



**République Algérienne  
Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université IBN KHALDOUN –Tiaret-  
Faculté des sciences appliqué**

**Département : Génie électriques**

# ***Etude de la réalisation d'une ligne électrique***

**Présentée par :**

**Melle.Ghali Chaimaa**

**Melle.Gherrouz Soumia**

**Melle.KEBIR Samia Fatima Zahra**

**Sous la direction de**

**Dr. BEKKI Ibrahim**

**Année universitaire - 2023-2024**

# Remerciements

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier **ALLAH** le Tout Puissant, Maître des cieux et des terres, qui m'a donné la santé, le courage et la patience durant toutes ces années d'études afin que je puisse arriver là et d'accomplir ce modeste travail.*

*Tout d'abord mes sincères remerciements vont à mes chers parents qui m'ont toujours encouragés dans la poursuite de mes études ainsi que leurs aides, leur compréhension et leur soutien.*

*Je remercie ma directrice de mémoire MR BEKKI Ibrahim pour la confiance qu'elle m'a accordé en acceptant d'encadrer ce travail.*

*J'exprime également ma gratitude à tous les professeurs et enseignants à qui ont collaboré à ma formation depuis mon premier cycle jusqu'à la fin*



# Dédicaces

*J'ai l'honneur de dédier ce travail : à mon chère papa et ma chère maman  
Pour leurs efforts et leurs sacrifices durant toute ma vie, leur encouragement et  
Leur soutiens pour persévérer jusqu'à l'aboutissement de ce travail que dieu  
Leur accorde une bonne santé et une longue vie.  
J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toutes mes reconnaissances*

## SOMMAIRE

Remercîment

*Introduction générale*..... 1

### *Chapitre I*

#### *Généralités sur les réseaux électriques*

<i>I.1 Introduction</i> .....	3
<i>I.2 Description générale d'un réseau électrique</i> .....	3
<i>I.3 Différents types des réseaux et leurs fonctions</i> .....	4
<i>I.4 Les tensions dans les réseaux électrique</i> .....	5
<i>I.5 Niveaux de tension</i> .....	5
<i>I.6 Les architectures des réseaux électriques</i> .....	5
<i>I.6.1 Structure générale d'un réseau privé de distribution</i> .....	5
<i>I.6.2 Structure générale d'un réseau électrique</i> .....	6
<i>I.6.3 Les différentes structures des réseaux</i> .....	7
<i>I.6.3.1 Structure maillée</i> .....	6
<i>I.6.3.2 Structure bouclée</i> .....	7
<i>I.6.3.3 Structure radiale</i> .....	7
<i>I.6.3.4 Structure en antenne</i> .....	8
<i>I.7 Les poste de livraison</i> .....	8
<i>I.7.1 poste de livraison HTB/HTA (HT/MT)</i> .....	8
<i>I.7.2 poste HTA/HTA</i> .....	9
<i>I.7.3 Poste HTA/BT (MT/BT)</i> .....	10
<i>I.8 Effets électriques sur la ligne</i> .....	11
<i>I.8.1 Effets joule</i> .....	11
<i>I.8.2 Effet couronne</i> .....	12
<i>I.9 Composantes des lignes aériennes</i> .....	11
<i>I.9.1 Conducteurs</i> .....	11
<i>I.9.2 Les isolateurs</i> .....	12
<i>I.9.3 Supports et armements</i> .....	13
<i>I.9.4 Les câbles de garde</i> .....	14
<i>I.9.5 Autres accessoires</i> .....	14
<i>I.10 Schéma équivalent d'une ligne électrique</i> .....	15
<i>I.11 Courant de court-circuit</i> .....	16
<i>conclusion</i> .....	16

### *CHAPITRE 2*

#### *Calcul électrique d'une ligne aérienne*

<i>II.1 Introduction</i> .....	18
<i>II.2 dimensionnement des charges</i> .....	18
<i>II.2.1 Puissance installée</i> .....	18
<i>II.2.2 Puissance absorbée</i> .....	18
<i>II.2.3 Puissance d'utilisation et puissance foisonnée</i> .....	18

<i>II.3 Choix de la tension</i> .....	20
<i>II.4 Détermination de la section optimale du conducteur</i> .....	20
<i>II.4.1 Critères techniques</i> .....	21
<i>II.4.1.1 Critères de courant nominal</i> .....	21
<i>II.4.1.2 Courant de court-circuit</i> .....	22
<i>II.4.1.3 Chute de tension</i> .....	22
<i>II.4.1.4 Détermination de la longueur de la chaîne de suspension</i> .....	24
<i>II.4.1.5 Distance d'isolement</i> .....	24
<i>II.4.1.6 Distances entre conducteurs et les structures au potentiel de la terre</i> .....	24
<i>II.4.1.7 Distances entre les conducteurs de phases</i> .....	25
<i>II.4.1.7.1 Distance verticale entre phases</i> .....	25
<i>II.4.1.7.2 Distance horizontale entre phases</i> .....	25
<i>II.4.2 Critère économique</i> .....	26
<i>II.4.3 Organigramme de calcul de la section optimale</i> .....	27
<i>Conclusion</i> .....	30

## CHAPITRE 3

### *Calcul mécanique d'une ligne aérienne*

<i>III.1 Introduction</i> .....	30
<i>III.2 Conditions climatiques</i> .....	30
<i>III.3 Portée</i> .....	30
<i>III.4 Flèche</i> .....	31
<i>III.4.1 Flèche en un point quelconque</i> .....	32
<i>III.4.1.1 Portée nivelée</i> .....	32
<i>III.4.1.2 Portée dénivelée</i> .....	33
<i>III.5 Calcul de la longueur d'arc</i> .....	33
<i>III.6 Equation d'état de la corde</i> .....	33
<i>III.7 Tension mécanique maximale</i> .....	37
<i>III.8 Poids équivalent et angle d'inclinaison</i> .....	38
<i>III.9 Calcul de la portée critique</i> .....	39
<i>III.10 Calcul de paramètres divers</i> .....	39
<i>III.10.1 Flèche maximale</i> .....	40
<i>III.10.2 Garde au sol</i> .....	40
<i>III.11 Efforts appliqués au support</i> .....	40
<i>III.11.1 Pylône d'alignement</i> .....	41
<i>III.11.2 supports d'angle et d'arrêt</i> .....	41
<i>III.11.2.1 Support d'ancrage avec angle</i> .....	41
<i>III.11.2.2 Support d'arrêt</i> .....	43
<i>III.11.2.3 Support de dérivation</i> .....	44
<i>III.12 Choix des armements</i> .....	44
<i>III.13 Exemple de dimensionnement d'une ligne électrique aérienne</i> .....	45

<i>III.13.1 Données du problème</i> .....	45
<i>III.13.2 résultats du calcul</i> .....	45
<i>Conclusion</i> .....	47
<b>CONCLUSION</b> .....	50
<i>Bibliographie</i>	

## LISTES DES TABLEAUX

<b>Tableau II.1</b> Facteur d'utilisation maximum .....	20
<b>Tableau II.2</b> Facteur de simultanéité .....	20
<b>Tableau II.3</b> Niveau de tension d'alimentation en fonction de la puissance et la distance.	21
<b>Tableau II.4</b> Choix du nombre d'assiettes en fonction du niveau de tension .....	25
<b>Tableau III.1</b> Conditions climatiques de températures et de vents .....	30
<b>Tableau III.2</b> Caractéristiques du conducteur à deux états .....	34
<b>Tableau III.3</b> Caractéristique du conducteur .....	46
<b>Tableau III.4</b> Caractéristiques des isolateurs .....	46
<b>Tableau III.5</b> Les caractéristiques de la jonction .....	46
<b>Tableau III.6</b> Caractéristiques du support .....	46

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> Schéma simplifié d'un réseau électrique .....	4
<b>Figure.I.2-</b> Structure générale d'un réseau électrique .....	6
<b>Figure.I.3-</b> Structre maillée .....	7
<b>Figure.I.4-</b> Structure bouclée.....	7
<b>Figure.I.5 -</b> Structure radiale d'un réseau de distribution .....	7
<b>Figure.I.6 -</b> Structure en antenne .....	8
<b>Figure I.7 -</b> Transformateur 225KV-20KV .....	9
<b>Figure I.8 -</b> Transformateurs MT/MT .....	10
<b>Figure I.9 -</b> Transformateur MT/BT .....	10
<b>Figure I.10-</b> Poste sur poteau HTA/BT(MT/BT) .....	11
<b>Figure I.11-</b> Isolateurs rigides en verre en trois pièces avec fixation sur tige .....	13
<b>Figure I.12 -</b> Assemblages des éléments de chaîne à rotule .....	13
<b>Figure I.13 -</b> Différents types et armements des supports .....	14
<b>Figure I.14 -</b> Machon de jonction comprimé en aluminium.....	15
<b>Figure I.15 -</b> Entretoise pour faisceau triple.....	15
<b>Figure I.16 -</b> Shéma équivalent unifilaire d'une ligne T .....	16
<b>Figure I.17-</b> Shéma équivalent unifilaire d'une ligne $\pi$ .....	16
<b>Figure II.1</b> Modèle réduit et représentation vectorielle .....	24
<b>Figure II.2</b> Organigramme de calcul de la section optimale .....	28
<b>Figure III.1</b> Flèche et portée d'une ligne .....	31
<b>Figure III.2</b> Calcul de la flèche.....	32
<b>Figure III.3</b> Portée nivelée .....	33
<b>Figure III.4</b> Portée dénivelée .....	33
<b>Figure III.5</b> Efforts appliqués sur le conducteur .....	38
<b>Figure III.6</b> Les différentes distances intervenant .....	39
<b>Figure III.7</b> Efforts sur le support d'alignement.....	40
<b>Figure III.8</b> Effots sur le support d'ancrage avec angle .....	42
<b>Figure III.9</b> Effets de traction des conducteurs en angle .....	51
<b>Figure III.10</b> Support en arrêt franc.....	43
<b>Figure III.11</b> Support en ancrage sans angle .....	44
<b>Figure III.12</b> Support en dérivation sur angle .....	44
<b>Figure III.13</b> Support en dérivation sur alignement .....	44
<b>Figure III.14</b> Types des armements utilisée en moyenne tension .....	45
<b>Figure III.15</b> Les dimensions des fouills .....	47
<b>Figure III.16</b> Les différentes distances relatives au support.....	47

***INTRODUCTION***  
***GENERALE***

---

### **Introduction générale**

L'électricité est une source d'énergie flexible et adaptable, mais elle présente un défi majeur : elle est difficile à stocker, alors que la demande des consommateurs et sa coïncidence varient constamment. Par conséquent, il est crucial que la production d'électricité soit constamment égale à la consommation. Les centrales de production étant souvent situées loin des points de consommation, il est nécessaire de disposer de lignes électriques fiables pour transporter cette énergie de manière continue et optimale vers les consommateurs via un réseau de distribution.

Dans un réseau électrique, les lignes représentent les artères par lesquelles l'énergie électrique circule, de la production à la consommation. Ces lignes peuvent être aériennes ou souterraines et remplissent différents rôles (transport, interconnexion, répartition et distribution). Leur conception dépend de la puissance à transporter, de la distance à couvrir et du niveau de tension.

Pour construire une ligne électrique robuste et économique, nous avons effectué une étude détaillée des travaux de réalisation d'une ligne électrique, structurée comme suit :

Dans la première partie, nous avons présenté un aperçu général des réseaux électriques, leurs différentes fonctions, ainsi que les composants d'une ligne électrique aérienne et les concepts associés.

Dans la deuxième partie, nous avons mené une étude électrique basée sur les critères de choix de section des conducteurs et le calcul des distances d'isolement nécessaires.

La troisième partie est consacrée à l'étude mécanique de la ligne, incluant le calcul du poids équivalent, de l'angle d'inclinaison, de la tension mécanique en fonction des conditions climatiques, de la flèche maximale et de la distance entre le point le plus bas de la portée et le sol. Nous terminerons par un exemple pratique de résolution de problèmes.

En suivant cette structure, nous espérons fournir une analyse exhaustive des considérations nécessaires pour la réalisation d'une ligne électrique aérienne, assurant ainsi un transport fiable et efficace de l'énergie électrique des centrales de production aux consommateurs finaux.

# *Chapitre I*

---

*Généralités sur les réseaux électriques*

## I.1.introduction

Les réseaux électriques sont des systèmes complexes et essentiels pour la distribution de l'énergie électrique depuis les centrales de production jusqu'aux consommateurs finaux. Ils se composent principalement de lignes de transmission, de postes de transformation et de lignes de distribution. Les réseaux électriques jouent un rôle crucial dans le fonctionnement quotidien des sociétés modernes, assurant un approvisionnement fiable et continu en électricité pour les besoins résidentiels, commerciaux et industriels. La conception et la maintenance efficaces de ces réseaux sont fondamentales pour garantir leur robustesse, leur efficacité économique et leur capacité à répondre aux exigences croissantes en matière d'énergie.

## I.2 Description générale d'un réseau électrique

La génération d'électricité consiste en la conversion de l'énergie issue de sources primaire en électricité, Les sources d'énergie primaires se divisent en deux catégories : les combustibles fossiles extraits du sol, tels que le pétrole, le gaz, le charbon et l'uranium (utilisé dans la production d'énergie nucléaire), et les sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie solaire. L'électricité produite est ensuite acheminée via des lignes électriques de différentes tensions : haute tension (HT ou HTB) et basse tension (BT), conformément aux normes établies par divers organismes de régulation. Pour cela, la présence d'un réseau électrique est essentielle.

Un système de distribution électrique se compose de différentes parties ,chacune possédant des caractéristiques, des propriétés et des rôles spécifiques. Les composants principaux de ce système incluent les lignes de transmission, les sous-stations, ainsi que les postes de transformation, d'interconnexion, d'alimentation et de distribution. Ces éléments sont conçus pour fonctionner de concert afin d'assurer une distribution efficace et fiable de l'électricité depuis les points de génération jusqu'aux utilisateurs finaux. Le schéma de la figure I.1 illustre la structure typique d'un tel réseau.

