

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique

# Mémoire de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme Master

Thème

ETUDE DE LA CONSTRUCTOIN D'UNE LIGNE  
ELECTRIQUE AERIENNE HAUTE TENSION  
CLASSE A

**Préparé par :**

Mr. REZAIGUI Lyes Réseau électrique

Mr. MOURI Dahmane Réseau électrique

Mr. ZEMMOUCHI Farhat Maintenance industrielle

**Spécialité :**

**Encadré par :**

Dr. ATROUNE Salah

**Devant le jury :**

Mme. CHEKKAL

Mme. MOKRANI

Année Universitaire : 2019/2020

# **REMERCIEMENT**

---

*Un merci de cœur au « bon Dieu » le tout puissant qui nous a donné la santé, la volonté et le courage afin de réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements très chaleureusement et notre sincère gratitude :*

*A Notre promoteur **Mr S. ATROUNE**, pour son orientation, ses conseils, et sa disponibilité à tout moment de besoin d'orientation.*

*Toutes nos reconnaissances pour vous.*

*Aux membres du jury, pour accepter d'examiner et de juger notre travail.*

*Pour terminer- last but not least- nous tenons à remercier toutes nos familles, nos collègues et nos amis qui nous ont aidé et qui nous ont apporté leur soutien moral et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

# *DEDICACES*

---

*Afin d'être reconnaissant envers ceux qui m'ont appuyé  
et encouragé à effectuer ce travail de recherche, je dédie  
ce modeste travail :*

*A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les  
moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère  
qui a été à mes côtés et m'a soutenu durant toute ma vie,  
et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir  
devenir ce que je suis, merci mes parents.*

*A ma chère sœur*

*A mon cher frère*

*Sans oublier tous mes amis(e) et tous ceux qui me sont  
chers.*

*LYES*

# *DEDICACES*

---

*Nous dédions ce présent travail :*

- A nos parents pour leur éducation, leurs conseils et leurs encouragements afin de faire de nous ce que nous sommes aujourd'hui ;*
- A toute notre famille ;*
- Enfin à tous les camarades de classe et de promotion pour leur compréhension et le meilleur moment passé ensemble.*

*farhat*

# *DEDICACES*

---

*Louanges à Dieu, le seul et unique.*

*Je dédie ce présent travail en signe de reconnaissance à mes très chers parents qui ont tout fait pour me donner une bonne éducation et une soutenir dans mes études, ainsi que leurs compréhensions et encouragements ont pu me porter pour pouvoir arriver au bout de mon travail, que Dieu les garde pour moi.*

*A mes frères et à ma sœur.*

*A toute ma famille.*

*A tout la famille MADJI.*

*A mes très chers camarades Farhat et Lyes.*

*A mes amis (Hamza, Saïd, Lahlou, Chrif, Fouad, Hicham, Malek, Nadjib)*

*Dahmane*

# TABLE DES MATIERES

---

**REMERCIEMENT**

**DEDICACES**

**TABLE DES MATIERES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES FIGURES**

**Introduction générale.....1**

**Chapitre I : Transport d'énergie électrique**

**I.1.Introduction.....2**

**I.2.Etat de l'art transport d'énergie électrique.....2**

**I.2.1.Lignes souterraines.....2**

**I.2.2.Lignes aériennes [2].....2**

**I.3.Tension de transport dans un réseau électrique haute tension.....3**

**I.3.1. Ancienne classification.....3**

**I.3.2.Nouvelle classification.....4**

**I.3.3.Avantage du transport de l'électricité en haute tension.....4**

**I.3.4.Les moyennes de mesure de la haute tension.....5**

**I.3.5.Dégradation de la qualité de la tension.....5**

**I.5.Les défauts et complications majeurs d'une ligne aérienne HT.....5**

**I.5.1.Définition d'un défaut.....5**

**I.5.2.Les défauts possibles affectant les lignes de transport.....6**

**I.5.2.1.Le court-circuit.....6**

**I.5.2.2.La surcharge.....6**

**I.5.2.3 Les surtensions.....6**

**I.5.2.4.Les déséquilibre.....6**

**I.5.3.Les type des défauts.....6**

**I.5.4.La nature de défauts.....7**

# TABLE DES MATIERES

---

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.5.5.Les causes des défauts dans les lignes de transport [13].....</b>                    | <b>8</b>  |
| <b>I.5.5.1.Les court-circuit.....</b>                                                         | <b>8</b>  |
| <b>I.5.5.2.Les surtensions.....</b>                                                           | <b>8</b>  |
| <b>I.5.5.3.Les surcharge.....</b>                                                             | <b>8</b>  |
| <b>I.5.5.4.Les déséquilibre.....</b>                                                          | <b>8</b>  |
| <b>I.5.6.Les conséquences des défauts [13].....</b>                                           | <b>8</b>  |
| <b>I.5.6.1.Les court-circuit.....</b>                                                         | <b>8</b>  |
| <b>I.5.6.2.Les surtensions.....</b>                                                           | <b>9</b>  |
| <b>I.5.6.3.Les surcharge.....</b>                                                             | <b>9</b>  |
| <b>I.5.6.4.Les déséquilibre.....</b>                                                          | <b>9</b>  |
| <b>I.6.Phénomènes électrique influençant le transport électrique en haut tension.....</b>     | <b>9</b>  |
| <b>I.6.1.L'effet de pointe.....</b>                                                           | <b>9</b>  |
| <b>I.6.1.a.Définition.....</b>                                                                | <b>9</b>  |
| <b>I.6.1.b.Exemple explicatif et mise en évidence de l'effet de pointe d'après [15] .....</b> | <b>9</b>  |
| <b>I.6.1.c.Les effets négatifs de pouvoir de pointe sur les lignes à haute tension.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>I.6.2.L'effet couronne [16] et [17].....</b>                                               | <b>11</b> |
| <b>I.6.3.L'effet de peau.....</b>                                                             | <b>12</b> |
| <b>I.6.4.Influence de la foudre sur les lignes électriques [3].....</b>                       | <b>12</b> |
| <b>I.6.5.Phénomène de claquage et d'arc électrique.....</b>                                   | <b>12</b> |
| <b>I.6.6.Le Phénomène de contournement.....</b>                                               | <b>13</b> |
| <b>I.7.Méthodologie et principe de construction d'une ligne aérienne.....</b>                 | <b>13</b> |
| <b>I.7.1.Méthodologie de construction de ligne aérienne.....</b>                              | <b>13</b> |
| <b>I.7.2.principe de construction d'une ligne aérienne [20].....</b>                          | <b>14</b> |
| <b>I.7.3.Matériel de construction [15] .....</b>                                              | <b>14</b> |
| <b>I.8.Conclusion.....</b>                                                                    | <b>16</b> |

# TABLE DES MATIERES

---

## **Chapitre II : Composition et comparaison entre un réseau électrique haute tension aérien et souterrain**

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>II.1.Introduction.....</b>                                                                 | <b>17</b> |
| <b>II.2.Les éléments constitutifs d'un réseau électrique aérien en haute tension.....</b>     | <b>17</b> |
| <b>II.2.1.Les pylônes.....</b>                                                                | <b>17</b> |
| <b>II.2.1.1.Types des Pylônes.....</b>                                                        | <b>18</b> |
| <b>II.2.2.Conducteurs .....</b>                                                               | <b>19</b> |
| <b>II.2.2.1.Caractéristiques des conducteurs [24].....</b>                                    | <b>20</b> |
| <b>II.2.3.Câbles de garde .....</b>                                                           | <b>20</b> |
| <b>II.2.4.Isolateurs [25] [26] .....</b>                                                      | <b>20</b> |
| <b>II.3.les éléments constitutifs d'un réseau électrique souterrain en haute tension.....</b> | <b>21</b> |
| <b>II.3.1.Les lignes souterraines.....</b>                                                    | <b>21</b> |
| <b>II.3.2.Réseaux HTA souterrains [16].....</b>                                               | <b>22</b> |
| <b>II.3.3.Les câble Souterrains HT.....</b>                                                   | <b>23</b> |
| <b>II.3.4.L'utilisation d'un écran métallique implique [33].....</b>                          | <b>25</b> |
| <b>II.4.Comparaison entre un réseau électrique aérien et souterrain en haute tension.....</b> | <b>26</b> |
| <b>II.4.1.Les inconvénients et avantages des deux systèmes de transport électrique.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>II.4.1.1.Réseau électrique aérien.....</b>                                                 | <b>26</b> |
| <b>II.4.1.2.Réseau électrique souterrain.....</b>                                             | <b>27</b> |
| <b>II.4.2.Les points de similitudes entre la ligne aérienne et souterraine.....</b>           | <b>28</b> |
| <b>II.4.3.Comparaison entre la ligne aérienne et souterraine.....</b>                         | <b>29</b> |
| <b>II.5.Conclusion.....</b>                                                                   | <b>29</b> |



# TABLE DES MATIERES

---

## Chapitre III : Méthodologie et dimensionnement

|                                                                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>III.1.Introduction.....</b>                                                                                                                  | <b>30</b> |
| <b>III.2.Notion et technique de base de dimensionnement des composants<br/>constituants une ligne électrique aérienne en haute tension.....</b> | <b>30</b> |
| III.2.1.Principales définitions géométriques [38] [39].....                                                                                     | 30        |
| III.2.2.Les hypothèses météorologiques de bases [39].....                                                                                       | 32        |
| <b>III.3. Etude électrique.....</b>                                                                                                             | <b>32</b> |
| III.3.1. Dimensionnement du câble[39].....                                                                                                      | 32        |
| III.3.1.1 Application de la méthodologie [40].....                                                                                              | 33        |
| III.3.2.Dimensionnement des isolateurs[40].....                                                                                                 | 35        |
| III.3.2.1.Ligne de fuite des isolateurs.....                                                                                                    | 36        |
| III.3.2.2.Calcul du nombre d'isolateur d'une chaine [41].....                                                                                   | 36        |
| <b>III.4.Etude mécanique.....</b>                                                                                                               | <b>37</b> |
| III.4.1.définition de l'étude mécanique.....                                                                                                    | 37        |
| III.4.2.l'objectif de l'étude mécanique.....                                                                                                    | 37        |
| III.4.3.Les étapes principaux à suivre pour l'étude mécanique [42].....                                                                         | 37        |
| III.4.3.Etude mécanique des éléments constitutifs d'une ligne électrique haut<br>tension.....                                                   | 38        |
| III.4.3.1.Etude mécanique des conducteurs (actif et câble de garde).....                                                                        | 38        |
| III.4.3.1.a.Le coefficient de sécurité (k) .....                                                                                                | 38        |
| III.4.3.1.b. Efforts subis par les conducteurs.....                                                                                             | 38        |
| III.4.3.1.c.Poids total de conducteur et coefficient de charge(m).....                                                                          | 39        |
| III.4.3.1.d.L'équation de changement d'état et la flèche maximale.....                                                                          | 39        |
| III.4.3.2.Etude mécanique des supports.....                                                                                                     | 41        |
| III.4.3.2.a.Etude des efforts en tête de pylône [43].....                                                                                       | 41        |
| III.4.3.2.b.Coefficient de stabilité (s).....                                                                                                   | 41        |

# TABLE DES MATIERES

---

**III.5.Conclusion.....42**

**Conclusion générale.....43**

**Bibliographie**

## LISTE DES TABLEAUX

---

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau II.1</b> : Propriétés des matériaux constituant les conducteurs de lignes aériennes..... | 20 |
| <b>Tableau III.1</b> : Définition des hypothèses .....                                              | 32 |
| <b>Tableau III .2</b> : choix de nombre d'assiette en fonction du niveau de tension.....            | 35 |
| <b>Tableau III.3</b> : tension nominal tenu aux chocs du foudre « BIL ».....                        | 35 |
| <b>Tableau III.4</b> : tension nominale tenu au choc du foudre.....                                 | 36 |

# LISTE DES TABLEAUX

---

## Chapitre I

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1 : Lignes souterraines .....                                        | 2  |
| Figure I.2 : ligne aérienne.....                                              | 3  |
| Figure I.3 : Niveaux de tension normalisés.....                               | 4  |
| Figure I.4 : Différents types de défaut .....                                 | 7  |
| Figure I.5 : Sphère portant une charge électrique.....                        | 10 |
| Figure I.6 : De gauche à droite (levage, approvisionnement et déroulage)..... | 14 |
| Figure I.7 : Le matériel de déroulage sous tension mécanique .....            | 15 |
| Figure I.8 : Le tracteur .....                                                | 15 |
| Figure I.9 : Le camion-grue.....                                              | 15 |

## Chapitre II

|                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure II.1 : Pylône français supportant deux lignes 230/400 (420) kV : trois paires de conducteurs et une paire de câbles de garde pour chaque ligne, avec chaînes d'isolation à 19 éléments..... | 17 |
| Figure II.2 : Pylône nappe .....                                                                                                                                                                   | 18 |
| Figure II.3 : Pylône triangle. ....                                                                                                                                                                | 18 |
| Figure II.4 : Pylône double drapeau.....                                                                                                                                                           | 19 |
| Figure II.5: Câble conducteur électrique utilisé dans le transport d'électricité en HT souterrain.....                                                                                             | 19 |
| Figure II.6 : les types des isolateurs .....                                                                                                                                                       | 21 |
| Figure II.7 : câbles souterrains.....                                                                                                                                                              | 22 |
| Figure II.8 : Réseaux HTA souterrains en Double dérivation .....                                                                                                                                   | 23 |
| Figure II.9 : Réseaux HTA souterrains en Coupure d'artère.....                                                                                                                                     | 23 |
| Figure II.10 : Coupe en 2D des câbles HT pour réseaux souterrain .....                                                                                                                             | 23 |
| Figure II.11 : câbles à conducteur compacts et segmentaires.....                                                                                                                                   | 24 |

## Chapitre III

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure III.1: Schéma représentant les différentes grandeurs géométriques sur une ligne.....                   | 31 |
| Figure III.2 : Schéma illustrant les différents types de portée.....                                          | 31 |
| Figure III.3 : Modèle réduit de la liaison.....                                                               | 34 |
| Figure III.4 : schéma illustre le changement d'état du conducteur en fonction des différentes hypothèses..... | 40 |

# **Introduction**

## **générale**

# INTRODUCTION GENERALE

---

Il y'a peine un siècle que l'électricité a cessé d'être seulement une science pour devenir aussi un technique et la place qu'elle occupe dans le monde, est telle qu'on imagine mal, déjà comment l'on a pu vivre sans elle.

