

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:...../2018



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER Académique**

**Domaine:** Sciences et Technologie

**Filière:** Electrotechnique

**Spécialité:** Réseaux électriques

**Par:** Lamairia Seyf Eddine et Amirouche Issam Eddine

### Thème

## Eléments d'élaboration d'un réseau électrique

Soutenu publiquement, le 25 /06/2018 devant le jury composé de:

M. BOUNAYA Kamel	Professeur	Univ.Guelma	Président / Encadreur
M. KACHI Miloud	MCA	Univ.Guelma	Examineur
M. FERAGA Chams-Eddine	MAA	Univ.Guelma	Examineur
M. GOUAIDIA Said	MAA	Univ.Guelma	Examineur

**Année Universitaire: 2017/2018**

# *Dédicace*

18/3798

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes parents ; aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler ; que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*A Mes tante NASSIMA SONIA et SOUSOU, qui m'ont soutenue tout le long de ce projet et que j'aime beaucoup et : et bien sûr à mes frères HAITEM et ADEM,, sans oublié mes grands-parents que j'aime beaucoup.*

*A toute ma famille, mes amis, mon collègue SAIF avec lequel j'ai partagé l'effort de réalisation de ce mémoire, et toute la famille AMIROUCE, et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail, je présente mes sincères remerciement.*

*ISSAM EDDINE*

# Dédicace

*A ma très chère mère que dieu ait pitié d'elle, cette mère qui représente pour moi l'exemple et l'expression du Sacrifice, du dévouement et de l'honnêteté*

*A mon père, symbole de patience et du courage et à mes très chères sœurs ikhlasse et imane mon très chers frère azzedine .*

*A tous mes collègues et la famille universitaire.*

*A tous mes Ami (e), chez lesquels j'ai trouvé réconfort et soutien dans les moments les Plus pénibles .*

*Je dédie ce travail*

**L. seyf eddine.**

## *Remerciment*

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*En second lieu, nous remercions notre encadreur*

*Pr. Bounaya Kamel pour son encadrement, ses conseils et son aide durant toute la période du travail.*

*Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner, de l'évaluer et de l'enrichir par leurs critiques constructive et leurs propositions.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont aidé, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

# SOMMAIRE

## Introduction

## Chapitre 1 : Généralité sur les réseaux électriques

1.1 Définition et classification :.....	1
1.1.1. Le système énergétique :.....	1
1.1.2. Le système d'énergie électrique :.....	1
1.1.3. Les réseaux électriques RE :.....	2
1.1.4. Les lignes électriques :.....	2
1.1.5. Les puissances électriques :.....	3
1.2. Classification des réseaux :.....	3
1.3. Les éléments du réseau électrique triphasé :.....	4
1.3.1. Ligne électrique :.....	4
1.3.1.1. Le conducteur :.....	5
1.3.1.2. Les pylônes :.....	6
1.3.1.3. L'isolateur :.....	8
1.4. Schéma et calculs d'une ligne électrique :.....	10
1.5. Les anomalies dans un réseau électrique :.....	13
1.5.1. Les courts-circuits :.....	13
1.5.2. Les surtensions :.....	13
1.5.3. Les surcharges :.....	13
1.5.4. Les oscillations :.....	14
1.5.5. Les déséquilibres :.....	14
1.6. Le système de protection :.....	14
1.6.1. Rôle d'une protection :.....	15
1.6.2. Eléments constitutifs d'un système de protection :.....	15
1.6.2.1. Réducteurs de mesure.....	15
1.6.2.2. Relais de protection. ....	15
1.6.2.3. Fusible :.....	16
1.6.2.4. Disjoncteur :.....	16

## Chapitre 2 : Traitement des données et choix du modèle

2.1. Traitement des données :.....	18
2.2. Choix du modèle :.....	19
2.2.1. Implantation d'un poste régional:.....	19

2.2.1.1. Choix de la tension nominale du transport:.....	21
2.2.1.2. Choix de la configuration du réseau :.....	22
2.2.1.3. Détermination des paramètres des différentes variantes: .....	24
2.2.1.4 Choix de section des conducteurs: .....	32
2.2.1.5. Calcul des courants de lignes et des sections : .....	33
2.2.1.6. Paramètres de lignes : .....	34
2.2.1.7 La comparaison des variantes:.....	36
2.2.2. Alimentation direct à partir de PI: .....	43
2.2.2.1 Choix de la tension nominale du transport:.....	43
2.2.2.2. Choix des variantes de la configuration du réseau: .....	44
2.2.2.3. Détermination des paramètres des différentes variantes: .....	44
2.2.2.4. Calcul des courants de lignes et des sections : .....	49
2.2.2.5. Paramètre de ligne : .....	50
2.2.2.6. La comparaison des variantes :.....	51
2.2.3. Comparaison des deux variantes retenue : .....	54

## Chapitre 3 : Les transformateurs

3.1. Généralité sur les transformateurs :.....	57
3.1.1. Les définitions principales :.....	57
3.1.2. Grandeurs nominales d'un transformateur : .....	58
3.1.3. Principaux types de transformateurs : .....	59
3.1.4 Les principaux éléments des transformateurs :.....	59
a) Circuit magnétique : .....	59
b) Enroulements : .....	60
c) Changeur de prises :.....	61
d) Cuve : .....	61
e) Couvercle : .....	62
f) Conservateur :.....	63
g) Huile du transformateur : .....	63
3.1.5. Fonctionnement et maintenance du transformateur : .....	63
3.1.5.1. Fréquence des inspections : .....	63
3.1.5.2 Contenu d'une inspection de routine :.....	64
3.1.5.3 Fonctionnement anormal du transformateur :.....	64
3.1.5.4. Bruit :.....	65
3.1.5.5 Dégazage :.....	65
3.2 Choix des transformateurs de puissance :.....	65
3.2.1. Les paramètres de transformateurs : .....	67

**3.2.2. Les pertes dans les transformateurs : .....68**

**3.2.3. La puissance à l'entrée des postes : .....68**

**Conclusion**

## Introduction :

L'énergie électrique joue un rôle très important dans la vie sociale et économique des pays, elle est utilisée dans tous les domaines : industrie, transport, utilisation domestique...etc.

L'énergie électrique est produite à partir d'autres énergies ; de forme mécanique, thermique, éolienne, hydraulique, nucléaire, solaire...

Pour transporter l'énergie électrique des centrales de production vers les centres de consommation, il est nécessaire de disposer de réseaux électriques appropriés.

Une meilleure maîtrise des problèmes d'étude, d'élaboration et de gestion des systèmes d'énergie électrique est toujours tributaire de connaissances plus approfondies de leur hiérarchie structurelle et fonctionnelle, de leurs propriétés, de leurs caractéristiques et de diverses autres spécificités. Cette relation s'affirme encore d'autant plus déterminante sachant que les processus électromagnétiques interactifs qui caractérisent le fonctionnement des réseaux électriques sont, en règle générale, très complexes. Complexité due à la diversité des charges et de leurs caractéristiques, au déploiement des réseaux électriques et à leurs diverses configurations, aux différents états de leur fonctionnement et aux propriétés caractéristiques des régimes correspondants.

Dans un sens général, le traitement des réseaux électriques implique nécessairement la prise en charge des problèmes posés sous deux aspects essentiels ; un aspect lié à des considérations physiques ; desquelles on doit déduire les modèles des éléments des réseaux, leurs paramètres physiques descriptifs, les lois et les propriétés physiques qui régissent leurs régimes, les sens et les interprétations physiques des différents états et phénomènes interactifs ; et un aspect lié aux méthodes, aux moyens et aux procédures mathématiques de description, de modélisation et de quantification des sus signifiés processus physiques.

Le travail présenté dans ce mémoire traite l'application des procédures d'étude et d'analyses utilisées dans les projets d'élaborations des réseaux électriques.

On y trouve le choix relationnel des éléments des réseaux électriques, par exemple à son élaboration ; tel que structure, paramètres du système, transformation, lieu d'installation du centre des charges... ; ainsi que la procédure de traitement technico- économique pour arrêter le modèle optimal.

**CHAPITRE 1 :**  
**GÉNÉRALITÉ SUR LES**  
**RÉSEAUX**  
**ÉLECTRIQUES**

# Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

## 1.1. Définition et classification :

Pendant les applications dans le domaine de l'énergie ; il est utile de distinguer, les différentes définitions :

### 1.1.1. Le système énergétique :

Un système énergétique (SE) est défini comme ensemble des processus de transformation énergétique, d'une forme à une autre, dans un cycle fermé.

### 1.1.2. Le système d'énergie électrique :

Un système d'énergie électrique (SEE) est un sous ensemble d'un SE ; c'est la chaîne de transformation à partir de l'énergie primaire (EP) jusqu'à l'énergie consommé.

Ep => conversion (centrale) => transformation électrique => conversion vers un autre forme (consommateur).

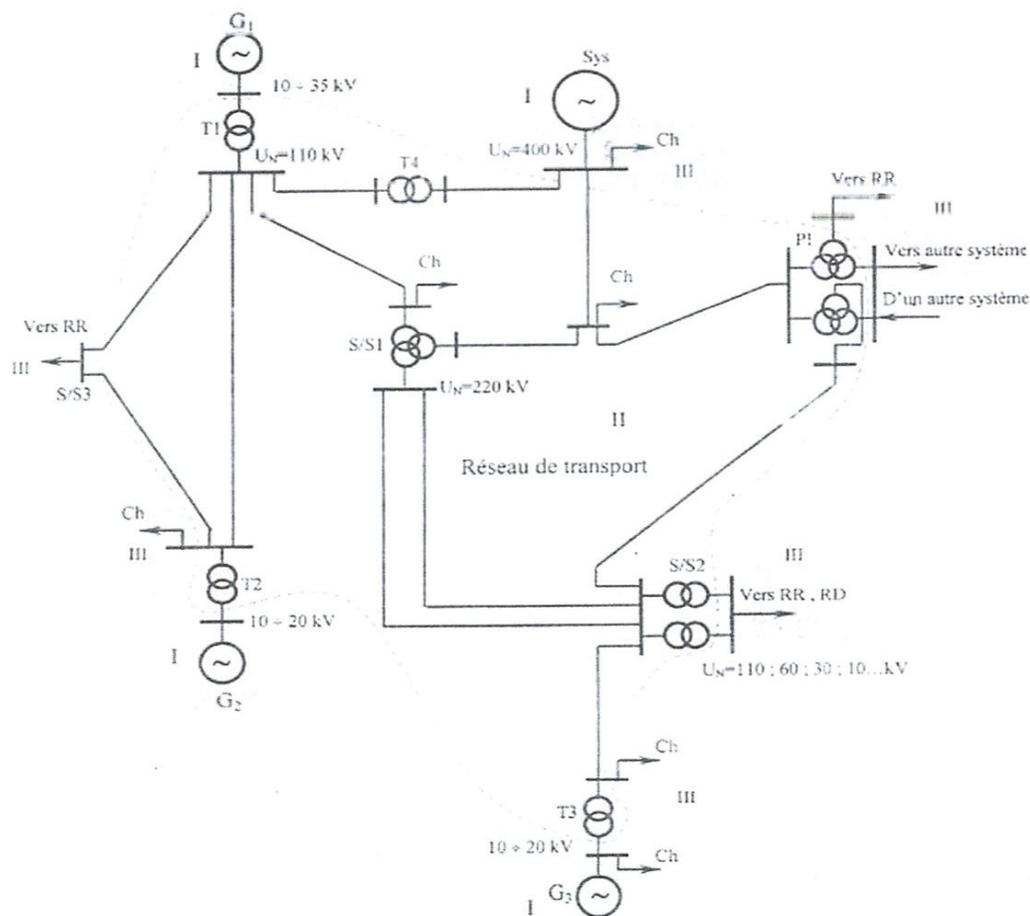


Figure 1.1 : Exemple d'un système d'énergie électrique SEE

# Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

I : centrales (générateurs).

