



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique



Université Hamma Lakhdar. El Oued  
FACULTE DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Réseau Electrique

**Thème**

**Conception et simulation de lignes électriques  
à haute tension**

**Prénster par :**

- Bellamouchi Abdelhai
- Bekkouche Moussa
- Bekkouche ELhadi

**Encadré par :**

- Dr. Maamri Oussama

**Devant le jury composé de :**

2020/2021

# *Remerciements*

*On remercie DIEU pour nous avoir donné la santé et le courage pour inspirer la connaissance et le savoir.*

*Au terme de la réalisation de ce mémoire, nous tenons à présenter nos remerciement les plus sincères à notre*

*Encadreur Mr Maamri,*

*Ainsi que les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail, enfin nous témoignons notre gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de cet humble mémoire.*

# Dédicaces

*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 sœurs A mon cher frère*

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

*Chers*

*Abdelhai ; Moussa ; elhadi*

# Sommaire

---

# Table de Matières

INTRODUCTION GENERALE .....2

## Chapitre I : Généralités sur les réseaux électriques

I-1. Introduction : .....5

I-2 Définition du Réseau Electrique .....6

I.3 Historique .....7

I.3 Les niveaux de tensions des réseaux .....8

I.4 Différents Type des réseaux électriques .....9

I.4.1 Le réseau de transport THT .....9

I.4.2 Le réseau de transport HT .....9

I.4.3 Le réseau de répartition MT : .....9

I.4.4 Le réseau de distribution BT .....10

I.5 Les structures topologiques des réseaux électriques : .....11

I.5.1 Les réseaux radiaux : .....11

I.5.2 Les réseaux bouclés : .....11

I.5.3 Les réseaux maillés : .....12

I.6 Types de postes.....12

I.7 Les différentes centrales électriques .....13

I.7.1 Centrale thermique .....14

I.7.2 Centrale nucléaire .....14

I.7.3 Centrale hydraulique.....14

I.7.4 Centrale solaire .....14

I.7.5 Centrale éolienne .....15

I.8 Lignes électriques .....15

I.8.1 Types de lignes .....15

I.8.2 Composantes d'une ligne.....15

I.8.3 Isolateur .....16

I.9 Modélisation des éléments du réseau électrique.....17

I.9.1 Moyens de production.....18

# Sommaire

---

I.9.2 Lignes .....	18
I.9.3 Transformateurs.....	20
I.9.4 Charge .....	21
Conclusion : .....	22

## Chapitre II : Les paramètres et le modèle électrique de la ligne

Introduction.....	24
II.1 La ligne à haute tension.....	25
II.2 Les éléments constitutifs d'un réseau électrique aérien en haute tension.....	25
II.2.1 Les pylônes.....	25
II.2.2 Conducteurs.....	27
II.2.3 Câbles de garde.....	28
II.2.4 Isolateurs .....	28
II.3. Effet peau .....	29
II.4. Les paramètres de la ligne électrique .....	30
II.4.1 Les paramètres longitudinaux .....	30
II.4.2. Les paramètres transversaux .....	40
Conclusion .....	45

## Chapitre III :Simulation d'une ligne de transport

Introduction.....	47
III.1 Caractéristiques de la ligne .....	47
III.2 Interface graphique .....	47
III.3 Variation de la distance .....	48
III.3.1 Organigramme de calcul .....	48
III.4.3 Résultats.....	49
III.4 Variation de la température .....	52
III.4.1 Organigramme de calcul .....	52
Conclusion .....	54
CONCLUSION GENERALE.....	56

## Table de Figures

Figure I.1 Schéma du réseau de transport.....	6
Figure I.2 Niveaux de tension normalisés.....	8
Figure I.3 Schéma de description des réseaux électriques.....	10
Figure I.4 un réseau radial .....	11
Figure I.5 un réseaux bouclés .....	11
Figure I.6 un réseaux maillés .....	12
Figure I.7 Modélisation d'une centrale de production.....	18
Figure I.8 Modélisation d'une ligne par constantes réparties .....	18
Figure 9 Modélisation d'une ligne par un schéma en $\pi$ .....	19
Figure I.10 Modélisation d'un transformateur.....	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.....	25
Figure II.2 : Pylône nappe .....	26
Figure II.3 : Pylône triangle.....	26
Figure II.4 : Pylône double drapeau.....	26
Figure II.5 : Câble conducteur électrique utilisé dans le transport d'électricité en HT sous terrain.....	27
Figure II.6 : les types des isolateurs.....	29
Figure. II.7 : Un conducteur massif.....	32
Figure. II.8 : Conducteur de section circulaire plein.....	33
Figure. II.9 : flux d'un ensemble de conducteurs en parallèles.....	34
Figure. II.10 : Disposition des conducteurs en triangle équilatéral.....	36
Figure. II.11 : Transposition de la ligne.....	37
Figure. II.12 : Liaisons triphasé à disposition quelconque.....	38
Figure. II.13 : Conducteurs en faisceaux.....	39
Figure. II.14 : Liaison monophasée.....	40
Figure. II.15: Liaison triphasée avec espacement de phase égal.....	41
Figure. II.16 : Ligne triphasée avec deux conducteurs en faisceaux.....	42
Figure. II.18 : La configuration des conducteurs en faisceaux.....	43
Figure. II.17: Liaison triphasée avec espacement de phase inégal.....	43
Figure. II.19 effet partielle à la terre.....	44

## Sommaire

---

Figure III.1 : Organigramme de calcul de tension et courant d'entrée en fonction de la distance.....	48
Figure III.2 : Tension d'entrée de la ligne en fonction de la distance.....	49
Figure III.3 : Courant d'entrée de la ligne en fonction de la distance.....	49
Figure III.4 : Chute de tension en fonction de la distance.....	50
Figure III.5 : Chute de courant en fonction de la distance.....	50
Figure III.6 : Organigramme de calcul de tension et courant d'entrée en fonction de la température.....	52
Figure III.7 : Tension d'entrée en fonction de la température.....	53
Figure III.8 : Courant d'entrée en fonction de la température.....	53

# Introduction Générale

# INTRODUCTION GENERALE

Il y'a peine un siècle que l'électricité a cessé d'être seulement une science pour devenir aussi une 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 nationale, 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.

L'énergie électrique doit être utilisée au moment où elle est produite puisqu'il est impossible de la stocker, ce qui explique que sa production dans différents types de centrales et sa consommation se font d'une manière simultanée ce qui exige l'utilisation de plusieurs types de réseaux électriques tels que :

- Les réseaux de transports à tension élevée qui relient les postes d'interconnexions au site de production.
- Les réseaux de répartitions qui fournissent la puissance aux réseaux de distribution, mais ne peuvent la transiter que sur des distances limitées à quelques kilomètres.
- Les réseaux de distribution ont pour fonction aux réseaux d'utilisation la puissance dont ils ont besoin.
- Les réseaux industriels sont des réseaux d'alimentation mis avec des puissances élevées.
- Les réseaux d'utilisation doivent souvent pouvoir alimenter un grand nombre de moteurs et d'appareils domestiques, dont la puissance ne dépasse pas quelques kilowatts.
- La demande de certains consommateurs en énergie électrique exige une qualité, une fiabilité et une bonne continuité de service suivant les différentes catégories tels que:

## Introduction Générale

---

- Les consommateurs de 1<sup>ère</sup> catégorie que n'admettent pas la rupture de la fourniture d'énergie électrique sauf pour temps égale à 1,5 secondes.
- Les consommateurs 2<sup>ème</sup> catégorie qui admettent une rupture de la fourniture en énergie électrique pendant une durée inférieure à 2 heures.
- Les consommateurs 3<sup>ème</sup> catégorie qui admettent une rupture de la fourniture en énergie électrique pendant une durée nécessaire au remplacement de l'installation défectueuse.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre présente des généralités sur le réseau électrique
- Le deuxième chapitre traite les paramètres et le modèle électrique de la ligne
- Dans le dernier chapitre, on présente les résultats de notre simulation et leur évaluation

Ce travail se termine par une conclusion générale dans laquelle on résume les principaux résultats obtenus et on énumérera les perspectives à ce travail.

**Chapitre I :**  
**Généralités sur les réseaux**  
**électriques**

# Généralités sur les réseaux électriques

## I-1. Introduction :

L'électricité est une énergie produite à partir de sources naturelles ou primaires, telles que l'énergie éolienne (vents), l'énergie solaire (soleil), l'énergie hydraulique (eau), l'énergie du charbon, du gaz et du pétrole et l'énergie nucléaire par des usines appelées centrales électriques. Ces centrales assurent par l'intermédiaire des machines tournantes, (les alternateurs), la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

L'absence de possibilité de stockage de cette énergie sous sa forme finale pose un grand problème au producteur, elle présente en revanche l'avantage d'être facile à transporter à et grandes distances par des fils conducteurs. Dans ce cas elle doit être consommée à l'instant où elle est produite.

Le transport de l'électricité se fait par des lignes à haute tension au moyen des postes de transformations élévateurs, ensuite à chaque région de distribution d'énergie cette tension sera abaissée, pour qu'elle soit utilisée par les usagers; ainsi on distingue différentes sortes de réseaux électriques.

## I-2 Définition du Réseau Electrique

Un réseau, c'est d'abord un certain nombre de fonctions et de comportements d'ensemble, qu'il faut définir, mettre en œuvre, maîtriser grâce à une **conception** et une **exploitation** convenables. Ce sont ensuite des **ouvrages** et des **matériels** ( lignes aériennes et souterraines, postes, câbles, appareillage, transformateurs, parafoudres, etc.) qui, assemblés, forment le réseau physique ; la qualité conditionne très largement celle du réseau, donc celle de la desserte en électricité de ses clients. C'est enfin tout un **ensemble d'automatismes et de transmission d'informations et de commandes**, ensemble coordonné, donc système nerveux absolument indispensable à la protection des ouvrages et des matériels, à la robustesse du réseau vis-à-vis des défaillances internes et des agressions extérieures telles la foudre et les conditions climatiques extrêmes ; système indispensable aussi à la maîtrise par l'exploitant d'un outil technique qui, pour les réseaux publics, du moins, n'est pas concentré en un site, mais couvre des milliers et des centaines de milliers de kilomètres carrés.

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques..., avec les centres de consommation (villes, usines...). L'énergie électrique est transportée en haute tension, voir très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur final (Fig.1).

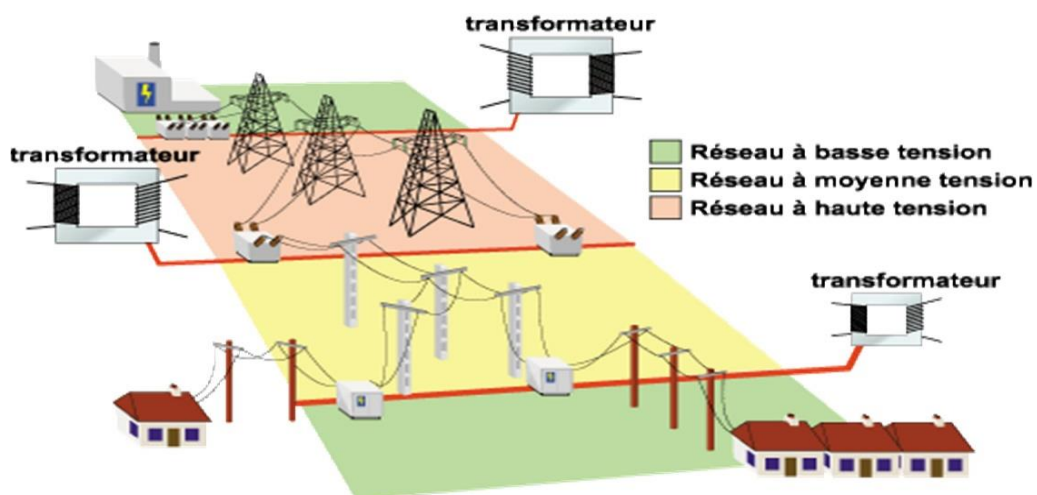


Figure I.1 Schéma du réseau de transport

Un réseau électrique est un système maillé mettant en œuvre :

- **Des nœuds** (ou postes) où sont raccordés : les centrales (centre de production), les charges

(consommation) et les lignes électrique (élément du réseau).

➤ **Des branches** (ou lignes électrique) : qui interconnectent les nœuds.

Le maillage du réseau améliore la disponibilité de l'alimentation en énergie aux usagers, la stabilité et la qualité du produit électrique car les deux dépendent de la puissance de court circuit, laquelle augmente avec le maillage ou plus exactement avec le nombre et la puissance des centres de production installés et raccordés. [1]

### I.3 Historique

#### XIX<sup>e</sup> siècle

- En 1882, la première transmission à haute tension se fait entre Munich et Bad Brook.
- En 1891, le premier usage de courant alternatif triphasé sur lignes aériennes se fait à l'occasion du Salon international de l'électricité, à Francfort.
- En 1892, la ligne aérienne triphasée du Salon international de l'électricité sera prolongée jusqu'à Heilbronn. C'est donc la première ville au monde à être alimentée en électricité par des lignes aériennes longue distance.

#### XX<sup>e</sup> siècle

- En 1912, la première ligne à haute tension 110 kV entre en service.
- En 1921, la première ligne de 120 kV pour desservir les aciéries de Saint-Chamond.
- Dans les années 1920, l'Énergie électrique du littoral méditerranéen bâtit une ligne de 170 km et 160 kV.
- En 1923, pour la première fois, c'est une tension de 220 kV qui est appliquée à la ligne.
- En 1957, la première ligne de 380 kV entre en service. Dans la même année, la ligne aérienne traversant le détroit de Messine a été mise en service en Italie.
- En 1965, au Québec (Canada), Hydro-Québec met en service la première ligne au Monde de 735 kV.
- Dès 1967 en Russie et aux États-Unis, des lignes à haute tension de 765 kV sont construites
- En 1982, des lignes sont construites en Union soviétique, près de Moscou alimentées par un courant alternatif triphasé à 1 200 kV.