L'Algérie, est devenue à l'heure actuelle un pays industrialisé. L'électricité joue un rôle très important dans toutes les branches de l'économie national, tel que l'industrie, l'agriculture, l'usage domestique et le transport.

Cependant, le progrès technique et social exige le développement de tout ce qui est lié au processus de production, de transport, de distribution et de consommation de l'énergie électrique.

Depuis sa découverte, elle n'a cessé de se développer et actuellement elle est devenue la base de tout développement du point de vue matériel et modernité. La vie demande de plus en plus, de l'énergie électrique pour la consommation industrielle et domestique.

On a donc intérêt de produire plus et de transporter loin, malheureusement les sources de production ne sont pas proches des consommateurs, c'est pourquoi on est obligé de la transporter à travers des réseaux de haute tension.

Pour des raisons économiques, le transport et la distribution de l'énergie électrique s'effectuent généralement par des lignes aériennes et souterraines. Leur fiabilité dépend donc considérablement du comportement mécanique, électrique et diélectrique des différents composants de ces lignes.

Ce mémoire est structuré comme suite :

Dans le premier chapitre, nous allons présenter comment transporter l'énergie électrique on haute tension, ensuite les différents défauts et complication majeure d'une ligne aérienne ainsi les phénomènes influençant le transport électrique en haute tension et la méthodologie de construction d'une ligne aérienne.

Le deuxième chapitre, mentionnera les différents éléments constitutifs d'un réseau électrique aérien et souterrain en haute tension, ainsi une comparaison entre les deux réseaux.

Pour finir, dans le troisième chapitre, on présentera les notions et technique de base de dimensionnement des composants constituant une ligne électrique aérienne en haute tension.

# Chapitre I

# Chapitre I : Transport d'énergie électrique

---

## I.1.Introduction

L'énergie produite dans les centrales électriques doit être transférée de lieux de Production aux lieux de consommation ; d'autre part les réseaux d'énergie électrique ont pour mission essentiel de véhiculer et repartir le produit que constitue l'électricité.

Cette énergie électrique est transportée par des lignes aériennes et souterraines, ces dernières constituent le moyen actuel le plus économique de transport de l'énergie électrique à grande distance.

## I.2. Etat de l'art transport d'énergie électrique

Les deux types principaux de lignes, sont les lignes aériennes nues et les câble souterrains. Dans les zones rurales et pour le transport à haute et très haute tension, on utilise des lignes aériennes. Les réseaux urbains (à moyenne et basse tension) sont faits de câbles pour des raisons de sécurité et d'esthétique.

### I.2.1.Lignes souterraines

Les lignes souterraines sont utilisées dans quelques cas particuliers : transports sous-marin, franchissement de sites protégés, alimentation des grandes villes, de métropoles ou autres zones à forte densité de population.

Les lignes souterraines sont plus répandues en basse et moyenne tension, moins en haute tension du fait des couts élevés. Elles représentent environ 30% de la totalité du réseau de distribution[1].



**Figure I.1** : Lignes souterraines.



## I.2.2. Lignes aériennes [2]

Les lignes à haute tension, sont la composante principale des réseaux de transport d'énergie électrique. Elles ont pour but de lier les postes de transformation, et de transporter l'énergie électrique vers de lieu très loin des centrales électriques. Le dimensionnement de ces lignes dépend du choix :

- De la tension de service
- du conducteur
- des supports
- de l'armement
- des isolateurs
- de la fixation des conducteurs

Les lignes aériennes constituent la majeure composante (70%) des réseaux de distribution.



**Figure I.2 :** ligne aérienne.

## I.3. Tension de transport dans un réseau électrique haute tension

### I.3.1. Ancienne classification

La norme SEI 38 définit les niveaux de tension alternative comme suit :

- **Très basses tensions (TBT) :** pour des tensions inférieures à 50 volts, elles sont utilisées pour les appareils de commande et de surveillance.

## Chapitre I : Transport d'énergie électrique

- **Les basses tensions (BT)** : utilisé pour l'alimentation des appareils électriques des abonnés domestiques et industriels sous une tension allons 50 à 1000 volts,
- **Les moyennes tensions (MT)** : tensions comprises entre 1 et 35 kV, elles sont utilisées pour le transport d'énergie à moyenne distance et les réseaux industriels.
- **Les hautes tensions (HT)** : tensions de 35 à 275 kV, elles sont utilisées pour le transport d'énergie à long distance et au transit élevées.
- **Les réseaux très hautes tensions (THT)** : tensions égales ou supérieure à 300kV.

### I.3.2. Nouvelle classification

La nouvelle norme UTE C 18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit :

- ❖ **HTB** : pour une tension composée supérieure à 50 kV.
- ❖ **HTA** : pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV.
- ❖ **BTB** : pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 kV.
- ❖ **BTA** : pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V.
- ❖ **TBT** : pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V.

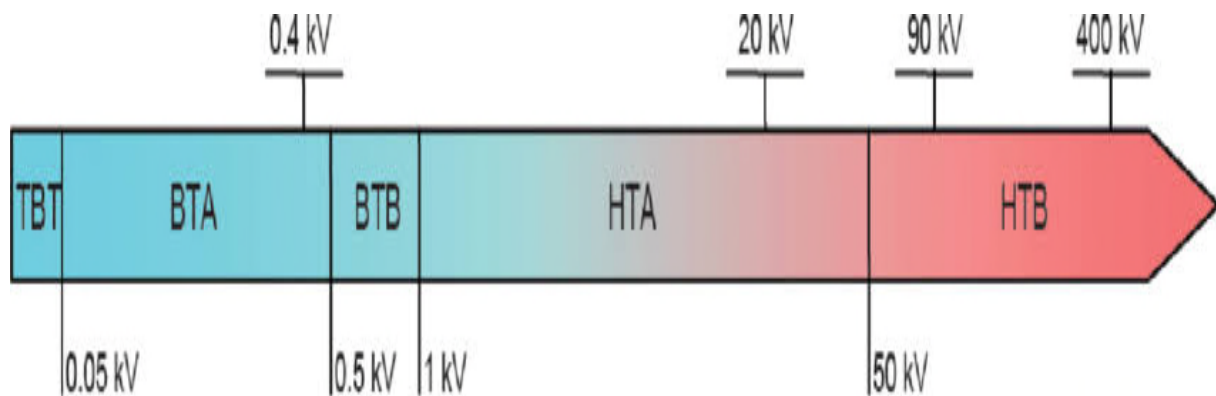


Figure I.3 : Niveaux de tension normalisés [25].

### I.3.3. Avantage du transport de l'électricité en haute tension

Il est primordial à chaque sortie d'une production électrique, l'adaptation de la tension des stations de production à des tensions très élevées, afin d'éviter le surdimensionnement de la section des conducteurs qui peuvent devenir insupportables ; et également éviter les contraintes thermiques sur des câbles causées par l'effet joule ( $P_j$ ), qui est directement proportionnel au carré du courant selon la relation suivante :

$$P_j = R * I^2. \quad [\text{Watt}] \quad (\text{I.1})$$

Avec  $R$  : La résistance de câble en ohm.

### I.3.4. Les moyens de mesure de la haute tension

Dans le réseau de transport à haute tension, le système de mesure, définit l'ensemble des dispositifs utilisables pour mesurer les grandeurs physiques de la ligne telle que la tension alternative, continue ou la tension de choc qui sont indispensables.

La mesure se fait, pour des raisons de sécurité durant la phase de maintenance et éventuellement pour contrôler et surveiller la qualité de la tension. Les moyennes les plus efficaces et répandus pour la mesure de la tension sont les suivants [3], [4] et [5] :

- ❖ Voltmètre électrostatique.
- ❖ Diviseur résistif.
- ❖ Diviseur capacitif.
- ❖ Mesure galvanométrique à l'aide d'une résistance.
- ❖ Mesure galvanométrique à l'aide d'une capacité.
- ❖ Mesure par éclateur.
- ❖ Transformateur de tension.

### I.3.5. Dégradation de la qualité de la tension

Les perturbations qui peuvent influencer sur la qualité de tension en modifiant ses caractéristiques fondamentales telles que sa fréquence, amplitude, forme d'onde et symétrie sont :

#### - Défauts dans le réseau électrique où dans les installations des clients

Court-circuit dans un poste, dans une ligne aérienne, dans un câble souterrain, etc., ces défauts pouvant résulter de causes atmosphériques (foudre, givre, tempête...), matérielles (vieillesse d'isolants ...) ou humaines (fausses manœuvres, travaux de tiers ...) [6].

#### - Installation perturbatrices

Fours à arc, soudeuses, variateurs de vitesse et toutes applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, démarrage ou commutation d'appareils, etc...[6].

## **I.5. Les défauts et complications majeurs d'une ligne aérienne HT**

**I.5.1. Définition d'un défaut :** Un défaut est caractérisé, par un phénomène non conforme au fonctionnement normal du réseau et pouvant, dans certain cas, conduire à un effondrement électrique de celui-ci et à la mise en danger de son environnement [7].

Le défaut peut être causé par des facteurs externes (naturels) ou internes (par l'action humaine ou par un mauvais équipement).

## **I.5.2. Les défauts possibles affectant les lignes de transport**

Les lignes de transport sont construites avec des conducteurs nus, ces conducteurs sont installés dans des structures métalliques spéciales "des pylônes" dans lesquels ces conducteurs sont séparés du pylône lui-même par des composants isolants et séparés entre eux par des espaces suffisants permettant à l'air d'agir comme isolant [8].

Plusieurs classifications des défauts selon leurs types, leurs natures, leurs origines et même leurs durées. Cependant les défauts les plus fréquents, sont des surtensions, la plupart se produisent temporairement résultant un court-circuit au niveau de l'isolation due à des facteurs environnementaux, tels que les éclairs (foudre).

Ils peuvent aussi se produire par un défaut dans l'isolation due à la détérioration du matériel d'isolation en lui-même. On peut les citer comme suit :

### **A. Le court-circuit**

C'est une élévation brutale de l'intensité  $I$  dans un circuit due à une liaison accidentelle de deux points de potentiel différents alimentés par la même source ou des sources en parallèles. Les courts-circuits peuvent provoquer des dégâts économiques importants, s'ils ne sont pas éliminés rapidement par les systèmes de protection [9].

### **B. La surcharge**

Lorsqu'une installation est traversée par un courant électrique supérieur à celui pour lequel a été construite, on dit qu'il y a une surcharge (courant de charge supérieur au courant nominal).

### **C. Les surtensions**

Augmentation soudaine et importante de la tension nominale due par exemple à un coup de foudre.

### **D. Le déséquilibre**

Un système électrique triphasé est déséquilibré, lorsque les trois courants de phases et les trois tensions ont des valeurs différentes.