II : réseaux électriques.

III : centres de charge.

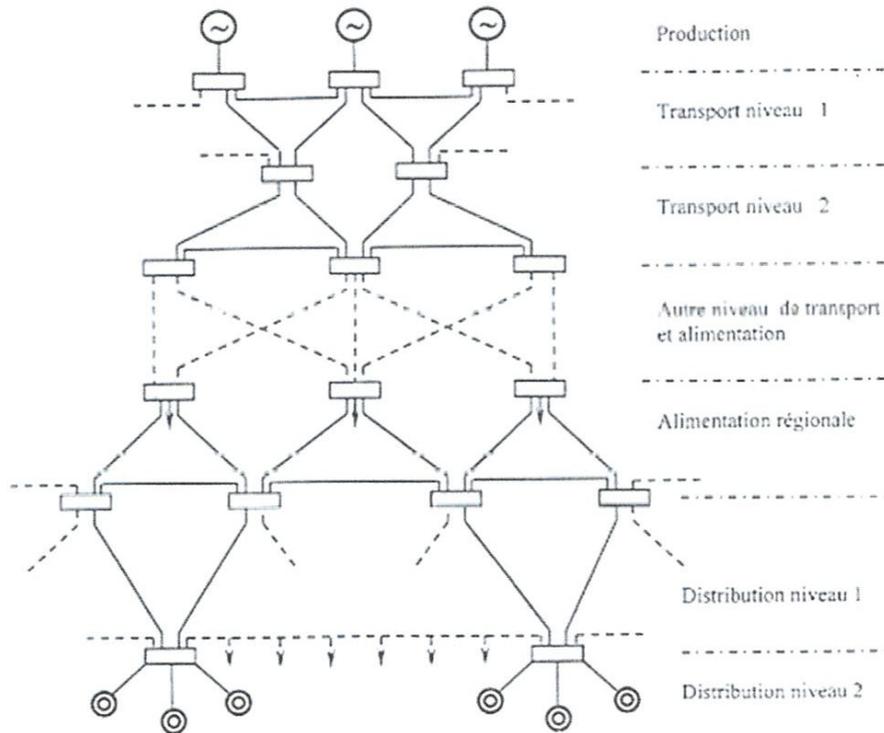


Figure 1.2 : Exemple de hiérarchie d'un système électrique .

## 1.1.3. Les réseaux électriques RE :

Réseaux électriques sont des sous-ensembles d'un SE. Ils permettent d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

## 1.1.4. Les lignes électriques :

La ligne électrique est un sous ensemble d'un RE ; elle est constitué par les conducteurs, l'isolateur, les pylônes (poteaux ; support ), et d'autres paramètres.

## 1.1.5. Les puissances électriques :

$$S=P + jQ \quad (1.1)$$

$$S=U.I \quad (1.2)$$

$$P=U.I.\cos(\varphi) \quad (1.3)$$

$$Q=U.I.\sin(\varphi) \quad (1.4)$$

**S** : la puissance apparente [VA].

**P** : la puissance active [W].

**Q** : la puissance réactive [VAR].

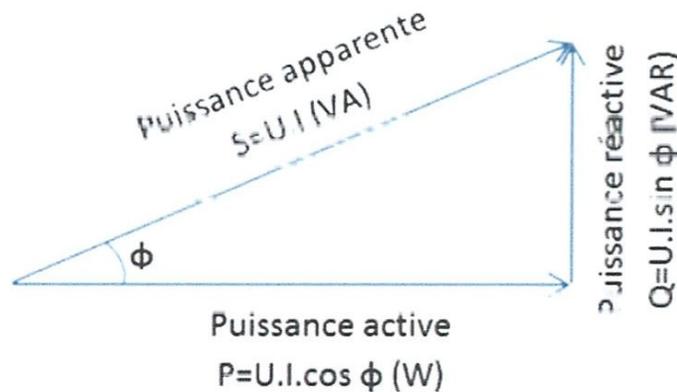


Figure1.3 : Triangle de puissance.

## 1.2. Classification des réseaux :

Les réseaux électriques peuvent être classés selon leurs structure et leurs potentiel.

Les réseaux électriques sont de :

- Transport.
- D'alimentation.
- Distribution

Ils peuvent être :

- maillés
- magistraux.
- radiaux.
- de forme mixte.

Ils peuvent être classés selon le niveau de la tension :

- basse tension BT.

# Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

- moyenne tension MT.
- haute tension HT.
- très haute tension THT.

La classification selon la tension permet de définir les réseaux selon le tableau 1.1 suivant :

<b>Domaine</b>	BT Basse tension	MT Moyenne tension	HT Haute tension	THT Très haute tension
<b>Tension</b>	BT < 1 kV	MT ≤ 30kV = 60kV	HT > 60kV = 220kV	THT > 220kV
<b>Type d'usage</b>	Distribution d'énergie électrique, ménages, artisans.	Transport d'énergie électrique, local, industrie, Commerces.	Transport d'énergie électrique distant , Industries lourds, Transport ferroviaire.	Transport d'énergie électrique à grandes distances et interconnexion territoriale.

**Tableau 1.1**

## 1.3. Les éléments du réseau électrique triphasé :

### 1.3.1. Ligne électrique :

Le transport et la distribution d'énergie électrique se fait normalement à l'aide de lignes triphasées. Le monophasé et le courant continu sont réservés à des cas particuliers.

La ligne la plus simple est la barre rigide qui n'est employée que pour des liaisons très courtes, par exemple : dans les postes ou dans les centrales entre générateurs et transformateurs. On utilise des barres plates, circulaires (pleines ou tubulaires) et, si les exigences mécaniques sont particulières, des profilés.

Les deux types principaux de lignes sont les lignes aériennes et les câbles souterrains. Dans les zones rurales et pour le transport à haute et très haute tension, on utilise normalement

# Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

des lignes aériennes. Les réseaux urbains (à moyenne et basse tension) sont câblés pour des raisons de sécurité et d'esthétique.

L'avantage de la ligne aérienne est tout d'abord économique (coûts d'investissement moindres). Elle est en outre plus accessible, ce qui, en cas de panne, limite le temps de réparation (brèves interruptions de service).

Les câbles à haute et très haute tension sont nettement plus chers et ne se justifient que pour des courtes liaisons. Ils ont d'autre part moins de défaillances causées par les intempéries. Un autre avantage est leur grande capacité électrique transversale, qui atténue les harmoniques.

## 1.3.1.1. Le conducteur :

L'élément principal dans un réseau électrique est le conducteur, et pour utiliser un conducteur il doit répondre à 4 condition essentiel :

- Une bonne conductivité électrique.
- Une très bonne résistance mécanique.
- Une bonne résistance électrochimique.
- Une disponibilité suffisante de la matière primaire.

Pour répondre au quatre condition en utilise réellement les alliages (acier ;aluminium) (acier ;cuivre) ;au l'acier est disposé au la partie centrale du conducteur et (Al ;Ac) c'est la partie extérieure du conducteur donc :

- Bonne conductivité (Al ; Ac).
- Bonne résistance électrochimique (Al ;Cu).
- Bonne résistance mécanique (Ac ;Cu).

En met l'acier dans la partie centrale puisque la conductivité dans cette zone est nulle .

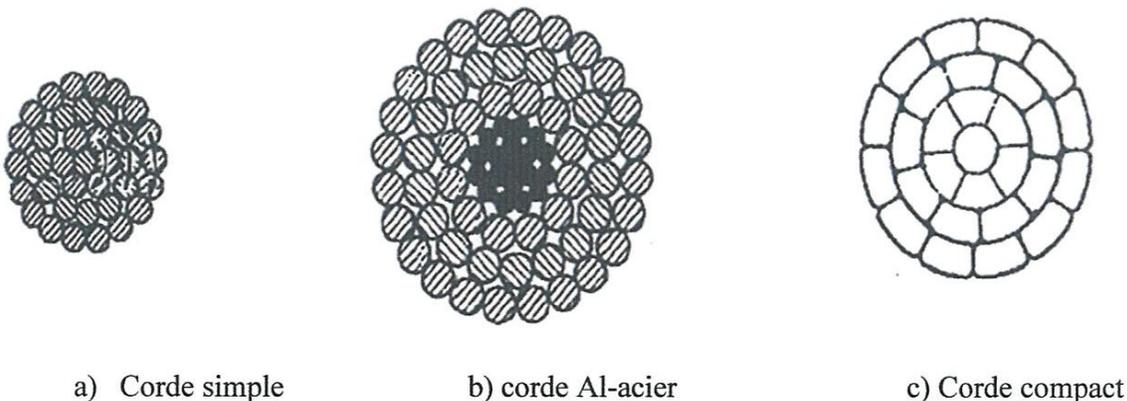
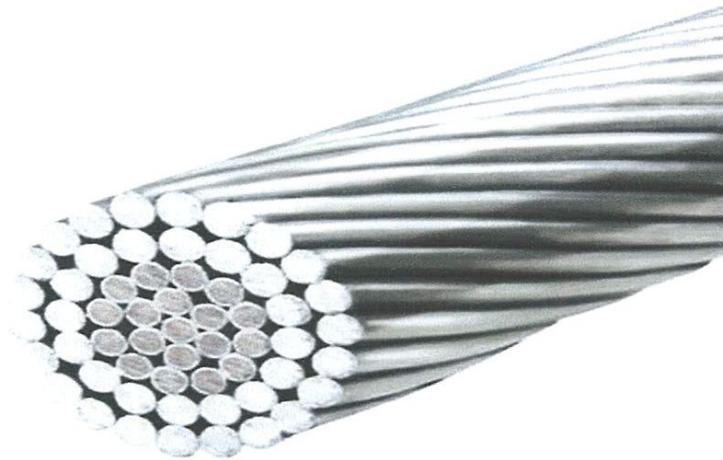


Figure 1.4 : différents types des conducteurs.

## Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

---

Les conducteurs transmettent l'énergie électrique. La plupart des conducteurs à haute tension sont en aluminium avec un centre en acier, dont lequel il assure la résistance mécanique du câble.



**Figure1.5** : Image réelle d'un section de conducteur (Al ; Ac).

### 1.3.1.2. Les pylônes :

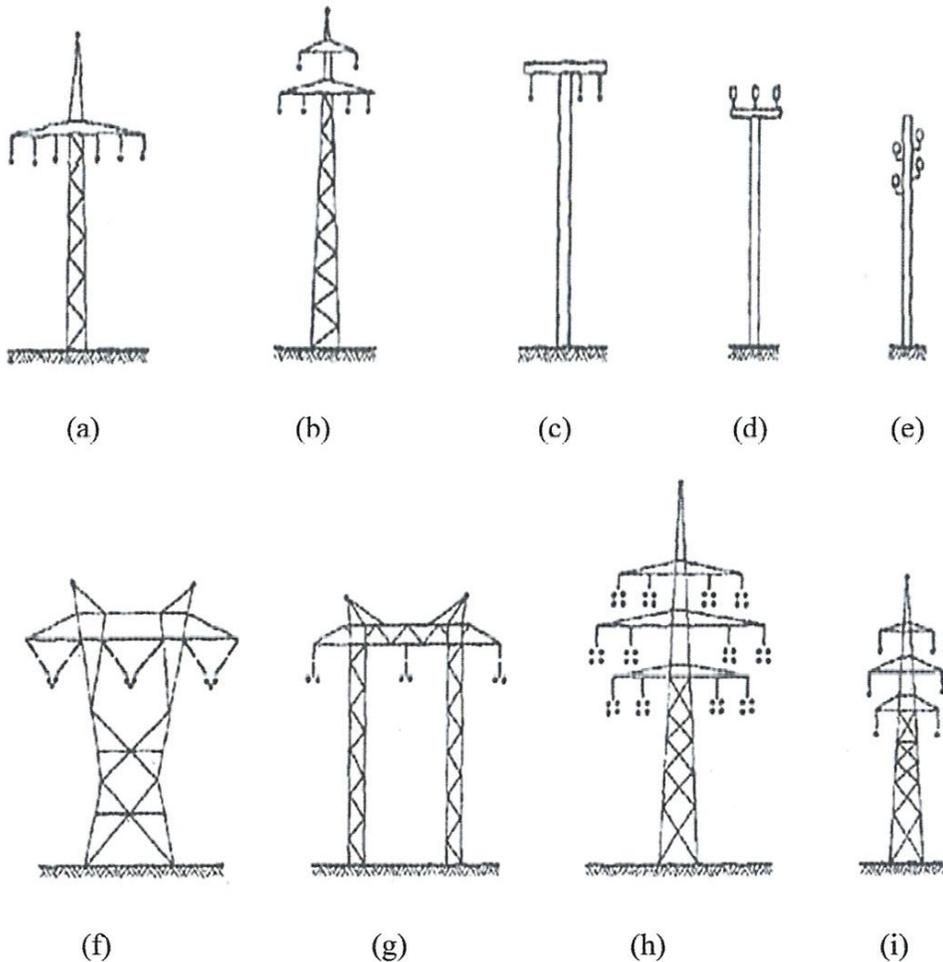
Les pylônes supportent les conducteurs des lignes aériennes à haute tension, du poste de départ d'une centrale jusqu'aux postes sources et aux postes satellites, plus près des endroits habités.

Leur forme, leur hauteur et leur robustesse, ou résistance mécanique, dépendent des contraintes auxquelles ils sont soumis. L'électricité ne passe pas dans les pylônes, à moins que la foudre ne frappe le câble de garde, placé au sommet du support ; ce câble vise à protéger les conducteurs en permettant à la décharge de la foudre de se rendre jusqu'au sol en passant par le pylône.

La figure 1.6 montre les types les plus communs de poteaux et pylônes. On utilise des poteaux en bois (a) et en béton (b,c) et des pylônes en treillis (d,e,f,g,h,i). Les lignes peuvent être simples (à un terna) (a,b,c,h,i), doubles (à deux ternes) (d,e,f) ou à plusieurs ternes (g). Le choix du type dépend de plusieurs facteurs. Les pylônes en tonneau par exemple (type f), permettent de minimiser la largeur des laies. En montagne, où il faut tenir compte de charges supplémentaires dues à la glace, on préfère les types (h) ou (i). Au voisinage d'aéroports on cherche à minimiser la hauteur des pylônes en choisissant le type (e).

## Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

Au sommet des pylônes des lignes HT, on place des conducteurs de garde qui ont la tâche de protéger les conducteurs de phase contre les coups de foudre et d'améliorer la mise à la terre globale en reliant entre elles les mises à la terre des pylônes.



**Figure 1.6 :** Les types des pylônes les plus utilisés.

a) Poteaux de bois ; b) ligne avec isolateurs rigides (MT) ; c) poteau en béton d), e), f) pylône en treillis pour lignes à deux ternes (HT) ; g) ligne à plusieurs ternes (HT) ; h), i) ligne simples (à un ternes), (HT).

On montre dans la figure 1.6 un exemple des composantes de pylône de forme (f).

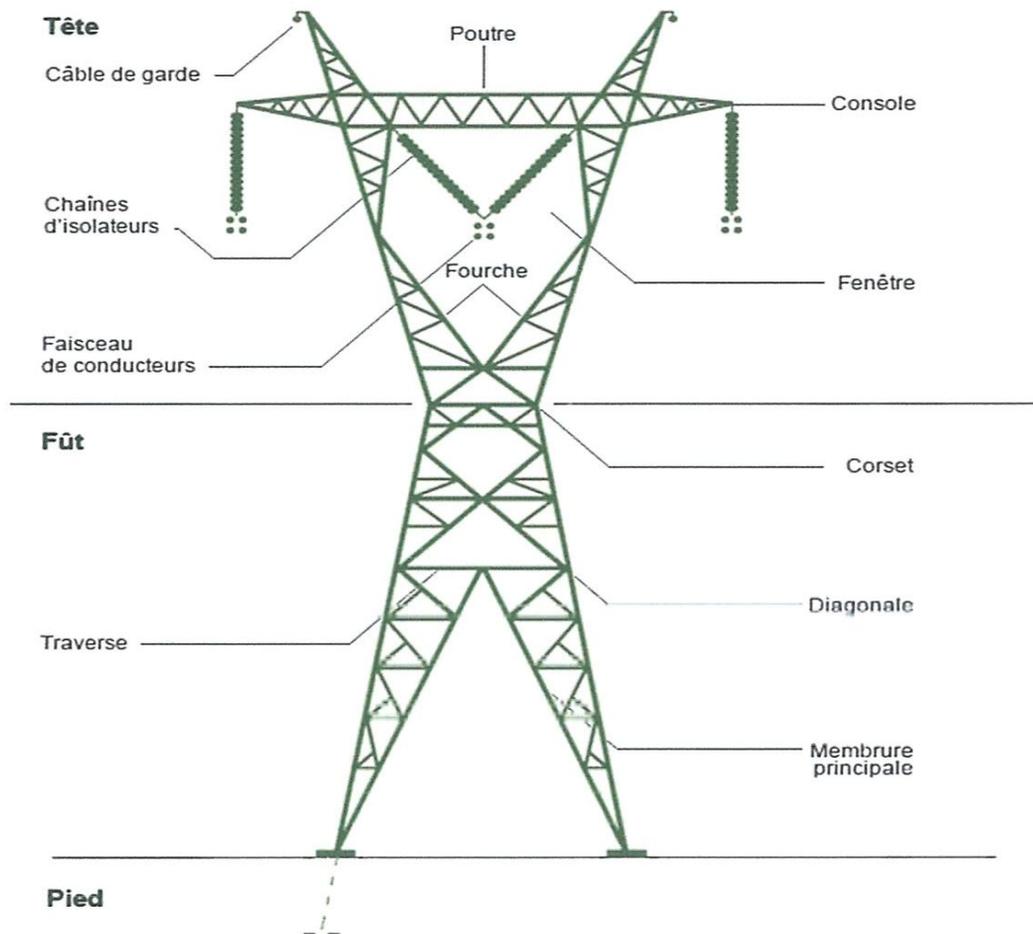


Figure 1.7 : Pylone de forme (f).

### 1.3.1.3. L'isolateur :

Les isolateurs servent à supporter et à amarrer les conducteurs et à les isoler entre eux et de la terre. Ils sont presque toujours en porcelaine.

afin qu'ils ne soient ni contournés en surface, ni perforés à travers leur masse par les tensions élevées qu'ils ont à supporter normalement. Afin d'augmenter leur distance de contournement, on leur donne une forme de jupe. Au point de vue mécanique, ils doivent être assez résistant pour supporter les forces énormes due au poids des conducteurs.

Les isolateurs sont de deux types principaux : rigides et à chaîne . La partie supérieure des isolateurs rigides sur laquelle est fixé le conducteur est constituée d'une ou de plusieurs jupes en porcelaine. Une tige vissée à l'intérieur des isolateurs permet de les fixer à un support.

## Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

---

Pour des tensions supérieures à 70KV, on emploie toujours des chaînes d'isolateurs constituées d'un certain nombre d'éléments en porcelaine réunis par des pièces métalliques.

Le nombre des éléments varie avec la tension : pour une tension de 110 KV, on a admet de 4 à 7 éléments. La figure 1.9 montre les isolateurs composés de deux chaînes, et de 22 éléments, utilisés sur une ligne à 400 KV.

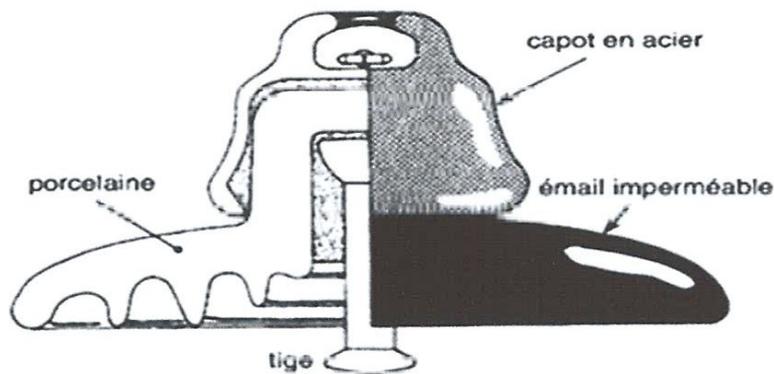


Figure 1.8: Isolateur capot tige.



Figure 1.9 : Isolateur a chaîne.

## 1.4. Schéma et calculs d'une ligne électrique :

Une ligne aérienne de longueur allant jusqu'à 240 km environ peut être représentée par un schéma équivalent en  $\pi$  dont les paramètres peuvent être considérés comme concentrés (figure 1.9).