#### XXI<sup>e</sup> siècle

- En 2003, la construction de la plus grande ligne à haute tension a débuté en Chine. [2]

### I.3 Les niveaux de tensions des réseaux

Les tensions normalisées selon la CEI (Commission électrotechnique internationale):

La nouvelle norme CEI (ainsi que les textes législatifs en vigueur en Algérie depuis juin 2002) définissent les niveaux de tension alternative

- 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.

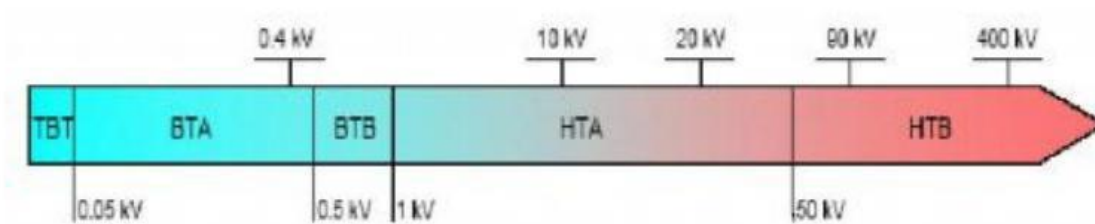


Figure I.2 Niveaux de tension normalisés

Nous prendrons par convention dans ce qui suit :

- HTB désignera la Haute Tension HT.
- HTA désignera la Moyenne Tension MT.
- BTB et BTA désignerons le domaine de la Basse Tension BT. [2]

### I.4 Différents Type des réseaux électriques

#### I.4.1 Le réseau de transport THT

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation. C'est sur le réseau THT que sont en principe branchées les centrales de grandes puissances (> 300 MW).

Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire, à laquelle sont raccordées les sources et les utilisations (groupes, transformateurs). Chaque nœud A, B et C constitue un « poste d'interconnexion ». Ce poste est en général constitué par un collecteur principal appelé « jeu de barres » sur lequel se raccordent les lignes, au moyen d'appareils.

Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching

à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence [3].

#### I.4.2 Le réseau de transport HT

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers Les grands centres de consommation qui sont :

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT,
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MV A) livrés directement en HT. Il s'agit essentiellement d'industriels tels la sidérurgie, la cimenterie, la chimie, le transport ferroviaire.[4]

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux [3].

#### I.4.3 Le réseau de répartition MT :

Les utilisateurs peuvent être groupés d'une façon très dense comme dans les villes ou bien séparés les uns des autres par des distances plus ou moins grandes comme dans les campagnes. Ils sont desservis par un réseau de distribution alimenté par un poste de répartition qui reçoit l'énergie, provenant de centrales éloignées, par l'intermédiaire du réseau de transport.

Des lignes de distribution à moyenne tension (MT) partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir; ces postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les abonnés sont raccordés par des branchements [3].

### I.4.4 Le réseau de distribution BT

C'est le réseau qui nous est en principe familier puisqu'il s'agit de la tension 220/380 Ven Algérie. Nous le rencontrons dans nos maisons via la chaîne : compteur, disjoncteur, fusibles (micro disjoncteurs).

La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution MT aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BT. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique [5].

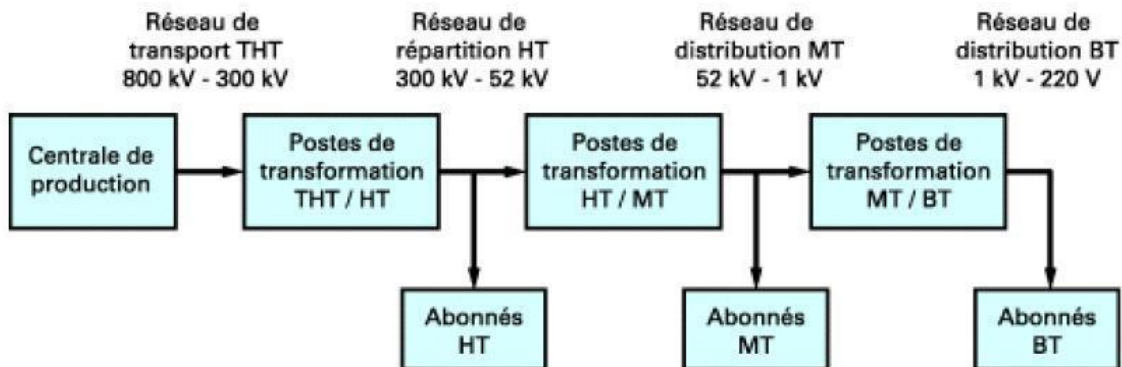


Figure I.3 Schéma de description des réseaux électriques

## I.5 Les structures topologiques des réseaux électriques :

### I.5.1 Les réseaux radiaux :

Sont, à partir d'un poste d'alimentation, constituées de plusieurs artères (figure 4). En pratique si l'on regarde une carte de tel réseau, on aperçoit des points communs. Mais ces réseaux sont en fait « bouclables mais non bouclés » car en ces points est toujours placés un appareil de coupure, ouvert en exploitation normale. Cette disposition, permet en cas d'incident sur une artère de reprendre l'alimentation de certaines dérivations par les artères voisines.

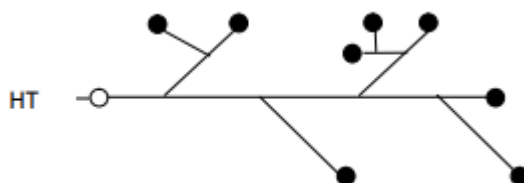


Figure I.4 un réseau radial

### I.5.2 Les réseaux bouclés :

Sont alimentés à la fois par plusieurs sources (en général 2 ou 3 rarement plus). L'existence de plusieurs sources en parallèle (figure 5) augmente la sécurité

d'alimentation, en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateur) ou sur une boucle.

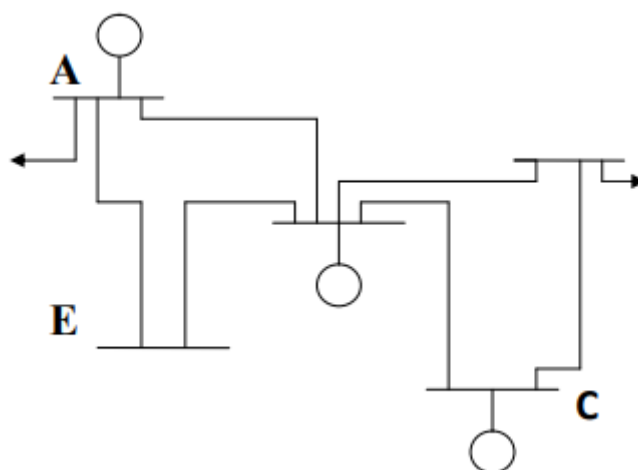


Figure I.5 un réseau bouclé

### I.5.3 Les réseaux maillés :

Sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées. Cette structure (figure 7) nécessite que tous les tronçons de lignes soient capables de surcharges permanentes, et qu'il soit muni, à leurs deux extrémités, d'appareils de coupure. On obtient ainsi la meilleure sécurité, mais au prix le plus élevé. [6]

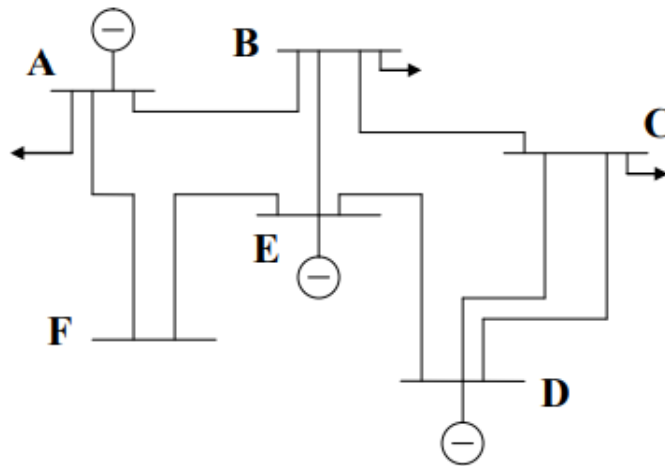


Figure I.6 un réseaux maillés

### I.6 Types de postes

On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent, plusieurs types de postes :

- **Les postes à fonction d'interconnexion**, qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés ;
- **Les postes de transformation**, dans lesquels il existe au moins deux jeux de barres à des tensions différentes liés par un ou plusieurs transformateurs ;
- **Les postes mixtes**, les plus fréquents, qui assurent une fonction dans le réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation.

Les actions élémentaires inhérentes aux fonctions à remplir sont réalisées par l'appareillage à haute et très haute tension installé dans le poste et qui permet :

- D'établir ou d'interrompre le passage du courant, grâce aux disjoncteurs.
- D'assurer la continuité ou l'isolement d'un circuit grâce aux sectionneurs.
- De modifier la tension de l'énergie électrique, grâce aux transformateurs de puissance.

Un ensemble de protections et d'automates contrôle les grandeurs électriques réduites, élaborées par des réducteurs de mesure (tension et courant principalement) et agit sur l'appareillage à haute tension afin d'assurer les conditions d'exploitation pour lesquelles le réseau a été conçu.

Nous retiendrons donc que, par définition, les appareils de coupure, ainsi que l'appareillage de mesure et de protection propre à un départ, sont regroupés dans une cellule.

Un poste comporte donc autant de cellules que de départs qui sont raccordés à ses jeux de barres.

En outre, les jeux de barres sont susceptibles de constituer plusieurs nœuds électriques par l'ouverture de disjoncteurs ; on appelle alors sommet le jeu de barres ou le tronçon de jeu de barres ainsi constitué. Le nombre des sommets d'un poste caractérise ainsi son aptitude à former des nœuds électriques \*5+. [7]

### I.7 Les différentes centrales électriques

Une centrale de production d'énergie électrique est un site industriel qui produit de l'électricité selon la demande. Les centrales électriques transforment des sources d'énergie naturelles en énergie électrique, afin d'alimenter en électricité des consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointains. On distingue Cinq types de centrales de production d'énergie électrique:

- Centrales thermiques classiques.
- Centrales nucléaires.
- Centrales hydroélectriques.
- Centrales solaires ou photovoltaïques.
- Centrales éoliennes.

### I.7.1 Centrale thermique

L'énergie électrique dans ce type de centrale est produite à partir de la combustion d'un carburant où la chaleur dégagée par cette réaction est utilisée dans des turbines à vapeur qui sont couplées à des générateurs d'électricité ; on les trouve souvent près de la mer, des rivières et des lacs, vu la grande quantité d'eau nécessaire pour leur refroidissement et la condensation de la vapeur sortante.

### I.7.2 Centrale nucléaire

Ces centrales utilisent aussi le principe de la conversion thermodynamique, néanmoins leur chaudière est un réacteur nucléaire. L'énergie nucléaire obtenue par fission de l'uranium est la source de chaleur utilisée ; ces centrales produisent environ 15% de l'électricité mondiale.

Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique sauf que la chaudière brûlant le combustible est remplacée par un réacteur nucléaire.

### I.7.3 Centrale hydraulique

Les centrales hydro-électriques utilisent le principe de la conversion de l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique.

Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique ; la puissance que l'on peut tirer d'une chute dépend de la hauteur de la chute et du débit du cours d'eau, on distingue d'après la hauteur des chutes d'eau :

- Les usines de basses chutes  $10 \leq h \leq 30 \text{ m}$
- Les usines de moyennes chutes  $30 \leq h \leq 120 \text{ m}$
- Les usines de hautes chutes  $h \geq 120 \text{ m}$

### I.7.4 Centrale solaire

Cette centrale produit de l'électricité avec l'énergie solaire, elle utilise les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autres matériaux ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux.

Ce système bien que le rendement soit faible, est très simple à mettre en œuvre et particulièrement léger. Ce type est très utilisé pour alimenter des sites isolés en association avec un système de stockage.

### I.7.5 Centrale éolienne

Dans une centrale éolienne l'énergie électrique est produite directement par des génératrices éoliennes. Ces machines sont formées d'un mât, surmonté d'un générateur électrique entraîné par des hélices. Elles sont positionnées idéalement sur les plans d'eau ou des collines ventées. L'alternateur permet de transformer cette énergie mécanique en énergie électrique.[1]

### I.8 Lignes électriques

Une ligne électrique est un ensemble de conducteurs, d'isolants et d'éléments accessoires destinés au transport de l'énergie électrique =

#### I.8.1 Types de lignes

Elles peuvent être classées selon plusieurs critères :

- Suivant les fonctions qu'elles assurent dans le réseau :
  - Lignes de grand transport ;
  - Lignes d'interconnexion ;
  - Lignes de répartition ;
  - Lignes de distribution.
- Suivant la situation dans l'espace :
  - Lignes aériennes.
  - Lignes souterraines (câble).

#### I.8.2 Composantes d'une ligne

Une ligne de transport se compose de câbles conducteurs, d'isolateurs et de supports.

##### I.8.2.1 Supports

Le rôle des pylônes est de maintenir les câbles à une distance minimale de sécurité du sol et des obstacles environnants, afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage des lignes. Leur silhouette est caractérisée par la disposition des câbles conducteurs. L'écartement entre les fils doit être d'autant plus grand que la distance entre les pylônes est plus grande et que la tension de la ligne est plus élevée.

##### I.8.2.2 Conducteurs

Les conducteurs nus, utilisés pour la construction des lignes aériennes, sont des câbles constitués de fils ronds ou exceptionnellement de fils trapézoïdaux ou profilés en forme de Z. Pour réaliser ces câbles, les métaux conducteurs de faible résistivité sont peu nombreux. Seuls sont utilisés actuellement l'aluminium dans sa forme écroui dur, de

grande pureté d'une part, et un alliage d'aluminium, l'aluméc, d'autre part.

Depuis plusieurs années, le cuivre n'est plus utilisé en raison de sa masse et de son coût.

Cependant, des conducteurs en cuivre équipent encore des lignes anciennes.

### I.8.2.3 Câble de garde

Les câbles de garde ne transportent pas le courant. Ils sont situés au-dessus des conducteurs, ils sont plus tendus que ceux-ci pour assurer une bonne protection contre la foudre.