## I.5.3. Les type des défauts

Il existe quatre types de défauts :

- ✓ **Défaut monophasé à la terre** : correspond à un défaut entre une phase et la terre, c'est le court-circuit le plus fréquent [9].
- ✓ **Défaut biphasé à la terre** : Il correspond à un défaut entre deux phases de la ligne de transport et la terre.
- ✓ **Défaut biphasé isolé** : Il correspond à un défaut entre deux phases de la ligne de transport. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé.
- ✓ **Défaut triphasé** : Il correspond à la réunion des trois phases de la ligne de transport. Il est peu fréquent [10] .mais c'est le courant de court-circuit le plus élevé.

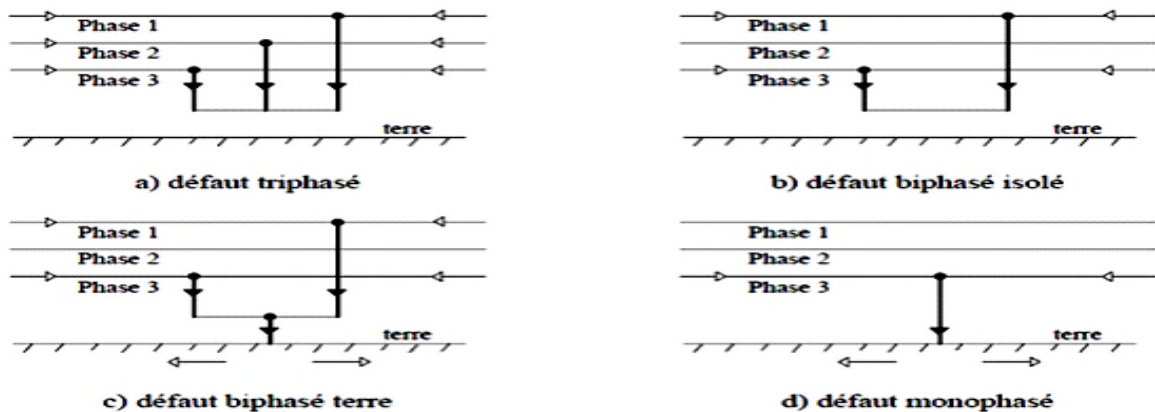


Figure I.4 : Différents types de défaut [11].

## I.5.4. La nature de défauts

- **Fugitif** :

Ce défaut nécessite, une coupure très brève du réseau d'alimentation de l'ordre de quelques dixièmes de seconde [9].

Par exemple : balancement des conducteurs sous l'effet du vent, objets divers charriés par le vent, brouillard givrant, pluie en zone polluée, branche d'arbre proche d'une ligne...etc.

- **Permanent** :

Ce défaut provoque un déclenchement définitif de l'élément de protection. Il nécessite l'intervention du personnel d'exploitation [9]. Par exemple : rupture d'un câble, ou de sa pince

d'ancrage, et chute sur le sol, chute d'un arbre sur la ligne, acte de malveillance conduisant, par exemple, à la ruine d'un pylône, détournement d'un brin de conducteur, qui s'approche d'une autre masse métallique.

- **Auto-extincteur :**

C'est le défaut qui disparaît spontanément, en des temps très courts sans qu'il provoque le fonctionnement de la protection ou la coupure de l'alimentation [9], [12].

- **Semi-permanent :**

Ce défaut exige une ou plusieurs coupures, relativement longues de l'ordre de quelques dizaines de secondes pour disparaître. Il ne nécessite plus l'intervention du personnel d'exploitation. Au niveau des réseaux aériens de transport, les défauts sont [9] :

- ❖ De 70 à 90% fugitifs.
- ❖ De 5 à 15% semi permanents.
- ❖ De 5 à 15% permanents.

### I.5.5. Les causes des défauts dans les lignes de transport [13]

#### A. Les courts-circuits

- Origine électrique : altération d'un isolant, arcs...
- Origine mécanique : rupture d'un conducteur, chute d'un corps étranger...
- Origine atmosphérique : foudre, tempête...
- Origine humaine : fausse manœuvre

#### B. Les surtensions :

- Contact avec une ligne de plus forte tension.
- Coupure brutale d'une ligne.
- Capacité des longues lignes à vide.
- Coups de foudre directs ou indirects.

#### C. Les surcharges

- Court-circuit résistants.
- Couplage difficiles, démarrage de moteur.
- Report de charge sur une ligne ou une machine, lors de la coupure de la parallèle.

#### D. Le déséquilibre

- Coupure d'une bretelle sans mis à la terre.
- Pôles de sectionneurs ou de disjoncteurs laissés ouverts.

### I.5.6. Les conséquences des défauts [13]

#### A. Les courts-circuits :

- Détérioration des isolants.
- Fusion des conducteurs.
- Incendie et danger pour les personnes.
- Les efforts électrodynamiques, avec : déformation des jeux de barres.
- Arrachement des câbles.
- Sur-échauffement par augmentation des pertes joules.
- Les creux de tension pendant la durée d'élimination du défaut, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes.
- la mise hors service d'une plus ou moins grande partie du réseau.

#### B. Les surtensions

- Vieillissement des isolants et claquage.
- Surcharge des lignes en cas de durée prolongée.
- Amorçage de court-circuit en cas de claquage des isolants.

#### C. Les surcharges

- Effets calorifiques.
- Effets déjà exposés pour les surintensités dues au court-circuit.

#### D. Le déséquilibre

- Dans les réseaux HT ne comportant que 3 fils, la somme des courants n'est plus nulle.
- Un courant de retour passe dans le sol par le neutre des transformateurs et induit des tensions dangereuses dans les câbles de télécommunication voisins.
- En outre ce courant de retour produit dans l'appareillage, des courants de circulation engendrant des échauffements anormaux.

### I.6. Phénomènes électrique influençant le transport électrique en haut tension

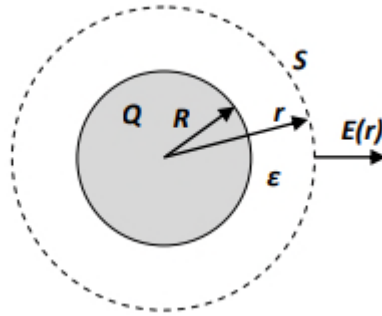
#### I.6.1. L'effet de pointe

##### A. Définition

Représente l'accumulation et la localisation dense des charges électriques, dans des zones pointues ou bien à faible rayon de courbure, qui engendre un champ électrique plus intense dans ces points, qui est déférent et faible dans les autres parties de conducteur [14].

### I.6.1.b. Exemple explicatif et mise en évidence de l'effet de pointe d'après [15]

Soit Une sphère de rayon  $R$ , portant une charge  $Q$ , répartie sur sa surface entourée d'un milieu de permittivité  $\epsilon$ , comme il est montré sur la figure suivant :



**Figure I.5 :** Sphère portant une charge électrique

En appliquant le théorème du gausse sur cette sphère en trouve :

$$\oint_r^\infty E = \frac{Q}{\epsilon} (r). ds \text{ [C.m}^2\text{]} \text{ (I.2)}$$

Avec  $E(r)$  : champs électrique en  $[\text{N.C}^{-1}]$ .

$r$  : le rayon variable en  $[\text{m}]$ .

$\epsilon$  : permittivité de milieu  $[\text{F. m}^{-1}]$ .

$Q$  : Charge totale comprise à l'intérieur en  $[\text{C}]$ .

$ds$  : est un élément de surface.

$$E(r) = Q\epsilon * 4 * Pi * r^2 [\text{kV /Cm}] \text{ (I.3)}$$

Avec :  $P_i = \pi \approx 3.14$

Et nous avons  $E = - \text{grad } v$  ; implique que la tension  $v = - \int_r^\infty E(r)$  alors :

$$V(r) = \frac{Q}{\epsilon * 4 * Pi * r} \quad [\text{v}] \quad \text{(I.4)}$$

A partir de ces deux équation en peut déduire que :



$$E(r) = \frac{V(r)}{r} \quad [\text{N.C}^{-1}]. \quad (\text{I.5})$$

En remarque que  $r$  est proportionnellement inverse au champ électrique ; donc il montre que le champ électrique devient important au faible rayon de courbure (les pointes).

### I.6.1.c. Les effets négatifs de pouvoir de pointe sur les lignes à haute tension

- ✓ Il peut Provoque de la foudre.
- ✓ Stimulation du phénomène de l'effet couronne.
- ✓ Court-circuit.
- ✓ Perturbation des appareils de protection et de surveillance.

### I.6.2. L'effet couronne [16] et [17]

L'électricité, est transportée par des lignes de transmission à haute tension, et puisque le champ électrique est proportionnel à la tension, cela devient également très important et à la stimulation du phénomène de pointe qui peut se produire en raison d'insectes, de gouttes d'eau et bien sûr de particules dues à la pollution atmosphérique locale à la surface des conducteurs; le champ électrique dépasse la norme autorisée de plus de 18 kV<sub>eff</sub> / cm.

Lorsque cette valeur est dépassée, l'isolation (air) entourant la surface des conducteurs n'est plus isolante et l'air est ionisé. Il se comporte comme un conducteur.

Ce phénomène, est connu sous le nom corona ou l'effet de couronne, qui est considéré comme un phénomène perturbateur des lignes de transport haut tension. Puisque il engendre des pertes au niveau des lignes dit perte par effet couronne se forme de bruits d'abeilles, une décharge électrique et d'un halo lumineuse.

Pour éviter les pertes part effet de couronne, la limitation de champ électrique  $E < 30$  kV/cm est la solution. Le champ maximal ( $E_{max}$ ) se calcule par la formule suivant :

$$E_{max} = \frac{V_{eff}}{r \cdot \ln \left( 2 \cdot \frac{H_{min} \cdot E_{PH}}{r \cdot \sqrt{4 \cdot H_{min}^2 + E_{PH}^2}} \right)} \quad [\text{kV}_{eff} / \text{Cm}] \quad (\text{I.6})$$

**Avec :**  $E_{max}$  : champ électrique maximale.

$V_{eff}$  : tension efficace en volt.

$E_{PH}$  : représente l'écartement entre phases en [m]

$H_{min}$  : la distance minimale entre un conducteur et le sol en [m]

### I.6.3 L'effet de peau

Des recherche approfondie sur la circulation de courant électrique alternatif dans le conducteur, montre que le courant électrique, est faible ou parfois nul à l'intérieur et le courant transites à la peau du conducteur et plus en travail dans des domaines à haute fréquence plus ce problème apparait.

Ce phénomène augment la résistance de fil et le conducteur perde de l'énergie se forme des pertes par effet joule.

Pour éviter ce phénomène, il y a plusieurs possibilités, mais dans le cas de la haute tension seules la division des conducteurs sont appropriée [18].

### I.6.4. Influence de la foudre sur les lignes électriques [3]

Le coup de foudre est une décharge électrique, se produisant dans un grand intervalle dont les « électrodes », sont d'une part un nuage orageux chargé et d'autre part la terre.

La foudre reste scientifiquement assez mal connue car étant brève et imprévisible, son étude en laboratoire est donc difficile. Dans les grands laboratoires on provoque le coup de foudre par le lancement d'une fusée reliée par un fil à la terre.

L'impact de la foudre sur une installation est équivalent à un générateur de courant très fort (10 à 100 kA et plus).

Il produit une surtension considérable, soit directe ou induites (indirectes).

- Effets thermiques de la foudre sur les lignes peut provoquer sur les éléments au point d'impact une fusion ou d'incendie due à la circulation d'un courant important.

### I.6.5. Phénomène de claquage et d'arc électrique

Toute matière isolant, possède des propriétés physiques et chimiques caractéristiques, l'une des caractéristiques de cette matière, en point de vue électrique, est la tension critique de claquage qui garde la matière au-dessus de cette valeur en état d'isolation.

Si la tension appliquée est supérieur à la tension critique de claquage, une décharge électrique se produit.

Lors d'un claquage, si l'on contrôle le courant avec une résistance élevée, la décharge se stabilise pour des courants de l'ordre du  $\mu\text{A}$  (Étincelle).

Sinon, s'il n'y a pas de résistance de protection  $R$ , la décharge évolue rapidement vers d'autres régimes caractérisés par des courants beaucoup plus élevés (arc électrique), si la source d'alimentation a une puissance suffisante. [3]

### **I.6.5. Le Phénomène de contournement**

Le rôle des chaînes d'isolateurs dans les réseaux électriques, c'est d'assurer l'isolation entre les lignes électriques et les poteaux en gardant la distance critique à la défense de création d'un arc électrique.

Mais en revanche ces chaînes d'isolateur sous la pollution atmosphérique de l'air, des particules (poussier et autre) se situent à la surface des isolateur. Une fois cette couche humidifiée une décharge électrique s'établit entre ses extrémités et contourne la surface de l'isolateur. Le contournement provoque l'ouverture du disjoncteur, car il établit un court-circuit entre le conducteur et le pylône (défaut monophasé à la terre) [3].