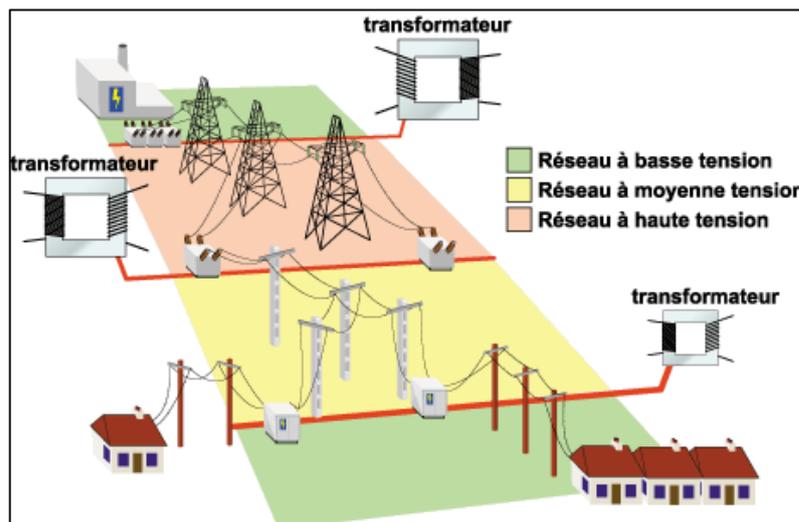


Figure I.1 - Schéma simplifié d'un réseau électrique

### I.3 Différents types des réseaux et leurs fonctions

Le parcours de l'énergie électrique, de sa source jusqu'à son point d'utilisation finale, traverse une série de réseaux distincts, chacun ayant une mission bien définie. Ces réseaux sont conçus pour gérer et distribuer l'énergie de manière efficace et sécurisée, en s'adaptant aux différentes étapes du processus de transmission. Voici les principaux types de réseaux électriques et leurs fonctions spécifiques :

- **Réseau de transport** : Il s'agit du maillage de lignes à très haute tension qui achemine l'électricité sur de longues distances, depuis les centrales de production jusqu'aux grands centres de consommation ou aux points de distribution régionaux.

- **Réseau d'interconnexion** : Ce réseau permet de connecter différents systèmes de transport d'énergie, facilitant ainsi l'échange d'électricité entre régions ou pays, et contribuant à la stabilité et à la sécurité de l'approvisionnement.

- **Réseau de répartition** : À partir des points d'interconnexion, ce réseau répartit l'énergie vers les sous-réseaux locaux, en abaissant progressivement le niveau de tension pour s'adapter aux besoins des consommateurs.

- **Réseau de distribution** : C'est le dernier maillon de la chaîne, où l'électricité est distribuée à basse ou moyenne tension aux utilisateurs finaux, tels que les foyers, les entreprises et les petites industries.

- Chaque type de réseau joue un rôle crucial dans l'acheminement de l'énergie électrique, garantissant que l'électricité produite parvient de manière fiable et sûre aux points de consommation.

### I.4. Les Tensions dans les Réseaux Électriques

La tension et la fréquence sont des paramètres essentiels pour la gestion des réseaux électriques. Le courant circulant et les pertes électriques. Les niveaux de tension, standardisés par la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), sont fondamentaux pour la classification et la conception des infrastructures électriques.

### I.5. Niveaux de Tension

- **HTB** (Haute Tension B) : pour une tension supérieure à 50 kV.
- **HTA** (Haute Tension A) : pour une tension entre 1 kV et 50 kV.
- **BTB** (Basse Tension B) : pour une tension entre 500 V et 1 kV.
- **BTA** (Basse Tension A) : pour une tension entre 50 V et 500 V.
- **TBT** (Très Basse Tension) : pour une tension inférieure ou égale à 50 V.

## I.6. Les architectures des réseaux électriques

L'architecture des réseaux électriques industriels varie en complexité selon plusieurs facteurs, notamment le niveau de tension, la puissance requise et la fiabilité de l'alimentation. Voici un aperçu général des structures de ces réseaux et des exemples de postes de livraison :

### 1.6.1. Structure Générale d'un Réseau Privé de Distribution

Dans le cas d'une alimentation en HTB, un réseau privé de distribution peut comprendre:

- Un poste de livraison HTB alimenté par une ou plusieurs sources.
- Une source de production interne.
- Un ou plusieurs transformateurs HTB/HTA.
- Un tableau principal HTA avec un ou plusieurs jeux de barres.
- Un réseau de distribution interne en HTA alimentant des tableaux secondaires ou des postes HTA/BT.
  - Des récepteurs HTA.
  - Des transformateurs HTA/BT.
  - Des tableaux et des réseaux basse tension.
  - Des récepteurs basse tension.

### 1.6.2. Structure générale d'un réseau électrique

La connexion entre les divers types de réseaux électriques est établie au moyen d'éléments spécifiques appelés postes de transformation. Ces derniers suivent une configuration définie, comme illustrée dans la figure I.2 ci-dessous, qui présente la structure globale d'un réseau reliant la production aux divers types de consommateurs.

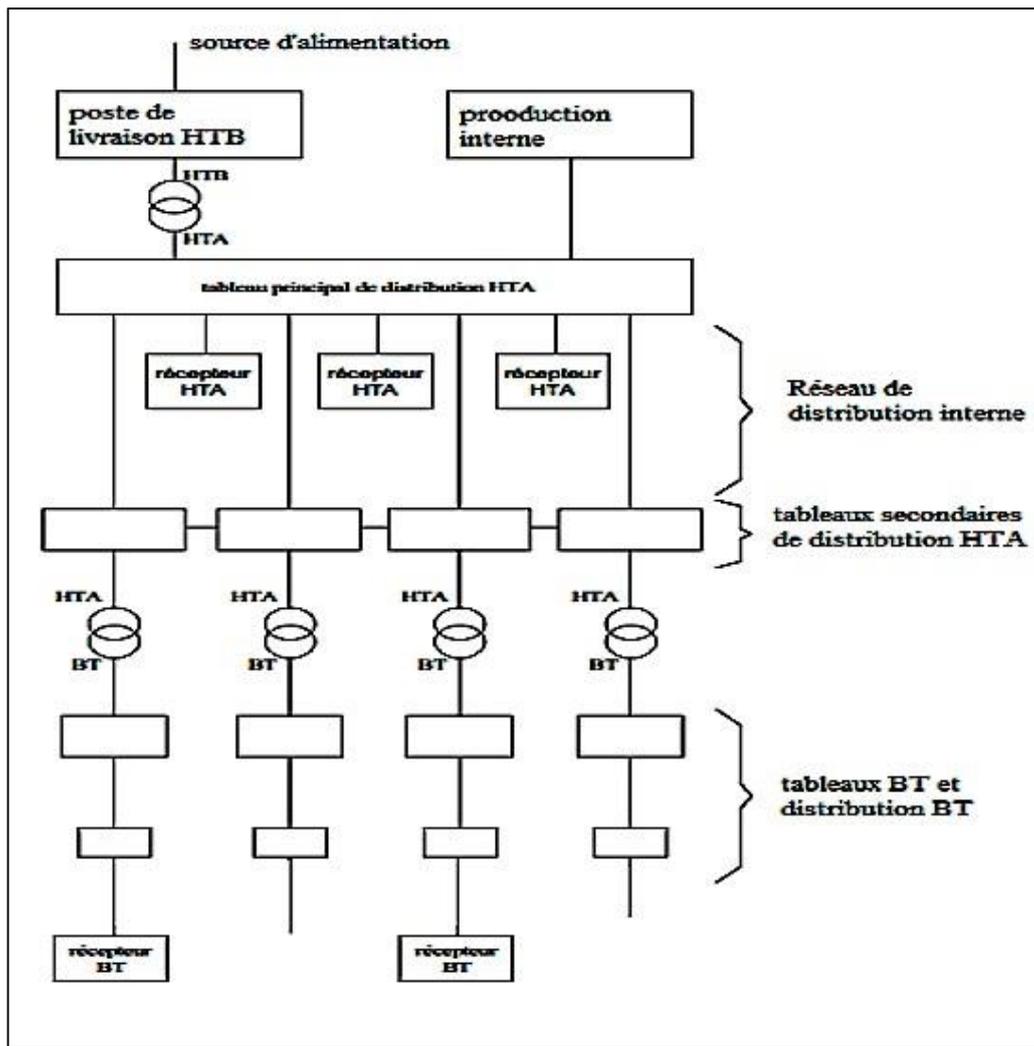


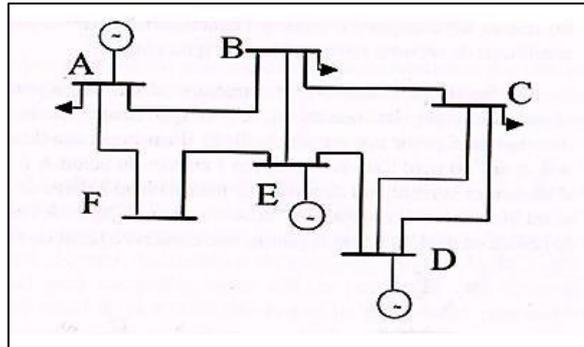
Figure.I.2- Structure générale d'un réseau électrique

### I.6.3 Les différentes structures des réseaux

Comme abordé antérieurement, nous allons procéder à l'identification des structures principales des réseaux en fonction de leurs attributions respectives. La complexité de ces structures varie en fonction du degré de fiabilité opérationnelle souhaité .

#### I.6.3.1 Structure maillée

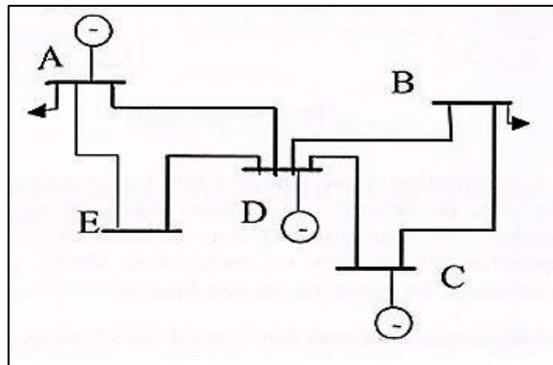
Cette structure est destinée au réseau de transport.



*Figure.I.3- Structure maillée*

### I.6.3.2 Structure bouclée

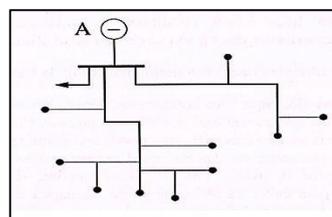
Les structures évoquées correspondent principalement aux réseaux de répartition en raison de leur rôle crucial dans la liaison entre le réseau de transport et les réseaux de distribution .



*Figure.I.4- Structure bouclée.*

### I.6.3.3 Structure radiale

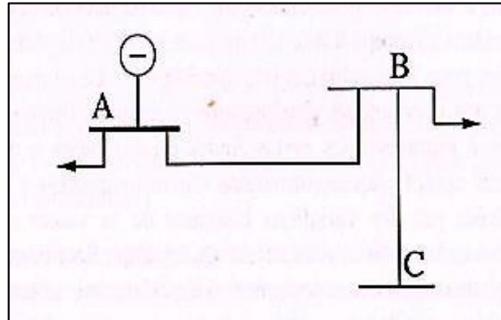
Émanant d'un point d'alimentation central, ce réseau se compose de multiples branches qui se déploient de manière ramifiée, sans pour autant converger vers un même point, rappelant ainsi la structure d'un arbre. Cette configuration est caractéristique des réseaux de distribution.



*Figure.I.5- Structure radiale d'un réseau de distribution.*

### I.6.3.4 Structure en antenne

Une disposition distinctive concerne les réseaux en antennes, souvent rencontrés en milieu rural pour fournir de l'électricité à des consommateurs éloignés, souvent en bout de ligne. Cette situation représente un défi majeur en termes de sécurité d'alimentation .



*Figure.I.6 - Structure en antenne*

## I. 7. Les Postes de Livraison

### I.7.1 Poste de Livraison HTB/HTA (HT/ MT)

- **Transformation:** Haute Tension (HTB) en Haute Tension (HTA).

- **Composants HTB:**

- Points d'arrivée HTB
  - Jeux de barres HTB
  - Transformateurs
  - Dispositifs de protection
- Composants HTA
- Cellules d'arrivée

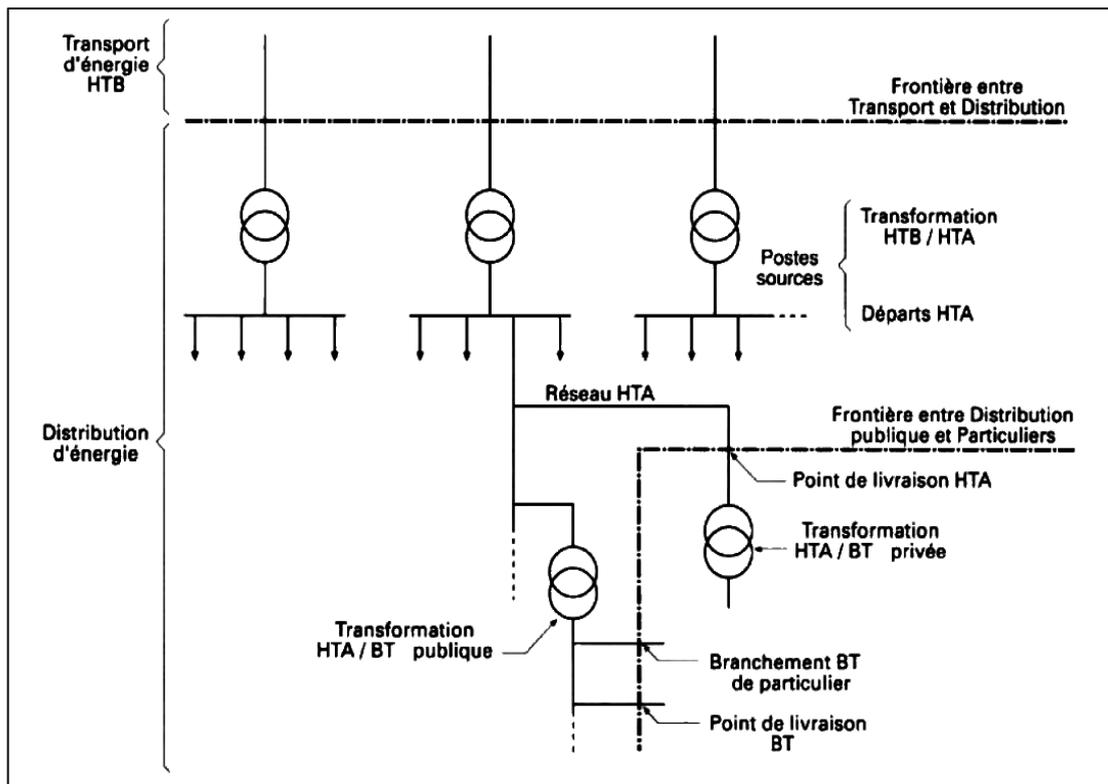


Figure.I.7-Transformateur 225KV-20KV

- **Normes:** Sécurité et efficacité strictes

- **Configuration typique:** 2 points d'arrivée HTB, 2 transformateurs HTB/HTA, 10 à 20 sorties HTA

### I.7.2 Poste HTA/HTA

- **Fonction:** Connecter et transformer les segments du réseau de moyenne tension.