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'aluméc.

Deux types de câbles de garde sont utilisés :

- des câbles aluméc-acier normaux ;
- des câbles aluméc-acier comportant à l'intérieur des circuits de télécommunication.

### I.8.3 Isolateur

Les isolateurs assurent l'isolement électrique entre les câbles conducteurs et les supports. Sur le réseau de transport, les isolateurs sont utilisés en chaîne, dont la longueur augmente avec le niveau de tension.

Les isolateurs ont deux fonctions principales :

- Ils empêchent le courant électrique qui circule dans les conducteurs de phase de passer dans les pylônes.
- Ils accrochent les conducteurs de phase au pylône.[1]

### I.9 Modélisation des éléments du réseau électrique

Cette partie décrit les modèles utiles pour mener à bien les calculs dans un réseau d'énergie. Il rappelle quelques résultats fondamentaux du cours de modélisation.

Les calculs que nous allons faire n'ont d'intérêt que si le réseau est maillé. On s'intéressera donc essentiellement au réseau de transport, même si les méthodes décrites sont indépendantes du niveau de tension. Sur un tel réseau, on distingue essentiellement 4 types d'éléments fondamentaux :

- des moyens de production,
- des lignes,
- des transformateurs de puissance,
- des charges

Notons que les charges ne sont qu'exceptionnellement des clients directement raccordés en THT. Elles représentent plus généralement un point de connexion au réseau de distribution (typiquement 63 kV), via un transformateur et rarement en 400 kV.

Notons également que les moyens de réglage de la puissance réactive (capacités, réactance, compensateurs statiques de puissance réactive) peuvent être assimilés à des charges ou à des moyens de production ne consommant ou ne fournissant que de la puissance réactive.

D'une manière générale, modéliser un réseau d'énergie, c'est avant tout faire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices qui conditionneront à la fois la complexité et le domaine de validité du modèle.

Les principales hypothèses retenues, dans le cadre des différentes études, sont les suivantes : seul le comportement en régime permanent à 50 Hz est étudié ; le réseau est supposé linéaire. Un choix important doit alors être fait : le calcul des transits de puissance se limite-t-il à un fonctionnement totalement équilibré du réseau, L'étude du réseau peut être menée à partir d'un schéma monophasé équivalent. Cette approche est bien souvent suffisante dans le cadre de l'exploitation d'un réseau d'énergie. Elle permet déjà prédéterminer, pour un plan de production et un niveau de charge donnés, quelle sera la charge de chacune des lignes du réseau en fonctionnement normal, et aussi quel sera le plan de tension du réseau.

Dans ces conditions, les modèles retenus sont les suivants :

## I.9.1 Moyens de production

Un moyen de production sera simplement représenté par une fourniture de puissance active  $P_{Gi}$  et une fourniture ou consommation de puissance réactive  $Q_G$ ,

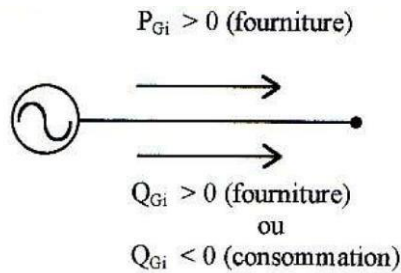


Figure I.7 Modélisation d'une centrale de production

La puissance réactive peut être fournie ou consommée, selon le réglage de l'alternateur

## I.9.2 Lignes

Considérons une ligne de transport d'énergie électrique parfaitement symétrique, et fonctionnant en régime équilibré. Son comportement peut être étudié en se limitant à un schéma monophasé équivalent. Par ailleurs, cette ligne se caractérise par des grandeurs linéiques : résistance  $R$  et inductance  $L$  (directes) en série, capacité  $C$  et conductance  $G$  (directes) en parallèle. Ces grandeurs sont réparties le long de la ligne et s'expriment par unité de longueur :

$$Z_S = R + jL\omega \text{ (en } \Omega/\text{km)}$$

$$Y_P = G + jC\omega \text{ (en } \Omega/\text{km)}$$

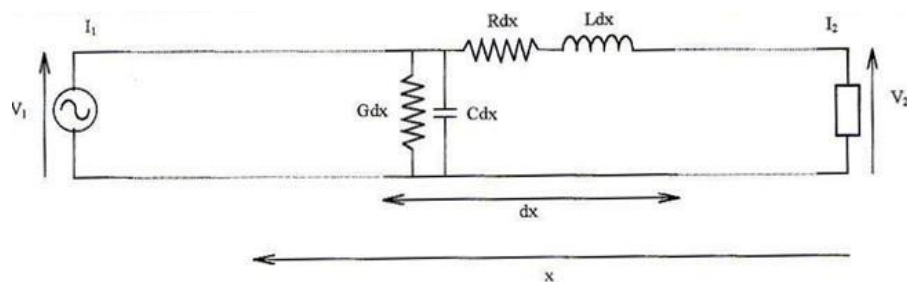


Figure I.8 Modélisation d'une ligne par constantes réparties

La mise en équation liée au schéma ci-dessus fait intervenir des dérivées partielles de la tension et du courant par rapport à  $x$  (position le long de la ligne) et au temps  $t$ . La résolution de ces équations dans le cas particulier du régime permanent sinusoïdal conduit à :

$$\begin{bmatrix} V(x) \\ I(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}\gamma x & Z_c \text{sh} \gamma x \\ \frac{1}{Z_c} \text{sh} \gamma x & \text{ch}\gamma x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad \text{I (1)}$$

Avec

$$\gamma = \sqrt{Z_s Y_p} \quad (\gamma \text{ est un nombre complexe, appelé "constante de propagation" : } \gamma = a + jb)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_s}{Y_p}} \quad (Z_c \text{ est un nombre complexe, appelé "impédance caractéristique"})$$

Si on ne s'intéresse qu'au comportement de la ligne vue de ses extrémités, ce système devient

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}\gamma X & Z_c \text{sh}\gamma X \\ \frac{1}{Z_c} \text{sh}\gamma X & \text{ch}\gamma X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad \text{I (2)}$$

où X désigne la longueur totale de la ligne

Considérons maintenant un modèle quadripolaire de la ligne sous la forme dite "schéma en  $\pi$ ":

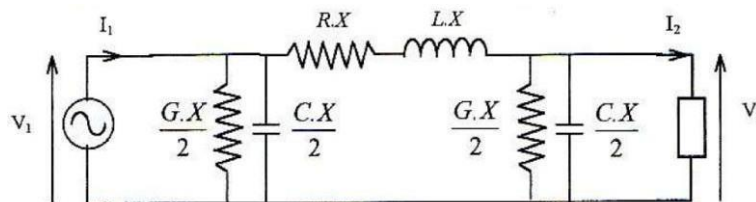
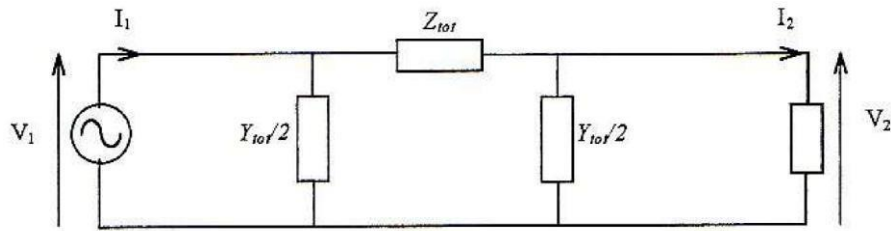


Figure 9 Modélisation d'une ligne par un schéma en  $\pi$

RLC et G représentent les constantes linéiques de la ligne. Nous noterons

$$Z_{\text{tot}} = Z_s \cdot X \quad \text{et} \quad Y_{\text{tot}} = Y_p \cdot X$$

Le schéma cidessus se résume alors à :



Dont les équations sont :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Y_{tot} Z_{tot}}{2} & Z_{tot} \\ Y_{tot} + \frac{Y_{tot}^2 Z_{tot}}{4} & 1 + \frac{Y_{tot} Z_{tot}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad I (3)$$

Le modèle à constantes concentrées de la figure 9 ne représentera bien le comportement de la lignevue de ses extrémités que si les équations matricielles (I.2) et (I.3) conduisent à des résultats similaires. En d'autres termes, à quelles conditions les matrices carrées intervenant dans (I.2) et (I.3) sont-elles "quasiment" identiques ?

Il est possible de développer les ch et sh de (I.2) en série :

$$\begin{aligned} \text{ch} \gamma X &= 1 + \frac{(\gamma X)^2}{2} + \dots = 1 + \frac{Z_s Y_p X^2}{2} + \dots = 1 + \frac{Z_{tot} \cdot Y_{tot}}{2} + \dots \\ Z_c \text{sh} \gamma X &= \sqrt{\frac{Z_s}{Y_p}} (\gamma X + \dots) = \sqrt{\frac{Z_s}{Y_p}} \sqrt{Z_s Y_p} X = Z_{tot} + \dots \\ \frac{1}{Z_c} \text{sh} \gamma X &= \frac{1}{Z_c} \left( \gamma X + \frac{(\gamma X)^3}{3!} \dots \right) = \sqrt{\frac{Y_p}{Z_s}} \sqrt{Z_s Y_p} X + \sqrt{\frac{Y_p}{Z_s}} \frac{\sqrt{Z_s Y_p} Z_s Y_p}{6} X^3 + \dots = Y_{tot} + \frac{Y_{tot} Z_{tot}}{6} + \dots \end{aligned} \quad I (4)$$

On retrouve (presque...) dans les premiers termes de ces développements en série les termes de la matrice (I.3). On peut par ailleurs montrer que les termes résiduels (notés +) sont d'autant plus faibles que la ligne est courte.

Le schéma en  $\pi$  constitue donc une approximation du modèle de ligne à constantes réparties. Cette approximation reste très correcte tant que la ligne n'est pas trop longue. Pour préciser l'ordres de grandeur, étudions un exemple concret.

### I.9.3 Transformateurs

Un transformateur est bien modélisé, à 50 Hz, par un schéma équivalent monophasé faisant intervenirun transformateur idéal, des éléments en série (les résistances des enroulements primaire et secondaire et les inductances de fuites) et des éléments en parallèle (l'inductance de magnétisation et éventuellement une résistance modélisant les pertes "fer"). Ramené au même niveau de tension

(primaire ou secondaire), ce schéma peut se réduire à un simple schéma en T. Ce schéma admet lui-même un équivalent en  $\pi$ .

Il n'est pas rare que soient négligé dans un calcul de répartition les éléments en parallèle du schéma équivalent, dont l'influence est surtout sensible lorsque le réseau est très peu chargé. Dans ce cas, le schéma équivalent du transformateur, ramené au même niveau de tension, se réduit à une simple impédance "série" dont la résistance représente la résistance totale des enroulements primaire et secondaire, et dont l'inductance représente l'inductance de fuite totale entre enroulement primaire et enroulement secondaire.

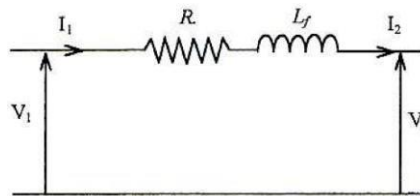


Figure I.10 Modélisation d'un transformateur

Les paramètres de ce schéma sont ramenés au même niveau de tension. La résistance totale  $R$  peut être fournie directement par le constructeur du transformateur ou calculée à partir des pertes en court-circuit. L'inductance de fuite totale  $L_f$  peut être calculée à partir de la tension de court-circuit  $u_{cc}$  exprimée en %. Pour des transformateurs de très forte puissance (transport),  $L_{\omega} \gg R$ .

### I.9.4 Charge

Une charge sera simplement représentée par une consommation de puissance active  $P_{ci}$  et une fourniture ou consommation de puissance réactive  $Q_{ci}$

La puissance réactive peut être fournie ou consommée, selon la nature de la charge capacitive ou inductive. Notons qu'une telle modélisation permet de représenter aussi bien des charges connectées directement sur le réseau de transport (cas exceptionnel) que des points de connexion au réseau de répartition ou de distribution, ou encore des éléments du réseau tels que des moyens de compensation de la puissance réactive.[8]

### **Conclusion :**

Ce premier chapitre consacré aux généralités comporte d'abord quelques notions sur la production, le transport et la distribution de l'énergie. On y retrouve ensuite des rappels sur les différentes structures topologiques des réseaux électriques et leurs différents éléments constitutifs.

**Chapitre II :**  
**Les paramètres et le**  
**modèle électrique de la**  
**ligne**

### Introduction

Le transport de l'énergie électrique est un coefficient fondamental dans la structure du réseau électrique. Le rôle fondamentale d'une ligne est de transporter l'énergie électrique. Les conducteurs aériens sont soumis à l'action des facteurs atmosphériques : température, vent, pluie, 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 etc. Ce chapitre vise à déterminer ces caractéristiques longitudinales (résistances des conducteurs et les inductances entre les conducteurs) et les caractéristiques transversales (capacité des conducteurs), l'étude générale sur la ligne en cas générale.

### II.1 La ligne à haute tension

La ligne à haute tension constitue l'élément essentiel dans les infrastructures énergétiques de transport d'électricité. Elle permet l'acheminement de l'électricité des centrales électriques vers les centres de consommation. Les lignes peuvent être aériennes, souterraines, et parfois sous-marines. Dans notre étude, nous nous intéressons exclusivement à la ligne à haute tension aérienne.