## **I.7. Méthodologie et principe de construction d'une ligne aérienne**

### **I.7.1. Méthodologie de construction de ligne aérienne**

Une fois que la section des conducteurs, la hauteur des pylônes et la distance entre les pylônes (portée) ont été déterminées, on peut procéder à la pose des conducteurs.

Un fil supporté et tendu entre deux pylônes n'est pas horizontal ; il prend plutôt une forme d'une chaînette. La distance verticale entre la droite qui joint les deux points de support et le point le plus bas d'un fil porte le nom de flèche.

Plus le fil est tendu, plus la flèche est courte. Avant d'entreprendre la construction d'une ligne, il est important de faire le calcul mécanique pour déterminer la flèche et la tension mécanique admissibles.

Entre autres, on doit tenir compte de la température maximale d'été. D'une part, la flèche ne doit pas être trop longue à ce moment, car autrement, le fil s'allongera durant les chaleurs d'été et la distance entre son point le plus bas et le sol ne sera plus suffisante au point de vue sécuritaire.

## Chapitre I : Transport d'énergie électrique

---

D'autre part, la tension mécanique ne doit pas être trop grande, car autrement, le fil peut se contracter pendant les froids d'hiver et devenir dangereusement tendu. De plus, le vent et le verglas peuvent créer des efforts supplémentaires qui risquent d'entraîner sa rupture [19].

### I.7.2. principe de construction d'une ligne aérienne [20]

Le montage d'une ligne se fait en trois étapes :

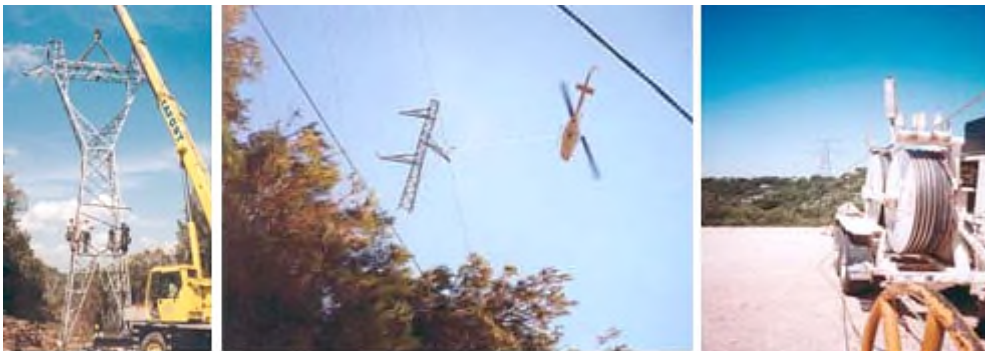
**a) La réalisation des fondations pour les supports :** Les fondations en béton sont construites en fonction de la nature du terrain et des charges, notamment climatiques, supportées par les ouvrages [15]



**Figure I.7 :** Le matériel de déroulage sous tension mécanique

**b) Le levage des supports :** Approvisionné en plusieurs éléments, est réalisé soit à l'aide d'une grue, soit par hélicoptère lorsque le terrain est impropre à son utilisation.

**c) La pose des accessoires et le déroulage du câble :** Après la fixation des isolateurs, les câbles sont déroulés classiquement ou sous tension mécanique.



**Figure I.6 :** De gauche à droite (levage, approvisionnement et déroulage)

### I.7.3. Matériel de construction [15]

## Chapitre I : Transport d'énergie électrique

---

a) **Le matériel de déroulage sous tension mécanique** : Ces engins permettent de dérouler les câbles, en leur appliquant une tension mécanique de 3, de 6 ou de 9 tonnes.

b) **Le tracteur** : Multifonctions, il peut aussi bien être utilisé pour le levage du pylône que pour le déroulage du câble.



**Figure I.8** : Le tracteur

c) **Le camion-grue** : Grâce à leurs 4 (ou 6) roues motrices, ils s'adaptent à tous les terrains. Selon les besoins, ils sont aussi porte-tourets, porte-fers (transport de pylônes).



**Figure I.9** : Le camion-grue

### **I.8. Conclusion**

A travers ce chapitre, on a résumé au début l'état de l'art du transport de l'énergie électrique ou on a fait le point sur les lignes aériennes et souterraines, puisque ce sont les deux méthodes utilisées pour acheminer cette énergie d'un point à un autre. Puis l'utilité du transport de l'électricité en haute tension.

Sans oublier, les contraintes influençant la continuité de service ou son dysfonctionnement qui

## Chapitre I : Transport d'énergie électrique

---

peuvent survenir dans un réseau haute tension. Enfin nous avons abordé la méthodologie et le principe à suivre dans une construction ou dans une étude d'une ligne électrique en haute tension.

Le chapitre qui va suivre abordera les deux réseaux électriques aérien et souterrain, le but est de mettre en avance la déférence entre ces deux réseaux.

# Chapitre II

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

---

### II.1. Introduction

Le rôle principal sur lequel le réseau électrique est construit est d'assurer la transmission de l'énergie électrique depuis les centrales de production, jusqu'au point final qui représente les récepteurs grand public.

Les sous-réseaux les plus importants et grands dans les parties du réseau sont les lignes électriques qui peuvent être placées sur des poteaux ou blindées, alors on parle des réseaux électriques souterrains et les autres sont les réseaux électriques aériens.

Chaque installation électrique suit une étude comparative entre les deux sous-groupes des réseaux de transport, afin d'assurer des bonnes performances dans le choix de la méthode d'installation en fonction des inconvénients et avantages de chaque installation car ils ont des technologies différentes dans le réseau électrique.

### II.2. Les éléments constitutifs d'un réseau électrique aérien en haute tension

#### II.2.1. Les pylônes

Pour les lignes aériennes, des pylônes, généralement réalisés en treillis d'acier supportent et maintiennent les conducteurs à une distance suffisante du sol et des obstacles, ceci permet de garantir la sécurité et l'isolement par rapport à la terre.

Les câbles étant nus (non isolés) pour en limiter le poids et le coût. L'inconvénient est leur exposition aux intempéries (embruns salés, tempêtes, poids de la glace qui peut les endommager). [21]



**Figure II.1** : Pylône français supportant deux lignes 230/400 (420) kV : trois paires de conducteurs et une paire de câbles de garde pour chaque ligne, avec chaînes d'isolation à 19 éléments.



## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

---

### II.2.1.1.Types des Pylônes

#### A. Pylône nappe

C'est le pylône le plus utilisé pour les lignes de transport surtout du type chat (en Algérie). Il est d'usage fréquent pour les lignes HTA et HTB. Il sert aux paliers de tension allant de 110 kV à 735 kV. Ce pylône convient aux lignes qui traversent des terrains très accidentés, car il peut être assemblé facilement.[22], [23]



**Figure II.2 :** Pylône nappe

#### B. Pylône triangle [2]

Occupant une place réduite au sol, ce pylône est utilisé pour des paliers de tension allant de 110 KV à 315 KV. Sa hauteur varie entre 25 et 60 mètres.



**Figure II.3 :** Pylône triangle.

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

### C. Pylône double drapeaux [2]

Très utilisé sur le réseau 400 kV. Installés depuis les années 1960. Généralement, plus la tension de la ligne est élevée, plus les pylônes sont hauts. Un pylône soutenant une ligne de 400 000 V peut atteindre 90 m de hauteur.

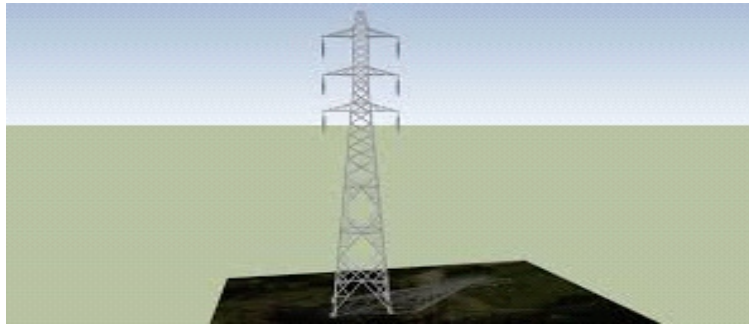


Figure II.4 : Pylône double drapeau

### II.2.2. Conducteurs

On utilise en général des conducteurs en alliage d'aluminium, ou en combinaison aluminium-acier pour les câbles plus anciens ; ce sont des conducteurs composés d'une âme centrale en acier sur laquelle sont tressés des brins d'aluminium. Les conducteurs sont nus, c'est-à-dire non revêtus d'un isolant.

Les conducteurs dans la haute tension, sont aériens ou souterrains (et parfois sous-marins). Les conducteurs aériens sont soumis à l'action des facteurs atmosphériques : température, vent, pluie, verglas etc.

Ces facteurs interviennent de façon importante dans le choix des paramètres d'une ligne haute-tension : type de conducteur électrique (matériaux et géométrie), hauteur et distance des pylônes, tension mécanique maximum sur le conducteur afin de maintenir une garde au sol suffisante. [24]

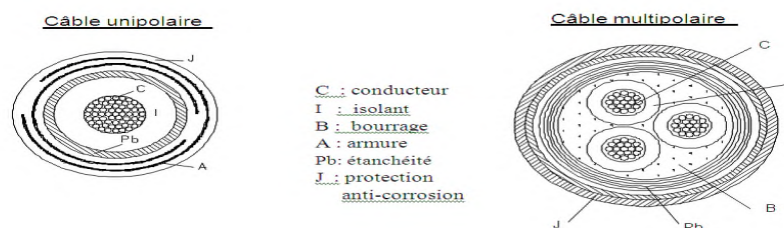


Figure II.5 : Câble conducteur électrique utilisé dans le transport d'électricité en HT sous terrain.

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

### II.2.2.1. Caractéristiques des conducteurs [24]

Le tableau représente les caractéristiques des matériaux entrant dans la fabrication des câbles électriques :

| Caractéristique       | Matériaux                                |        |      |      |       |
|-----------------------|------------------------------------------|--------|------|------|-------|
|                       |                                          | Cuivre | Alu  | AMS  | Acier |
| Résistivité à 10 °C   | $10^{-9} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ | 17.6   | 28.2 | 32.7 | 150   |
| Masse volumique       | $10^3 \text{ kgm}^{-3}$                  | 8.9    | 2.7  | 2.7  | 7.8   |
| Module d'élasticité E | $10^9 \text{ Pa}$                        | 105    | 57   | 57   | 175   |
| Contrainte de rupture | $10^6 \text{ Pa}$                        | 300    | 120  | 240  | 1000  |

**Tableau II.1 :** Propriétés des matériaux constituant les conducteurs de lignes aériennes

### II.2.3. Câbles de garde

Les câbles de garde, sont posés au sommet des pylônes en treillis. Ces câbles de gardes protègent les conducteurs d'électricité de la foudre.

Ils relient en outre les pylônes isolés les uns avec les autres et améliorent ainsi la mise à la terre globale de l'ensemble des lignes aériennes.

Malgré leur faible section, ils doivent présenter une sécurité mécanique équivalente à celle des conducteurs en cas de vent violent ou de surcharge de givre ou de neige. Il est donc impératif qu'ils soient calculés avec les mêmes hypothèses climatiques que les conducteurs et que les efforts qu'ils génèrent dans les supports soient pris en compte dans leur totalité.

Électriquement, ils doivent assurer l'interconnexion des mises à terre des supports et tolérer les échauffements provoqués par les courants de court-circuit et les courants générés par la foudre.

Pour satisfaire à ces conditions, les câbles de garde comportent toujours une section importante d'acier et, autour de l'âme d'acier, une couche ou exceptionnellement deux couches de fils d'alumélec. Deux types de câbles de garde sont utilisés : des câbles alumélec-acier normaux ; des câbles alumélec-acier comportant à l'intérieur des circuits de télécommunication [25].

### II.2.4. Isolateurs [25] [26]

**A. Définition :** Les isolateurs sont des éléments constitutif de la ligne électrique fixé sur le pylône servent à supporter et à amarrer les conducteurs et à les isoler entre eux et de la terre.

**B. Rôle :** fixer et isoler les conducteurs des masses de l'armement d'un support.

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

### C. Contraintes

- Mécanique : traction des conducteurs et intempéries.
- Électrique : tension de service, surtensions atmosphériques.

**D. Nature :** verre, porcelaine, matériaux composites.

### E. Type

- Isolateurs rigides (ou en tiges) formés d'un bloc de verre ou de porcelaine scellé sur une ferrure (utilisation MT).
- Isolateurs suspendus composés de plusieurs éléments associés en chaînes articulés (MT, HT, THT).

### f. Autres accessoires :

- Protection contre les surtensions : éclateurs, parafoudres
- Autres équipements : œillets à rotule ou logement de rotule (Ball-socket) etc.