- **Composants:**

- Cellules d'arrivée

- Transformateurs MT/MT

- Jeux de barres MT

- Cellules de départ

- Équipements de protection

- **Objectif:** Distribution efficace et sécurisée, maintien de la stabilité du réseau

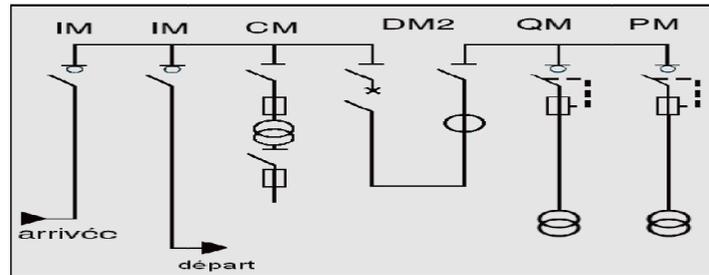


Figure.I.8 - Transformateurs MT/MT

### I.7.3 Poste HTA/BT (MT/BT)

- **Transformation:** Moyenne Tension (HTA) en Basse Tension (BT).
- **Composants:**
  - Équipement HTA pour raccordement
  - Transformateur HTA/BT
  - Tableau des départs BT
- **Caractéristiques:** Ré-alimentation en cas de défaillance, surveillance constante du réseau

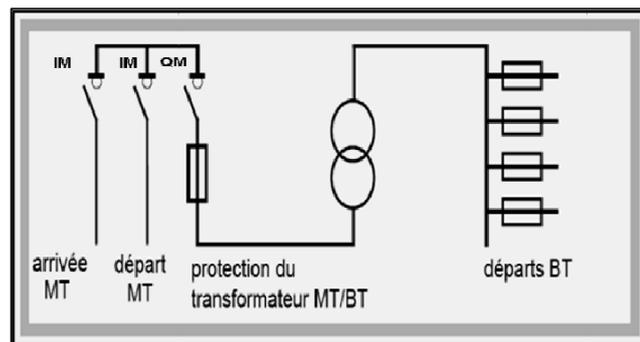


Figure.I.9- Transformateur MT/ BT

### Poste HTA/BT (MT/BT) en Haut du Support

- **Configuration:** Installé sur poteau, commun dans les réseaux de distribution.
- **Composants:**
  - Interrupteur aérien à commande mécanique
  - Éclateurs ou parafoudres
  - Transformateur
  - Disjoncteur BT
  - Fusibles de protection
- **Alimentation:** Ligne MT aérienne

- **Distribution:** Électricité BT via lignes aériennes ou câbles souterrains
- **Sécurité:** Mise à la terre essentielle
- **Avantages:** Compacts, assurent la fiabilité de l'alimentation électrique .

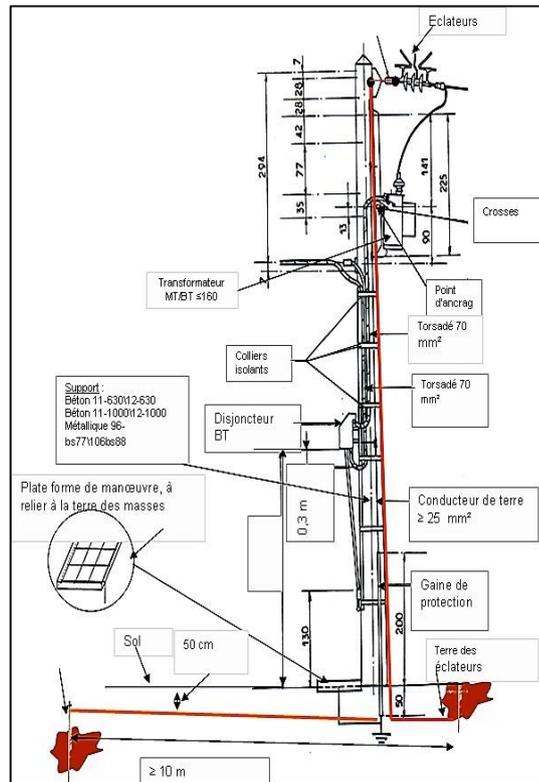


Figure I.10 - Poste sur poteau HTA/BT (MT/BT).

## I.8. Effets electriques sur la ligne

### I.8.1 Effets joule

L'effet joule se matérialise par la chaleur qui se dégage lors du passage du courant électrique au sein de matériaux conducteurs comme les câbles en cuivre. Cette chaleur est due à la résistance opposée par les conducteurs et leurs atomes au courants électrique.

-L'effet joule nécessite donc de surdimensionner la puissance électrique au départ du circuit afin de délivrer , au bout du chemin , la bonne quantité d'energie .

### I.8.2. Effet couronne

L'effet de couronne est un phénomène électrique qui se produit lorsque le champ électrique autour de conducteurs sous haute tension atteint une valeur critique, provoquant l'ionisation de l'air environnant. Cela se manifeste par une lueur bleuâtre et un bruit caractéristique. L'intensité de cet effet est influencée par plusieurs facteurs.

- Champ électrique superficiel
- Conditions atmosphériques
- État de surface des câbles
- **I.9 Composantes des lignes aériennes**
- **I.9.1 Conducteurs**

Un conducteur électrique est un corps qui laisse passer le courant électrique et qui s'oppose donc au isolant électrique. Les métaux sont par exemple des conducteurs d'électricité.

### I.9.2 Les isolateurs

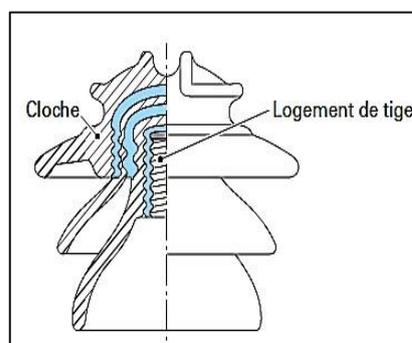
Les isolateurs sont des composants cruciaux dans les systèmes de transmission d'électricité, assurant à la fois l'isolation électrique et le soutien mécanique.

Électriquement, ils doivent isoler efficacement les conducteurs sous tension de tout contact avec la terre ou d'autres conducteurs. Mécaniquement, ils sont conçus pour supporter le poids considérable des conducteurs, résistant aux forces telles que la tension mécanique et les charges environnementales.

- On distingue principalement deux catégories d'isolateurs :

- **Isolateur rigide** : Ce type d'isolateur est fixé solidement au support par des ferrures. Il est conçu pour résister aux forces de flexion et de compression et peut être installé verticalement, horizontalement ou même obliquement selon les besoins.

- **Élément de chaîne** : Composé d'un matériau isolant et de pièces métalliques, cet isolateur offre une connexion flexible avec d'autres éléments similaires, la pince de suspension ou le support. Ils sont souvent utilisés en suspension, formant des chaînes d'isolateurs qui peuvent être disposées verticalement ou horizontalement. Les éléments de chaîne se déclinent en deux types principaux : les isolateurs à capot et tige et les isolateurs à long fût, chacun ayant des caractéristiques spécifiques adaptées à différentes applications.



*Figure I.11 Isolateurs rigides en verre en trois pièces avec fixation sur tige.*

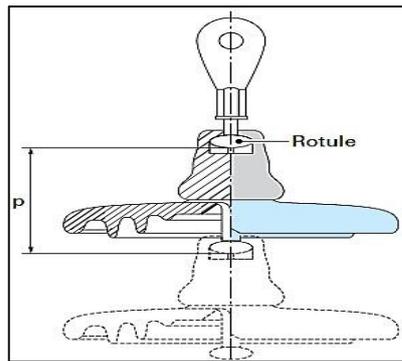


Figure I.12 Assemblage des éléments de chaîne à rotule.

### I.9.3. Supports et armements

Les supports tels que les pylônes et les poteaux sont des éléments fondamentaux des réseaux de transport et de distribution d'électricité. Ils assurent le maintien des câbles à une hauteur sécuritaire au-dessus du sol et des obstacles, garantissant ainsi la sécurité des personnes et des biens à proximité.

Le choix du type de support est influencé par les contraintes mécaniques, le relief du terrain et les considérations esthétiques. Les matériaux utilisés pour les supports varient, incluant le bois, le béton armé et l'acier, et leur conception peut aller de simples poteaux à des pylônes treillis complexes. Ces structures sont essentielles pour une distribution d'électricité fiable et sécurisée.

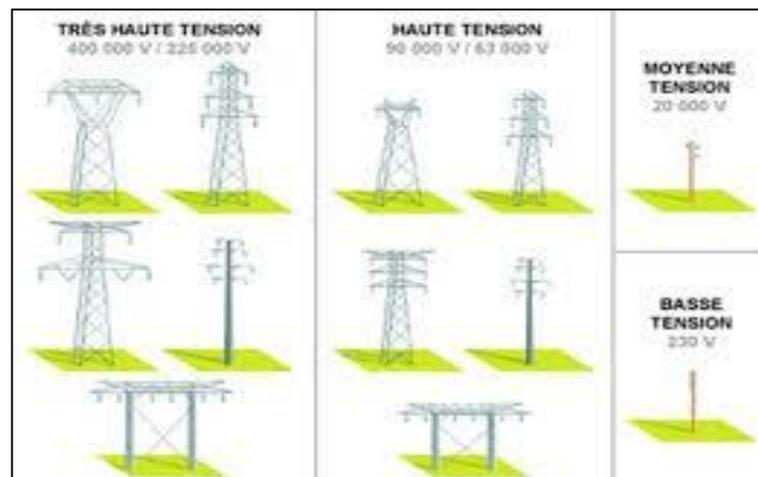


Figure I.13- différents types et armements des supports.

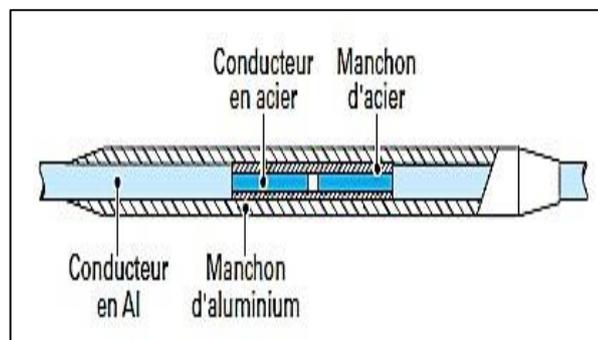
Les configurations des conducteurs ou des armatures des lignes électriques sont diverses, pouvant prendre différentes formes telles que le triangle, le drapeau, la nappe, etc.

### I.9.4 Les câbles de garde

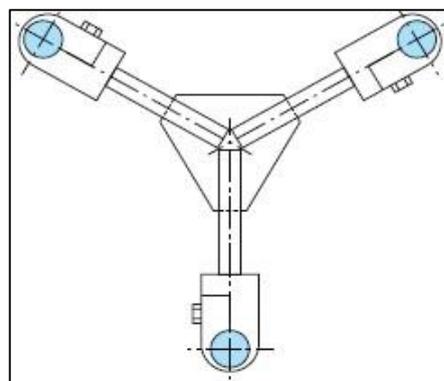
Les câbles de garde dans les réseaux électrique aériens agissent comme des boucliers électriques contre les coups de foudre, dirigent les surtensions vers la terre, et uniformisent la mise à terre des pylônes. De plus, certains câbles intègrent des fibres optiques pour la transmission de données cruciales, les transformant en outils de communication stratégiques. les câbles de garde assurent à la fois la protection contre les interférences environnementales et la fonction de communication, renforçant ainsi la sécurité et l'efficacité des lignes électriques.

### I.9.5 Autres accessoires

Dans les installations de lignes électriques aériennes, plusieurs composants essentiels sont utilisés. Les connecteurs assurent la jonction des câbles, tandis que les dispositifs de maintien les fixent aux isolateurs. Pour les lignes organisées en faisceaux, des entretoises maintiennent des espacements entre les câbles individuels. En outre, divers accessoires sont attachés directement aux câbles, comme des dispositifs de signalisation lumineuse pour la visibilité nocturne, des indicateurs diurnes et des repères pour protéger les oiseaux. Des dispositifs tels que des masses d'équilibrage, des poids pour la tension, des dispositifs anti-vibration et des systèmes d'amortissement des mouvements sont également utilisés pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité des lignes électriques



*Figure I.14- Manchon de jonction comprimé en aluminium-acier.*



*Figure I.15- Entretoise pour faisceau triple.*

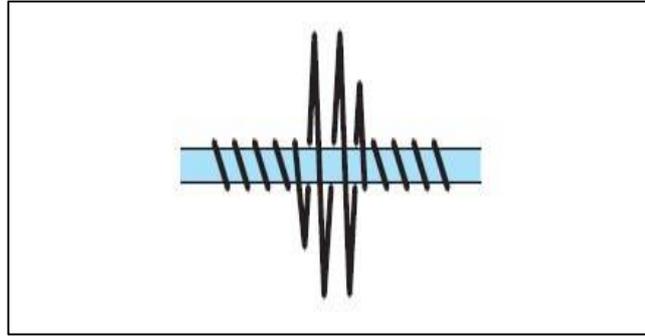


Figure I.16- Balise avifaune.