Ceci est justifié par ce fait que les effets ondulatoires dus à la répartition des paramètres le long de la ligne ne commencent à devenir importants qu'à partir de 250—300 km.

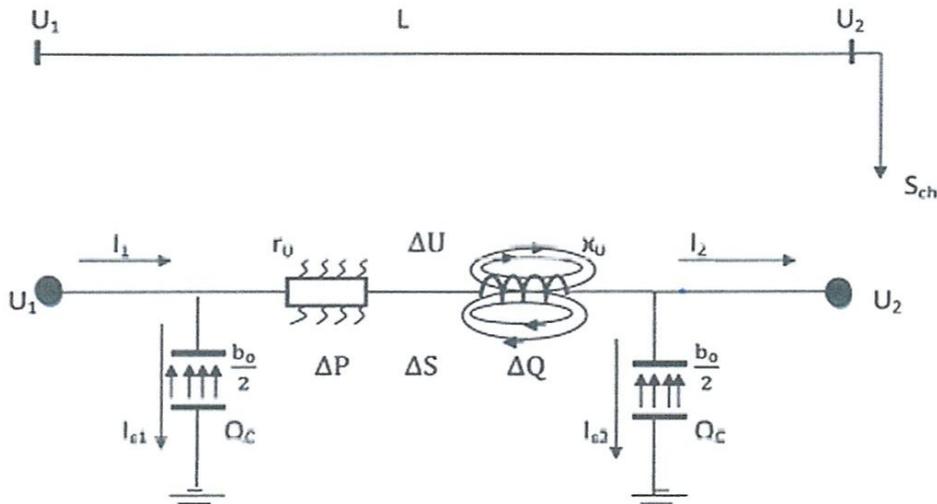


Figure 1.10

- $U_1; U_2$ : sont les tensions à l'extrémité de la ligne.
- $I_{c1}; I_{c2}$ : Courant de fuite (capacitifs) de la ligne ou courant de déplacement.
- $b_0$ : Susceptance linéique.
- $r_0$ : Résistance linéique.
- $x_0$ : Réactance linéique .
- $Q_c$ : Puissance capacitive.
- $\Delta P$ : Pertes de puissances actives (dissipation).
- $\Delta Q$ : Pertes de puissances réactives.
- $\Delta S$ : Perte de puissance apparente.
- $\Delta U$ : Chute de tension le long de la ligne.
- $L$ : Longueur de la ligne.

**Les paramètres primaires d'une ligne électrique :**

$$r = r_0 \cdot l \quad (1.5)$$

$r$  : Résistance de la ligne [ $\Omega$ ]

$r_0$  : Résistance linéique [ $\Omega/\text{km}$ ]

$l$  : Longueur de la ligne [km]

$$r_0 = \frac{\rho}{S} = \frac{r_{0,c}}{n} \quad (1.6)$$

$\rho$  : Résistivité [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]

$S$  : Section du conducteur [ $\text{mm}^2$ ]

$$x = x_0 \cdot l \quad (1.7)$$

$x$  : Réactance de la ligne [ $\Omega$ ]

$x_0$  : Réactance linéique [ $\Omega/\text{km}$ ]

$$x_0 = 0.144 \cdot \log \frac{D_m}{R_{\text{éq}}} + \frac{0.016}{n} \quad (1.8)$$

$D_m$  : Distance moyenne entre conducteurs [mm]

$R_{\text{éq}}$  : Rayon équivalent du conducteur [mm]

$n$  : Nombre de conducteurs

$$D_m = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{ac}} \quad (1.9)$$

$$R_{\text{éq}} = \sqrt[n]{r_c \cdot d_m^{n-1}} \quad (1.10)$$

$r_c$  : Rayon d'un conducteur [mm]

$$b = b_0 \cdot l \quad (1.11)$$

$b$  : Susceptance de ligne [ $\Omega^{-1}$ ].

$b_0$  : Susceptance linéique [ $\Omega^{-1}/\text{km}$ ].

# Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

$$b_0 = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{D_m}{R_{\text{éq}}}} \quad (1.12)$$

$$g = g_0 \cdot l \quad (1.13)$$

$g$  : Conductance de ligne [ $\Omega^{-1}$ ].

$g_0$  : Conductance linéique [ $\Omega^{-1}/\text{km}$ ].

$$g_0 = \frac{\Delta P_c}{U_n^2} \quad (1.14)$$

$\Delta P_c$  : Perte de puissance active de conducteur [W].

$U_n$  : Tension nominal [V].

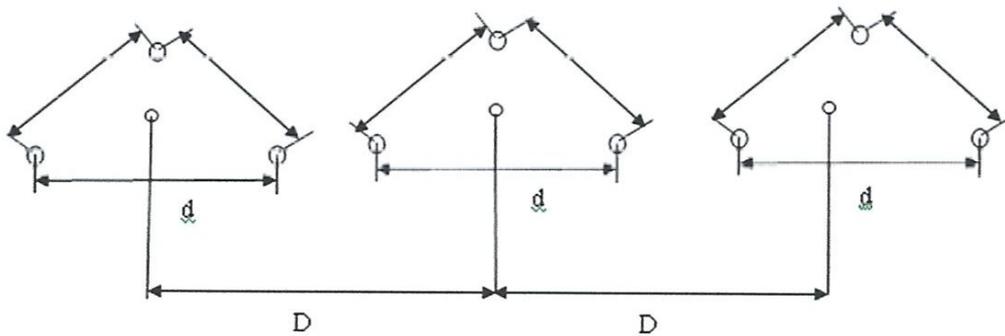


Figure 1.11 : Ligne en faisceau pour  $n = 3$

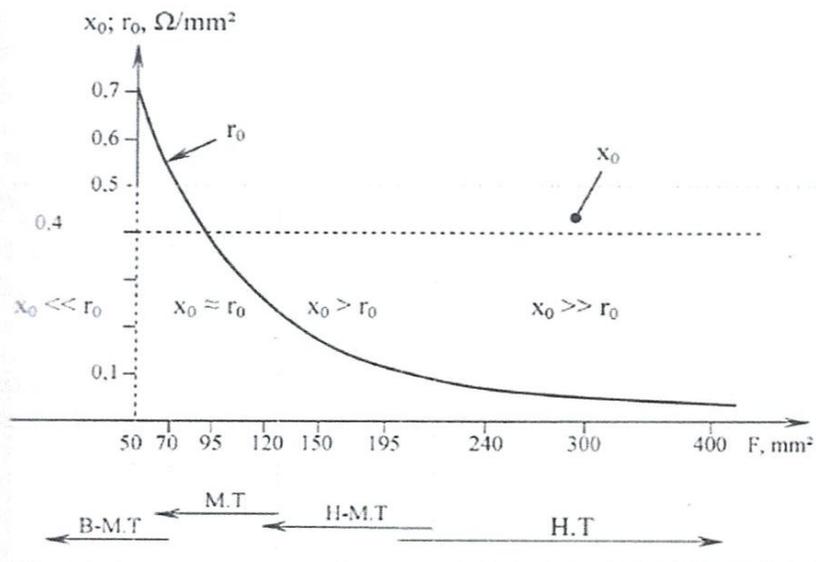


Figure 1.12 : Relations caractéristiques entre  $x_0$  et  $r_0$  d'une ligne aérienne.

## 1.5. Les anomalies dans un réseau électrique :

### I. 5.1. Les courts-circuits :

Les courts-circuits sont des phénomènes transitoires, ils apparaissent lorsque l'isolement entre deux conducteurs de tension différente ou entre un conducteur sous tension et la terre est rompu. Ils engendrent des courants très importants dans les éléments constituant le réseau.

Les courts-circuits sont de natures et de types différents. On distingue :

- Les courts-circuits monophasés à la terre.
- Les courts-circuits biphasés à la terre ou isolés.
- Les courts-circuits triphasés à la terre ou isolés.

Le courant de court-circuit (triphase) est une donnée essentielle pour le dimensionnement des équipements électrique.

Les courts-circuits peuvent provoquer des dégâts économiques importants s'ils ne sont pas éliminés rapidement par les systèmes de protection.

### 1.5 .2. Les surtensions :

On distingue différents types de surtension telle que :

- La surtension de manœuvres.
- La surtension de foudre.
- La surtension lente.

Conséquences : Claquage et Vieillissement de l'isolation.

### 1.5.3. Les surcharges :

La surcharge d'un appareil est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible, les origines de surcharges sont :

- Les courts-circuits.
- Les reports de charge.
- Les pointes de consommation.
- L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes sur le réseau et accélère le vieillissement des équipements de réseau.

# Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

---

## 1. 5.4. Les oscillations :

Les oscillations de la tension et du courant sont dues aux variations plus ou moins rapides de la charge qui agit directement sur la vitesse de rotation (fréquence) des machines de production de l'énergie électrique. Elles sont liées directement à la mécanique des machines électriques, c'est la raison pour laquelle on les appelle phénomènes transitoires électromécaniques.

## 1.5.5. Les déséquilibres :

Les déséquilibres sont généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases. Ils apparaissent surtout dans les réseaux de distribution, ils donnent naissance à la composante inverse du courant, cette composante provoque :

- Des chutes de tension supplémentaires.
- Des pertes de puissance.
- Des échauffements.

Contre toutes les anomalies précédemment citées, on élabore donc un plan de protection de tout le système électrique. Seulement ces plans de protection ne sont pas figés, ils changent dans le temps à chaque fois qu'un besoin d'amélioration s'avère nécessaire, ce besoin d'amélioration est souvent dicté par les soucis suivants :

De diminuer le temps d'élimination des défauts. Car ce temps est une grandeur fondamentale d'un plan de protection, dans la mesure où elle caractérise les contraintes thermiques des équipements électriques.

De chercher toujours après une meilleure sûreté de fonctionnement en cas de court-circuit notamment sur les réseaux de transport et d'interconnexion où les conséquences d'un non fonctionnement pourraient engendrer des dégâts économiques importants ; Donc la fiabilité nécessite la multiplication des circuits en réalisant le compromis avec le facteur économique.

D'être à la page de l'évolution technologique dans le monde.

## 1.6. Le système de protection :

Un système de protection consiste d'un ensemble de dispositifs destinés à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs éléments de coupures.

# Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

---

## 1.6.1. Rôle d'une protection :

Lorsqu'un défaut ou une perturbation se produit sur un réseau électrique, il est indispensable de mettre hors tension la partie en défaut à l'aide d'un système de protection. Ce dernier aura pour rôle de limiter les dégâts qui peuvent être causés par le défaut.

## 1.6.2. Eléments constitutifs d'un système de protection :

### 1.6.2.1. Réducteurs de mesure :

Pour des raisons de dimensionnement et de coût, les relais de protection sont prévus pour des courants et des tensions de valeurs réduites. De plus, pour assurer la sécurité des opérateurs, il faut interposer une séparation galvanique entre le réseau surveillé qui se trouve à tension élevée et le circuit de mesure à tension réduite mis à la terre en un point. On utilise pour cela :

- Les transformateurs de courant (TC).
- Les transformateurs de tension (TT).