**Figure II.6 :** les types des isolateurs

## II.3. les éléments constitutifs d'un réseau électrique souterrain en haute tension

### II.3.1. Les lignes souterraines

Il est composé de différentes parties assemblées de manière concentrique, les principales composants sont : au centre un conducteur permet de transporter l'électricité, ensuite vient une isolation électrique pour empêcher le courant de s'écouler vers la terre, le tout est entouré d'une gaine métallique afin de confiner le champ électrique à l'intérieur du câble et d'une protection extérieure qui assure de bonnes propriétés mécaniques et le protège des agressions extérieures. [16].

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

---



**Figure II.7 :** câbles souterrains [27].

### II.3.2. Réseaux HTA souterrains [16]

Les zones urbaines ou mixtes à forte densité de charge, sont alimentées par des câbles HTA enterrés en double dérivation ou en coupure d'artère.

En double dérivation, les postes HTA/BT sont normalement alimentés par le câble de travail (CT), le câble de secours (CS) permet de garantir une bonne continuité de service en cas de défaut.

La technique en coupure d'artère est moins coûteuse et permet une isolation rapide des défauts, mais nécessite un temps d'intervention plus long.

Le dimensionnement des ouvrages souterrains est principalement lié aux courants admissibles dans les câbles en raison de la densité des charges à desservir. Les ouvrages de distribution neufs ou les rénovations en zones rurales sont également réalisés en câble, en raison de la baisse notable du surcôt lié à cette technique. De plus, une volonté politique croissante de qualité environnementale tend à la réduction de l'impact visuel des ouvrages.

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

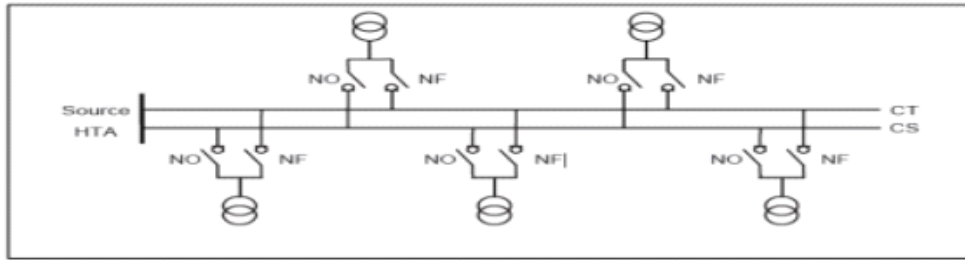


Figure II.8 : Réseaux HTA souterrains en Double dérivation [16]

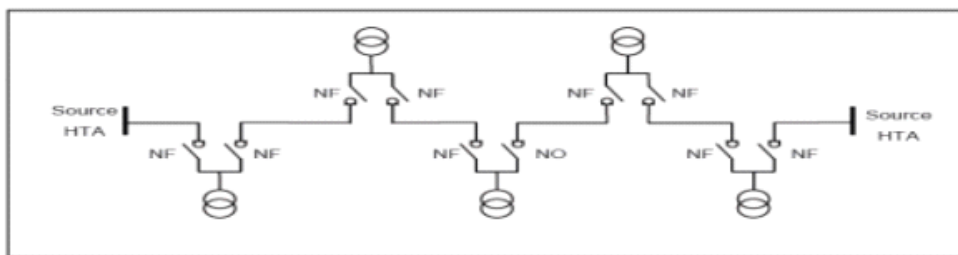
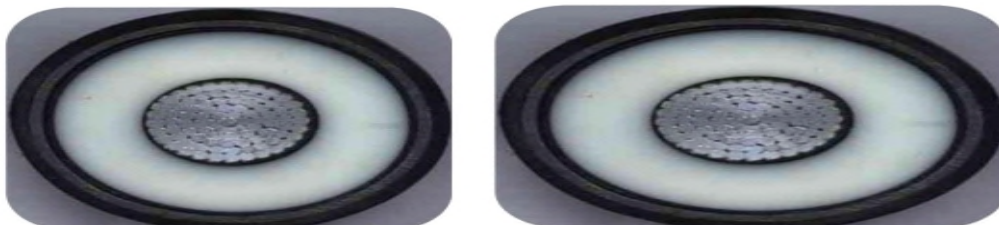


Figure II.9 : Réseaux HTA souterrains en Coupure d'artère [16]

### II.3.3. Les câbles Souterrains HT

La structure du câble haute tension en polyéthylène synthétique réticulé implique toujours les termes suivants :

**A- Conducteur rond compact**, composé de plusieurs couches de fils concentriques enroulés en spirale. Dans les conducteurs compacts à conducteurs ronds, en raison de la faible résistance des contacts électriques entre les fils, les effets de peau et de proximité sont pratiquement identiques à ceux d'un conducteur plein. [27]



Câble de 225 KV d'un diamètre= 11cm

Câble de 400 KV d'un diamètre= 13cm

Figure II.10 : Coupe en 2D des câbles HT pour réseaux souterrain [27]

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

---

**B- Les conducteurs segmentaires** : également appelés conducteurs "Milliken", sont composés de plusieurs conducteurs en forme de segment assemblés pour former un noyau cylindrique :

- **Le conducteur** de grande section est divisé en plusieurs conducteurs en forme de segment. Il y a de 4 à 7 de ces conducteurs, appelés segments ou secteurs. Ils sont isolés les uns des autres au moyen de rubans semi-conducteurs ou isolants. La structure de type Milliken réduit les effets extrêmement défavorables de la peau et de proximité [28].



Conducteurs ronds compacts



Les conducteurs segmentaires

**Figure II.11** : câbles à conducteur compacts et segmentaires [28].

- **Écran semi-conducteur sur le conducteur** : Pour éviter la concentration de champ électrique, il existe une interface en XLPE ultra lisse entre le conducteur et l'isolant [29].

- **Isolation XLPE** : Comme son nom l'indique, l'isolation isole le conducteur lorsqu'il travaille à haute tension de l'écran travaillant au potentiel de mise à la terre. L'isolation doit pouvoir résister au champ électrique dans des conditions de fonctionnement nominales et transitoires [30].

- **Écran semi-conducteur sur isolation** : Cette couche a la même fonction que l'écran conducteur. Passage progressif d'un milieu isolant, où le champ électrique est non nul, à un milieu conducteur, ici l'écran du câble métallique dans lequel le champ électrique est nul. [31]

- **Écran métallique** : Lorsque la tension atteint des dizaines voire des centaines de kV, un écran métallique est nécessaire. Sa fonction principale est d'annuler le champ électrique en

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

---

dehors du câble. Il agit comme la deuxième électrode du condensateur formé par le câble [28].

### - La gaine de protection anticorrosion [31]

La veste a une double fonction :

- Il isole l'écran métallique depuis la terre (en particulier pour les lignes avec des connexions d'écran spéciales).
- Il protège les composants métalliques de l'écran contre l'humidité et la corrosion.

### - Mise à la terre des écrans métalliques [32]

Lorsqu'un courant alternatif traverse le conducteur d'un câble, une tension proportionnelle au courant d'induction, à la distance entre les phases et à la longueur de la ligne est générée sur l'écran métallique.

L'extrémité non mise à la terre, est soumise à une tension induite qui doit être contrôlée. Dans des conditions de fonctionnement normales, cette tension peut atteindre plusieurs dizaines de volts.

Certaines méthodes simples permettent d'éviter les risques d'électrocution. Dans le cas d'un courant de court-circuit de plusieurs kA, la tension d'induction proportionnelle au courant peut atteindre plusieurs kV. En pratique cependant, cette valeur reste inférieure à la tension nécessaire pour perforer l'enveloppe de protection extérieure du câble.

Il est donc nécessaire de limiter l'augmentation de potentiel de l'écran en utilisant un limiteur de tension à gaine (ISVL) entre l'écran métallique et la terre. Ces limiteurs de tension de gaine fonctionnent essentiellement comme des résistances électriques non linéaires.

### II.3.4. L'utilisation d'un écran métallique implique [33]

- La nécessité de le connecter à la terre à au moins en un point du parcours.
- Drainage du courant capacitif qui passe à travers l'isolation.
- Drainage de la séquence zéro courants de court-circuit, ou une partie d'entre eux.



## **Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain**

---

Cette fonction est utilisée pour déterminer la taille de l'écran métallique.

- La circulation des courants induite par les champs magnétiques provenant d'autres câbles à proximité. Ces courants de circulation entraînent une perte d'énergie supplémentaire dans les câbles et doivent être pris en compte lors de l'évaluation de la capacité de transmission d'un système de câbles.
- La nécessité d'isoler électriquement l'écran métallique de la terre sur la plus grande partie de la longueur du câble Installé.
- La nécessité de protéger l'écran métallique contre la corrosion chimique ou électrochimique. La seconde fonction de l'écran métallique est de former une barrière radiale pour empêcher l'humidité de pénétrer dans le câble, en particulier son système isolant.

Le système d'isolation synthétique ne doit pas être exposé à l'humidité. Lorsque l'humidité et un champ électrique puissant sont présents ensemble, l'isolation se détériore selon la procédure d'appel de l'eau, ce qui peut éventuellement entraîner une défaillance de l'isolation.

### **II.4. Comparaison entre un réseau électrique aérien et souterrain en haute tension**

#### **II.4.1. Les inconvénients et avantages des deux systèmes de transport électrique**

Dans le cadre d'étude du projet Avelin-Gavrelle en [34] et les discussions apporter sur les lignes électrique dans [35], [36] et [37], nous sommes arrivé à reporter les points positifs et négatifs de chaque installation.

##### **II.4.1.1. Réseau électrique aérien**

###### **Les avantages :**

- Utilisation de l'air qui assure un refroidissement (bonne évacuation thermique) naturel et l'isolement gratuit pour les fils aérien nus.
- Il est plus économique et rentable que le réseau électrique souterrain du point de vue de coût d'investissement, démontage et de la maintenance en cas de défaut.
- Ils peuvent être surchargés en intensité de courant sans trop de danger.

## **Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain**

---

- Intervention facile et rapide en cas de défaut, accident ou d'un mal fonctionnement.
- Ils permettent une surveillance, contrôle aisée de leur état.

### **Les inconvénients :**

- Plus vulnérable aux accidents et dysfonctionnements d'origine atmosphérique et au changement climatique (foudre et vent par exemple), contact direct qui peut créer des courts-circuits et des surtensions au niveau de la ligne avec de graves conséquences.
- Problème d'esthétique et de respect des sites et un autre lié à la servitude, car sa construction soulève l'opposition des propriétaires des terrains surplombés.
- Il est influencé par de nombreux phénomènes parmi eux l'effet couronne qui produit des pertes, bruits gênants et l'émission d'un très grand champ perturbe les lignes de télécommunication, gênant les réceptions de radiodiffusion et de télévision.
- La crainte devant le champ électrique et magnétique générer pour des raisons qui touche la santé et l'environnement.
- Nécessitant des moyennes de protection, et d'entretien plus que de souterrain avec des coûts très élevé pour l'entretien et les perte joule.
- A partir de certain longueur l'utilisation des moyennes de compensation est en force.

### **II.4.1.2. Réseau électrique souterrain**

#### **Ces avantages :**

- Non exposé à l'effet corona.
- Possèdent une protection contre le passage du champ électrique.
- Périmètre non constructible plus réduit que pour les lignes aériennes en raison du champ magnétique.
- Il n'avait aucun impact devant les facteurs externes atmosphériques aux autres.
- Pas d'interférence entre les circuits de télécommunications, les réceptions de radiodiffusion et télévision.

## **Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain**

---

- C'est la seule moyen et solution pour des zones comme les agglomérations denses, fleuves ou des bras de mer lorsque la distance estimé est plus de 3km.

### **Parmi ces inconvénients, on distingue :**

- Coût globale très élevé (+6 fois couteuse à celui de linge aérien).
- Difficulté durant les périodes de la réparation en cas de défaut ; avec un coût élevé et temps de réponse à la défaillance très longue.
- Risquent d'être détériorés en cas de mouvements de terrains et par élévation de température des conducteurs en cas de surcharge.
- Leurs armures et gaines nécessitant la défense contre les effets de corrosion dus aux courants vagabonds.
- En cas de tronçonnement, nuisance visuelle des installations de jonction.
- Installation des refroidissements forcés.
- Dispositifs de protection spéciaux pour minimiser la puissance réactive (longues distances).
- En cas de tronçonnement, nuisance visuelle des installations de jonction.
- Installation moyen et dispositifs de compensation pour minimiser la puissance réactive.
- Capacité faible sur les quel il faut regrouper des linge en parallèle pour l'augmenté.