### I.10 Schéma équivalent d'une ligne électrique

Pour les besoins de la modélisation, une ligne électrique peut être symbolisée par un schéma équivalent unifilaire, qui peut prendre la forme d'un schéma en T ou en  $\pi$ , en fonction de la configuration de la ligne à représenter. La Figure I.16 et I.17 présentent les deux cas de figure

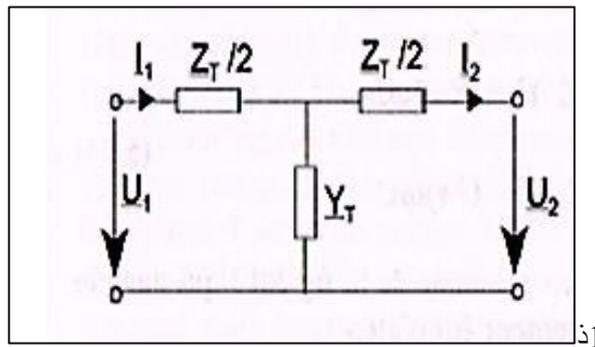


Figure I.17- schéma équivalent unifilaire d'une ligne en T.

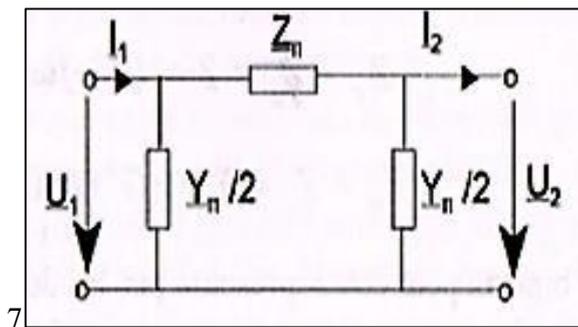


Figure I.18- schéma équivalent unifilaire d'une ligne en  $\pi$ .

### I.11 Courant de court-circuit

Un courant de court-circuit survient typiquement lorsqu'un circuit électrique est fermé sur une impédance extrêmement basse ou inexistante. Ce phénomène peut se manifester lorsqu'une ou plusieurs phases d'un réseau électrique ou d'un appareil sont accidentellement reliées à la terre. Il peut également se produire lors d'un raccordement accidentel entre des phases avec une impédance trop faible pour restreindre le courant de court-circuit. Ces incidents sont souvent qualifiés de courants de « défaut », car ils indiquent un dysfonctionnement du

système électrique et de ses composants. Les courants résultants de ces défauts sont généralement de grande intensité, atteignant souvent un multiple du courant nominal, pouvant aller jusqu'à dix fois sa valeur normale .

**Conclusion:**

Une compréhension approfondie des structures et des fonctions des divers réseaux électriques, ainsi que la connaissance des composants des lignes, sont essentielles. Cela garantit la continuité du service et assure la sécurité des individus et des équipements. Prévenir les incidents comme les courts-circuits et mettre en place des mesures de protection adéquates sont primordiaux pour maintenir l'intégrité du système électrique et la sécurité de tous.

# *Chapitre II*

---

*Calcul électrique d'une ligne aérienne*

## II.1 Introduction

Le calcul des lignes électriques pour le transport d'énergie est en effet un sujet complexe qui englobe des défis tant électriques que mécaniques, particulièrement pour les lignes aériennes. Voici une approche simplifiée pour aborder les calculs électriques essentiels.

## II.2 dimensionnement des charges

Lors de la planification d'une installation électrique, il est crucial de déterminer correctement la puissance nécessaire que devra fournir la source d'énergie choisie. Voici les étapes pour un dimensionnement efficace :

1. Inventaire des équipements
2. Calcul de la puissance maximale
3. Prise en compte de la diversité d'utilisation
4. Évaluation du niveau d'utilisation réel
5. Anticipation du niveau d'utilisation futur

### II.2.1 Puissance installée

La puissance installée, notée  $P_{inst}$ , représente la somme totale des puissances nominales,  $P_{nom}$ , de tous les appareils présents dans une installation. La formule pour calculer la puissance installée est la suivante :

$$P_{inst} = \sum P_{nom}(\text{récepteur}) \quad (\text{II. 1})$$

### II.2.2 Puissance absorbée

La puissance absorbée,  $P_{abs}$  d'un appareil électrique est déterminée par sa puissance nominale,  $P_{nom}$  le rendement,  $\rho$ , et le facteur de puissance,  $\cos(\phi)$ . La formule est

$$P_{abs} = P_{nom} \times \rho \times \cos(\phi) \quad (\text{II. 2})$$

### II.2.3 Puissance d'utilisation et puissance foisonnée

La puissance d'utilisation,  $P_u$ , est calculée en ajustant la puissance absorbée de chaque récepteur avec un facteur d'utilisation maximum,  $K_u$ . Ce facteur reflète que la puissance réellement utilisée peut être inférieure à la puissance nominale. La formule est :

$$P_u = K_u \cdot P_{abs} \quad (\text{II. 3})$$

Le facteur ( $K_u$ ) est appliqué à chaque récepteur pour refléter leur régime de fonctionnement spécifique, offrant une estimation plus précise de la puissance réellement utilisée. Cette méthode est cruciale pour dimensionner correctement les systèmes électriques et assurer que la source d'énergie est adéquate sans être surdimensionnée

<b>Utilisation</b>	<b><math>K_u</math></b>
--------------------	-------------------------

<b>Force motrice</b>	0.75 à 1
<b>éclairage</b>	1
<b>chauffage</b>	1
<b>Ventilation</b>	1
<b>PC</b>	1

*Tableau II.1 facteur d'utilisation maximum*

La puissance foisonnée,  $P_f$  est utilisée dans la conception des systèmes de distribution électrique pour tenir compte du fait que tous les récepteurs ne fonctionnent pas simultanément à pleine capacité. La formule est :

$$P_f = K_s * P_u = K_s * K_u * P_{abs} \quad (II.4)$$

Où :

- $K_s$  est le facteur de simultanéité, reflétant la probabilité de fonctionnement simultané des récepteurs.

- $P_u$  est la puissance d'utilisation, ajustée par le facteur d'utilisation  $K_u$ .

- $P_{abs}$  est la puissance absorbée par les récepteurs.

L'application du facteur de simultanéité  $K_s$  permet de dimensionner l'infrastructure électrique de manière plus économique et efficace, évitant le surdimensionnement pour des charges non simultanées. Cette pratique optimise les coûts tout en garantissant la fiabilité du système.

Utilisation	$K_s$
<b>Eclairage</b>	1
<b>chauffage</b>	1
<b>Prise de courant</b>	0.1 à 0.2
<b>Ascenseur</b>	1

*Tableau II.2 facteur de simultanéité.*

### II.3 Choix de la tension

Pour transporter efficacement l'énergie électrique sur de longues distances, des tensions alternatives élevées, jusqu'à 1MV, sont utilisées. La puissance économique optimale d'une ligne de transport est proportionnelle au carré de la tension ( $U^2$ ), ce qui signifie que doubler la tension peut théoriquement quadrupler la puissance transportée. Pour contrôler la chute de tension sur de longues distances, la tension doit être augmentée proportionnellement à la distance. Les hautes tensions permettent ainsi de transporter l'énergie sur de grandes distances sans coûts supplémentaires significatifs pour la compensation. La tension de service est choisie en fonction de la puissance à transporter et de la distance, tout en tenant compte du niveau de tension au point de raccordement et des coûts d'investissement nécessaires. Le

Tableau II.3 présente les niveaux de tension en fonction de la puissance et de la distance de transport

Tension(KV)	Puissance(MW)	Distance(Km)
<b>63</b>	20	
<b>150</b>	80	100
<b>225</b>	200	200
<b>400</b>	700	400
	1200	100
<b>750</b>	2500	200
	1000	600

*Tableau II.3 - niveaux de tension d'alimentation en fonction de la puissance et de la distance.*

#### II.4 Détermination de la section optimale du conducteur

Dans toute démarche de dimensionnement, il est essentiel de prendre en considération à la fois les aspects techniques et économiques .

## II.4.1 Critères techniques

Pour choisir la section d'un câble, il est nécessaire de vérifier plusieurs critères :

1. Courant nominal : Quel est le courant nominal qui circulera dans le câble ?
2. Puissance de court-circuit : Le câble peut-il supporter la puissance de court-circuit
3. Chute de tension : La chute de tension est-elle bien en dessous de la limite acceptable ?

À partir d'un certain niveau de tension, il est également crucial de s'assurer que l'effet couronne reste minimal. Ces vérifications permettent de déterminer une section techniquement optimale, mais non normalisée. Par conséquent, il est recommandé de choisir une section standardisée immédiatement supérieure.

### II.4.1.1 Critères de courant nominal

Effectivement, lors du dimensionnement d'un câble électrique, il est crucial de prendre en compte le courant maximal qui pourrait y circuler à la fin de sa période d'utilisation prévue. Cela garantit que le câble reste fiable et sécurisé tout au long de sa durée de vie, même lorsque la demande en énergie atteint son pic. Voici les considérations à prendre en compte :

1. Capacité de charge à long terme
2. Augmentation de la demande
3. Vieillesse des matériaux
4. Facteurs environnementaux

$$P_T = P_{depart} * (1+a)^T \quad (\text{II. 5})$$

où :

- $P_T$  représente la puissance après 'T' années, exprimée en mégawatts (MW).
- $P_{depart}$  est la puissance initiale au début de l'utilisation.
- $a$  est le taux d'augmentation annuel de la puissance.
- $T$  est le nombre d'années d'utilisation projetées.

Pour le courant dans chaque phase, la formule peut être réécrite comme :

$$I_{N,T} = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (\text{II. 6})$$

où:

- $I_{N,T}$  est le courant dans chaque phase après 'T' années, exprimé en ampères (A).
- $U$  est la tension nominale du système.
- $\cos \varphi$  est le facteur de puissance.

Enfin, pour choisir la section du câble, optez pour la section normalisée immédiatement supérieure qui peut supporter le courant  $I_{N.T}$ , en tenant compte des normes de sécurité et des conditions d'utilisation prévues. Cela garantira que le câble puisse gérer la puissance maximale prévue en fin de vie.

#### • II.4.1.2 Courant de court-circuit

Pour calculer le courant de court-circuit  $I_{cc}$  qui peut traverser un conducteur en cas de défaut, et ainsi vérifier la contrainte thermique des conducteurs actifs, on utilise la formule de la puissance de court-circuit  $S_{cc}$ . La formule est la suivante :

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3}.U} \text{ MVA} \quad (\text{II. 7})$$

Où :

- $s_{cc}$  est la puissance de court-circuit en MVA (Mégavoltampères).
- $U$  est la tension composée du système en volts.
- $I_{cc}$  est le courant de court-circuit en ampères (A).

Cette équation permet de calculer le courant de court-circuit maximal au départ du câble, assurant ainsi que le câble peut supporter la chaleur résultante sans être endommagé. Il est crucial de sélectionner des conducteurs capables de gérer non seulement le courant nominal lors d'une utilisation standard, mais également le courant de court-circuit en cas de défaut. Ce choix garantit la sécurité et la fiabilité du système électrique à long terme

#### II.4.1.3 Chute de tension

La sélection de la section transversale 'S' d'une portion de ligne a un impact direct sur la chute de tension observée. Afin de garantir que la tension fournie aux consommateurs demeure dans les limites acceptables à travers le réseau, il est nécessaire de contrôler la chute de tension entre la source d'alimentation et le point le plus éloigné ou le plus affecté par cette chute. Dans un scénario théorique, la chute de tension maximale admissible serait en corrélation avec la longueur cumulée des segments de ligne disposés en série. Cette approche permet de maintenir une qualité de service uniforme sur l'ensemble du réseau électrique.

Pour vérifier cet effet, nous nous assurons que la section du câble répondant au courant nominal et celle répondant au courant de court-circuit, comme déterminées précédemment, ne provoquent pas une chute de tension dépassant la limite prescrite. Pour évaluer la chute de tension dans le câble, nous utilisons le modèle classique suivant.

(schéma équivalent monophasé).



Figure II.1 : modèle réduit et représentation vectorielle

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \sqrt{3} \frac{I_n}{U_n} (R'_{70^\circ} L \cos \varphi + X' L \sin \varphi) \quad (II. 8)$$

Où

$$\Delta U = |U_2| - |U_1| \neq |U_2 - U_1| \quad (II. 9)$$

Avec

$$R_{70^\circ} = R_{20^\circ} (1 + \alpha \Delta \theta) \quad (II. 10)$$

Ainsi, nous pouvons calculer la résistance maximale de la ligne à une température de 20°C. Dans le cas des lignes, nous ne tenons pas compte des effets capacitifs car leurs valeurs sont approximativement 50 fois plus faibles que celles des câbles. Pour l'impédance longitudinale, nous utilisons généralement une valeur de départ de 0,4 Ω/km.

#### • II.4.1.4 Détermination de la longueur de la chaîne de suspension

Pour déterminer le nombre d'assiettes nécessaires au maintien de la distance de contournement, nous pouvons utiliser le tableau suivant comme méthode d'évaluation rapide : [6]:

Tension $U_n$ (KV)	Nombre d'assiettes
15	1 à 2
90	5 à 6
120	6 à 7
150	7 à 8

Tableau II.4 Choix du nombre d'assiettes en fonction du niveau de tension.