Les lignes à haute tension aériennes sont composées de câbles conducteurs, généralement en alliage d'aluminium, suspendus à des supports, pylônes ou poteaux. Ces supports peuvent être faits de bois, d'acier, de béton, d'aluminium ou parfois en matière plastique renforcée. Aujourd'hui, certaines lignes sont régulièrement exploitées à des tensions supérieures à 765 kV. Les lignes à courant continu haute tension permettent de transporter l'énergie avec moins de pertes sur de très grandes distances et éventuellement sous l'eau. [9]

### 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). [10]



**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

#### II.2.1.1 Types des Pylônes

##### a. Pylônes

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.[11], [12]



**Figure II.2 : Pylône nappe**

### b. Pylône triangle

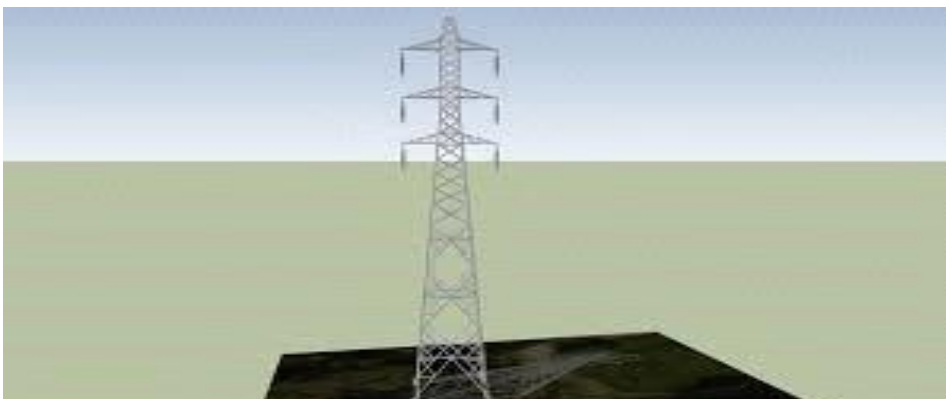


**Figure II.3 : Pylône triangle.**

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. [13]

### c. Pylône double drapeau

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. [13]



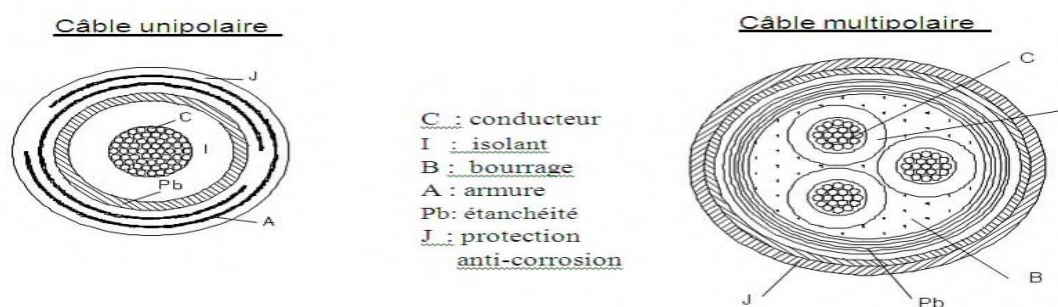
**Figure II.4 : Pylône double drapeau**

### 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. [14]



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

### II.2.2.1 Caractéristiques des conducteurs

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

	Matériaux	Cuivre	Alu	AMS	Acier
Caractéristique					
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'aluméc.[15]

### II.2.4 Isolateurs

**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.[15]

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

**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.[16]



Figure II.6 : les types des isolateurs

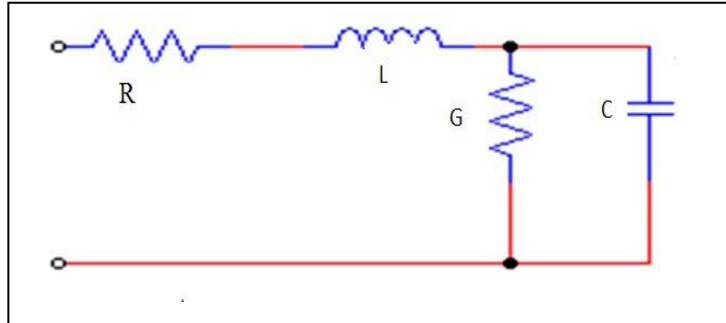
### II.3. Effet peau

Les phénomènes résultant en raison de la répartition inégale du courant électrique sur toute la section transversale du conducteur utilisés pour la transmission de puissance à longue distance sont désignée comme le skin effect dans les lignes de transmission. Un tel phénomène n'a pas beaucoup de rôle à jouer dans le cas d'une ligne courte, mais avec l'augmentation de la longueur effective des conducteurs, effet de peau augmente considérablement. Ainsi, les modifications dans le calcul de la ligne doit être fait en conséquence.

La distribution du courant électrique sur toute la section transversale du conducteur est assez uniforme dans le cas d'un système à courant continu. Mais ce que nous utilisons dans l'ère actuelle de l'ingénierie du système d'alimentation est essentiellement un système électrique alternatif actuel, où le courant électrique a tendance à couler avec une densité plus élevée à travers la surface des conducteurs (c.-à-peau du conducteur), laissant le noyau privé de nombre nécessaire d'électrons. En fait, il se pose même quand une condition absolument aucun courant électrique circule à travers le cœur, et la concentration de la quantité totale de la zone de surface, conduisant ainsi à une augmentation de la résistance électrique effective du conducteur. Cette tendance particulière d'un système de transmission AC à prendre le trajet de surface pour le passage du courant électrique prive le noyau est appelé l'effet de peau dans les lignes de transmission. [17]

### II.4. Les paramètres de la ligne électrique

Les lignes aériennes constituent des circuits de transmissions des réseaux triphasés reliant le générateur aux charges. Chaque ligne possède ses propres paramètres (R, L, C, G) les paramètres séries longitudinaux (R, L) et paramètres parallèles transversaux (C, G). [17]



#### II.4.1 Les paramètres longitudinaux

##### II.4.1.1. la résistance de la ligne

Les résistances a courant continue d'un conducteur homogène de longueur l en (m), de section uniforme  $s$ en (mm<sup>2</sup>) et de résistivité  $\rho$  a 20°C ( $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ) est donnée par la formule :

$$R = \rho \frac{l}{s} (\Omega/\text{km}) \quad (\text{II.1})$$

La valeur de la résistance en courant continu peut être modifiée par l'effet de spirilage du conducteur et par l'effet température.

##### a. Effet de spirilage du conducteur

L'effet de spirilage du conducteur fait augmenter la résistance de 1% environ pour les conducteurs à trois brins et de 2% environ pour les conducteurs a nombre de brins supérieur. [18]

##### b. Effet de température

La résistance du matériau croit avec la température selon la loi :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \quad (\text{II.2})$$

- $t_1$  et  $t_2$  sont les températures en °C à l'Etat initiale et à l'état final du conducteur.
- $R_1$  et  $R_2$  sont les résistances du conducteur respectivement aux températures  $t_1$  et  $t_2$ .
- $T$  est une température paramétrique en °C lie à la nature du matériau du conducteur.

**Tab. II-1:** les températures de certain conducteur

T(°C)	Nature de conducteur
234.5	Pour le cuivre recuit ayant 100% de conductivité
241	Pour le cuivre étiré ayant 97.3% de la conductivité du cuivre recuit
228	Pour l'aluminium étiré (et ses alliages) ayant 61% de la conductivité du recuit

### c. Effet pelliculaire ou effet Kelvin

En courant alternatif, la densité de courant dans un conducteur n'est pas uniforme à travers la section du conducteur.

La densité de courant va en croissant vers la périphérie du conducteur ce phénomène appelle «effet pelliculaire» ou « effet kelvin». [17]

Ou «effet de peau», modifie la valeur de la résistance et l'inductance du conducteur.

Le facteur de Kelvin est calculé à l'aide de l'expression suivante :

$$q = \pi \cdot d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot 10^{-5}}{\rho}} \quad (\text{II.3})$$

d : diamètre de conducteur en cm.

f : fréquence du réseau en Hz

$\rho$ : résistivité du métal ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ )

### II.4.1.2. Inductance de la ligne

#### II.4.1.2.1. Définition

L'inductance est la grandeur du circuit qui relie la tension induite à la vitesse de la variation du courant. La variation de l'intensité de courant dans les conducteurs fait changer le nombre de ligne du champ magnétique et l'intensité de celui-ci dans le circuit.

Tout variation du flux couple induit une tension proportionnel à la vitesse de variation du flux

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

#### II.4.1.2.2 Inductance d'un conducteur

##### a. Inductance d'un conducteur due au flux intérieur

Un courant électrique d'intensité I, parcourant un fil conducteur, crée un champ magnétique autour de celui –ici.

D'après la loi de Maxwell, l'intégrale linéique de l'intensité de champ magnétique est égale au courant entouré.

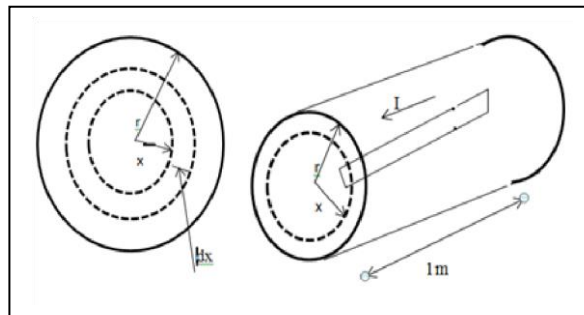
Soit un conducteur de rayon  $r$  parcouru par un courant  $I$ , considérant le champ magnétique  $H$  créée à l'intérieur de ce conducteur à une distance  $x$  du centre. Soit  $I_x$  le courant entouré par un cercle de rayon  $x$ .  $H$  constant à chaque point du cercle.

$$\int_0^{2\pi x} H \cdot dx = I_x$$

$$H \cdot 2\pi x = I_x$$

$$H = \frac{I_x}{2\pi x} \text{ (At/m)}$$

$$B = \mu_0 H \text{ (wb/m}^2\text{)}$$



**Figure. II.7** : Un conducteur massif

$$B = \mu_0 \frac{I_x}{2\pi x} \tag{II.4}$$

Le flux travers une section d'épaisseur  $dx$  et de longueur de  $1m$  est :

$$d\phi = B \cdot ds = B \cdot dx \cdot 1$$

Le flux intérieur entoure seulement une partie du conducteur, donc comme le courant, il constitue une portion du flux total.

$$d\psi = \frac{x^2}{r^2} d\phi$$

$$d\psi = \frac{x^2}{r^2} B \cdot dx = \frac{x^2}{r^2} \mu_0 \frac{1}{2\pi x} \cdot \frac{x^2}{r^2} I dx$$

$$d\psi = \mu_0 \cdot I \frac{x^3}{2\pi r^4} dx$$

$$\psi_{int} = \int_0^r d\psi = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r^4} \int_0^r x^3 dx$$

$$\psi_{int} = \frac{\mu_0 I}{8\pi} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7} I \quad \text{(Wb.t/m)} \tag{II.5}$$

$\mu_0$  : La permittivité du vide ou de l'air ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m)

$$L_{int} = \frac{\psi_{int}}{I} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7} \quad \text{(H/m)} \tag{II.6}$$

### b. Inductance d'un conducteur due au flux extérieur

Pour déterminer le flux extérieur entre deux contours situés respectivement à la distance  $D_1$  et  $D_2$  du centre du conducteur, considérant un élément d'épaisseur  $dx$  entre  $D_1$  et  $D_2$ .

$$\int_0^{2\pi} H \cdot dx = I$$

$$H \cdot 2\pi x = I$$

$$H = \frac{I}{2\pi x} \text{ (At/m)} \quad x > r$$

$$B = \mu_0 H \quad \text{(wb/m}^2\text{)}$$

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi x}$$

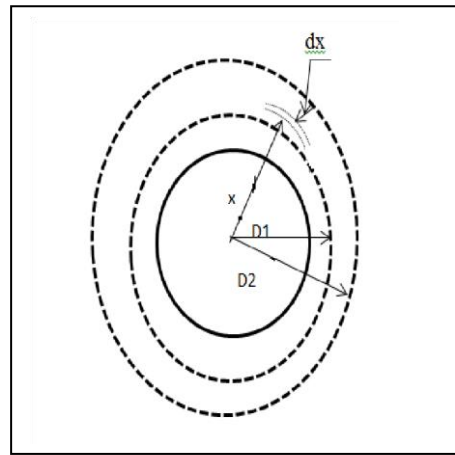


Figure. II.8 : Conducteur de section circulaire plein

Le flux à travers un cylindre d'épaisseur  $dx$  et de longueur de 1m est :

$$d\Phi = B \cdot dS = B \cdot dx \cdot l$$

$$d\Phi = \mu_0 I \frac{dx}{2\pi x}$$

$$d\Phi = 2 \cdot 10^{-7} I \frac{dx}{x}$$

Le flux crée entre deux contours  $D_1$  et  $D_2$

$$\psi_{12} = 2 \cdot 10^{-7} I \ln \frac{D_2}{D_1} \quad \text{(Wb.t/m)} \quad \text{(II.7)}$$

Si  $D_1 = r$  et  $D_2 = D$

$$\psi_{ext} = 2 \cdot 10^{-7} I \ln \frac{D}{r} \quad \text{(II.8)}$$

L'inductance d'un conducteur due au flux extérieure

$$L_{ext} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r} \quad \text{(H/m)} \quad \text{(II.9)}$$

**c. L'inductance d'un conducteur due au flux total** Le

flux de liaison total est :

$$\Psi = \psi_{int} + \psi_{ext}$$

$$\Psi = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7} I + 2 \cdot 10^{-7} I \ln \frac{D}{r} \quad \text{(II.10)}$$

Sachant que:

$$2 \ln e^{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$$

$$\Psi = 2 \cdot 10^{-7} I \left[ \ln e^{\frac{1}{4}} + \ln \frac{D}{r} \right] \quad \text{(II.11)}$$

$$\Psi = 2 \cdot 10^{-7} I \ln \frac{D}{r e^{\frac{1}{4}}} \quad \text{(II.12)}$$

En posant:

$$r e^{\frac{1}{4}} = r'$$

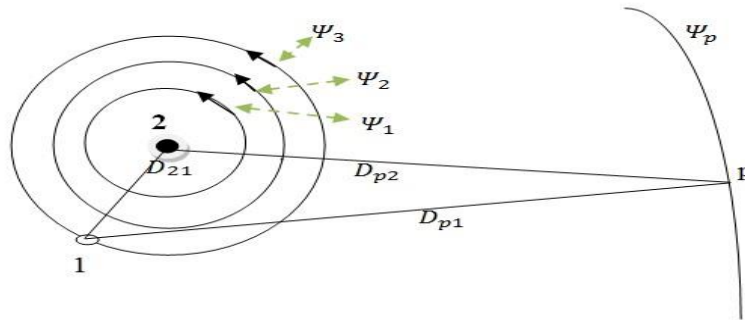
Le flux crée par un conducteur est :

$$\Psi = 2 \cdot 10^{-7} I \ln \frac{D}{r'} \text{ (Wb.t/m)} \quad (\text{II.13})$$

L'inductance du conducteur est:

$$L : \frac{\Psi}{I} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \text{ (H/m)} \quad (\text{II.14})$$

**II.4.1.2.3 Inductance d'un ensemble de n conducteur en parallèles parcourus chacun par un courant**



**Figure. II.9 : flux d'un ensemble de conducteurs en parallèles**

Considérant n conducteurs parallèles parcourus chacun par un courant ( $I_1; I_2; \dots; I_n$ ) et considérons que le système est équilibré ( $I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0$ ).