### **II.4.2. Les points de similitudes entre la ligne aérienne et souterraine**

- L'étude technique et économique est nécessaire pour les deux systèmes de transport.
- Ils Possèdent le même objectif, c'est l'acheminement du courant électrique de lieu de production jusque au centre de consommation.
- Possibilité de construction et réalisation dans les différents niveaux de tension.
- A partir des longueurs critique la compensation est obligatoire pour toute les configurations.
- Influence par le phénomène d'arc électrique sans aucune déférence.

## Chapitre II : composition et comparaison entre un réseau électrique haut tension aérien et souterrain

---

- Ils ont tous des pertes et coût mais avec des pourcentages individuel.
- Ils Participent à l'impact environnemental.

### II.4.3. Comparaison entre la ligne aérienne et souterraine :

1. Dans le point de vue de la composition et le mode de pose, la ligne souterraine est en abri et possède un seul conducteur mais enterré. Par contre, la ligne aérienne est posé sur les poteaux et composite de nombreuse éléments (des conducteurs nu, pylônes, des isolateur...etc.).
2. Dans le point de vue économique et technique la ligne électrique est toujours avec un cout moins chère, un temps de réalisation plus petit que se lui de la ligne souterraine et également leur maintenance facile et rapide. En revanche, la ligne électrique souterraine possède de nombreux défis sur le plan technique, opérationnel et économique et présent une grande complexité.

### II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons illustré les éléments constitutifs et caractéristiques de l'une des plus importante partie du réseau électrique ; c'est la ligne électrique à haute tension qui transport l'énergie électrique sur des distances très longues.

L'acheminement de flux d'énergie électrique n'est pas facile, puisque le transport nécessite des moyens de transport avec des technologies très précise et bien défini pour atteindre les performances recherchées et souhaitées dans les réseaux électrique.

Les deux moyens et systèmes utilisé pour le transport d'énergie sont les réseaux aériens et souterrains. Comme nous l'avons vu, les deux systèmes sont différents dans de nombreux points, telles que la construction et d'un autre point qui est techno-économique, qui conduit à l'exigence d'utilisé l'un des réseaux par apport à un autre.

Mais dans la plupart des études réalisées, c'est le choix de réseau électrique aérien qui est préférable à la réalisation et à la construction.

# Chapitre III

### III.1. Introduction

Ce chapitre traitera la méthodologie et dimensionnement des différentes parties qui constitueront une construction d'une ligne aérienne de transport ou de distribution en haute tension. Il est scindé en deux parties essentielles, la partie dimensionnement électrique et la partie dimensionnement mécanique.

### III.2. Notion et technique de base de dimensionnement des composants constituant une ligne électrique aérienne en haute tension

Avant le dimensionnement d'une ligne électrique, il faudra d'abord un tracé préliminaire de la ligne permettant la détermination des points d'angle et la distance totale de la ligne.

Déterminer les différents points d'implantation des pylônes après le levé topographique, l'étude géotechnique et en fonction des obstacles rencontrés.

La caractéristique principale de la ligne électrique est sa tension entre phase, qui définit l'isolement de la ligne en toutes circonstances, entre les conducteurs de phase, entre les conducteurs et les équipements au potentiel de terre, par des intervalles d'air soumis en permanence à la tension de la ligne [38].

#### III.2.1. Principales définitions géométriques [38] [39]

Afin de garantir la stabilité des lignes électriques aériennes, en particulier des pylônes, il est nécessaire d'effectuer un calcul minutieux sur des grandeurs intervenant au niveau de l'étude mécanique. Parmi ces grandeurs, nous avons

- $D_{pp}$  : Distance minimale entre phase et phase (en mètres).
- $D_{el}$  : Distance minimale phase – terre (en mètres).
- $f_{max}$  : Flèche maximale c'est la distance maximale entre la hauteur d'accrochage du câble au support et son niveau le plus bas sur la chaîne (en mètres).
- $L_i$  : Longueur de la chaîne de suspension (en mètres).
- $P$  : Portée c'est la distance entre 2 supports (en mètres).
- $P_v$  : Portée vent est la distance entre 2 milieux de 2 portées consécutives (en mètres).
- $P_p$  : Portée poids est la distance entre 2 points les plus bas de 2 portées consécutives en

mètres.

- Profil en long : représentation d'une coupe verticale suivant l'axe de la ligne.

Nous présentons un exemple de profil en longs expliquant les différents éléments cités au-dessus :

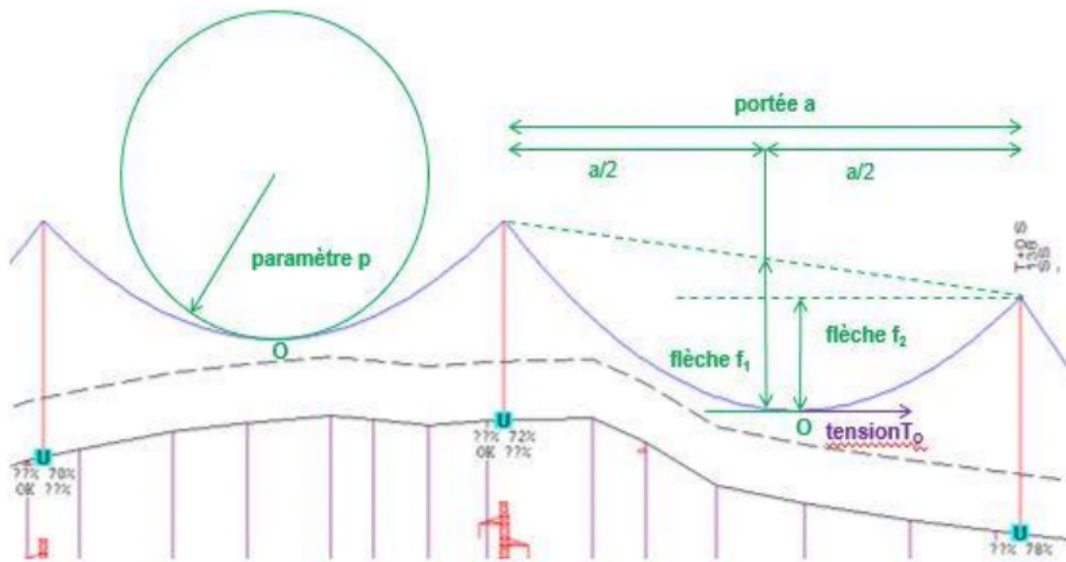


Figure III.1 : Schéma représentant les différentes grandeurs géométriques sur une ligne[39].

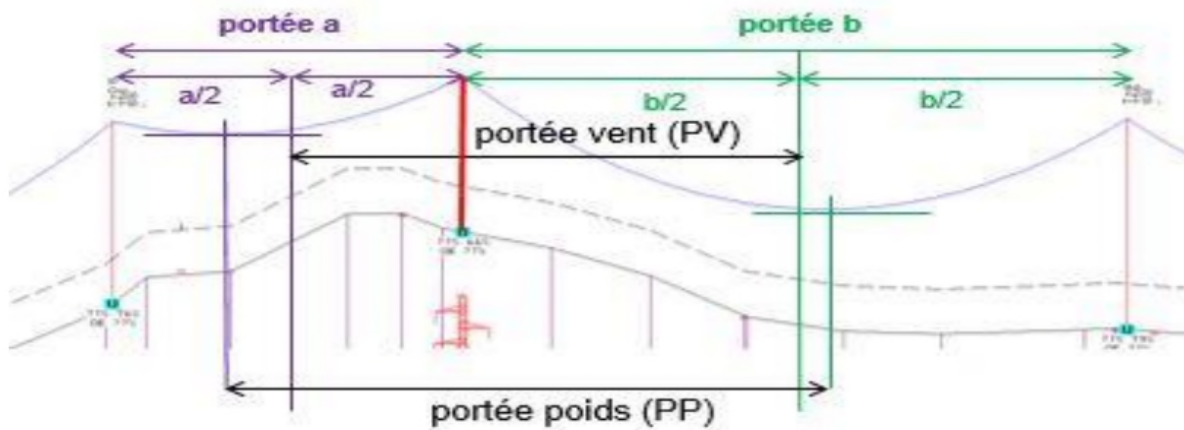


Figure III.2 : Schéma illustrant les différents types de portée [39].

A la vue de ces croquis la première chose que nous pouvons remarquer, c'est que le profil en long joue sur la variation des portées sur la longueur et le choix des pylônes.

De plus, on peut confirmer à quel point il est important que ces différentes valeurs soient

bien choisies ou bien calculées.

### III.2.2. Les hypothèses météorologiques de bases [39]

Les lignes aériennes sont intensément soumises à l'action des intempéries et du climat de la zone dans laquelle elles se trouvent ; Il est donc important d'en tenir compte pendant la phase d'études. Pour dimensionner une ligne électrique, on considère en fonction du climat de la zone, un certain nombre de situations météorologiques susceptibles d'arriver et pouvant affecter d'une façon ou d'une autre, le fonctionnement et la longévité de ladite ligne.

Les hypothèses qui ont été prises en compte dans le cadre de la construction de notre ligne se retrouvent dans le tableau Ci-dessous :

| Hypothèses | Définition                        | Température du câble °c                | Vent (m/s)                     | Tension à respecter                      |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| A          | Condition de tous les jours (EDS) | Moyenne annuelle: 28                   | Nul                            | 15- 20% de la charge de rupture garantie |
| B          | Condition de vent maximum         | Moyenne annuelle: 28                   | Maximum: 36                    | 40% de la charge de rupture garantie     |
| C          | Condition de température minimale | minimale: 12                           | 0,6 fois le vent maximum: 21,6 | 40% de la charge de rupture garantie     |
| E          | Condition de température maximale | Température maximale du conducteur: 70 | Nul                            |                                          |

Tableau III.1 : Définition des hypothèses [39].

### III.4. Etude électrique

#### III.4.1. Dimensionnement du câble [39]

Il s'agira pour nous de :

- Faire le choix du matériau à utiliser et de la section de câble en fonction de la tension de fonctionnement de ligne.
- Vérifier que la section de câble choisi peut supporter l'intensité de courant nominal In que transite la ligne.
- Vérifier que le câble pourra supporter courant de court-circuit  $I_{cc}$  transmis par la ligne sans être abîmé.

Dans le cas échéant, nous passerons à une section du câble plus importante jusqu'à trouver une section qui vérifie nos conditions.



### III.3.1.2 Application de la méthodologie [40]

#### A. Critère de courant nominal

Nous devons vérifier que le câble supporte le courant nominal sur toute sa durée vie. Vu  $P$  départ et  $a$  donnés, nous déterminons tout d'abord la puissance circulant dans le câble après les  $T$  années d'utilisation par la relation :

$$P_T = P_{\text{départ}} \cdot (1 + a)^T [\text{MW}] \quad (\text{III.1})$$

**Avec:**  $P_T$  : La puissance circulant dans le câble après les  $T$  années d'utilisation [MW].

$T$  : nombre d'année.

Nous déduisons le courant circulant alors dans chaque phase du câble :

$$I_{NT} = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi} \quad [\text{A}] \quad (\text{III.2})$$

**avec:**  $I_{NT}$ : Courant circulant dans chaque phase du câble [kA].

$U$  : tension nominal [kV].

$\cos \phi$  : facteur de puissance.

#### B. Critère de courant court-circuit

Nous déduisons directement ce courant de la formule donnant la puissance de court-circuit

$$I_{CC} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3}U} \quad [\text{kA}] \quad (\text{III.3})$$

Avec  $S_{cc}$  : la puissance de court-circuit [MVA].

$I_{CC}$  : Courant de court-circuit [kA].

$U$  : tension nominal [kV].

Afin de trouver la section minimum permettant de supporter ce courant durant le temps  $t_{cc}$ , nous disposons de la formule suivante, où  $a$  est un facteur dépendant du type de matériau constituant le câble:

$$S_c = \frac{I_{cc} \sqrt{t_{cc}}}{a} \quad [\text{mm}^2] \quad (\text{III.4})$$

Cette nouvelle valeur du courant conduit alors à choisir d'une nouvelle section normalisée  $S_c$  (celle qui

lui est justesupérieure).

- les valeurs du paramètre (a) sont les suivantes sont [40] :

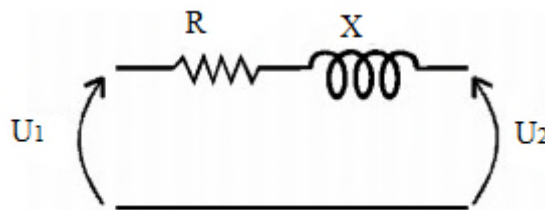
**a = 105,3** pour le cuivre,

**a = 55,07** pour l'aluminium

**Eta = 61,98** pour l'almélec(AMS).

### C. Critère de la chute tension:

Un rapide calcul nous donne la formule de la chute tension :



**Figure III.3** : Modèle réduit de la liaison

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \sqrt{3} \cdot \frac{I_N}{U_N} \cdot L \cdot (R'_{70^\circ C} \cdot \cos(\phi) + X' \cdot \sin(\phi)) \quad (\text{III.5})$$

Ou  $\Delta U = |U_2| - |U_1| \neq |U_2 - U_1|$

X : réactance électrique en [ $\Omega/\text{km}$ ].