### 1.6.2.2. Relais de protection :

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations à caractère analogique (courant, tension, puissance, ...etc.) et le transmettant à un ordre de fermeture ou ouverture d'un circuit de commande lorsque ces informations reçues atteignent des valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées d'avance. En effet, le rôle des relais de protection consiste à détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que les défauts de court-circuit. Les relais peuvent être classés en trois familles (figure 1.13).

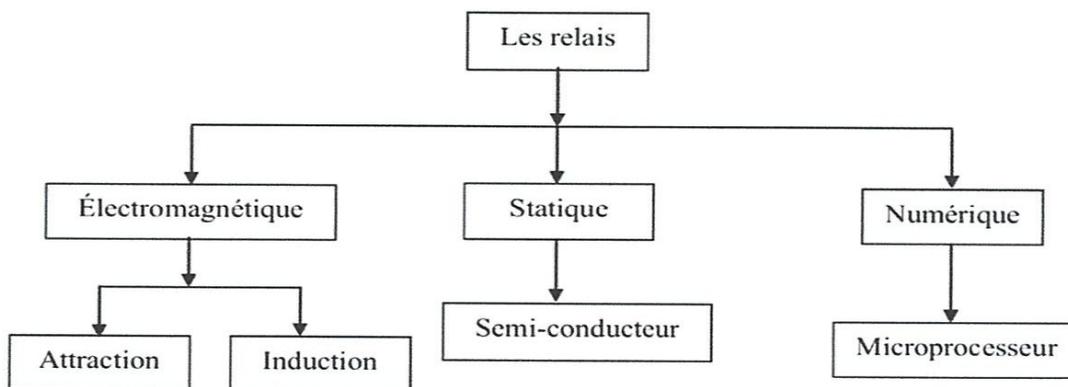


Figure 1.13 : Type des relais

# Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

---

## 1.6.2.3. Fusible :

Les fusibles permettent d'interrompre automatiquement un circuit parcouru par une surintensité pendant un intervalle de temps donné. L'interruption du courant est obtenue par la fusion d'un conducteur métallique calibré. Ils sont surtout efficaces pour la protection contre les courts circuits, vis-à-vis desquels ils agissent, le plus souvent, en limiteurs de la valeur crête du courant de défaut. Le fusible est ainsi un excellent dispositif pour l'élimination des défauts mais il présente un certain nombre d'inconvénients qui limitent son utilisation :

Ils exigent malheureusement d'être remplacés après chaque fonctionnement ;

En régime triphasé, ils n'éliminent que les phases parcourues par un courant de défaut, ce qui peut présenter un danger pour le matériel et le personnel ;

Leur calibre doit être bien adapté pour éviter un fonctionnement intempestif en cas de surcharge momentanée.

Les fusibles peuvent être associés à des interrupteurs ou à des contacteurs avec lesquels ils constituent des combinés capables d'assurer automatiquement la coupure des phases saines lors du fonctionnement de l'un d'eux de façon à éviter la marche monophasée dangereuse.

## 1.6.2.4. Disjoncteur :

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée. Dans les conditions normales et anormales du réseau. Il est très généralement associé à un système de protection (relais), qui détecte le défaut et envoie des ordres au disjoncteur pour éliminer automatiquement le défaut ou pour remettre en service un circuit lorsque le défaut a été éliminé. Sa fonction principale est d'interrompre le flux de courant détecté lors d'un défaut.

Le principe de base de tous les disjoncteurs est d'essayer de détecter le passage du courant par la valeur zéro et d'interrompre le flux de courant à ce moment.

Le disjoncteur ne réussit pas souvent à interrompre le courant durant la première tentative, plusieurs cycles de la fréquence fondamentale du courant sont nécessaires pour une interruption complète du flux de courant, ce qui affecte la vitesse du disjoncteur.

Les disjoncteurs rapides utilisés dans la HT sont d'un cycle, par contre ceux utilisés dans la BT prennent 20 à 50 cycles pour ouvrir. De plus pour distinguer entre un défaut permanent et un défaut temporaire le concept d'auto-enclenchement est utilisé. Quand le disjoncteur déclenche il reste ouvert un certain temps ensuite il ferme automatiquement.

## Chapitre 1: Généralité sur les réseaux électrique

---

Cette action permet au relais de vérifier si le défaut continu d'exister, et dans ce cas de déclencher de nouveau. Si le défaut a disparu, le relais ne fonctionne pas et la ligne va rester en service .

Le disjoncteur HT est caractérisé essentiellement par la technique utilisée pour la coupure :

- Les disjoncteurs à l'huile.
- Les disjoncteurs à air comprimé.
- Les disjoncteurs utilisant le gaz SF6.
- Les disjoncteurs à vide .

**CHAPITRE 2 :**  
**TRAITEMENT DES**  
**DONNÉES ET CHOIX**  
**DU MODÈLE**

### 2.1. Traitement des données :

Le modèle à étudier et à proposer doit alimenter quatre (4) centres de charge (consommateur). L'interconnexion de ce réseau régional au système d'ensemble se fait, par exemple, au niveau d'un poste PI supposé donné et implanté au voisinage.

En insérant le plan d'implantation des charges dans un système de coordonnées XOY, on peut représenter les lieux de charges par des coordonnées.

La figure 2.1 représente les charges et le poste PI. Les données initiales sont représentées dans le tableau 2.1.

Echelle: 1 cm => 15 km

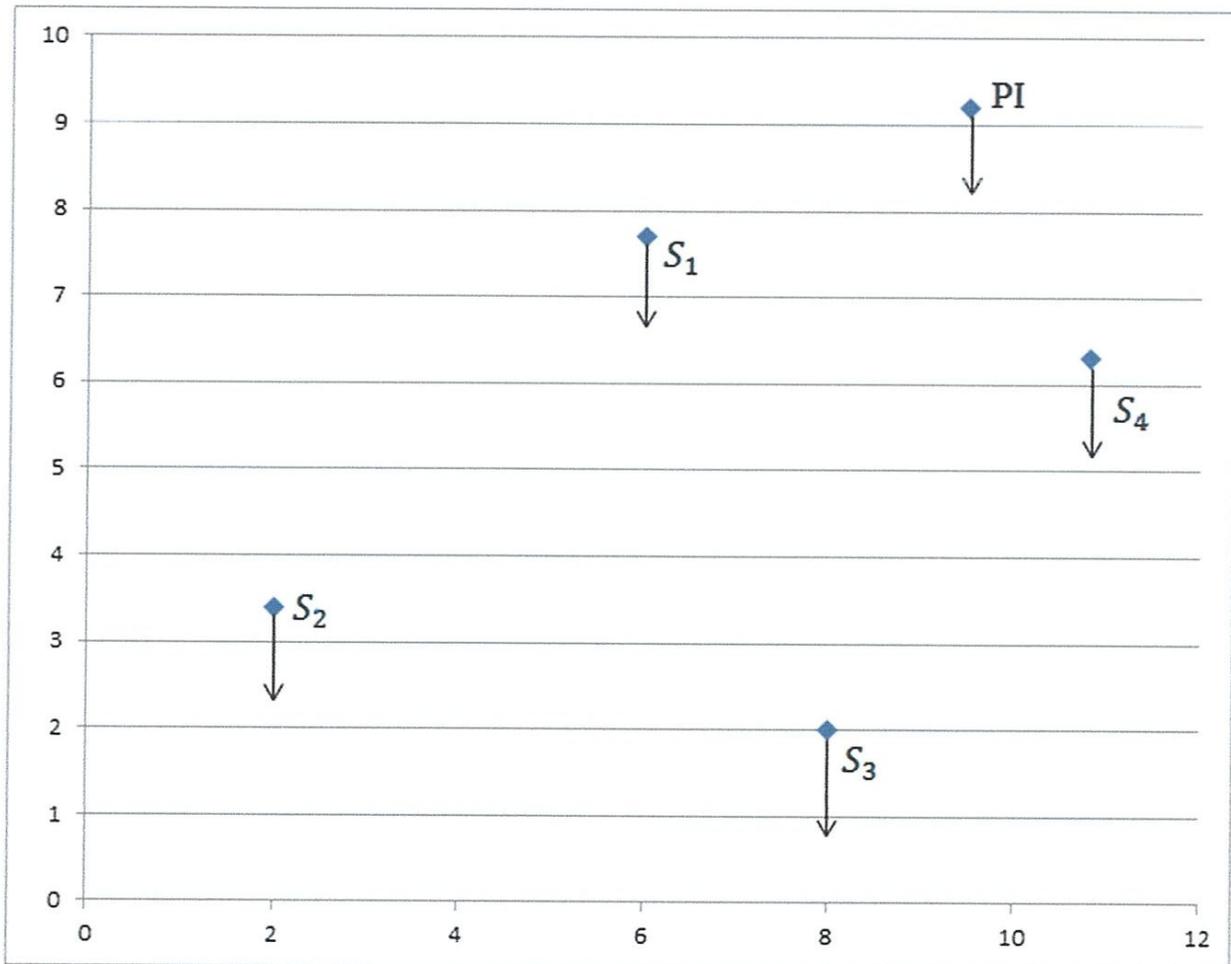


Figure 2.1

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

	$P_i$ (Mw)	$Q_i$ (Mvar)	$X_i$ (Km)	$Y_i$ (Km)	catégorie	$T_{max}$ (h)
$S_1$	80	60	90	115.5	1	7500
$S_2$	1000	80	30	51	1	7500
$S_3$	90	60	120	30	1	7500
$S_4$	70	60	162	94.5	1	7500
PI	340	260	142.5	138	1	7500

Tableau 2.1

Pour la charge  $S_1$  on a les coordonnées suivant :

- Suivant o x : 1 cm  $\longrightarrow$  15 km  
 6 cm  $\longrightarrow$   $X_1$        $\left\{ \begin{array}{l} X_1 = (6 \times 15) / 1 \\ X_1 = 90 \text{ km} \end{array} \right.$
- Suivant o y : 1 cm  $\longrightarrow$  15 km  
 7.7 cm  $\longrightarrow$   $Y_1$        $\left\{ \begin{array}{l} Y_1 = (7.7 \times 15) / 1 \\ Y_1 = 115.5 \text{ km} \end{array} \right.$

La même procédure donne les coordonnées des autres charges ( $S_2, S_3$  et  $S_4$ ).

### 2.2. Choix du modèle :

Pour le choix du schéma du modèle, on peut présenter deux (2) cas de la figure:

- Le réseau régional est alimenté directement du PI.
- Le réseau régional est alimenté à partir de PI, mais par l'intermédiaire d'un poste installé dans le centre des charges du réseau.