On a calculé le flux du au conducteur 1 seul et on a ajouté la contribution des flux des conducteurs 2,3,...,n, en faisant la superposition.

Soit le flux crée par le conducteur 2, les lignes de ce flux sont des cercles concentriques.

La ligne  $\psi_1$  du flux, n'entoure pas le conducteur 1.

Les lignes  $\psi_2$  et  $\psi_3$  et  $\psi_p$  du flux crée par le conducteur 2 entourent le conducteur 1.

La ligne  $\psi_2$  et  $\psi_p$  du flux crée par le conducteur 2 marque les limite extrêmes du flux due au conducteur 2 entourant le conducteur 1.

D'après la relation (II.7), le flux a un point p par le conducteur 1 est :

$$\psi_{12} = 2 \cdot 10^{-7} I_2 \ln \frac{D_{p2}}{D_{12}} \quad (\text{II.15})$$

De la même manière, le flux crée par le conducteur 3 autour du conducteur 1 est \$

$$\psi_{13} = 2 \cdot 10^{-7} I_2 \ln \frac{D_{p3}}{D_{13}} \quad (\text{II.16})$$

$$\psi_{1n} = 2 \cdot 10^{-7} I_2 \ln \frac{D_{pn}}{D_{1n}} \quad (\text{II.17})$$

Le flux total crée autour du conducteur 1 a un point p distant de  $D_{p1}$  du centre du conducteur 1 est :

$$\psi_1 = \psi_{11} + \psi_{12} + \dots + \psi_{1n}$$

$$\psi_1 = 2.10^{-7} \sum_{j=1}^n I_j \ln \frac{D_{pj}}{D_{1j}} \quad (\text{II. 18})$$

D'une manière générale, le flux total crée autour d'un conducteur k a un point p distant de  $D_{pk}$  du centre du conducteur k est :

$$\psi_k = \psi_{k1} + \psi_{k2} + \dots + \psi_{kj} + \dots + \psi_{kk} + \dots + \psi_{kn}$$

$\psi_{kj}$  est le flux crée par le conducteur j autour de k, c'est le flux mutuel.

$$\psi_k = 2.10^{-7} \sum_{j=1}^n I_j \ln \frac{D_{pj}}{D_{kj}} \quad (\text{II. 19})$$

$D_{jk} = D_{kj}$  est la distance entre deux conducteurs j et k.

$D_{kk} = r'_k$  est le rayon du conducteur k.

$$\psi_k = 2.10^{-7} \left[ \sum_{j=1}^n I_j \ln \frac{1}{D_{kj}} + \sum_{j=1}^n I_j \ln D_{pj} \right] \quad (\text{II. 20})$$

$$I_n = -(I_1 + I_2 + \dots + I_{n-1}) = -\sum_{j=1}^{n-1} I_j$$

D'où

$$\psi_k = 2.10^{-7} \left[ \sum_{j=1}^n I_j \ln \frac{1}{D_{kj}} + \sum_{j=1}^{n-1} I_j + I_n \ln \frac{D_{pj}}{D_{pn}} \right]$$

Comme le point p est supposé très loin des conducteurs, les valeurs :

$$\frac{D_{p1}}{D_{pn}} \cong \frac{D_{p2}}{D_{pn}} \cong \frac{D_{pn-1}}{D_{pn}} \cong 1$$

$$\psi_k = 2.10^{-7} \sum_{j=1}^n I_j \ln \frac{1}{D_{kj}} \quad (\text{Wb.t/m}) \quad (\text{II.21})$$

#### **II.4.1.2.4. Rayon moyen géométrique (RMG) des conducteurs toronnés**

Pour les conducteurs toronnés, les valeurs de RMG peuvent être calculées à partir de la section utile S du conducteur et du nombre de brins.

**Tab. II-2:** valeurs du RMG selon le nombre de brins

Type	$g_{11}$ RMG
Conducteur de section circulaire pleine	$0.4394S^{\frac{1}{2}}$
Corde circulaire à 7 brins	$0.4642S^{\frac{1}{2}}$
Corde à 3brins sans âme centrale	$0.4750S^{\frac{1}{2}}$
Corde circulaire à 19 brins	$0.4902S^{\frac{1}{2}}$
Corde circulaire à 37 brins	$0.4982S^{\frac{1}{2}}$
Corde circulaire à 61 brins	$0.5020S^{\frac{1}{2}}$
Corde circulaire à 91 brins	$0.5038S^{\frac{1}{2}}$
Corde circulaire à 127 brins	$0.5046S^{\frac{1}{2}}$

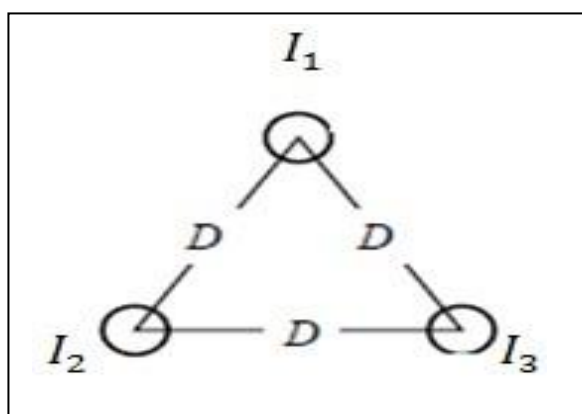
### II.4.1.2.5. Inductance des lignes triphasées

#### a. Disposition triangle équilatéral (espacements égaux)

Les trois conducteurs de la ligne sont de rayon  $r$  et espacés de la distance  $D$ .

Les courants dans les conducteurs satisfont la relation :

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$



**Figure. II.10 :** Disposition des conducteurs en triangle équilatéral

En appliquant la relation (II.21), on peut déterminer le flux du conducteur 1 dû aux courants  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ .

$$\psi_k = 2 \cdot 10^{-7} \sum_{j=1}^3 I_j \ln \frac{1}{D_{kj}}$$

$$\psi_1 = 2 \cdot 10^{-7} \left( I_1 \ln \frac{1}{D_{11}} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} \right) \quad (\text{II.22})$$

$$\psi_1 = 2 \cdot 10^{-7} \left( I_1 \ln \frac{1}{r'} + (I_2 + I_3) \ln \frac{1}{D} \right) \quad (\text{II.23})$$

On a :  $I_1 = -(I_2 + I_3)$

$$\psi_1 = 2 \cdot 10^{-7} \left( I_1 \ln \frac{1}{r'} - I_1 \ln \frac{1}{D} \right) \quad (\text{II.24})$$

$$\psi_1 = 2 \cdot 10^{-7} I_1 \ln \frac{D}{r'} \quad (\text{II.25})$$

L'inductance du conducteur 1 est :

$$L_1 = \frac{\psi_1}{I_1} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \quad (\text{H/m}) \quad (\text{II.26})$$

A cause de la symétrie, les trois inductances sont égales.

L'inductance linéique par phase de la ligne est :

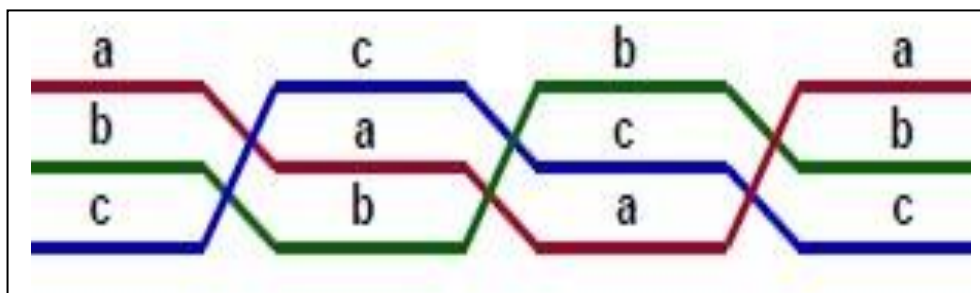
$$L' = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{g_{11}} \quad (\text{H/m}) \quad (\text{II.27})$$

$r' = g_{11}$  est le rayon moyen géométrique du conducteur (RMG).

### b. Disposition quelconque

Si les conducteurs des phases de la ligne ne sont pas régulièrement espacés, les capacités et les inductances des phases sont différentes. Ce problème peut être résolu par la transposition de la ligne.

La transposition de la ligne est la permutation des conducteurs de phase à des intervalles réguliers le long de la ligne telle que chaque conducteur occupera sa position originale.



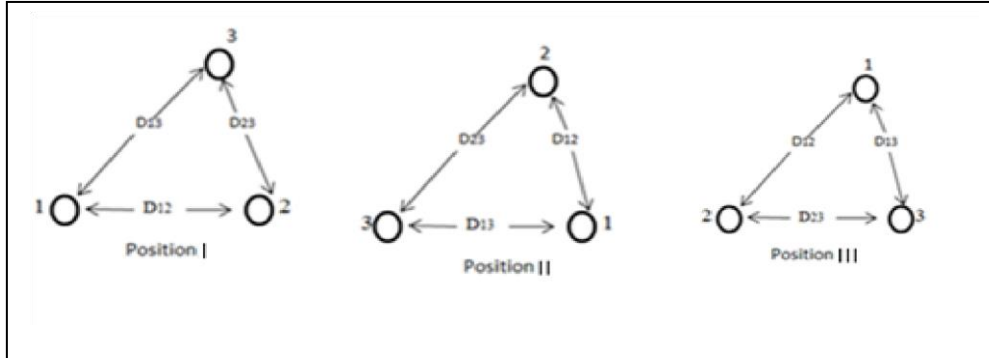
**Figure. II.11** : Transposition de la ligne

## Chapitre II : Les paramètres et le modèle électrique de la ligne

Les trois conducteurs de la ligne sont de rayon  $r$  et les courants dans les conducteurs satisfont la relation  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

Les distances  $D_{12} \neq D_{23} \neq D_{31}$ , les inductances des phases sont différentes, cela conduit à des chutes de tension différentes dans chaque phase par conséquent les tensions à la sortie de la ligne sont différentes.

En appliquant la relation (II.21) on peut déterminer le flux du conducteur 1 du aux courants  $I_1$ ,  $I_2$ , et  $I_3$  dans les positions I, II et III.



**Figure. II.12 :** Liaisons triphasé à disposition quelconque

$$\begin{cases} \psi_{1I} = 2.10^{-7} \left( I_1 \ln \frac{1}{r'} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} \right) \\ \psi_{2II} = 2.10^{-7} \left( I_1 \ln \frac{1}{r'} + I_2 \ln \frac{1}{D_{23}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{12}} \right) \end{cases} \quad (II.28)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \psi_{3III} = 2.10^{-7} \left( I_1 \ln \frac{1}{r'} + I_2 \ln \frac{1}{D_{13}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{23}} \right) \end{aligned} \right.$$

Le flux moyen de la phase 1 on utilise les équations (II.28):

$$\psi_1 = \frac{\psi_{1I} + \psi_{2II} + \psi_{3III}}{3}$$

$$\psi_1 = \frac{2}{3} \cdot 10^{-7} \left( 3 \cdot I_1 \ln \frac{1}{r'} + (I_2 + I_3) \ln \frac{1}{D_{12} D_{23} D_{13}} \right) \quad (II.29)$$

Comme  $I_1 = -(I_2 + I_3)$

$$\psi_1 = 2.10^{-7} \left( I_1 \ln \frac{1}{r'} - I_1 \ln \frac{1}{\sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{13}}} \right) \quad (II.30)$$

$$\psi_1 = 2.10^{-7} I_1 \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{13}}}{r'} \quad (II.31)$$

L'inductance linéique d'une phase de la ligne est :

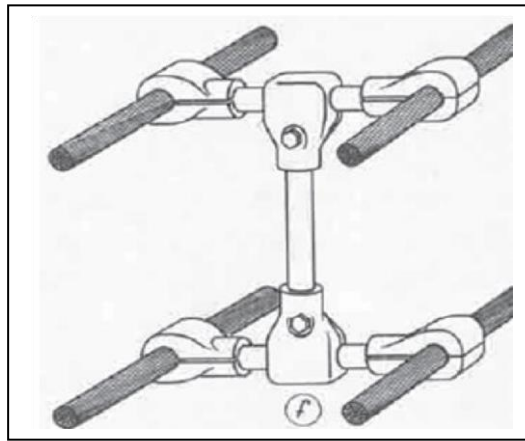
$$L' = \frac{\psi_1}{I} \quad (\text{II.34})$$

$$L' = 2.10^{-7} \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}}}{g_{11}} \quad (\text{H/m}) \quad (\text{II.32})$$

$D_{\text{éq}} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}}$  Avec la distance moyenne géométrique (DMG) Donc

$$L' = 2.10^{-7} \ln \frac{D_{\text{éq}}}{G_{11}} \quad (\text{H/m}) \quad (\text{II.33})$$

### II.4.1.2.6. Inductance des lignes triphasées avec des conducteurs en faisceaux



**Figure. II.13 :** Conducteurs en faisceaux

Si la ligne est formée par des conducteurs de phase en faisceaux, l'inductance linéique est :

$$L' = 2.10^{-7} \ln \frac{D_{\text{éq}}}{G_{11}} \quad (\text{II.34})$$

Avec  $G_{11} = \sqrt[n]{n \cdot g_{11} \cdot r_T^{n-1}}$

$G_{11}$  Rayon moyen géométrique du faisceau.