$I_N$  : Courant nominal au départ [KA].

$R'_{70^\circ C}$  : La résistance maximale de la ligne à  $70^\circ C$  [ $\Omega/\text{km}$ ].

$$R'_{70^\circ C} = [1 + \alpha(\Delta\theta)] R'_{20^\circ C}$$

$\alpha$  : coefficient de température  $K^{-1}$  .

$\Delta\theta$  : écart de température.

Nous pouvons alors déterminer la résistance maximale de la ligne à  $20^\circ C$ . Dans ce cas des lignes, nous négligeons les effets capacitifs car les valeurs sont approximativement 50 fois plus faibles pour les lignes que pour les câbles. Pour l'impédance longitudinale, nous prendrons, généralement, comme valeur de départ :  $0,4 \Omega/\text{km}$ .

### III.3.2. Dimensionnement des isolateurs[40]

#### A. Règle de bonne pratique

Nous devons calculer le nombre d'assiettes nécessaires au maintien de la distance de contournement. Pour une approche rapide, nous utilisons le tableau suivant :

| Tension $U_N$ (kV) | Nombred'assiettes |
|--------------------|-------------------|
| 15                 | 1 à 2             |
| 90                 | 5 à 6             |
| 120                | 6 à 7             |
| 150                | 7 à 8             |

**Tableau III .2** : choix de nombre d'assiette en fonction du niveau de tension [40]

$U_N$ : La tension nominale entre conducteurs (KV).

#### B. Méthode développée par le service de transport et distribution d'énergie électrique de l'université de Liège

Nous déterminons d'abord le degré de salinité, ensuite la tension de tenue aux chocs du foudre « BIL » et finalement la longueur de fuite "théorique" «  $L_f$  » qui devra être respectée par la chaîne de façon à protéger la ligne de façon correcte.

En fonction de la zone de pollution retenue, nous allons pouvoir attribuer une valeur à la tension de contournement «  $\beta$  » [cm/kV $\phi\phi$ ] (tableau III.3).

**Degré de salinité :**

|                     | Zone de pollution            |                                                                         |                                     |                     |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
|                     | I                            | II                                                                      | III                                 |                     |
| Salinité            | 7                            | 20                                                                      | 80                                  | kg /m <sup>3</sup>  |
| Niveau              | faiblement polluée           | moyennement polluée                                                     | fortement polluée                   |                     |
| <b>Localization</b> | majeure partie du Territoire | zones éloignées de quelques kilomètres de bord de mer ou des industries | bord du mer et proximité industries |                     |
| B                   | 1,48                         | 1,43                                                                    | 2,34                                | [cm/kV $\phi\phi$ ] |

**Tableau III.3** : tension nominal tenu aux chocs du foudre « BIL »[40].

## Chapitre III : Méthodologie et dimensionnement

Cette méthode, fait intervenir d'autres critères de dimensionnement (en plus la tension nominale).

Nous avons, d'une part, la tension la plus élevée admissible par le matériel (UM), d'autre part, la tension nominale tenue aux chocs de foudre «BIL» (basic insulation level). Les normes C.E.I. ont établi le tableau III.4:

|                      | Tension nominal de la ligne<br>$U_N$ [kV <sub>eff</sub> ] | Tension la plus élevée pour le matériel<br>$U_M$ [kV <sub>eff</sub> ] | Tension nominal tenue aux chocs de foudre BIL [kV <sub>crête</sub> ] |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Classe A             | 3                                                         | 3.6                                                                   | 40                                                                   |
| $1 \leq U_m \leq 52$ | 6                                                         | 7.2                                                                   | 60                                                                   |
|                      | 10                                                        | 12                                                                    | 75                                                                   |
|                      | 15                                                        | 17,5                                                                  | 95                                                                   |
|                      | 20                                                        | 24                                                                    | 125                                                                  |
|                      | 30                                                        | 36                                                                    | 170                                                                  |

**Tableau III.4** : tension nominale tenu au choc du foudre

### III.3.2.1. Ligne de fuite des isolateurs

La longueur de la ligne de fuite des isolateurs se calcule par la formule :

$$L_f = 1,1 \cdot U_m \cdot \beta \quad [\text{mm}] \quad (\text{III.6})$$

Avec  $\beta$ : la tension nominale de tenue aux chocs de foudre

$U_m$ : tension la plus élevée du réseau [kV]

### III.3.2.2. Calcul du nombre d'isolateur d'une chaîne [41]

Le nombre d'isolateur d'une chaîne est déterminé par la formule suivante

$$n = \frac{I_{fch}}{I_{f\acute{e}l}} \quad (\text{III.7})$$

$$I_{fch} = I_{fs} \times U$$

Avec  $I_{fch}$  : longueur de fuite totale de la chaîne [cm].

$I_{f\acute{e}l}$  : longueur de fuite d'un élément  
chaîne de chaîne [cm].

$I_{fs}$  : longueur de fuite spécifique [cm/kV] et  $U$  : tension de service de la ligne [kV].

### III.4. Etude mécanique

#### III.4.1. définition de l'étude mécanique

L'étude mécanique d'une ligne électrique aérienne est l'étude des mouvements de déformation, variation des tensions mécaniques, et de l'état d'équilibre de système de transport électrique (recherche des contraintes) dans des conditions météorologiques et climatiques (vent, givre et température) les plus défavorable afin d'assurer la stabilité de la ligne et la rendre plus résistive au contraintes mécaniques, géométriques et les ruptures a rencontré quotidiennement après la construction.

Dans l'étude mécanique des conducteurs et supports on calcul :

- ❖ Poids équivalent des câbles.
- ❖ Détermination des efforts.
- ❖ Coefficient de la sécurité et de la charge.
- ❖ La tension critique de rupture.
- ❖ Caractéristique géométrique de la ligne (flèche, les porté, angle d'inclinaison du câble...etc.).
- ❖ Propriété mécanique (coefficient d'élasticité, les frottements).

Etc...

#### III.4.2. L'objectif de l'étude mécanique

Le but des calculs mécaniques et géométriques des éléments constitutifs d'une ligne électrique de transport à haute tension sont :

- Le respect du facteur de sécurité et de surcharges dans les conditions prévues.
- Vérification des distances réglementaires à la flèche maximale.
- choix des supports d'après les efforts exercé sur les pylônes.

#### III.4.3. Les étapes principaux à suivre pour l'étude mécanique [42]

La mise en œuvre de la ligne doit être étudiée selon les étapes suivantes :

- 1) Recherche du tracé technique.
- 2) Levé topographique en planimétrie ou altimétrie à faire aussi pour les lignes d'écartés ou ligne important en MT.

3) Calcul des tensions mécanique aux hypothèses réglementaire (utilisation de l'équation de changement d'état ou des abaques établis à cet effet).

4) Justificatif des supports et des massifs.

5) Elaboration des documents d'exécutions.

5.1 Plans de masse ou profil en long.

5.2. Carnet de piquetage.

5.3. Tableau des flèches de pose.

5.4. Plans de traversée de voie, éventuellement.

### III.4.3.étude mécanique des éléments constitutifs d'une ligne électrique haut tension :

#### III.4.3.1.étude mécanique des conducteurs (actif et câble de garde)

##### III.4.3.1.a.Le coefficient de sécurité (k)

On définit le coefficient de sécurité comme étant le rapport entre la charge de rupture ( $C_r$ ) de conducteur et la tension mécanique maximale ( $T_m$ ) de câble. Pour les cas les plus défavorables

$$k = 3.$$

$$k = \frac{C_r}{T_m}. \quad (\text{III.8})$$

En général, l'arrêt technique impose  $K=1,5$  à  $3$  pour les conducteurs [26].

##### III.4.3.1.b. Efforts subis par les conducteurs

###### ➤ Effort dû à la traction

$$T = t * s \quad [\text{daN}]. \quad (\text{III.9})$$

Avec  $t$  : tension unitaire en  $\text{daN}/\text{mm}^2$

$S$  : section du conducteur en  $\text{mm}^2$

###### ➤ Effort du au vent (soufflant à l'horizontal et perpendiculairement au conducteur)

$$FV = V * \emptyset * L \quad [\text{N}]. \quad (\text{III.10})$$

Avec  $V$  : poussée du vent en Pa

$\emptyset$  : diamètre extérieur du conducteur en mm

$L$  : longueur du conducteur

➤ **Effort du a son poids**

$$p = w * s * L \quad [\text{N}]. \quad (\text{III.11})$$

Avec W : poids spécifique du conducteur almelec en daN/m/mm<sup>2</sup>

L : longueur de la ligne en m.

S : section de conducteur en mm<sup>2</sup>.

### III.4.3.1.c.Poids total de conducteur et coefficient de charge(m)

Le poids total de câble est déterminé avec la relation suivant :

$$P_t = \sqrt{(P_c + P_g)^2 + P_v^2} . \quad [\text{kg}] \quad (\text{III.12})$$

Avec P<sub>c</sub> : poids propre de conducteur en kg/m.

P<sub>g</sub> : poids de givre en kg/m.

P<sub>v</sub> : l'effort du vent sur le câble en (kg /m).

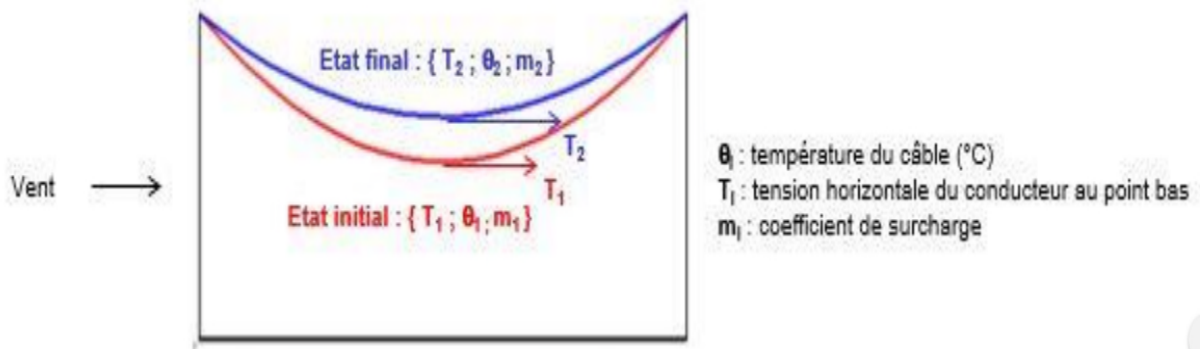
Et par définition le coefficient de charge est le rapport entre le poids propre et total du conducteur.

$$m = \frac{P_t}{P_c} . \quad (\text{III.13})$$

### III.4.3.1.d.L'équation de changement d'état et la flèche maximale

La détermination des paramètres des conducteurs le jour de pose est très important pour la stabilité de la ligne et la défense de ruptures. Pour faciliter les calcule et réduire le facteur de temps de réalisation, ce si n'est plus possible sauf avec la disponibilité de l'équation de changement d'état qui permettre le calcul de la tension mécanique de l'hypothèse de jour de pose à partir d'une hypothèse connu.

Le schéma ci-dessous illustre le changement d'état du conducteur en fonction des différentes hypothèses.



**Figure III.4 :** schéma illustre le changement d'état du conducteur en fonction des différentes hypothèses [39].

L'équation du changement d'état est :

$$T_2^3 + T_2^2 \left[ p^2 \frac{m_1^2 w^2}{24 T_1^2} ES + \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) - T_1 \right] = p^2 \frac{m_2^2 w^2}{24} ES. \quad (\text{III.14})$$

Données du câble  $T_1$  et  $T_2$  : les tensions mécaniques des hypothèses.

$\theta_1$  et  $\theta_2$  : température des hypothèses.

$\alpha$  : Coefficient de dilatation.

$E$  : module élasticité.

$S$  : section.

$\phi$  : Diamètre du câble.

$\omega$  : Poids linéaire du câble

$p$  : Portée de la ligne et  $m_1$  et  $m_2$  : coefficients de charge.

Avec :  $m = \frac{Pt}{Pc}$ .

Elle est de forme :

$$T_2^3 + AT_2^2 = B. \quad (\text{III.15})$$

Après la résolution de cette équation de 3<sup>ème</sup> en détermine la tension mécanique  $T_2$  et les autres paramètres de la ligne telle que la flèche maximale qui se calcul par :

$$f_{\max} = \frac{p^2}{8.a} = \frac{w.p^2}{8.T}. \quad (\text{III.16})$$



W : poids spécifique du conducteur almélec en daN/m/mm<sup>2</sup>

P : porté.