La longueur de la chaîne d'isolateurs est obtenue en multipliant le pas par le nombre d'assiettes.

### II.4.1.5 Distance d'isolement

La distance d'isolement d'une ligne aérienne est déterminée par sa tension entre phases. Cette tension définit l'isolement de la ligne, assuré en maintenant des intervalles d'air suffisamment longs entre les conducteurs et les objets à potentiel de terre, ainsi qu'entre les conducteurs eux-mêmes, dans toutes les conditions. Ces intervalles d'air sont constamment exposés à la tension de la ligne, mais ils subissent également des contraintes exceptionnelles, notamment les surtensions induites par la foudre. De plus, ils peuvent varier en fonction des conditions climatiques telles que la température, la vitesse du vent, la surcharge de givre ou de neige, ainsi que sous l'effet d'efforts électrodynamiques causés par un défaut. La détermination de la distance d'isolement d'une ligne est donc complexe, ce qui explique les divergences entre les réglementations ou directives utilisées dans différents pays.

### II.4.1.6 Distances entre conducteurs et les structures au potentiel de la terre

Les distances entre conducteurs et masse des supports doivent respecter certaines règles. Ce sont les distances entre les matériels sous tension (conducteurs, anneaux de garde, bretelles de continuité ou antivibratoires) et la charpente métallique ou l'armement des supports (pylône ou poteau).

$$E_{Phase-neutre} = \frac{U_N}{150} \quad (\text{II. 11})$$

### II.4.1.7 Distances entre les conducteurs de phases

La vérification de la distance entre phases doit être effectuée pour les conducteurs d'un même circuit ou pour deux conducteurs de circuits voisins portés par un même support.

#### II.4.1.7.1 Distance verticale entre phases

$$E_{Phase\_phase} = \frac{U_N}{150} + CFI \sqrt{f_{max} + SL} \quad (\text{II. 12})$$

$U_N$  est la tension nominale [kV], CFI le coefficient qui dépend de la nature du conducteur  $f_{max}$  la flèche maximale [m] et SL la longueur de la chaîne d'isolateur [m] [13].

#### • II.4.1.7.2 Distance horizontale entre phases

$$E_{phase.horizontale} \geq \frac{0,8}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} E_{phase\_phase} \quad (\text{II. 13})$$

• Dans le cas des pylônes de suspension et d'ancrage on a  $\beta = 0$ , mais dans le cas des pylônes d'angle  $\beta \neq 0$

### • II.4.2 Critère économique

Prenons le cas simple d'une puissance à transporter entre deux points sous une tension  $U$ . Il est évident que plus la section du conducteur est grande, plus le coût de la ligne est élevé mais les pertes seront réduites. Ainsi, il est possible de chercher à déterminer une section optimale

#### Section économique

Lors de l'achat et de l'installation d'un câble, évaluer le coût total incluant l'achat, la pose et les coûts d'utilisation sur sa durée de vie est crucial. Les pertes dues à la résistance du conducteur entraînent également des coûts après l'installation. Il est donc important d'estimer une section théorique minimisant le coût global actualisé sur la durée de vie du câble. Parfois, une section plus grande peut entraîner un coût global inférieur, malgré un coût initial d'achat plus élevé, en raison de pertes réduites à long terme.

$$CT = A + BS + \frac{C}{S} \quad (\text{II. 14})$$

Avec :

CT = coût global sur les 'T' années

A = frais fixes (pose, coût fixe pour les trois phases, ...)

B.S = prix des câbles pour les trois phases

C/S = coûts d'actualisation

S = section du conducteur du câble [mm<sup>2</sup>]

$$C = 3\rho LI_N^2 N p f \quad (\text{II. 15})$$

$\rho$  = résistivité du matériau conducteur à 75° [Ω/mm]

L = longueur de la ligne (en millimètres)

$I_N$  = courant nominal en début de vie de la ligne (en ampères)

N = nombre d'heures d'utilisation équivalent à la pleine charge au niveau des pertes [h/an]  
p = prix du kWh de pertes, coût des pertes par kWh.

f = facteur d'actualisation (qui dépend du taux d'actualisation, du taux d'intérêt, et du pourcentage d'accroissement du prix du kWh)

La section optimale économique (SOE) est celle qui annule la dérivée de CT est:

$$S = \sqrt{\frac{C}{B}} \quad (\text{II. 16})$$

•II.4.3 Organigramme de calcul de la section optimale

La figure II.2 représente un organigramme de calcul de la section d'une ligne aérienne.

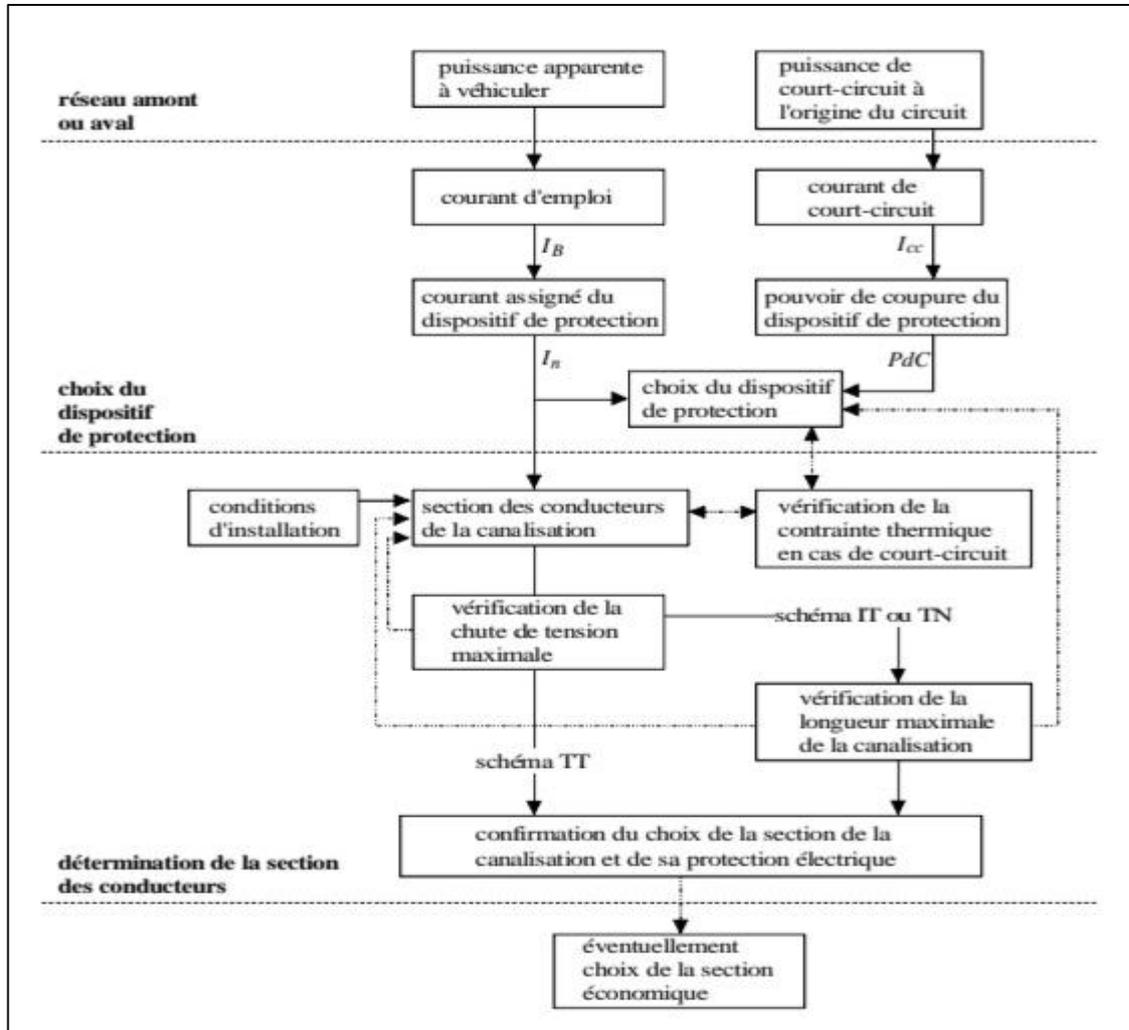


Figure II.2 Organigramme de calcul de la section optimale

Conclusion

Le calcul électrique d'une ligne repose sur des études technico-économiques qui visent à sélectionner des équipements fiables offrant un bon rendement tout en restant à un coût acceptable. Ces calculs permettent également de déterminer avec précision les distances d'isolement nécessaires pour garantir une continuité sécurisée du système électrique.

# *Chapitre III*

---

*Calcul mécanique d'une ligne aérienne*

### III.1 Introduction

Avant d'entamer la construction d'une ligne, il est essentiel d'effectuer le calcul mécanique, qui inclut l'analyse de l'effort de traction et de la flèche de la corde en fonction de la distance entre les pylônes (portée), afin de dimensionner correctement les pylônes. Ce chapitre présente les méthodes de calcul utilisées dans ce processus de dimensionnement.

### III.2 Conditions climatiques

Dans l'élaboration d'un projet de ligne électrique, le concepteur doit tenir compte des conditions climatiques qui influent sur son calcul, notamment les températures, l'action du vent, ainsi que les éventuelles surcharges de glace, de givre ou de neige. [13].

Les hypothèses climatiques concernant les températures et le vent à prendre en considération dans notre travail sont répertoriées dans le tableau suivant : III.1.

Zones	HYP.R Temp.Max vent	HYP.A Temp.Max vent	HYP.B Temp.Min vent	HYP.C Temp.Giv vent	HYP.EDS Temp.Moy vent
Littoral	+ 45°C 0 daN/m <sup>2</sup>	+ 20°C 48 daN/m <sup>2</sup>	- 5°C 18 daN/m <sup>2</sup>		+ 20°C 0 daN/m <sup>2</sup>
Hauts plateaux	+ 50°C 0 daN/m <sup>2</sup>	+ 20°C 48 daN/m <sup>2</sup>	- 10°C 18 daN/m <sup>2</sup>	- 5°C +Giv 48 daN/m <sup>2</sup>	+ 20°C 0 daN/m <sup>2</sup>
Sahara	+ 55°C 0 daN/m <sup>2</sup>	+ 25°C 48 daN/m <sup>2</sup>	- 5°C 18 daN/m <sup>2</sup>		+ 25°C 0 daN/m <sup>2</sup>
Coefficient de sécurité		K = 3	K = 3	K = 1.75	K = 5

*Tableau III.1 Conditions climatiques de températures et de vents*

- HYP.R : Hypothèse de répartition
- HYP. E.D.S: Hypotheses Every Day Stress
- HYP.A : Hypothèse des vents forts
- HYP.B : Hypothèse des grands froids et vents réduits
- HYP. C : Hypothèse givrée

### III.3 Portée

Une portée de câbles fait référence à la distance entre deux supports consécutifs, tels que des pylônes, comme illustré dans la figure. III.1.

• Concernant les portées des lignes, en raison de l'éventuelle irrégularité des distances entre pylônes, nous définissons les longueurs suivantes :

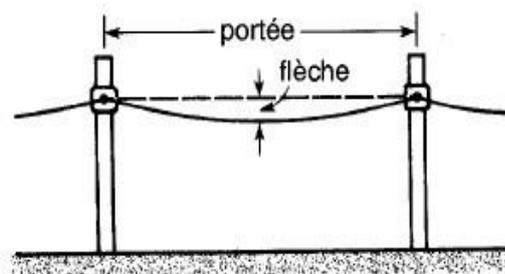
- Portée basique ou normale : La plus économique.
- Portée moyenne : La moyenne arithmétique des différentes portées.

• Portée équivalente : Cette valeur se rapproche généralement de la portée moyenne lorsque le nombre de portées augmente. C'est sur cette valeur que se calcule la tension horizontale à appliquer au canton:

$$L_{\text{éq}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}} \quad (\text{III. 1})$$

• Portée en conditions de vent : Il s'agit de l'addition des moitiés de portée de chaque côté d'un pylône. Cette mesure est importante pour évaluer les contraintes mécaniques exercées sur la partie supérieure du pylône.

• Portée en conditions de poids : Cette longueur est calculée en additionnant les distances entre le pylône et les points les plus bas de chaque côté des portées adjacentes. Elle est essentielle pour estimer la charge statique due au poids des câbles sur la structure de support. .



*Figure III.1 flèche et portée d'une ligne*

### III.4 Flèche

Un fil tendu entre deux supports (poteaux) ne prend pas une forme horizontale ; il adopte plutôt une courbure. La distance verticale entre la ligne droite qui relie les deux points de support et le point le plus bas du fil est appelée "flèche". Plus le fil est tendu, plus la flèche est courte.