$g_{11}$  Rayon moyen géométrique d'une corde.

$n$  Nombre de corde dans un faisceau.

$r_T$  Rayon du cercle passant par les centres des cordes.

### III.4.1.2.7. Inductance linéique d'une ligne triphasée à deux ternes

$$L' = 2.10^{-7} \ln \frac{D_{eq} \cdot D'_n}{g_{11} \cdot D_n} \quad (II.35)$$

$$\text{Avec } D_n = \sqrt[3]{D_{Aa} D_{Bb} D_{Cc}}$$

$$D'_n = \sqrt[3]{D_{Ab} D_{Ac} D_{Bc}}$$

## II.4.2. Les paramètres transversaux

### II.4.2.1. Conductance

Le terme G, en effet, dû aux courants superficiels au long des chaînes d'isolateurs et à l'effet couronne des conducteurs est, par temps sec, G est inférieur à 0.005 Cω ; ce n'est que sous très forte pluie, lorsque les courants superficiels et les pertes par effet couronne sont les plus élevés, que G peut atteindre 0.1 Cω. Ces conditions étant particulièrement rares, il est donc généralement admis de négliger la conductance transversale G des lignes. [17]

### II.4.2.2. La capacité de la ligne

Les charges superficielles sur le conducteur de la ligne créent un champ électrique perpendiculaire à la surface du conducteur et un courant capacitif. Ce phénomène est représenté par la capacité linéique C' de la ligne .pour son calcul, le fait qu' ; un conducteur soit creux ou plein ne joue plus aucun rôle puisque la charge se concentre a la périphérie (loi de faraday).[17]

### II.7.2.2.1. Capacité d'une ligne monophasée

$$V_{xy} = \frac{q}{\pi \times \epsilon} \ln \frac{D}{\sqrt{r_x r_y}}$$

$$C_{xy} = \frac{\pi \times \epsilon}{\ln \frac{D}{\sqrt{r_x r_y}}} \quad (F/m)$$

$$V_{xn} = V_{yn} = \frac{V_{xy}}{2}$$

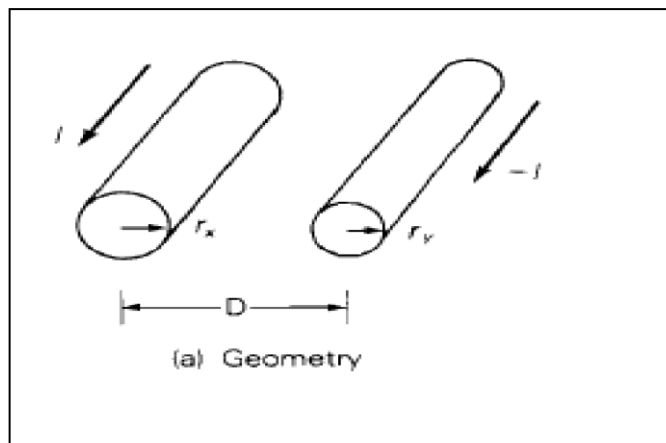


Figure. II.14 : Liaison monophasée

$$C_{xn} = \frac{\pi \times \epsilon}{\ln \frac{D}{\sqrt{r_x r_y}}} \quad \left( \frac{F}{m} \right)$$

(II.36)

II.4.2.2.2. Capacité d'une ligne triphasée

a. Capacité d'une ligne triphasée avec espacement de phase égal

On montre les trois conducteurs A, B et C de la ligne triphasée de transport aérienne ayant des charges  $Q_A$ ,  $Q_B$  et  $Q_C$  par mètre de longueur, respectivement. Que les conducteurs soient équidistants (mètres  $d$ ) de l'autre. Nous allons trouver la capacité de conducteur de ligne à neutre dans cette ligne espacés symétriquement. En se référant à la (Figure II.14). [17]

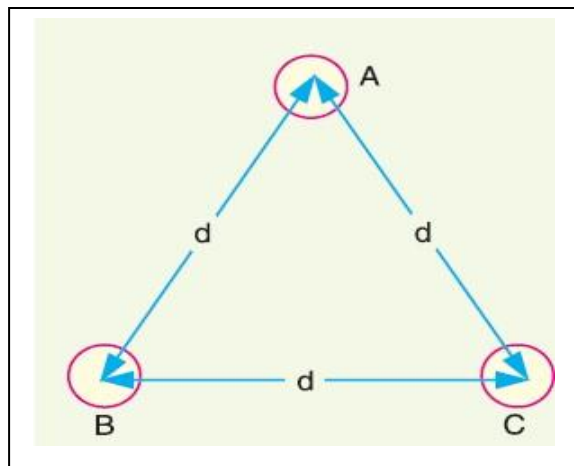


Figure. II.15: Liaison triphasée avec espacement de phase égal

$$D_{ab} = D_{ba} = D_{ca} = D_{cb} = D$$

$$D_{aa} = D_{bb} = r$$

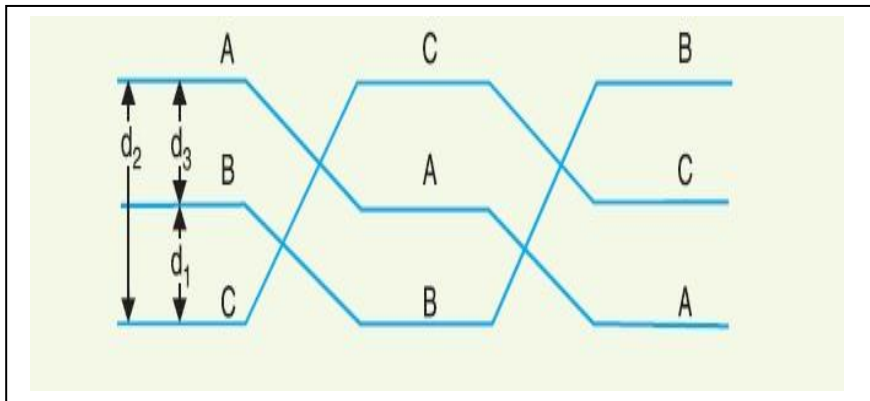
$$\begin{cases} V_{ab} = \frac{1}{2 \times \pi \times \epsilon} \left[ q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} \right] \\ V_{ac} = \frac{1}{2 \times \pi \times \epsilon} \left[ q_a \ln \frac{D}{r} + q_c \ln \frac{r}{D} \right] \\ V_{an} = \frac{q_a \ln \frac{D}{r}}{2 \times \pi \times \epsilon} \end{cases}$$

(II.37)

$$C_{an} = \frac{2 \times \pi \times \epsilon}{\ln \frac{D}{r}} \quad (F/m)$$

(II.38)

### b. Capacité d'une ligne triphasée avec espacement de phase inégal



**Figure. II.16:** Liaison triphasée avec espacement de phase inégal

$$V_{ab} = \frac{1}{2 \times \pi \times \epsilon} \left[ q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{eq}} \right] \quad (\text{II.39})$$

$$V_{ac} = \frac{1}{2 \times \pi \times \epsilon} \left[ q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + q_c \ln \frac{r}{D_{eq}} \right] \quad (\text{II.40})$$

$$V_{an} = \frac{q_a \ln \frac{D_{eq}}{r}}{2 \times \pi \times \epsilon}$$

$$C_{an} = \frac{2 \times \pi \times \epsilon}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} \quad (F/m) \quad (\text{II.41})$$

Ou,

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}} ;$$

$D_{eq}$ : Distance géométrique moyenne (GMD)

II.4.2.2.3. capacité des conducteurs en faisceaux

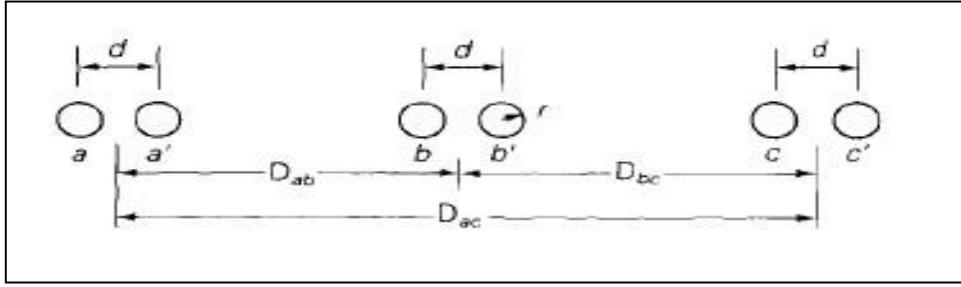


Figure. II.17 : Ligne triphasée avec deux conducteurs en faisceaux

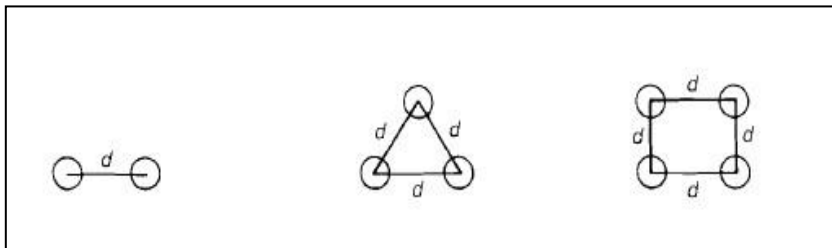


Figure. II.18 : La configuration des conducteurs en faisceaux

$$V_{ab} = \frac{1}{2 \times \pi \times \epsilon} \left[ q_a \ln \frac{D_{ba}}{\sqrt{rd}} + q_b \ln \frac{\sqrt{rd}}{D_{ab}} + q_c \ln \frac{D_{bc}}{D_{ac}} \right] \quad (\text{II.42})$$

$$C_{an} = \frac{2 \times \pi \times \epsilon}{\ln \frac{D_{eq}}{D_{sc}}} \quad (\text{F/m}) \quad (\text{II.43})$$

Ou:

$$D_{sc} = \sqrt{rd} \quad \text{Pour deux conducteurs en faisceaux.}$$

$$D_{sc} = \sqrt[3]{rd^2} \quad \text{Pour trois conducteurs en faisceaux.}$$

$$D_{sc} = 1.091 \times \sqrt[4]{rd^3} \quad \text{Pour quatre conducteurs en faisceaux.}$$

II.4.2.2.4. Effet de la terre sur la capacité de la ligne triphasée

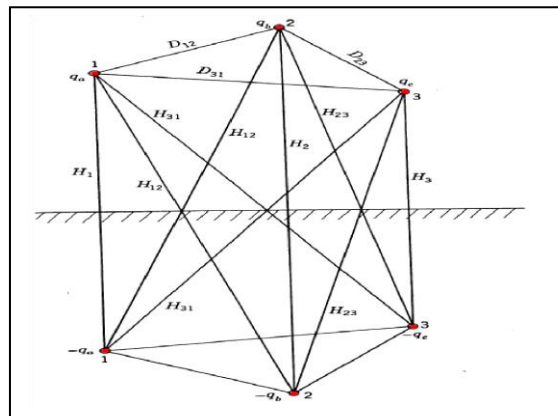


Figure. II.19 effet partielle à la terre

$$C_n = \frac{2\pi k}{\ln\left(\frac{D_{eq}}{r}\right) - \ln\left(\frac{\sqrt[3]{H_{13}H_{23}H_{31}}}{\sqrt[3]{H_1H_2H_3}}\right)} \quad (\text{II.44})$$

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la théorie de calcul des paramètres d'une ligne électrique aérienne.

La Connaissance de ces paramètres et très importantes pour l'analyse des réseaux électriques tel que La capacité a peu d'influence dans le cas de lignes courtes à basse tension, mais elle prend une grande importance dans le calcul des régimes de fonctionnement des lignes à haute tension de grande longueur. La conductance latérale due aux pertes d'énergie (par effet couronne) dans l'isolement qui entoure les conducteurs est négligeable. Elle peut être très appréciable dans certains cas.

La branche transversale (résistance et inductance) influe sur la chute de tension dans la ligne, tel qu'une résistance importante induit des pertes par effet joule.

**Chapitre III :**  
**Simulation d'une ligne**  
**de transport**

# Simulation d'une ligne de transport

## Introduction

Pour mieux comprendre cette étude de fonctionnement des lignes longues distances, il est nécessaire d'effectuer une simulation numérique par un programme sous Matlab.

Notre choix c'est porté sur une ligne de 200 km et de tension de 220 kV avec une puissance de charge de 300MW.

## III.1 Caractéristiques de la ligne

Pour effectuer notre simulation nous avons choisi une ligne électrique dont le câble présente les caractéristiques suivantes:

$$s=547.11 \text{ mm}^2; d_c=26.4 \text{ mm}; r_{20^\circ\text{C}}=0.103 \text{ } \Omega/\text{Km}; x_0=0.405 \text{ } \Omega/\text{Km};$$

$$b_0=2.57 \cdot 10^{-6} \text{ Siemens/Km}; L=200 \text{ Km}.$$

## III.2 Interface graphique

Une interface graphique qu'on développée pour le calcul et le tracé des diagrammes.