#### 2.2.1. Implantation d'un poste régional:

Pour la détermination des coordonnées du poste régional, on utilise la notion des moments électriques, qui permet de déterminer le centre de gravité des charges.

En utilisant donc les expressions connues comme suit :

$$X_B = \frac{\sum P_i X_i}{\sum P_i} = \frac{P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3 + P_4 X_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} \quad (2.1)$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

---

$$Y_B = \frac{\sum P_i Y_i}{\sum P_i} = \frac{P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + P_3 Y_3 + P_4 Y_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} \quad (2.2)$$

On peut obtenir pour le poste régional :

$$X_B = \frac{80 \times 90 + 100 \times 30 + 90 \times 120 + 70 \times 162}{80 + 100 + 90 + 70}$$

$$X_B = 95,118 \text{ km}$$

$$Y_B = \frac{80 \times 115,5 + 100 \times 51 + 90 \times 30 + 70 \times 94,5}{340}$$

$$Y_B = 69,574 \text{ km}$$

L(km)	$L_{B1}$	$L_{B2}$	$L_{B3}$	$L_{B4}$	$L_{12}$	$L_{23}$	$L_{34}$
L(km)	46,210	67,715	46,746	71,376	88,092	66,045	76,969

**Tableau 2.2**

Exemple de calcul :

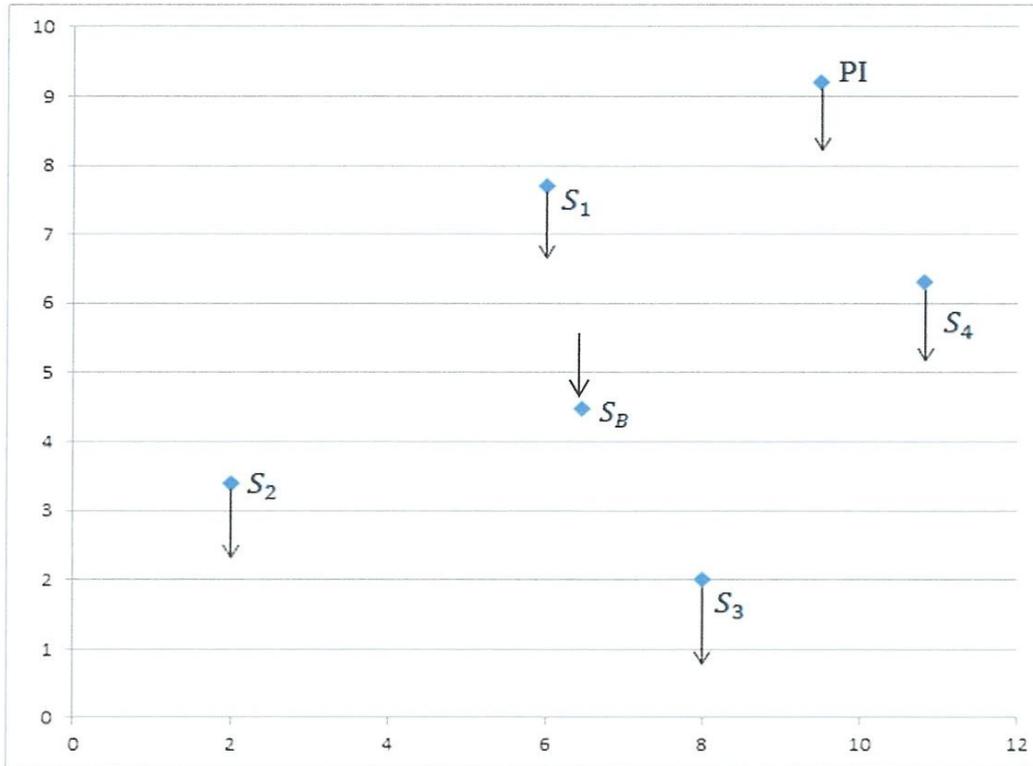
$$L_{ij} = \sqrt{(X_j - Y_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \quad (2.3)$$

$$L_{B1} = \sqrt{(90 - 95,118)^2 + (115,5 - 69,574)^2}$$

$$L_{B1} = 46,21 \text{ km}$$

**Plan de charge avec le poste régional:**

La figure 2.2 représente les charges et le poste régional :



La figure 2.2 Les charges et le poste régional.

### 2.2.1.1 Choix de la tension nominale du transport:

Le niveau nominal de la tension nominale à installer pour un réseau à élaborer dépend non seulement de la puissance à transmettre mais aussi de la distance de transmission. Ce sont des grandeurs déterminantes pendant le choix de la tension nominale.

Les différentes études et les travaux dans le domaine des réseaux électriques ont permis de donner la possibilité de choisir la tension nominale à l'aide des formules suivantes:

- pour  $L \leq 5250$  km  $U = 4.34 \sqrt{L(\text{km}) + 0.016P(\text{KW})}$  (KV) (2.4)  
 $P \leq 560\text{MW}$

- pour  $L \leq 1000$  km  $U = \sqrt{P(\text{KW})[0.1 + 0.151\sqrt{L(\text{Km})}]}$  (KV) (2.5)  
 $P > 60$  MW

Pour l'éloignement des deux charges  $S_4$  ou bien  $S_2$  nous pouvons déterminer :

$$L_{B4}=71,375 \leq 1000 ; L_{B2}=67,715 \leq 1000$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

---

Et pour la puissance :  $P_4=70 > 60$  ;  $P_2=100 > 60$

On utilise la formule (2.2) pour calculer  $U_1$  :

Pour  $S_4$  :

$$U_1 = \sqrt{70 \times 10^3 [0.1 + 0.151 \sqrt{71,375}]}$$

$$U_1 = 309,367 \text{ kv}$$

Pour  $S_2$  :

$$U_1' = \sqrt{100 \times 10^3 [0.1 + 0.151 \sqrt{67,715}]}$$

$$U_1' = 365,285 \text{ kv}$$

Ce qui permet de choisir une tension normalisée pour toute les boucles :  $U_{N1} = 400 \text{ kv}$ .

### 2.2.1.2 Choix de la configuration du réseau :

Le choix de la configuration d'un réseau à élaborer nouvellement est basé sur deux critères essentiels :

- Dépenses réduites minimales (critères technico-économiques).
- Continuité du service des récepteurs en cas d'incidents au niveau du réseau.

Pour la détermination du modèle à retenir comme variante rationnelle, on peut procéder par comparaison de quelques variantes établies en respectant les critères cités.

La procédure des variantes consiste à établir quelques modèles de configurations équivalents du point de vue continuité de service pour lesquelles on doit appliquer le critère des dépenses réduites pour une évaluation comparative.

Dans les modèles composés on doit tenir compte des paramètres suivants:

- Longueur totale des lignes de transport
- Puissance transmise
- Disposition géographique
- Caractères des consommations.

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

Pour le modèle composé on doit tenir compte également des points suivants:

- L'alimentation du point de consommation doit s'effectuer par la plus courte voie.
- On évite les lignes qui sont mal chargées.
- On ne projette pas plus de deux lignes.

A partir de la procédure prédéfinie et les aspects spécifiques du choix, on peut proposer, à la comparaison technico-économique les variantes suivantes:

**Première variante :**

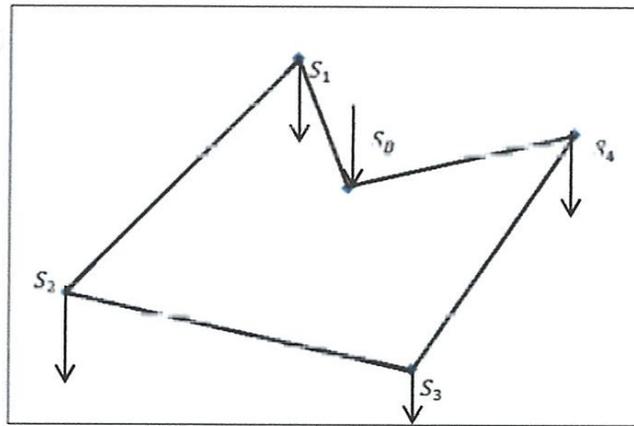


Figure 2.3

**Deuxième variante :**

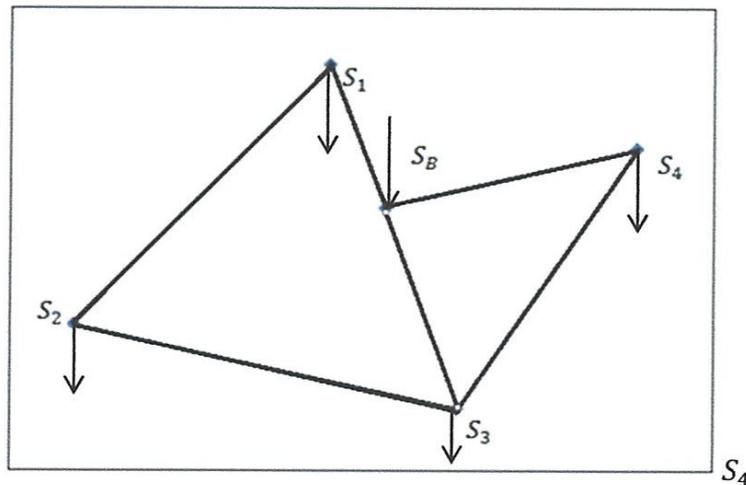


Figure 2.4

Troisième variante :

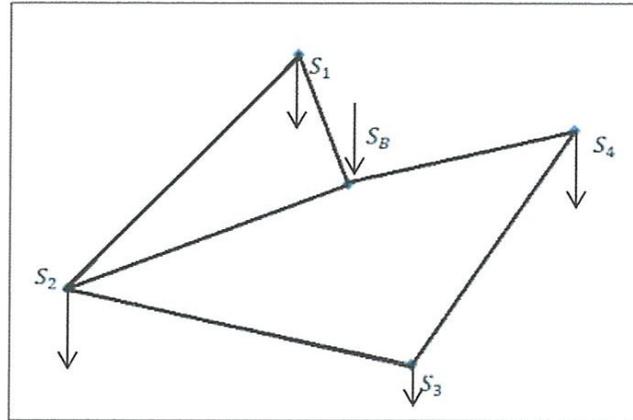


Figure 2.5

### 2.2.1.3. Détermination des paramètres des différentes variantes:

Du fait que le réseau est au stade de l'étude, les paramètres du système sont à choisir à partir du choix de la section, laquelle doit-être déterminé à partir des puissances de circulation dans les lignes.

Dans ces conditions, il est d'usage que les puissances de ligne sont calculées en supposant que cette première étape d'étude, que la tension des nœuds est en moyenne égale à tension nominale et que toutes les branches ont la même section et sont données simplement par leurs longueurs. Ces conditions font également que les puissances respectives lignes ne sont prises en compte qu'après la détermination des paramètres de ligne.