En se référant à la figure III.2 ci-dessous, nous calculons les forces agissant sur un élément  $ds$  de la corde de section  $S$ , avec :

- $\sigma$ : tension de la corde [N/mm<sup>2</sup>]
- $\gamma_0$ : poids spécifique de la corde [N/mm<sup>2</sup>, m]
- $\gamma_s$ : poids supplémentaire [N/mm<sup>2</sup>, m]
- $\gamma$ : poids total de la corde [N/mm<sup>2</sup>, m]

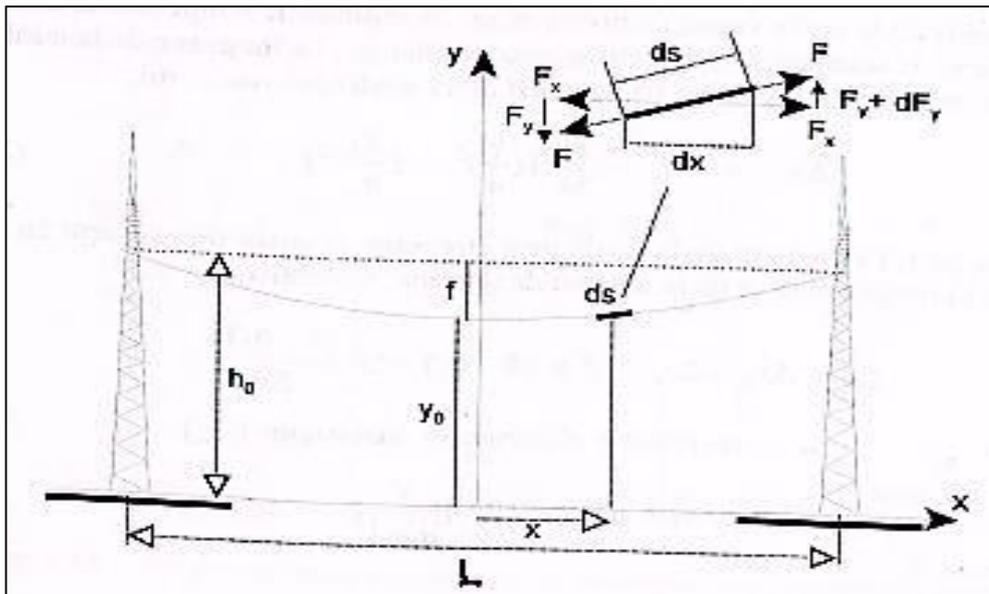


Figure III.2 calcul de la flèche

Pour  $x = \frac{L}{2}$

$$y = h_0 = y_0 \left( 1 + \frac{L^2}{8y_0^2} \right) \quad (\text{III. 2})$$

Pour  $x = 0$

$$y = y_0 = h_0 - f \quad (\text{III. 3})$$

$$f = \frac{L^2}{8y_0} \quad (\text{III. 4})$$

$f$ : étant la flèche entre deux points situés au même niveau

### III.4.1 Flèche en un point quelconque

#### III.4.1.1 Portée nivelée

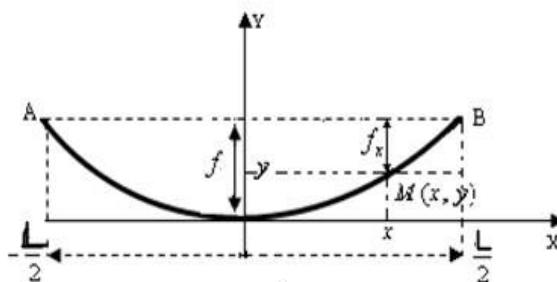


Figure III.3 Portée nivelée.

$$f_x = \frac{L^2 - 4x^2}{8y_0} \quad (\text{III. 5})$$

### III.4.1.2 Portée dénivelée

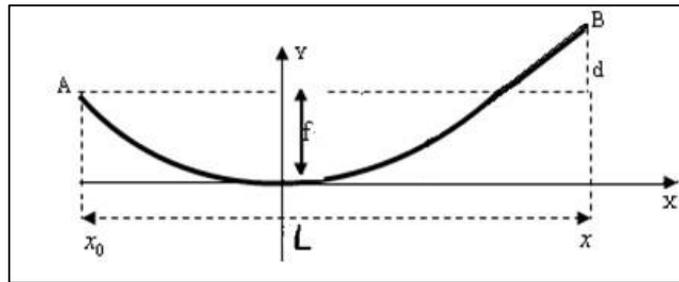


Figure III.4 Portée dénivelée

$$x_0 = \frac{L}{2} - \frac{y_0 d}{L} \quad (\text{III. 6})$$

### III.5 Calcul de la longueur d'arc

La longueur d'arc se définit comme la longueur de la corde entre deux supports. Elle est déterminée par l'intégration de l'élément  $x = -\frac{L}{2}$  jusqu'à  $x = \frac{L}{2}$

$$S_{AB} = S = L + \frac{\gamma^2 L^3}{24 \sigma^2} \quad (\text{III. 7})$$

's' étant la longueur d'arc

### III.6 Equation d'état de la corde

Le tableau III.2 Ci-dessous donne les caractéristiques du conducteur à l'état initial et à l'état final.

	ETAT INITIAL	ETAT FINAL
Température	1	2
tension de la corde	1	2
Poids total	$\gamma_1$	$\gamma_2$
Longueur	$s_1$	$s_2$

Tableau III.2 Caractéristiques du conducteur à deux états.

La température affecte significativement l'étirement des câbles, influençant ainsi la tension de traction et la flèche. Il est crucial de vérifier que, même dans les conditions les plus extrêmes, la tension de traction ne dépasse jamais la valeur critique .

La variation de longueur du câble entre ces deux états est égale à :

$$\Delta S = \frac{\gamma_2^2 L^3}{24 \sigma_2^2} - \frac{\gamma_1^2 L^3}{24 \sigma_1^2} \quad (\text{III. 8})$$

Cette variation de longueur est due à :

- L'allongement du câble sous l'effet des variations de température entre les deux états :

$$\Delta_S = s_1 \left[ \left( \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) + \alpha(\theta_2 - \theta_1) \right] \quad (\text{III. 9})$$

$\alpha$ : étant le coefficient de dilatation du métal (1/mK)

La déformation élastique du câble :

$$\Delta_S = \frac{\gamma_2^2 L^3}{24\sigma_2^2} - \frac{\gamma_1^2 L^3}{24\sigma_1^2} = s_1 \left[ \left( \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) + \alpha(\theta_2 - \theta_1) \right] \quad (\text{III. 10})$$

Où E est le module de Young du conducteur (N/m<sup>2</sup>) et S sa section (mm<sup>2</sup>).

$$\Delta_S = s_1 \left[ \left( \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) + \alpha(\theta_2 - \theta_1) \right] \quad (\text{III. 11})$$

Tenant compte de ces deux équations, (III.10) et (III.11) il s'écrit:

$$\Delta_S = \frac{\gamma_2^2 L^3}{24\sigma_2^2} - \frac{\gamma_1^2 L^3}{24\sigma_1^2} = s_1 \left[ \left( \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) + \alpha(\theta_2 - \theta_1) \right] \quad (\text{III. 12})$$

L étant la portée et  $s_1$  la longueur d'arc, on peut admettre que pour les portées courantes et peu dénivelées, L est très voisine de  $s_1$ .

Ainsi l'équation (III.12) devient :

$$\frac{\gamma_2^2 L^3}{24\sigma_2^2} - \frac{\gamma_1^2 L^3}{24\sigma_1^2} = \left[ \left( \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) + \alpha(\theta_2 - \theta_1) \right] \quad (\text{III. 13})$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) = \frac{\gamma_2^2 L^3}{24\sigma_2^2} - \frac{\gamma_1^2 L^3}{24\sigma_1^2} - \left( \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) \quad (\text{III. 14})$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) = \left( \frac{\gamma_2^2 L^3}{24\sigma_2^2} - \frac{\sigma_2}{E} \right) - \left( \frac{\gamma_1^2 L^3}{24\sigma_1^2} - \frac{\sigma_1}{E} \right) \quad (\text{III. 15})$$

$$\frac{\gamma_2^2 L^3}{24\sigma_2^2} - \frac{\sigma_2}{E} - \alpha\theta_2 = \left( \frac{\gamma_1^2 L^3}{24\sigma_1^2} - \frac{\sigma_1}{E} \right) - \alpha\theta_1 = \text{cste} \quad (\text{III. 16})$$

Où « cste » est une constante adimensionnelle.

Cette équation est souvent écrite sous la forme suivante:

$$\frac{\gamma^2 L^2}{24\sigma^2} - \frac{\sigma}{E} - \alpha\theta = \text{cste} \quad (\text{III. 17})$$

Lorsque l'on recherche  $\theta_2$  connaissant les conditions de l'état de référence (1), le problème consiste alors à trouver une solution à l'équation (III.15) du troisième degré en  $\theta_2$  suivante[6],[25]:

$$\sigma_2^3 + \sigma_2^2 = \left( \frac{\gamma^2 L^2}{24\sigma^2} - \frac{\sigma_2}{E} \right) \cdot \left( \frac{\gamma_1^2 L^3}{24\sigma_1^2} - \frac{\sigma_1}{E} \right) \quad (\text{III. 18})$$

T: étant la tension mécanique de conducteur en Newton et p le poids du conducteur

$$\sigma = \frac{T}{S}$$

$$p = (\gamma_0 + \gamma_s)S = \gamma S \quad (\text{III. 19})$$

En tenant compte de (III.15) et (III.16), les équations (III.17) et (III.18) peuvent s'écrire sous la forme :

$$\frac{p^2 L^2}{24T^2} - \frac{T}{ES} - \alpha\theta = cste \quad (\text{III. 20})$$

$$T_2^3 + T_2^2 \left[ \frac{p_1^2 L^2}{24T^2} ES + \alpha(\theta_2 - \theta_1)ES - T_1 \right] = \frac{p_2^2 L^2}{24} ES \quad (\text{III. 21})$$

L'équation peut s'écrire sous la forme :

$$\sigma_2^3 + A\sigma_2^2 - B = 0 \quad (\text{III. 22})$$

Avec

$$A = \frac{p_1^2 L^2}{24T^2} ES + \alpha(\theta_2 - \theta_1)ES - T_1 \quad (\text{III. 23})$$

$$B = \frac{p_2^2 L^2}{24} ES \quad (\text{III. 24})$$

La résolution de l'équation non linéaire se fait numériquement par la méthode de newton.

Soit une équation  $f(x)$  non linéaire et  $f'(x)$  sa dérivée[24].

$$f(T_n) = T_n^3 + AT_n^2 - B \quad (\text{III. 24})$$

Avec  $f(x) = \text{constante}$

Appliquée à l'équation de changement d'état (III.58) et posant:

$$f(T_n) = T_n^3 + AT_n^2 - B \quad (\text{III. 25})$$

Alors

$$f'(T_n) = 3T_n^2 + 2AT_n \quad (\text{III. 26})$$

Et par suite le calcul itératif se fera avec l'algorithme suivant :

$$T_{n+1} = T_n - \frac{T_n^3 + AT_n^2 - B}{3T_n^2 + 2AT_n} \quad (\text{III. 27})$$

Cette méthode de calcul nous permet d'évaluer les tensions dans le câble en fonction de l'hypothèse choisie, identifiée ici comme « HYP.R ». Cette hypothèse sert de base pour l'analyse des contraintes subies par le câble.

Note importante sur le rapport de tension : Il est essentiel que le rapport entre la tension nominale, calculée selon l'hypothèse HYP.R, et la tension de rupture du câble ne dépasse pas 20%. Ce seuil est crucial pour le dimensionnement du câble, car il prévient la rupture par fatigue, notamment au niveau des pinces d'ancrage qui maintiennent le câble.

Raison d'être de ce critère : Ce rapport limite garantit que le câble peut résister aux sollicitations mécaniques sans défaillance prématurée. Maintenir ce rapport sous le seuil recommandé assure une durabilité accrue du câble et une sécurité optimale dans son fonctionnement quotidien. [6].

### III.7 Tension mécanique maximale

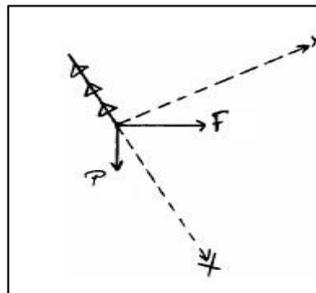
Pour les lignes aériennes, le matériau utilisé détermine son poids spécifique et sa tension de rupture. Un coefficient de sécurité, typiquement de 3, est appliqué, limitant la tension maximale autorisée à un tiers de la tension de rupture. Cette précaution assure la sécurité et la robustesse de la ligne, réduisant les risques de rupture sous surcharge ou conditions extrêmes, et prolongeant la durée de vie de la ligne. [6]:

$$T_{max} = \frac{1}{3} T_{rupture} \quad (\text{III. 28})$$

### III.8 Poids équivalent et angle d'inclinaison

Étude de la capacité portante des chaînes d'isolateurs.

Dans cette analyse, il est crucial de confirmer que les chaînes d'isolateurs peuvent supporter les charges requises. Cela implique de s'assurer que la somme des forces appliquées pointe adéquatement vers le sol et est suffisamment robuste pour empêcher une inclinaison excessive des chaînes sous l'effet du vent, afin de maintenir les espacements nécessaires entre les conducteurs et les structures avoisinantes.



*Figure III.5 efforts appliqués sur le conducteur*

En projetant les différentes forces selon l'axe 'x' nous pouvons écrire

$$p \cos \varphi + F \sin \varphi = P_{equi} \quad (III. 29)$$

Avec

$P_{equi}$  = le poids équivalent

$p$  = le poids du conducteurs (poids propre plus surcharge éventuelle)

$F$  = la force due au vent horizontal

$F$  est exprimé par la relation suivante

$$F = C_x . V . d \quad (III.30)$$

Où  $C_x$  est le coefficient de traînée du câble et 'd', son diamètre et 'V' est la pression du vent.

Si l'on projeté les différentes forces selon l'axe 'y' on peut écrire :

$$F \cos \varphi - p \sin \varphi = 0 \quad (III.31)$$

$$F \cos \varphi = p \sin \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{F}{p}$$

$$\varphi = \arctan \left( \frac{F}{p} \right) \quad (III. 32)$$

$\varphi$  = est l'angle d'inclinaison du conducteur sous l'effort du vent.

### III.9 Calcul de la portée critique

L'équation de transition d'état est utilisée pour déterminer la portée critique, au-delà de laquelle l'hypothèse pour l'été, désignée « HYP.A », devient plus contraignante que l'hypothèse pour l'hiver, appelée « HYP.B ». [25].

On considère que cette portée de longueur  $L_{cr}$  est soumise à une tension maximale admissible dans le conducteur  $\sigma_{max}$ .