T : tension mécanique.

Et  $a=T/W$  est le paramètre de la ligne.

### III.4.3.2.étude mécanique des supports

#### III.4.3.2.a.étude des efforts en tête de pylône [43]

L'appui est soumis à trois moments :

M1 = moment dû au poids propre de l'ensemble formé par les conducteurs, les chaînes d'isolateurs et la ferrure.

M2 = moment dû à la force aérodynamique du vent s'exerçant sur les conducteurs.

M3 = moment dû à la force aérodynamique appliquée de façon répartie sur le support.

Pour obtenir l'effort en tête résultant, il suffit de diviser le moment résultant par la hauteur hors-sol. Ces moments sont déterminés aisément à partir de la connaissance des conditions météorologiques dimensionnements (H1 ou H2), permettant le calcul de la constante « a » de Blondel, de la tension de la ligne et des angles d'application des efforts.

#### Remarque :

- ❖ M1 est nul pour les pylônes dont les conducteurs sont placés en nappe et nappe-voûte, grâce à la symétrie. Il ne l'est pas pour les arrangements en triangle ou drapeau.
- ❖ M2 n'est jamais nul (idem pour M3). Par rapport au sol, le bras de levier correspond à la somme des hauteurs d'ancrage des différents conducteurs soutenus par le pylône.

#### III.4.3.2.b.Coefficient de stabilité (s)

$$M_r = N(H - 0.25 + h) + M_{rv} \text{ (III.17)}$$

$M_r$  : moment de renversement

H : hauteur support hors sol en m

h : profondeur fondation en dessous du sol en m

$M_{rv}$  : moment de renversement du au vent sur le support en [dan× m].

N : effort horizontal nominal en tête en daN

**s = moment de stabilité/ moment de renversement (III.18)**

### **III.5.Conclusion :**

Ce chapitre a abordé essentiellement les notions et les techniques de base d'une étude électrique, mécanique et le dimensionnement des composants constitutifs d'une ligne électrique aérienne en haute tension.

L'objectif principal de l'étude électrique est de choisir la section optimale de la ligne devant le critère de la chute de tension, courant nominal et le critère de court-circuit.

Les perturbations dues à l'effet couronne sont des contraintes traitées en étude électrique pour éviter les risques électriques et les dysfonctionnements de système de transport électrique.

Dans la partie mécanique nous n'avons constaté que l'étude est basée sur l'équation de changement d'état, car c'est grâce à cette équation qu'on peut calculer les paramètres de la ligne (tension, flèche....etc.) pour n'importe quelle hypothèse climatique.

# **Conclusion**

## **générale**

## CONCLUSION GENERALE

---

L'étude de la construction d'une ligne aérienne électrique HT, présentée dans ce travail nous a permis de connaître les difficultés que présente le transport de l'énergie électrique.

Le chapitre I nous a permis de connaître Les deux catégories de lignes ainsi que les niveaux de tension alternative selon La norme SEI 38 et La nouvelle norme UTE C 18-510.

Nous avons aussi mis en exergue les moyennes de mesure de la haute tension, les défauts et complications majeurs d'une ligne aérienne HT ainsi que quelques effets comme l'effet « couronne » ou L'effet de peau qui influence le dimensionnement électrique.

Dans le chapitre II nous avons défini les propriétés d'un réseau électrique haut tension aérien et souterrain ainsi les composants entrant dans la construction de la ligne. Une comparaison entre un réseau électrique aérien et souterrain en haute tension est aussi abordée.

Dans le chapitre III, nous avons mentionné les notions et techniques de base de dimensionnement des composants constituant une ligne électrique aérienne en haute tension. Dans la construction d'une ligne aérienne il y'a lieu de faire une étude électrique et une étude mécanique.

Dans la partie mécanique, l'étude est basée sur l'équation de changement d'état, car c'est grâce à cette équation qu'on peut calculer plusieurs paramètres de la ligne (tensions, flèche...etc.). Pour ces calculs, il faut prendre en considération les hypothèses climatiques.

Dans la partie électrique, notre étude consiste à déterminer la chute de tension, court-circuit et aussi l'isolation de la ligne, l'étude électrique pour connaître les composants électriques dans la ligne aérienne.

En fin, Bien que ce mémoire contient des éléments indispensables pour la construction d'une ligne électrique aérienne. Il ne constitue en réalité qu'une partie infime d'un projet de réalisation, En effet, un projet de réalisation demande plusieurs études avant d'entamer l'exécution de ligne.

# **Bibliographi**

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] KHERAKHERIA Zahra «Qualité de l'énergie électrique en moyenne tension», mémoire master, université 8 Mai 1945 – Guelma, 07/2019
- [2] SAKOUNI Khamise et OKBAOUI Tayeb«< localisation des défauts dans les réseaux d'énergie électrique a base de relais de distance>>, mémoire, université ahmeddraïaadrar, 2017/2018.
- [3] A.Tilmatine, «Technique de la haute tension », cours, université DjillaliLiabes.
- [4] Dr. Djilali Benyoucef, «Technique de la haute tension », cours master 1, université Hassibaben Bouali de Chleff.
- [5] AFFOLTER Jean-François, « Haute tension », école d'ingénieurs du canton de Vaud, Yverdon-les-Bains, octobre 2000.
- [6] LANSARI Yahia et MOUSSAOUI Ammar, « Amélioration de la qualité d'énergie électrique dans un réseau électrique par le dispositif STATCOM », mémoire de fin d'étude, Université AHMMED DRAIA-ADRAR ,11 Juin 2017
- [7] Michel Aguet et Jean-Jacques Morf, Energie Electrique, Traite d'électricité, Volume XII, presses polytechniques et universitaires romandes, 2008.
- [8] DAAOU Yassine, « classification et localisation des défauts dans les lignes de transport à tht en temps réel», mémoire de magister, université des sciences et de technologie d'oranmohamedboudiaf, 2011.
- [9] M. Boughezala.courschapitre 1 univBiskra, 2001, les sites internet :  
<http://thesis.univ-biskra.dz/1873/3/chapitre%2001.pdf>
- [10] CHERIF Med Foudhil et CHERIF KhayrEddin, « calcul des protections d'une ligne de transport électrique htb-220KV », Mémoire master académique, université KASDI MERBAH– OUARGLA, 2014
- [11] Cong Duc Pham, « Détection et localisation de défauts dans les réseaux de distribution HTAen présence de génération d'énergie dispersée», thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble. Le 19 septembre 2005.
- [12] Jean-Michel DELBARRE, Postes à haute et très haute tension, Technique de l'Ingénieur (D4 570).
- [13] généralités sur les protections électriques par la SONELGAZ.
- [14] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet\\_de\\_pointe](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_pointe)

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [15] ZEBBOUDJ Youcef, «Technique de haut tension », cours, université Abderrahmane mira – Bejaïa
- [16] HADDAD Lyazid et HAMI Khodir « Calcul des paramètres et caractéristiques des lignes électriques triphasées», mémoire de fin d'étude, Université Abderrahmane mira – BEJAÏA, 2015.
- [17] Louis MAESEN, «réseaux de distribution de l'énergie électrique - considérations technico-économiques», Livre, 1990.
- [18] Bitsch Quentin, « Architecture des réseaux de transport HT », Janvier 2011
- [19] T.WILDI « Electrotechnique ». Avec la collaboration de Gilbert Sybille (ingénieur, institut de recherche d'Hydro-Québec) 4ème édition : de boeck, 2005
- [20] [www.Planete-tp.com](http://www.Planete-tp.com) lignes-aeriennes.
- [21] BOUHADJELA M, BOUHADJELA Houaria, «Détection et localisation des défauts dans les lignes de transport D'énergie électrique », Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent,
- [22] H. Belila, cours,module : Réseaux électriques, Université Larbi Ben M'hidi OEB, 2014/2015.
- [23]Jean-François DIDIERLAURENT, Lignes aériennes : matériels Supports, Technique de l'ingénieur D4424, 2008.
- [24] Bachirifarhat ,ziouche Kamel, «étude de la construction d'une ligne aérienne en ht/tht», université de m'sila , 2008/2009.
- [25] BELLAREDJ Amina et GAOUAR Youcef, «Conception et simulation d'une ligne aérienne de transport électrique 220KV», Université AboubakrBelkaïd– Tlemcen, 2016 ;
- [26] HOUSSAMATOU DOUDOUA Maman Kabirou, «étude de la construction d'une ligne haute tension catégorie a (20 kv) et la conception d'un réseau hta/bt pour l'alimentation en énergie électrique de la cité maourey », mémoire, octobre 2018, n° 2014 1008
- [27] MEZIANI Rachida et SAHLI Siham « Calcul du champ électromagnétique généré par les réseaux électriques en vue de la compatibilité électromagnétique.» thèse université Abderrahmane mira – Bejaia 2017
- [28] Nexans France «Les câbles Souterraines HT. » cahier technique 2004
- [29] [www.nexans.ca/eservice/Canada-en\\_CA/fileLibrary/Download\\_20French.pdf](http://www.nexans.ca/eservice/Canada-en_CA/fileLibrary/Download_20French.pdf)

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [30] [electrical-engineering-portal.com](http://electrical-engineering-portal.com)
- [31] [fr.wikipedia.org/wiki/Câble\\_électrique\\_à\\_haute\\_tension](http://fr.wikipedia.org/wiki/Câble_électrique_à_haute_tension)
- [32] [studylibfr.com/doc/2949932/512.1.2-règles-522.1..](http://studylibfr.com/doc/2949932/512.1.2-règles-522.1..)
- [33] [www.nexans.com/Corporate/2013/Liaisons\\_terrestres\\_fra-25](http://www.nexans.com/Corporate/2013/Liaisons_terrestres_fra-25).
- [34] «Étude de la technique souterraine appliquée au projet Avelin-Gavrelle», by RTE  
Système Electrique Nord Est
- [35] La houille blanche, article, nombre 7, juillet 1913.
- [36] Michel Brunner, « Lignes aériennes ou souterraines ? ' », article, Septembre 2015.
- [37] KherfiAmor, Mimouni Imad «Les défauts dans les câbles électriques souterrains », mémoire master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 09/07/2019.
- [38] MOHAMED Sylla, «mise en place d'un outil de dimensionnement mécanique d'une ligne électrique haute tension», mémoire master, ingénieur 2ie, 2017.
- [39] VanilliSandraTEFEGUIM,«étudedelaconstructiond'uneligneélectriqueàhautetension 90kV PA-WONA », mémoire master, Ingénieur 2IE,2013/2014.
- [40] transport et distribution de l'énergie électrique – Manuel de travaux pratiques destiné au cours du professeur Jean-Louis LILIEN. Université de Liège faculté des sciencesappliquées. 1999/2000.
- [41] MS Baroudi, Sahliabdelouaheb, « Etude de l'influence des paramètres géométriques d'un isolateur THT sur sa tenue au contournement au milieu pollué » Projet de fin d'études, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent,2015/2016
- [42] ZAOUI Soumia et SEBDIK Hanane, " Etude et Réalisation d'une ligne MT ", mémoire master, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, année universitaire 2015/2016.
- [43] M. AYANG Albert (Enseignant à l'université de Maroua), cours de transport et de distribution d'énergie électrique.



# ABSTRACT

---

## RESUME

**Titre :** Etude de la construction d'une ligne électrique aérienne haute tension classe A

**Mots clés :** Réseau électrique, dimensionnement, ligne électrique, construction.

**Résumé :**

L'étude d'une ligne haute tension est basée sur deux calculs :

Dans la partie mécanique, l'étude est basée sur l'équation de changement d'état, car c'est grâce à cette équation qu'on peut calculer plusieurs paramètres de la ligne (tensions, flèche....etc.). Pour ces calculs, il faut prendre en considération les hypothèses climatiques.

Dans la partie électrique, notre étude consiste à déterminer la section de conducteur à partir du critère de la chute de tension, le court-circuit le courant nominal. Ainsi que l'isolation de la ligne.

## ABSTRACT

**Title :** Study of the construction of a class A high voltage overhead line

**Keywords :** Electrical network, dimensioning, electrical line, construction.

**Abstract :**

The study of a high voltage line is based on two calculations:

In the mechanical part, the study is based on the change of state equation, because it is thanks to this equation that we can calculate several parameters of the line (tensions, arrow ... etc.). For these calculations, the climatic assumptions must be taken into account.

In the electrical part, our study consists in determining the conductor section from the criterion of the voltage drop, the short-circuit the nominal current. As well as the insulation of the line.