L'interface permet d'évaluer :

- ✓ La tension d'entrée et Le courant d'entrée en fonction de la distance.
- ✓ La tension d'entrée et le courant d'entrée en fonction de la température

### III.3 Variation de la distance

#### III.3.1 Organigramme de calcul

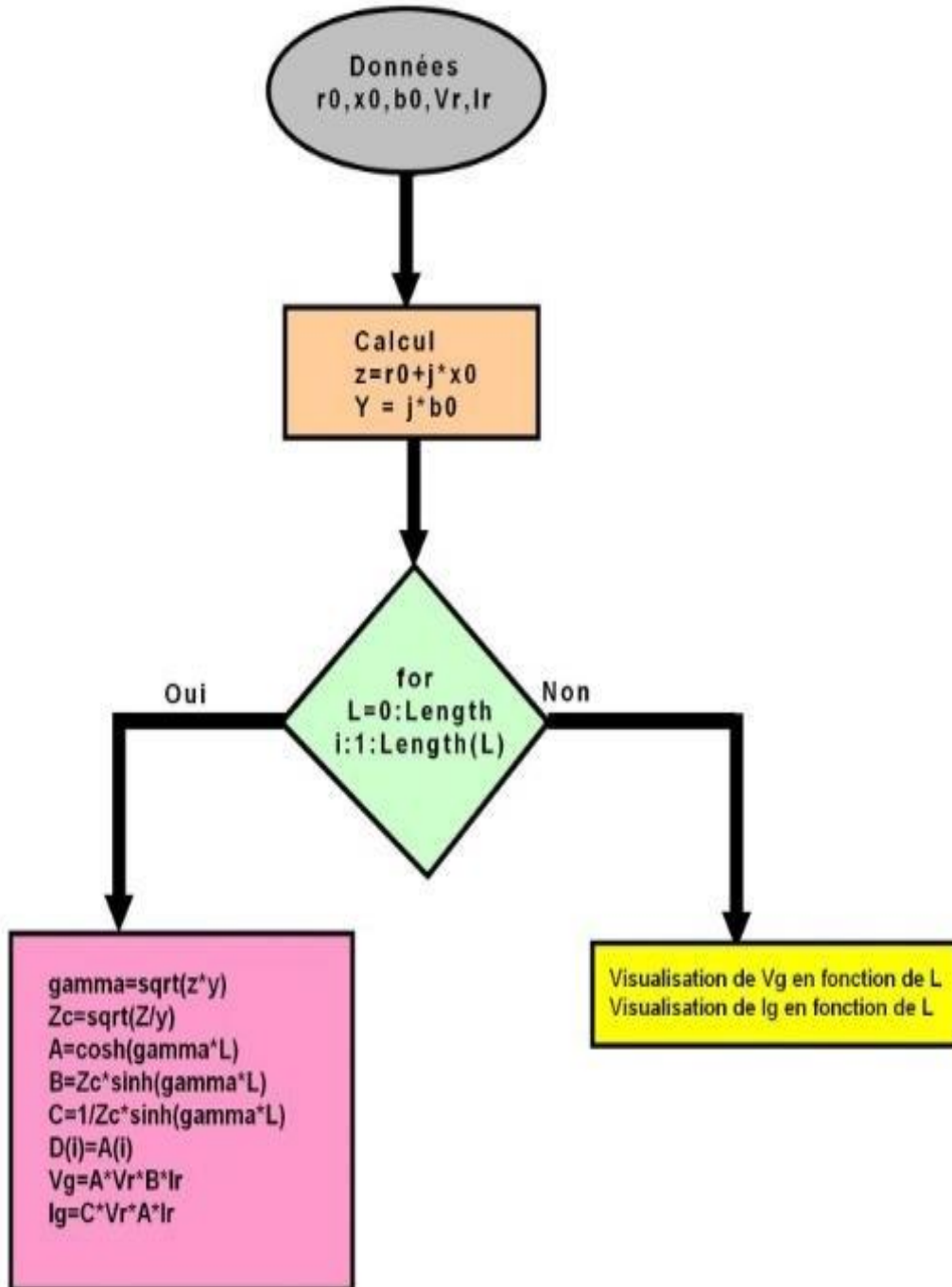


Figure III.1 : Organigramme de calcul de tension et courant d'entrée en fonction de la distance

## III.4.3 Résultats

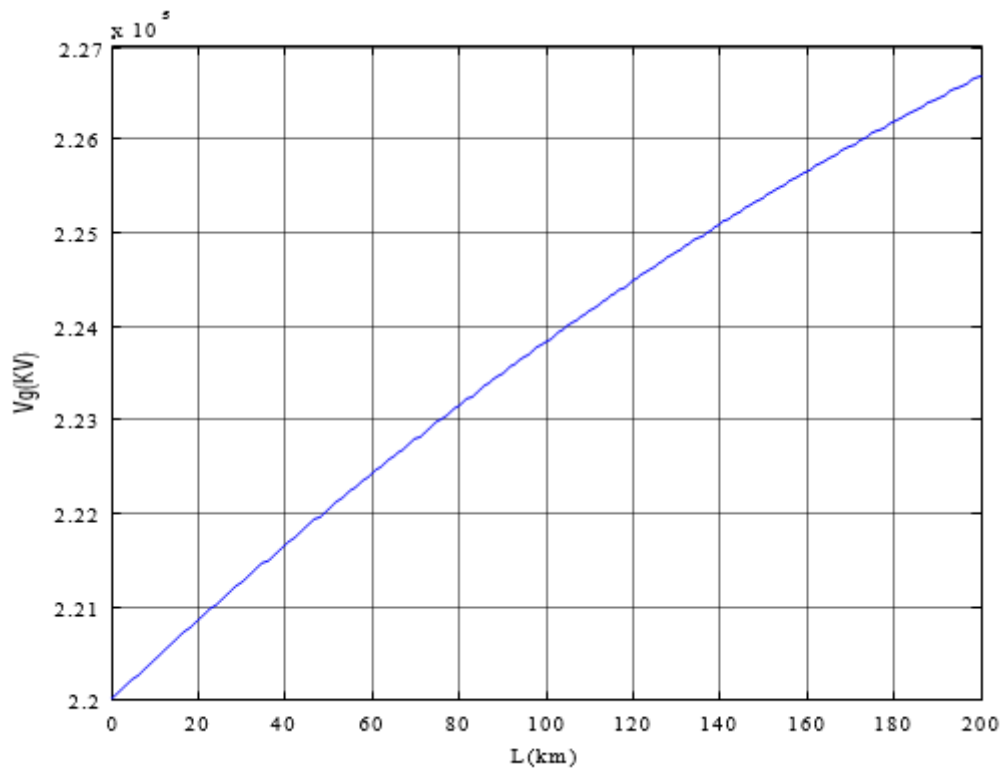


Figure III.2 : Tension d'entrée de la ligne en fonction de la distance

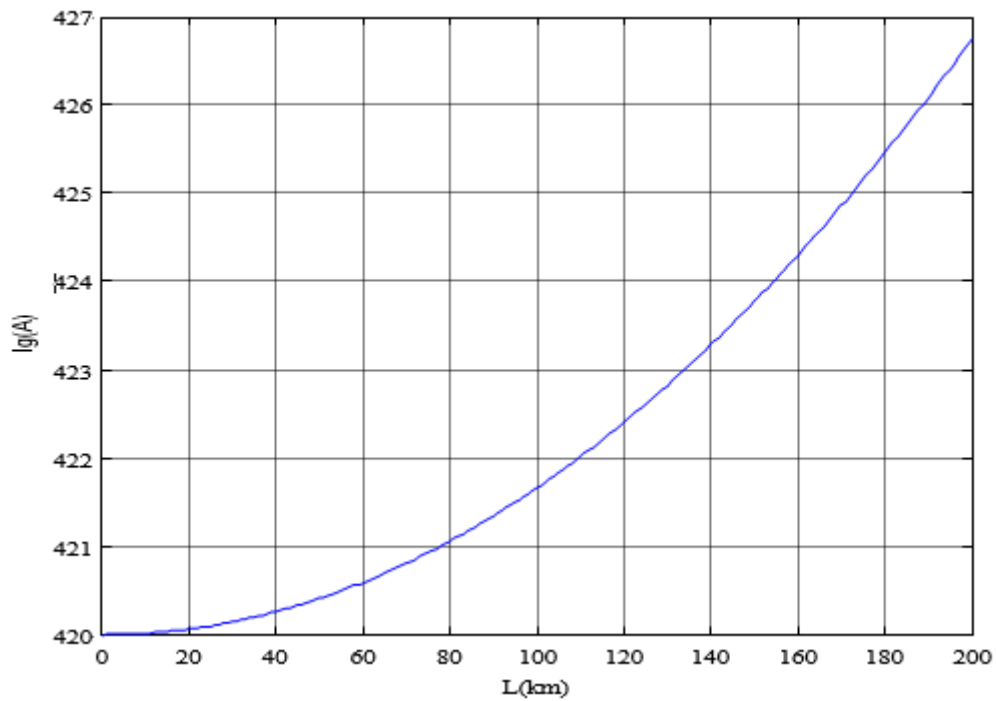


Figure III.3 : Courant d'entrée de la ligne en fonction de la distance

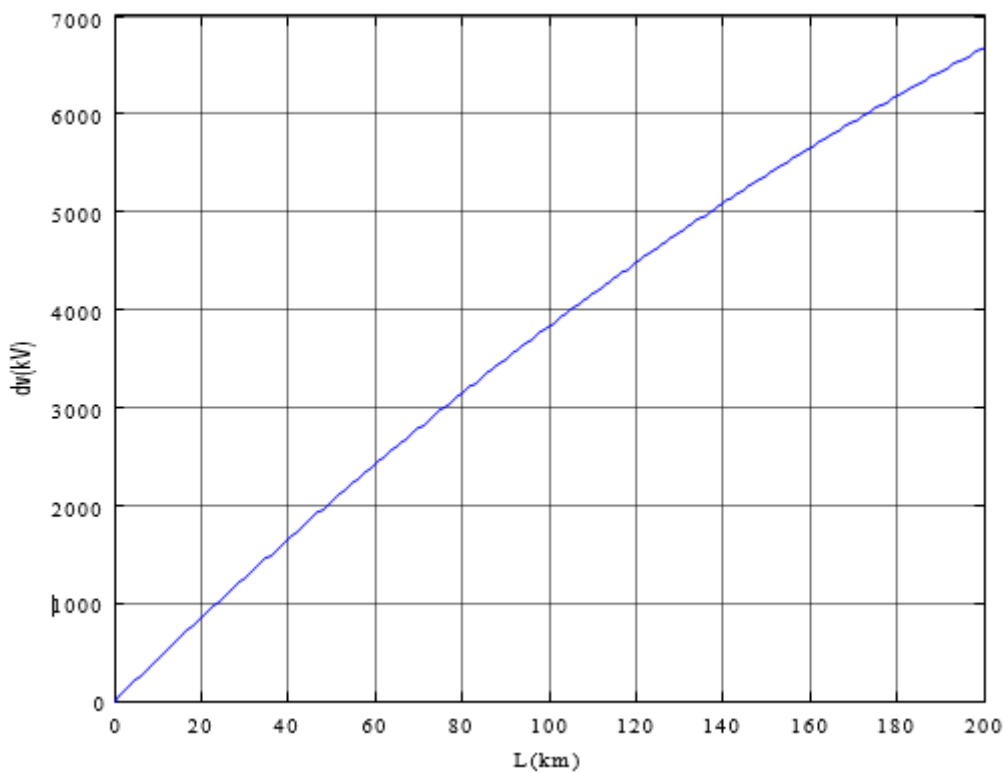


Figure III.4 : Chute de tension en fonction de la distance

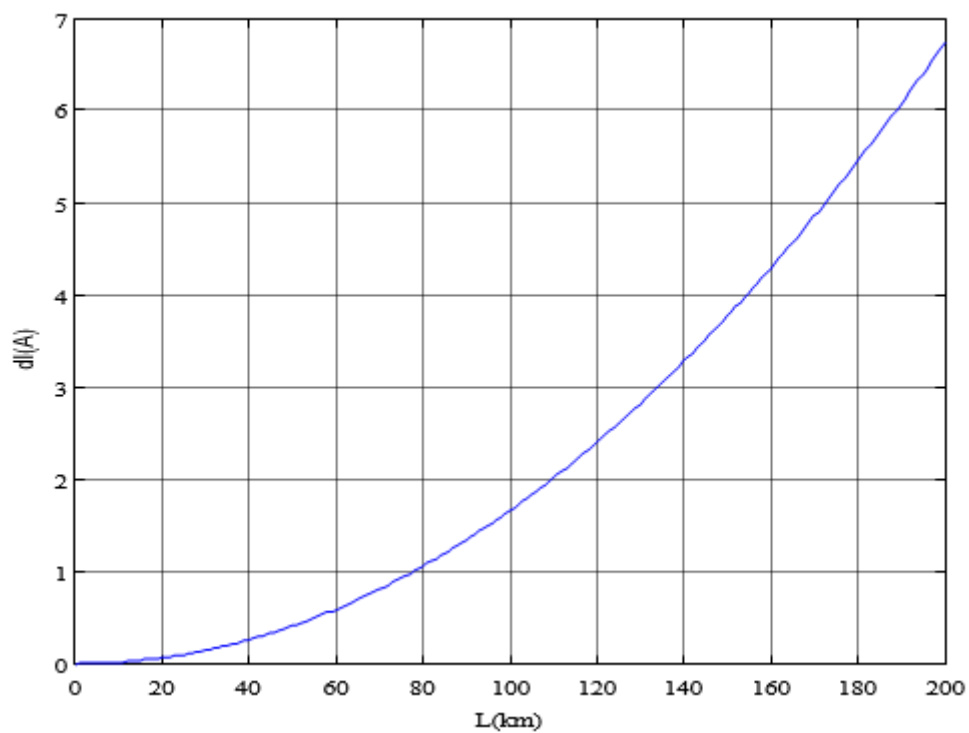


Figure III.5 : Chute de courant en fonction de la distance

### III.3.3 Interprétation des résultats

#### III.3.3.1 Tension d'entrée en fonction de la distance

Nous remarquons que la chute de tension provoquée par la ligne de longueur 200 km est de 7000 V ce qui correspond à un taux de 3.08 % de la tension de départ. Cette chute de tension présente un caractère non linéaire. Ce que nous considérons comme un résultat satisfaisant. (Figure III.2)

#### III.3.3.2 Courant d'entrée en fonction de la distance

Nous remarquons que la baisse de courant est de 7A sur un courant de 427A qui nous donne un taux de 1.64%, cette baisse présente une forme parabolique, qui est en concordance avec la chute de tension. (Figure III.3)

#### III.3.3.3 Pertes de puissance sur la ligne

La perte de puissance est de 2.989 MVA sur une puissance de 300MVA nous donne un taux de déperdition de puissance de 0.99%, ce qui est une valeur satisfaisante.