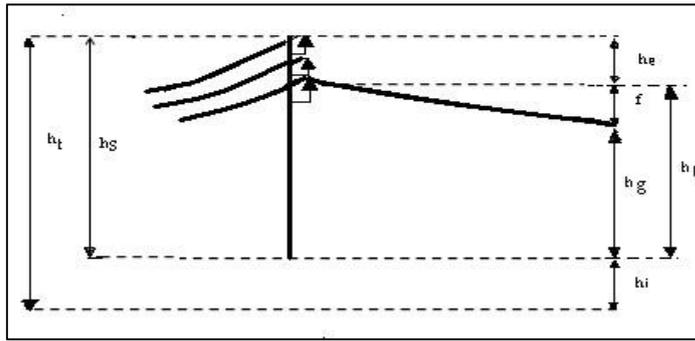
$$\frac{p_2^2 L_{cy}^2}{24 T_{max}^2} - \frac{T_{max}}{ES} - \alpha \theta_2 = \frac{p_1^2 L_{cy}^2}{24 T_{max}^2} - \frac{T_{max}}{ES} - \alpha \theta_1 \quad (III. 33)$$

$$\frac{p_2^2 L_{cy}^2}{24 T_{max}^2} - \alpha \theta_2 = \frac{p_1^2 L_{cy}^2}{24 T_{max}^2} - \alpha \theta_1 \quad (III. 34)$$

$$\frac{L_{cy}^2}{24 T_{max}^2} (p_2^2 - p_1^2) = \alpha (\theta_2 - \theta_1) \quad (III. 35)$$

$$L_{cy} = \sqrt{\frac{24 T_{max}^2 \alpha (\theta_2 - \theta_1)}{(p_2^2 - p_1^2)}} \quad (III. 36)$$

### III.10 Calcul de paramètres divers



**Figure III.6** les différentes distances intervenant dans le dimensionnement d'un support de ligne électrique.

$h_e$  : encombrement au sommet du support

$h_i$  : implantation (enfouissement du support)

$h_s$  : hauteur hors-sol du support

$h_p$  : hauteur du support sous fil (point de suspension)

$h_t$  : hauteur totale du support

#### III.10.1 Flèche maximale

Dans des conditions des températures importante et vent réduit (HYP.R), la flèche des conducteurs d'une portée sera la plus importante, cette dernière est appelé flèche maximal. Elle est exprimée à partir de

$$f_{max} = \frac{p_{HYP.R} L^2}{8.T_{HYP.R}} \quad (III.37)$$

#### III.10.2 Garde au sol

La "garde au sol" désigne la distance entre le point le plus bas du conducteur d'une ligne électrique et le sol. Cette mesure est cruciale pour déterminer la hauteur des supports nécessaires dans les installations de lignes électriques aériennes. En règle générale, une valeur de base de six mètres (6 m) est souvent utilisée, bien que cette mesure puisse varier en fonction de la tension de la ligne et de la présence d'obstacles tels que des bâtiments, des routes ou des terrains agricoles à proximité...

### III.11 Efforts appliqués au support

Les "efforts appliqués au support" font référence aux forces exercées sur la structure qui soutient une ligne électrique aérienne, comme un poteau ou un pylône. Ces forces peuvent être dues au poids des câbles, aux charges éoliennes, aux charges de glace, aux tensions des câbles, ou à d'autres facteurs environnementaux. Il est crucial de prendre en compte ces efforts lors de

la conception et de l'installation des supports pour assurer leur résistance et leur stabilité, garantissant ainsi la sécurité et la fiabilité du réseau électrique.

### III.11.1 Pylône d'alignement

Les supports de suspension ou d'alignement ont uniquement pour rôle de maintenir les conducteurs à une hauteur suffisante au-dessus du sol.

En général un support d'alignement est soumis à un effort horizontal exercé par le vent sur les conducteurs et un effort vertical dû au poids des conducteurs (avec ou sans givre)[24].

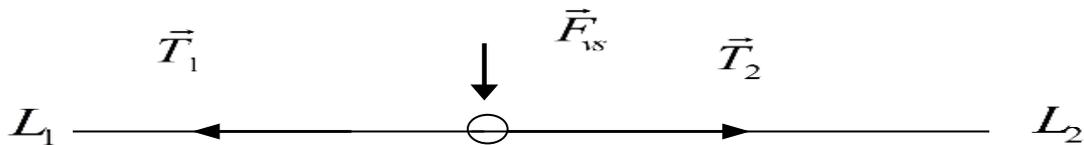


Figure III.7 Efforts sur le support d'alignement

#### -Effort du vent

L'effort du vent  $F_{vs}$  sur un support a n conducteurs en alignement se calcul comme suit :

$$F_{VS} = V. n. d. \frac{L_1+L_2}{2} \quad (III.38)$$

Où

$V$  : la pression du vent sur les conducteurs,  $nd$ : somme des diamètres des conducteurs en mètres,

$L_1$  et  $L_2$  les portées adjacentes .

**Effort de traction** : L'effort de traction  $T$  est tel que :

$$T=T_1 + T_2 \quad (III.39)$$

Si les deux portées adjacentes sont égales ( $L_1= L_2$ ) et leurs conducteurs identiques, les deux tentions mécaniques égales et opposées s'annulent. Dans le cas contraire, le support subit dans la direction de la ligne un effort égal à la différence des tensions mécaniques.

L'effort résultant  $F_R$  sur le support est alors tel que:

$$F_R = F_{VS} + T \quad (III.40)$$

$$F_R = V. n. d. \frac{L_1+L_2}{2} + T_1 + T_2 \quad (III.41)$$

### III.11.2 supports d'angle et d'arrêt

A la différence des pylônes d'alignement, les pylônes d'angle et d'arrêt sont soumis à des efforts permanents importants dus aux angles du tracé ou à l'arrêt des câbles. Ces pylônes ont une orientation par rapport à l'axe de la ligne qui répond à des exigences particulières.

### III.11.2.1 Support d'ancrage avec angle

Le support d'ancrage et d'arrêt se trouvent aux limites de cantons de pose et sont contigus à deux supports, l'angle quant à lui est utilisé lorsque l'on veut ou l'on doit imposer un changement de direction à la ligne[6].

**-Effort du vent** : Les deux portées adjacentes étant égales ( $L_1=L_2$ ) et leurs conducteurs identiques, le vent de force  $F_{VS}$

Souffle dans le sens de la bissectrice de l'angle formé par les deux conducteurs. La résultante du vent sur le support est  $F_R$  et se trouve sur la bissectrice. Pour chaque demi- portée, nous avons:

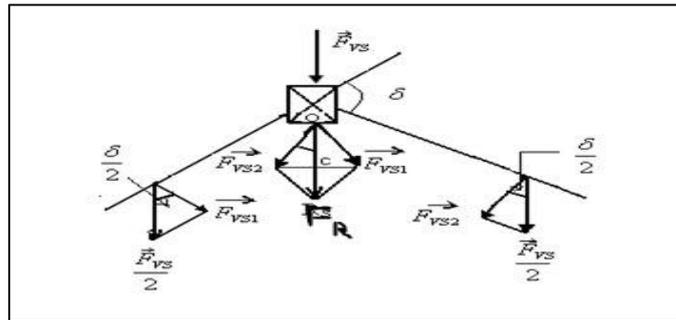


Figure III.8 Efforts sur le support d'ancrage avec angle

$$F_{VS1} = F_{VS2} = \frac{F_{VS}}{2} \cos \frac{\delta}{2} \quad (III.42)$$

$$F_{VS} = 2F_{VS1} \cos \frac{\delta}{2} \quad (III.43)$$

$$F_R = F_{VS} \cos^2 \left( \frac{\delta}{2} \right) \quad (III.44)$$

- **Effort de traction** : Les deux portées étant égales et leurs conducteurs identiques pour une ligne rigide, si  $T_1=T_2=T$ , la résultante OP se trouve sur la bissectrice de l'angle forme par les deux conducteurs.

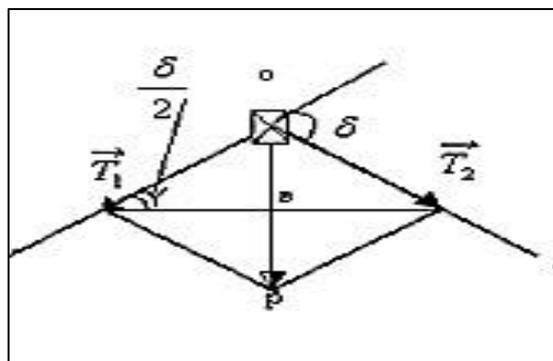


Figure III.9 effet de traction des conducteurs en angle

$$OB = T \sin \frac{\delta}{2} \quad (III.45)$$

$$OP = 2 T \sin \frac{\delta}{2} \quad (III.46)$$

‘S’où un nouveau coefficient de surcharge[10].

Les supports d’angle sont déterminés suivant l’effort résultant sur le support dans le sens horizontal perpendiculaire à la ligne .

NB: on néglige  $\cos^2 \left(\frac{\alpha}{2}\right)$  pour  $\alpha < 30 Gr$  (III.47)

Dans laquelle :

$F_R$  : est l’effort résultant appliqué au support en (daN)

$T$  : tension mécanique maximale de l’ensemble des conducteurs pour le canton considéré et reportée à 0.25 m en dessous du sommet en (daN).

$V$  : l’effort du vent sur tous les conducteurs en (daN).

$\alpha$  : L’angle de ligne

### III.11.2.2 Support d’arrêt

Un "support d'arrêt" est une structure utilisée dans les installations de lignes électriques pour fournir un point d'ancrage ou de support à un câble, généralement à la fin d'une section de ligne ou à un changement de direction. Ces supports sont conçus pour maintenir la tension et la stabilité des câbles, ainsi que pour empêcher leur mouvement ou leur déformation indésirable. Ils peuvent prendre différentes formes, comme des poteaux d'angle, des pylônes ou des structures spécialement conçues, et sont essentiels pour assurer la sécurité et la fiabilité du réseau électrique.

**Arrêt franc :** Le vent sur les conducteurs est compensé par le vent prévu sur le support dans le sens de T il ne sera pas tenu compte dans le calcul.

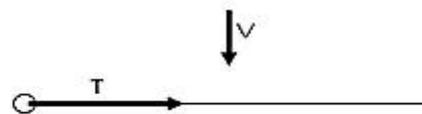


Figure III.10 support en arrêt franc

$$F=(T_1 + T_2) + T_3 + V \quad (III.48)$$

**Ancrage sans angle :**

$T$ =valeur la plus grande entre  $T_1$  et  $T_2$

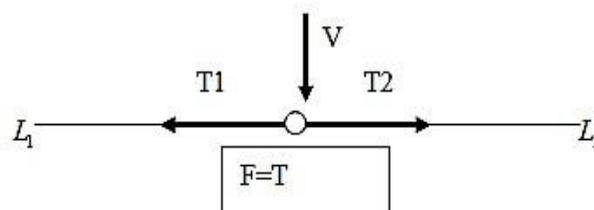


Figure III.11 support en ancrage sans angle

### III.11.2.3 Support de dérivation

#### Dérivation sur angle

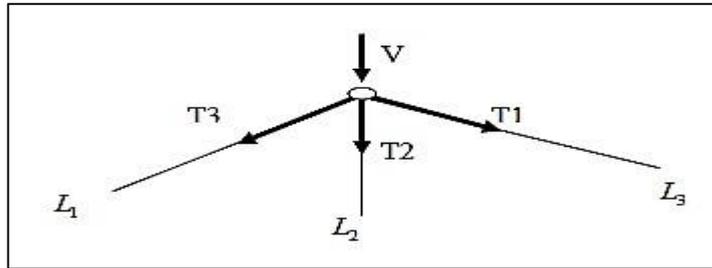


Figure III.12 : support en dérivation sur angle

$$F = (T_1 + T_2) + T_3 + V \quad (III.49)$$

#### Dérivation sur alignement

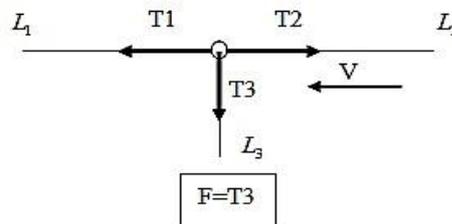
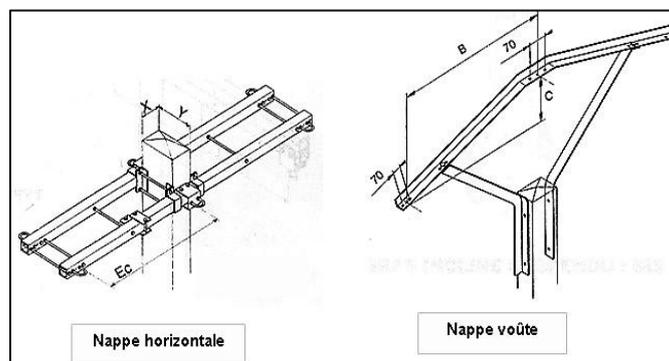


Figure III.13 support en dérivation sur alignement

### III.12 Choix des armements

Le design des lignes électriques dépend de la tension de ligne, du nombre de circuits, du type de conducteurs et de la configuration des circuits. Il faut aussi considérer la protection contre la foudre, le terrain et l'espace disponible. En régions enneigées, il est conseillé d'éviter l'alignement vertical des conducteurs pour prévenir les chocs dus à la chute de neige. Pour les basses et moyennes tensions, un arrangement horizontal sans câbles de terre est préférable, tandis que pour les hautes et très hautes tensions, diverses configurations sont possibles.[6].



