrielles, 2002, aout: 62-68. <http://www.anales.org/edit/ri/2002/425/doulet062-68.pdf>