#### première variante:

Le schéma de calcul de la première variante peut être comme une ligne magistrale alimentée des deux (2) extrémités.

Pour le calcul, on donne un sens positif arbitraire de circulation des puissances de ligne ainsi que leur désignation.

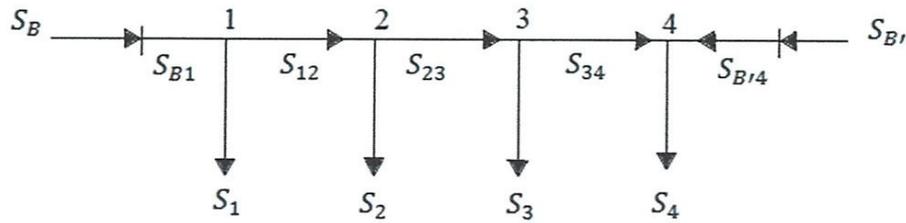


Figure 2.6

$$S_{B1} = S_B \neq S_{B'} = S_{B'4} \quad U_B = U_{B'}$$

Les puissances de ligne des deux (2) branches d'extrémités peuvent être calculées par les formules suivantes :

$$S_{B1} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot Z_{iB'}}{Z_{BB'}} \quad (2.6)$$

$$S_{B'4} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot Z_{iB}}{Z_{BB'}} \quad (2.7)$$

L'application de ces formules pour le cas considéré donne:

$$S_{B1} = \frac{S_1 \cdot Z_{1B'} + S_2 \cdot Z_{2B'} + S_3 \cdot Z_{3B'} + S_4 \cdot Z_{4B'}}{Z_{BB'}}$$

Comme  $r_0 + jx_0 = \text{cste}$ , l'expression peut être écrite pour les longueurs :

$$S_{B1} = \frac{S_1 \cdot L_{1B'} + S_2 \cdot L_{2B'} + S_3 \cdot L_{3B'} + S_4 \cdot L_{4B'}}{L_{BB'}}$$

$$S_{B1} = \frac{(80 + j60) \cdot 302,5 + (100 + j80) \cdot 214,5 + (90 + j60) \cdot 148,4 + (70 + j60) \cdot 71,4}{348,7}$$

$$S_{B1} = 183,55 + j139,082 \text{ MVA}$$

On détermine:

$$S_{B'4} = \frac{S_1 \cdot L_{1B} + S_2 \cdot L_{2B} + S_3 \cdot L_{3B} + S_4 \cdot L_{4B}}{L_{BB'}}$$

$$S_{B'4} = \frac{(80 + j60) \cdot 46,2 + (100 + j80) \cdot 134,3 + (90 + j60) \cdot 200,3 + (70 + j60) \cdot 277,3}{348,7}$$

$$S_{B'4} = 156,748 + j120,941 \text{ MVA}$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

Conformément à la loi des nœuds on peut déterminer de manière simple les autres puissances de ligne comme:

$$S_{12} = S_{B1} - S_1 = 183,55 + 139,082 - (80 + j60) = 103,55 + j79,082 \text{ MVA}$$

$$S_{23} = S_{12} - S_2 = 3,55 - j0,918 \text{ MVA}$$

$$S_{34} = S_{23} - S_3 = -86,45 - j60,918 \text{ MVA}$$

$$S_{B'4} = 156,748 + j120,941 \text{ MVA}$$

$$S_{B1} = 183,550 + j193,082 \text{ MVA}$$

Les résultats de calcul permettent de représenter le schéma en tenant compte du sens réel des puissances de ligne. On définit ainsi une section de puissances actives dans le nœud (3) et réactive localisée dans le nœud trois (2). Ce nœud renseigne sur le lieu où la tension est la plus basse.  $P_{23}$

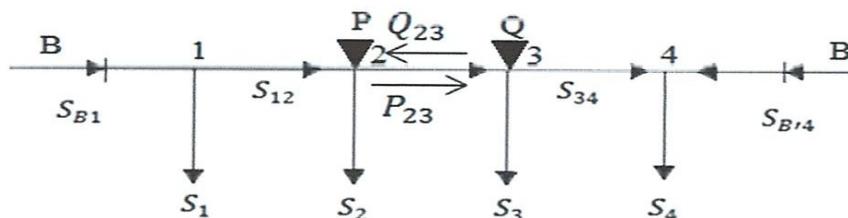


Figure 2.7

Deuxième variante:

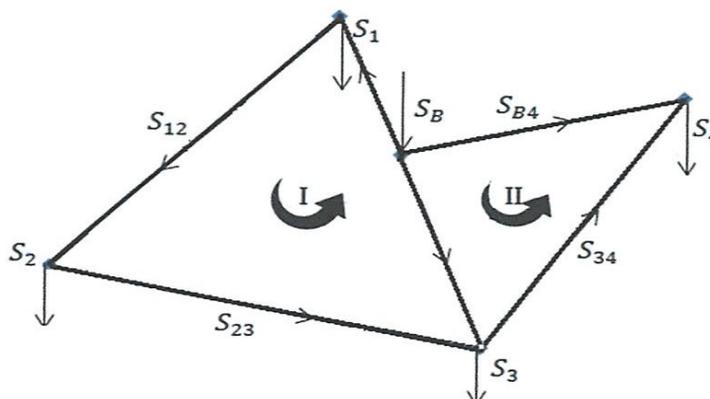


Figure 2.8

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

---

La variante dans ce deuxième cas est proposée sous forme de réseau maillé. Pour son calcul on doit utiliser une des quelconques méthodes conçues à cet effet.

On distingue:

- Méthode des transformations de schémas,
- Méthodes des puissances de contours,
- Méthodes des tensions nodales.

Ces méthodes, appliquées aux réseaux électriques, sont utilisées conformément à des définitions spécifiques qui sont:

### **Un nœud:**

Un nœud est le point de connexion d'au moins trois branches, la charge non comprise (nombre de nœud  $N_N$ ).

### **La ligne:**

La ligne est la branche ou l'ensemble des branches qui relient les nœuds, y compris celui de la source (nombre de ligne  $N_L$ ).

### **Un contour indépendant:**

Un contour indépendant est un contour dans lequel au moins une branche ne rentre pas dans la constitution d'une autre (nombre de contour  $N_C$ ).

Pour le cas étudié, appliquons la méthode des puissances de contours. Avant de procéder au calcul des réseaux, on doit préparer le schéma, par l'orientation des contours, le choix du sens des puissances et par d'autres désignation. La méthode consiste ensuite à donner pour chaque contour une puissance inconnue à déterminer. En prenant, ensuite, toutes les autres puissances de ligne en fonction des inconnues des contours, on peut définir un système d'équation aux nombres d'inconnues égales aux nombres de contours indépendants. La résolution du système doit donner les valeurs des inconnues, à l'aide de ces valeurs, on peut déterminer les autres puissances de ligne.

Pour la variante considérée on peut définir :

- Le nombre de ligne :  $N_L = 3$
- Le nombre de nœud :  $N_N = 1$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

- Le nombre de contour indépendant :  $N_c = N_L - N_N = 3 - 1 = 2$

Pour ces contours, on peut écrire respectivement le système comme suit:

$$A_X = S_X \cdot \hat{z}_X - S_Y \cdot \hat{z}_{XY} \quad (2.7)$$

$$A_Y = -S_X \cdot \hat{z}_{YX} - S_Y \cdot \hat{z}_Y \quad (2.8)$$

Avec :

$$\hat{z}_X = \hat{z}_{B1} + \hat{z}_{12} + \hat{z}_{23} + \hat{z}_{3B} \quad \text{Impédance du contours I.}$$

$$\hat{z}_Y = \hat{z}_{B4} + \hat{z}_{34} + \hat{z}_{3B} \quad \text{Impédance du contours II.}$$

$$\hat{z}_{XY} = \hat{z}_{YX} = \hat{z}_Y = \hat{z}_{3B} \quad \text{Impédance du contours I et II.}$$

$A_X$  et  $A_Y$  : l'ermes déterminés par les puissances de charge et les impédances de ligne.

L'application de la procédure à la variante traitée conformément aux conditions initiales données de définir ce qui suit.

$$\hat{z}_X = L_X = L_{B1} + L_{12} + L_{23} + L_{3B} = 247,093 \text{ km}$$

$$\hat{z}_Y = L_Y = L_{B4} + L_{34} + L_{3B} = 195,091 \text{ km}$$

$$\hat{z}_{XY} = L_{XY} = \hat{z}_{3B} = 46,746 \text{ km}$$

Les termes  $A_X$ ,  $A_Y$  peuvent être déterminés par les moments électriques des charges sommaires appliquées aux contours.

Contour I :

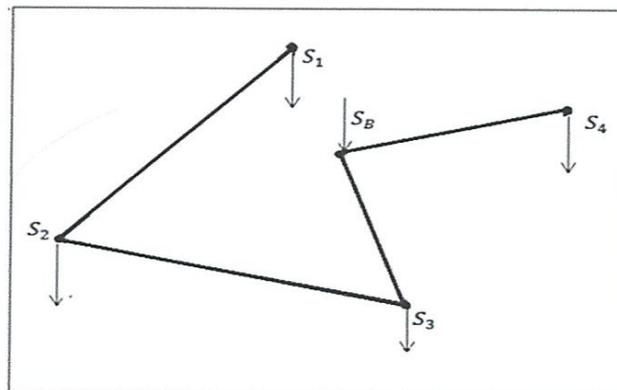


Figure 2.9

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

---

Pour ce premier contour, les moments électriques des charges appliquées sont déterminés par rapport au point d'application de la puissance  $S_X$ , c'est-à-dire par rapport au point B.

$$A_X = S_1(\hat{z}_{12} + \hat{z}_{23} + \hat{z}_{3B}) + S_2(\hat{z}_{23} + \hat{z}_{3B}) + S_3(\hat{z}_{3B})$$

$$A_X = (80 + j60)(88,092 + 60,045 + 46,746) + (100 + j80)(66,045 + 46,746) + (90 + j60)(46,746)$$

$$A_X = 31076,88 + j23521,02$$

De même pour le contour II, les moments électriques sont déterminés par rapport au nœud « 3 ».

$$A_Y = S_B \cdot \hat{z}_{3B} + S_2(\hat{z}_{23} + \hat{z}_{3R}) + S_4(\hat{z}_{4R} + \hat{z}_{3R})$$

$$A_Y = -(340 + j260) \cdot 46,746 + (70 + j60) \cdot (71,376 + 46,746)$$

$$A_Y = -7625,1 - j5066,64$$

$$\text{Donc le système devient : } \begin{cases} 247,093 S_X - 46,746 S_Y = 31076,88 + j23521,02 \\ -46,746 S_X - 195,091 S_Y = -7625,1 - j5066,64 \end{cases}$$

Après la résolution du système on trouve :

$$S_X = 123,992 + j94,564 \text{ MVA}$$

$$S_Y = -9,375 - j3,312 \text{ MVA}$$

Conformément à la loi des nœuds, on peut déterminer de manière simple les autres puissances de ligne comme:

$$S_{B1} = S_X = 123,992 + j94,564 \text{ MVA}$$

$$S_{12} = S_X - S_1 = 43,992 + j34,564 \text{ MVA}$$

$$S_{23} = S_{12} - S_2 = -56,008 - j45,436 \text{ MVA}$$

$$S_{B3} = S_3 + S_Y - S_{23} = 136,633 + j102,124 \text{ MVA}$$

$$S_{34} = S_Y = -9,375 - j3,312 \text{ MVA}$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

$$S_{B4} = S_4 - S_{34} = 79,375 + j63,321 \text{ MVA}$$

Les résultats de calcul permettent de représenter le schéma en tenant compte du sens réel des puissances de ligne. On définit ainsi une section des puissances apparentes (des puissances actives et réactives) localisée dans les nœuds (2 et 3). Ces nœuds renseignent sur le lieu où la tension est la plus basse.