### III.4 Variation de la température

#### III.4.1 Organigramme de calcul

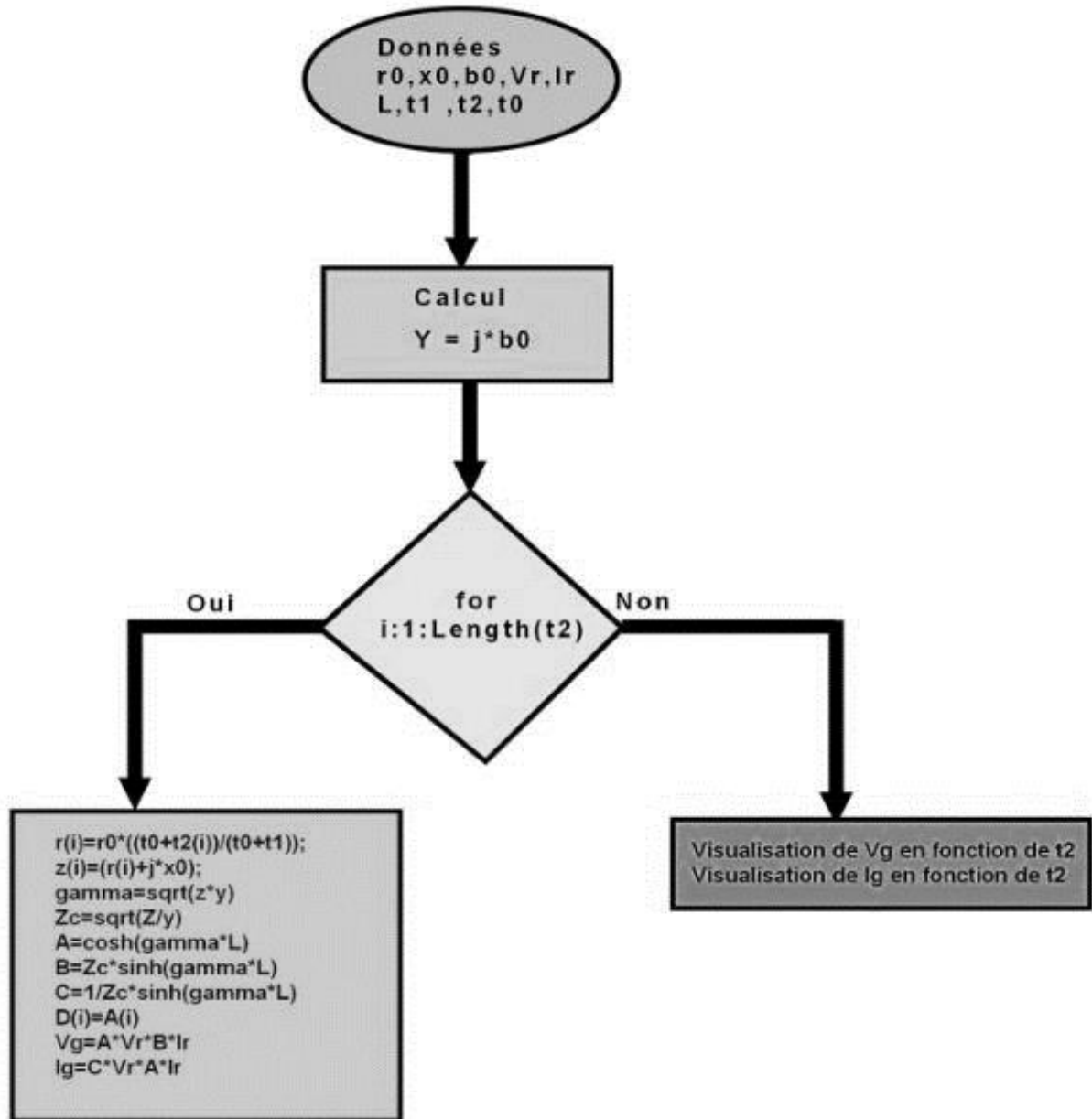


Figure III.6 : Organigramme de calcul de tension et courant d'entrée en fonction de la température

## III.4.2 Résultats

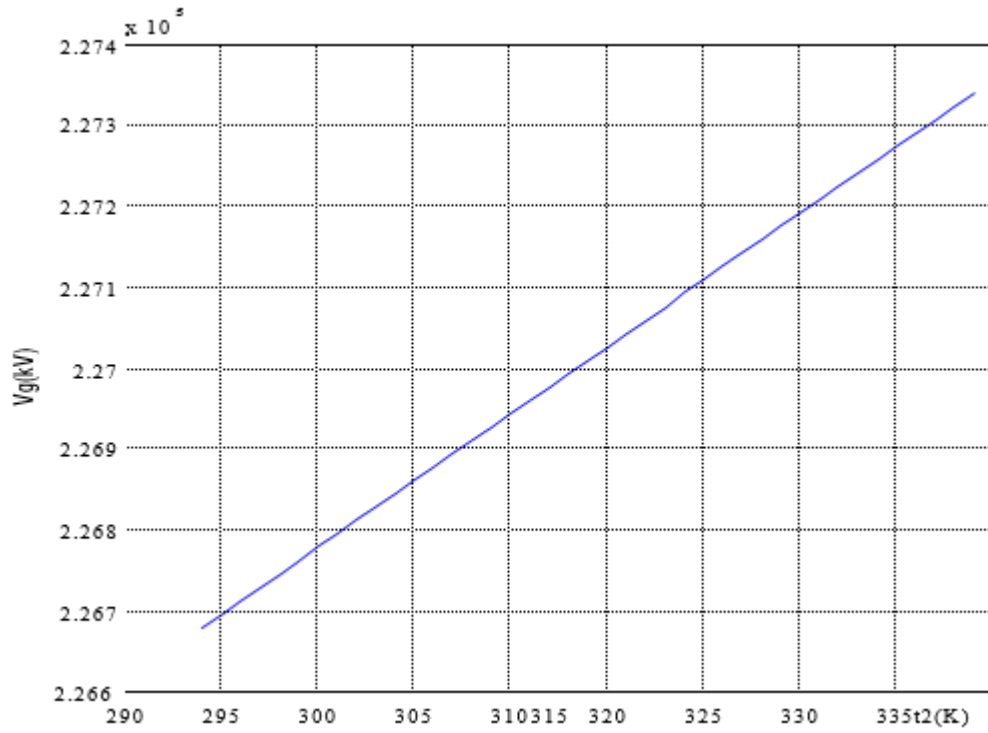


Figure III.7 : Tension d'entrée en fonction de la température

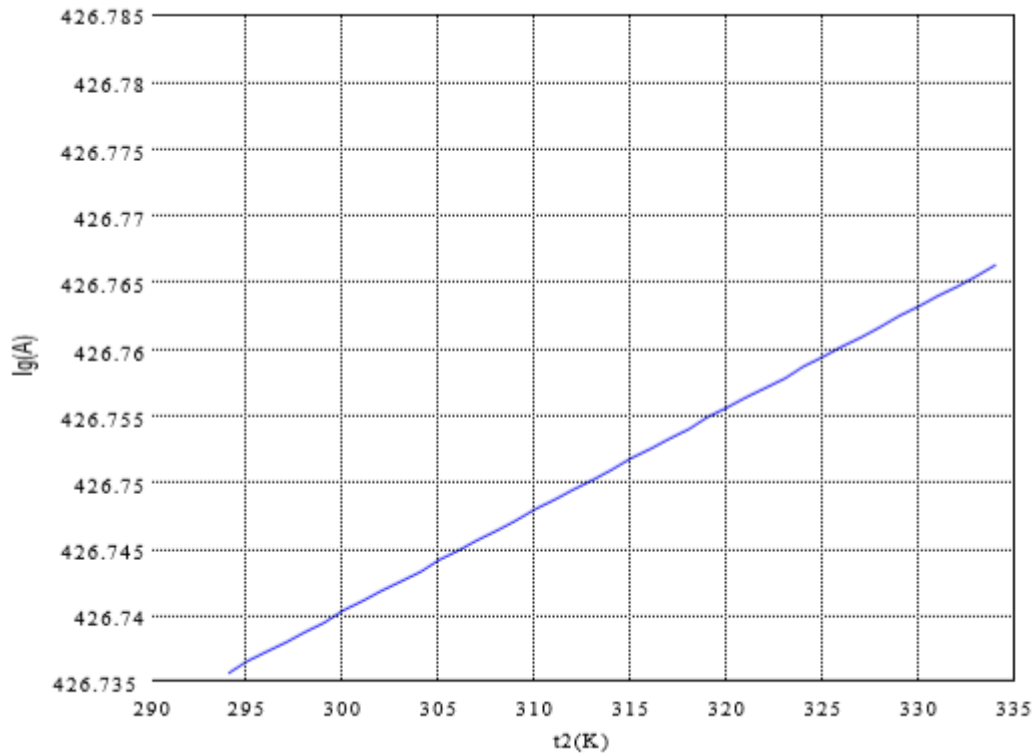


Figure III.8 : Courant d'entrée en fonction de la température

### III.4.3 Interprétation des résultats

#### III.4.3.1 Tension d'entrée en fonction de la température

L'augmentation de la température provoque une diminution de la variation de la tension de 800V, ce qui correspond à un taux de 11.43%. (Figure III.7)

#### III.4.3.2 courant d'entrée en fonction de la température

L'augmentation de la température provoque une augmentation très légère de (0.04A) qui peut être due à la variation de la capacité. (Figure III.8)

### Conclusion

D'après l'interprétation de nos résultats notre programme a donné des résultats satisfaisants qui pourront êtreappliqué à un projet de construction de ligne de moyenne distance

# Conclusion Générale

# CONCLUSION GENERALE

L'étude d'une ligne aérienne 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 différentes parties composantes le réseau électrique ainsi que toute la chaîne d'appareillages qui entre dans le transport entre les centrales électriques et les lieux de consommation.

Dans le chapitre II nous avons modélisé une ligne de transport en haute tension.

Cela nous a permis d'obtenir un modèle mathématique qui décrit les relations entre les différents paramètres de la ligne.

Dans le chapitre III nous avons procédé à la simulation d'une ligne dont les paramètres ont été choisis suivant un catalogue de fabricant de câble.

D'après les courbes obtenues en fonction de certains paramètres (distance et température) les résultats de simulation nous paraissent conformes à la réalité sur le terrain.

En perspective on peut proposer un travail similaire mais en fonction de l'humidité et voir le vieillissement de la ligne.

# Bibliographie

- [1] L. Boufenneche ; RESEAUX ELECTRIQUES ; Université des Frères Mentouri Constantine 1
- [2] BELLAREDJ Amina et GAOUAR Youcef ; Conception et simulation d'une ligne aérienne de transport électrique 220KV ; Université AboubakrBelkaïd– Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE ; 06/2016
- [3] CHERIF Med Foudhil et CHERIF Khayr Eddine « CALCUL DES PROTECTIONS D'UNE LIGNE DE TRANSPORT ELECTRIQUE HTB-220KV », Mémoire MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
- [4] Guillaume RAMI « contrôle de tension auto adaptatif pour des productions décentralisées d'énergies connectées au réseau électrique de distribution » Thèse de doctorat INPG, 2006
- [5] J.M. DELBARRE « Postes à HT et THT - Rôle et Structure », Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie électrique, D 4570, 2004.
- [6] P-A CHAMOREL « Energie Electrique II : paramètres électriques des lignes » Ecole d'ingénieur LAUSANE (EIL), 1994.
- [7] Ph. CARRIVE « Réseaux de Distribution - Structure et Planification », Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie électrique D 4210, 2006.
- [8] Mr. Athmane BOUZIDI ; Modélisation et simulation des réseaux électriques ; UNIVERSITE
- [9] BELLAREDJ Amina et GAOUAR Youcef ; Conception et simulation d'une ligne aérienne de transport électrique 220KV ; 5/06/2016 ; Université AboubakrBelkaïd– Tlemcen.
- [10] BOUHADJELA M, BOUHADJELA Houaria, «Détection et localisation des défauts dans les lignes de transport D'énergie électrique », Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain Temouchent,
- [11] H. Belila, cours, module : Réseaux électriques, Université Larbi Ben M'hidi OEB, 2014/2015.
- [12] Jean-François DIDIERLAURENT, Lignes aériennes : matériels Supports, Technique de l'ingénieur D4424, 2008.
- [13] Bachirifarhat ,ziouche Kamel, «étude de la construction d'une ligne aérienne en ht/tht», université de m'sila , 2008/2009.
- [14] BELLAREDJ Amina et GAOUAR Youcef, «Conception et simulation d'une ligne aérienne de transport électrique 220KV», Université AboubakrBelkaïd– Tlemcen, 2016 ;

## Bibliographie

---

- [15] 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 100
- [16] MR. RITESH SHARMA & MR. DINANATH PRASAD «Elements of Power System»  
EEE-503.Bibliographie
- [17] Pierre ESCANÉ&Jean-Marie ESCANÉ « Réseaux électriques linéaires à constantes réparties »Techniques de l'Ingénieur D 1 100

## Résumé

Les réseaux de transport jouent un rôle primordial dans l'acheminement de l'énergie électrique des centres de production vers les centres de consommation. Ils sont en général en haute et très haute tension et de type aérien L'étude d'une ligne aérienne permet d'optimiser son fonctionnement.

Sa modélisation et calcul les caractéristiques électriques nous permettent d'obtenir des indicateurs assez précis afin d'évaluer son comportement vis-à-vis des puissances transportées

**Le mot clé :** -lignes électriques -haute tension – caractéristiques électrique .

## ملخص

تلعب شبكات النقل دورًا رئيسيًا في إيصال الطاقة الكهربائية من مراكز الإنتاج إلى مراكز الاستهلاك. وهي بشكل عام ذات جهد عالي وعالي جدًا ومن النوع العلوي. تتيح دراسة الخط العلوي تحسين تشغيله.

تسمح لنا نمذجة وحساب الخصائص الكهربائية بالحصول على مؤشرات دقيقة إلى حد ما من أجل تقييم سلوكها فيما يتعلق بالقوى المنقولة.

**الكلمة الرئيسية:** - خطوط كهربائية - الجهد العالي - الخصائص الكهربائية