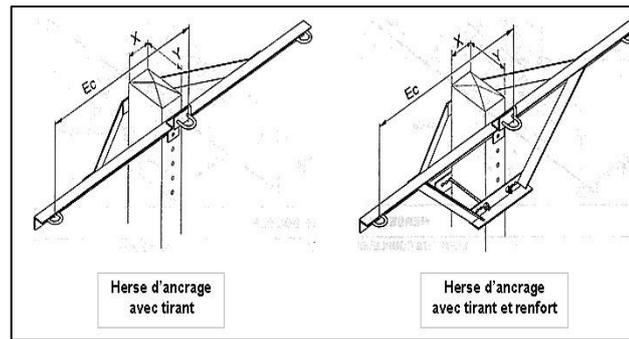


Figure III.14 Types d'armements utilisés en moyenne tension

### III.13 Exemple de dimensionnement d'une ligne électrique aérienne

#### III.13.1 Données du problème

Pour une ligne électrique aérienne de 25 km utilisant un conducteur ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) et devant transporter 15 MW sous une tension nominale de 50 kV, il faut considérer plusieurs critères. Avec une utilisation annuelle de 800 heures à pleine charge sur 25 ans et une augmentation annuelle de la puissance de 2,5%, la ligne doit maintenir un facteur de puissance de 0,95. Le conducteur a une résistivité de  $0,283 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$  et une masse volumique de  $2700 \text{ kg/m}^3$ . La puissance de court-circuit ne doit pas dépasser 800 MVA sur 2 secondes avec une chute de tension maximale de 8%. Le coût du kWh de perte est de 0,058 €, et le conducteur coûte 5,20 €/kg. La répartition des supports est de 70% d'alignement, 15% d'angle et 15% d'arrêt, avec des angles maximaux de  $35^\circ$ . La sélection de la section du conducteur prend en compte la résistivité, la température, les pertes de tension et les coûts totaux, afin d'assurer sécurité et efficacité économique sur la durée de vie prévue de la ligne.

#### III.13.2 résultats du calcul

Voici les résultats de notre calcul.

• Concernant le conducteur utilisé les caractéristiques sont regroupées dans le tableau III.3 cidessous.

Caractéristiques du conducteur	Valeurs
Section économique	318mm <sup>2</sup>
Nombre des brins	37
Diamètre nominal	3.31mm
Diamètre extérieur	23.2mm
Résistance linéique à 20°C	0.1761 Ohm/Km
Coefficient de dilatation	23.10-6K-1
Tension de rupture	102500.00 N

Tableau III.3 caractéristique du conducteur

Les isolateurs utilisés ont pour caractéristiques résumé dans le tableau III.4 ci-après

Caractéristiques des isolateurs	valeurs
Nombre d'assiette	3
Modèle d'assiette	F70/127 type standard
pas	127 mm
Masse	3.5 kg
Poids total de l'isolateur	104 N
Longueur totale de l'isolateur	0.65 m
Tension tenue aux chocs de foudre (BIL)	260 KV
Tension la plus élevée pour le matériel	52KV

Tableau III.4 Caractéristiques des isolateurs

Les caractéristiques de la jonction sont données dans le tableau III.5 ci-dessous

Caractéristiques de la jonction	valeurs
Portée Moyenne	100 m
Tension mécanique (HYP.A)	25131.4 N
Tension mécanique (HYP.B)	34166.67
Tension mécanique(HYP.R)	12549.71
Tension mécanique (Every day Stress)	10991.51N
Probabilité de rupture du conducteur	10.72%

Tableau III.5 Les caractéristiques de la jonction

- Pour tenue de ligne nous choisissons des supports de type béton de caractéristiques :

Support			Effort (daN)	
Type béton	Poids (kg)	Hauteur totale (m)	Effort H	Effort V
11-250	805	11	250	500

Tableau III.6 Caractéristiques du support

Les dimensions des fouilles sont représentées quant à lui sur la figure III.16

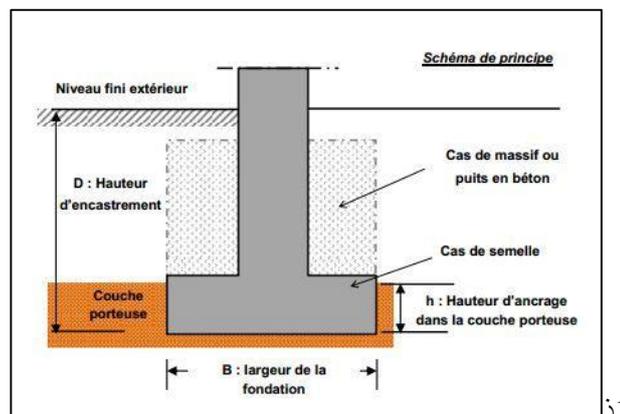
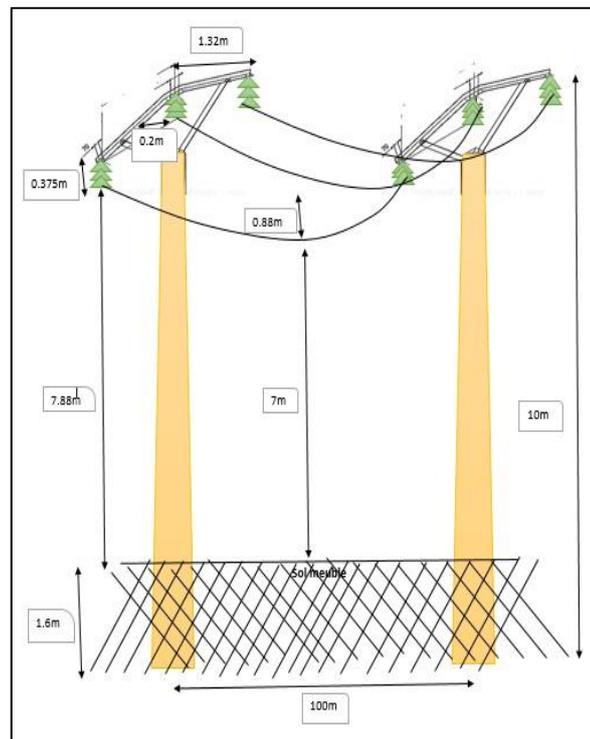


Figure III.15 Les dimensions des fouilles

Un volume de béton de 0.872 m<sup>3</sup> est utilisé dans les zones urbaines et 0.961 m<sup>3</sup> dans les zones rurales[26].

• Les différentes distances relatives au support sont quant à elles données par la figure III.15 ci-après.



*Figure III.16 Les différentes distances relatives au support*

## Conclusion

Les lignes aériennes dépendent fortement des supports, qui remplissent des rôles à la fois électriques (isolement entre les conducteurs, garde au sol, etc.) et mécaniques (support du poids des conducteurs, des chaînes d'isolateurs, etc.). Le choix du type de supports est déterminé par divers facteurs, notamment la tension mécanique dans les conducteurs, la protection des personnes, et l'encombrement du territoire. Assurer un choix approprié des supports est crucial pour garantir la sécurité, la fiabilité et l'efficacité des lignes aériennes dans leur fonctionnement quotidien.

# Conclusion

---

### CONCLUSION :

L'élaboration d'un réseau de transmission électrique aérien, qui assure le transport et la distribution de l'électricité, est une tâche complexe influencée par de multiples facteurs. Ces facteurs incluent la capacité de charge, la tension de service, la longueur du trajet de transmission, la durée de vie estimée, le taux d'actualisation et, surtout, les considérations économiques. Ces éléments nécessitent une sélection minutieuse des matériaux et composants utilisés dans la construction.

Dans notre étude, nous avons focalisé sur l'identification de la section transversale économiquement optimale (STEO) pour un conducteur en alliage d'aluminium, magnésium et silicium, connu sous le nom d'Almélec (AMS). Parallèlement, nous avons examiné la tension mécanique dans les câbles en tenant compte des différentes zones géographiques, de leurs conditions climatiques spécifiques et d'autres paramètres tels que la flèche maximale et la hauteur de sécurité. Un programme a été développé sous MATLAB2013a pour faciliter ces calculs, prenant en compte les caractéristiques de la ligne, son emplacement et l'environnement climatique.

Le projet vise à concevoir une ligne électrique qui répond à des critères définis, tels que la configuration du parcours. Il a également été essentiel de revoir les diverses contraintes auxquelles les structures de support peuvent être soumises, en fonction de leur position et de la configuration des câbles (supports terminaux, supports avec des câbles alignés, en configuration radiale, etc.), pour dimensionner adéquatement ces structures.

Ces analyses devraient apporter des éclaircissements sur les questions existantes et pourraient en soulever de nouvelles. Quoiqu'il en soit, la conception et la construction de lignes électriques aériennes restent un domaine de recherche actif, visant à optimiser le transport de l'électricité tout en réduisant les coûts.

# Bibliographie

---

### Bibliographie

- [1] « ET3-RESEAUX : Présentation et dimensionnement des installations courants forts(CFO) et courants faibles(CFA) ». .
- [2] A. Chanal, « Lignes aérienne: dimensionnement », *Tech. L'Ingénieur, Traité Génie Électrique* 17/09/2008, D 4421, 21p.
- [3] A. Chanal, « lignes aériennes. Présentation et Calcul des lignes », *Tech. L'Ingénieur, Traité Génie Électrique* 17/09/2008, D 4420, 12p.
- [4] B. D. Selsabil, « *Calcul des protections d'un depart HTA (30kv)* », Mémoire master académique, Université Kaski Merbah, Ouargla, 84p, 2013-2014.
- [5] C. Dauvilliers, « Lignes aériennes : matériels Accessoires », *Tech. L'Ingénieur, Traité Génie Électrique* 17/09/2008, D 4428, 6p.
- [6] C. Preve et R. Jeannot «*Guide de conception des réseaux électriques industriels* ». Schneider Electric, 945p, 1997.
- [7] collectif « *Directives techniques pour l'étude et la construction des lignes aériennes de distribution* ». SONELGAZ Direction de la distribution centre, Alger, 41p 2000.
- [8] Collectif « *Mémoire descriptif* », Réseaux de transport d'électricité RTE, France, projet 2,118p, JUILLET 2013.
- [9] Collectif, « *Guide du surveillant de travaux d'électricité Sonelgaz Distribution Centre* ». SONELGAZ Direction de la distribution centre, Alger, 51p 2000.  
de Liège-Faculté des Sciences Appliquées-Institut d'électricité Montefiore, Liège-Belgique, 142p, 1997-1998.
- [10] de P. R. de Forges et J.-P. Levesque, « lignes aériennes: construction », *Tech. L'Ingénieur, Traité Génie Électrique* 06/1993, D 4429, 21p.  
[developpement.blogspot.com/2011/09/la-premiere-etape-du-choix-dun-groupe.html](http://developpement.blogspot.com/2011/09/la-premiere-etape-du-choix-dun-groupe.html).  
[Consulté le: 02-juin-2017].  
Direction de publication universitaire, Guelma: offices des publications universitaire - Algérie, 108p, 2010.
- [11] Dr K. Bounaya, «*Les réseaux électriques: Elément de description et d'analyse de base*», vol 1.
- [12] H. Persoz, J.-C. Lemoine, P. Sapet, et G. Santoucci, «*La planification des réseaux électriques* ». EYROLLES Saint-Germain Paris 5: Direction des études et recherche d'électricité de France, 421p, 1984.  
*HTA/BTA (MT et BT)* », Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état Génie Electricque, Université Ibn Khaldoun, Tiaret/Algérie, 48p, 2007/2008.
- [13] J.-F. Didier Laurent, « Lignes aériennes : matériels Supports », *Tech. L'Ingénieur, Traité Génie Électrique* 17/09/2008, D 4423, 10p.
- [14] M. Abdelatif, « *Modélisation, simulation et analyse des régimes de fonctionnement et des conditions d'exploitation des longues lignes de transport d'énergie électrique a extra haute tension (E.H.V) 400 kv et plus* », Mémoire en vue l'obtention du Diplôme de Magister en Electrotechnique, Université des Sciences et de la technologie MOHAMED BOUDIAF, ORAN, 98p, 2012.

- [15] M. Amirat et S.M.E. Hassar, « Economie d'énergie dans le secteur de l'habitat Consommation Electrique de Ménages Cas d'un foyer Algérien typique en période d'hiver », *rev.Energ.ren* vol. 8, n° 27.37,11p, 2005.
- [16] M. Boudour et A. Hellal « *Le réseaux électriques, Fondamentaux et concepts de base* », Pages bleues revue et corrigée, 506p, 2014.
- [17] M. Mebarka et M. Abdelkader, « *Etude de l'installation d'une ligne de distribution électrique* »
- [18] O. Houet, « *Dimensionnement d'une jonction triphasée* », Travail de fin d'études en de l'obtention du grade académique d'Ingénieur Civil Electromécanicien (Electricité), Université
- [19] P. J.-L. Lilien « *Transport et distribution de l'énergie électrique – Manuel de travaux pratiques* ». Université de Liège Faculté des Sciences Appliquées, 287p, 2012.
- [20] S. Jean-Claude et H. Noureddine, « *Lignes et réseaux électriques 1: lignes d'énergie électrique*» vol. 1, 2 vols, Lavoisier, Paris: Hermès Science, 2007.180p.
- [21] S. Jean-Claude et H. Noureddine, « *Lignes et réseaux électriques 2: méthodes d'analyse des réseaux électriques*», Lavoisier, vol. 2, 2 vols. Paris: Hermès Science, 203p, 2007.
- [22] T. Laconde « *Dimensionner la puissance d'une installation électrique ~ Energie et développement*». [En ligne]. Disponible sur: <http://energie->
- [23] T. Wildi, et S.Gilbert « *Electrotechnique* », De Boeck Université. Bruxelles, 1196p.1999.
- [24] V. Crastan « *Les réseaux d'énergie électrique 1: modélisation des éléments du réseau triphasé*», vol. 1, 2 vols. Lavoisier. Paris: Hermès Science, 417p. 2006.
- [25] V. Crastan, « *Les réseaux d'énergie électrique 2: régime stationnaire, court-circuit, coupure des circuits et protections* », Lavoisier., vol. 2, 2 vols. Paris: Hermès Science, 315p, 2007.
- [26] W. D. Y. soumanou, « *Contribution au dimensionnement de pylône de transport d'énergie électrique (Haute Tension HT) selon la norme Eurocode: Cas d'un pylône d'angle* », Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou, 102p, 2013.
- [27] X. Ducouret, « Lignes aériennes : matériels Isolateurs », *Tech. L'Ingénieur, Traité Génie Électrique* 17/09/2008, D 4424, 14p.