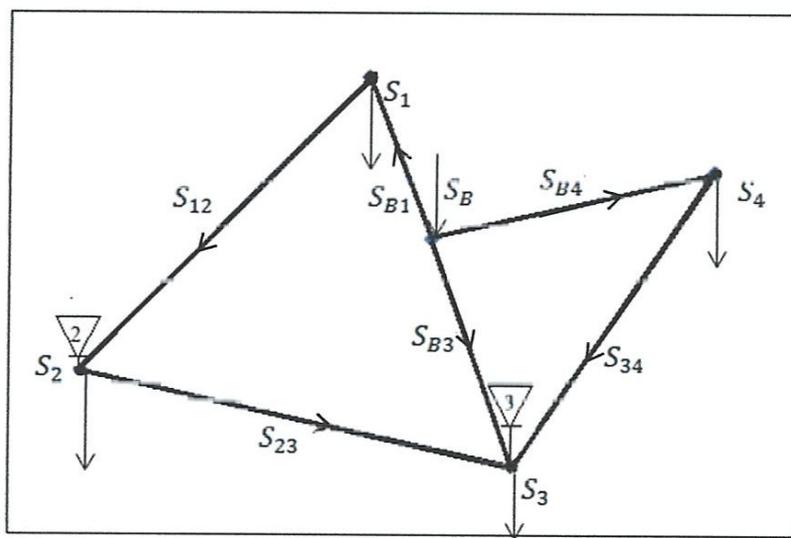
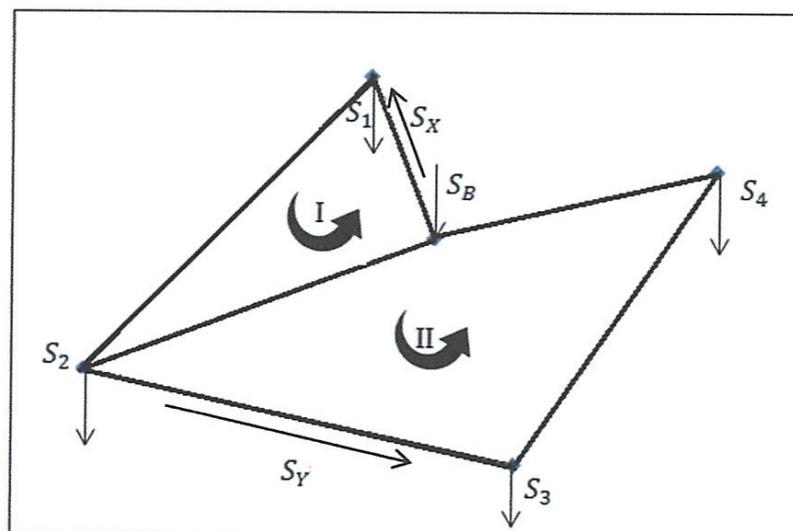


Figure 2.10

Troisième variante :



## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

Figure 2.11

On possède de la même manière que précédemment :

$$\begin{cases} S_X \cdot \hat{z}_X - S_Y \cdot \hat{z}_{XY} = A_X & (2.7) \\ -S_X \cdot \hat{z}_{YX} + S_Y \cdot \hat{z}_Y = A_Y & (2.8) \end{cases}$$

$$L_X = 202,017 \text{ km} ; L_Y = 282,105 \text{ km} ; L_{XY} = L_{YX} = L_{B2} = 67,715 \text{ km}$$

Contour I

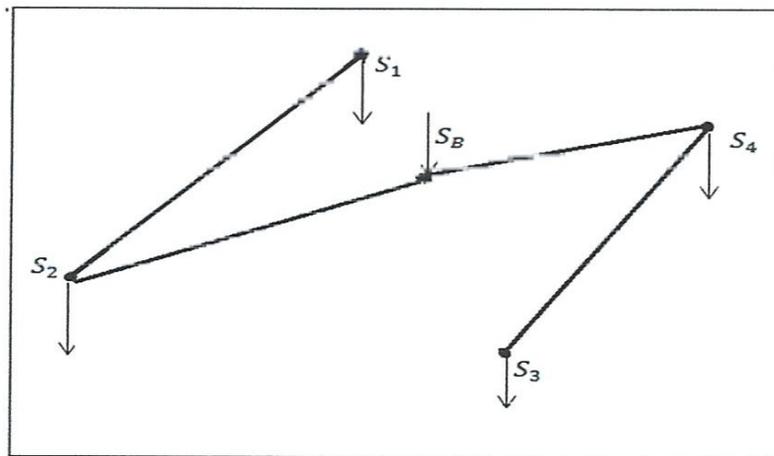


Figure 2.12

$$A_X = S_1(\hat{z}_{12} + \hat{z}_{B2}) + S_2 \cdot \hat{z}_{B2}$$

$$A_X = 19236,06 + j14765,62 \text{ MVA}$$

Contour II :

$$A_Y = -S_B \cdot \hat{z}_{B2} + S_4(\hat{z}_{B2} + \hat{z}_{B4}) + S_3(\hat{z}_{B2} + \hat{z}_{B4} + \hat{z}_{34})$$

$$A_Y = 6158,67 + j3703,16 \text{ MVA}$$

$$\text{D'où le système devient :} \quad 202,017 S_X - 67,715 S_Y = 19236,06 + j14765,62$$

$$-67,715 S_X + 282,105 S_Y = 6158,67 + j3703,16$$

Après la résolution du système on a :

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

$$S_X = 111,511 + j84,272 \text{ MVA}$$

$$S_Y = 48,601 + j33,357 \text{ MVA}$$

Conformément à la loi des nœuds on peut déterminer d'une manière simple les autres puissances de ligne comme :

$$S_{B1} = S_X = 111,511 + j84,272 \text{ MVA}$$

$$S_{12} = S_X - S_1 = 31,511 + j24,272 \text{ MVA}$$

$$S_{B2} = S_2 + S_Y - S_{12} = 117,09 + j89,085 \text{ MVA}$$

$$S_{23} = S_Y = 48,601 + j33,357 \text{ MVA}$$

$$S_{34} = S_{23} - S_3 = -41,399 - j26,643 \text{ MVA}$$

$$S_{B4} = S_4 - S_{34} = 111,399 + j86,643 \text{ MVA}$$

Après le résultat trouvé, le schéma peut être représenté comme suit :

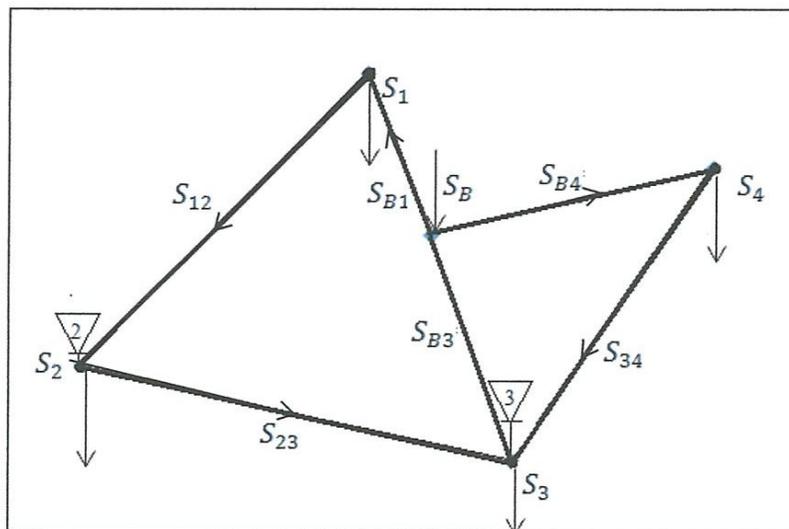


Figure 2.13

### 2.2.1.4 Choix de section des conducteurs:

Le choix de section des conducteurs peut être spécifié d'après la formule de la densité économique du courant qui est définie comme suite:

$$F = \frac{I_{max}}{J_{eco}} \quad (2.9)$$

F : Section du conducteur

$J_{eco}$  : Densité économique

$I_{max}$  : Courant de ligne correspondant au régime maximal de charge défini par :

$$I_{max} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (2.10)$$

En règle générale le graphique de charge des réseaux amont est plus rempli que celui des réseaux aval de distribution. En d'autres termes le temps  $t$  d'utilisation de la charge maximale et, par conséquent, le temps  $\tau$  de pertes maximale sont plus élevés. Dans ces conditions, il est plus judicieux de choisir la section des conducteurs à partir de la densité économique  $J_{eco}$ , laquelle est déterminée justement en fonction du temps  $\tau$ .

On peut donc choisir :  $J_{eco} = 1 \text{ A/mm}^2$

### 2.2.1.5. Calcul des courants de lignes et des sections :

Les procédures de calcul appliquées aux variantes proposées à la comparaison permettent de remplir le tableau 2.3.

On y constate, les puissances de ligne, les courants correspondants, les sections calculées, le nombre de lignes entre les nœuds et les valeurs nominales des sections choisies pour les quatre variantes.

Exemple de calcul (I, F):

$$I_{B1} = \frac{S_{B1}}{\sqrt{3} U_N} = \frac{\sqrt{(183,555)^2 + (139,082)^2}}{\sqrt{3} \cdot 400} \times 10^3 = 332,407 \text{ A}$$

$$F_{B1} = I_{B1} = 332,407 \text{ mm}^2 \quad \text{avec} \quad J_{eco} = 1.$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

	Ligne	S (MVA)	I (A)	F (mm <sup>2</sup> )	Nombre De ligne utilisé	Type
$V_1$	B-1	183,55 +j139,082	332,407	332,407	2	AC-400
	1-2	103,55 +j79,082	188,069	188,069	1	AC-240
	2-3	3,55 -j0,918	5,293	5,293	1	AC-240
	3-4	-86,45 -j60,918	152,652	152,652	1	AC-240
	B'-4	156,748 +j120,941	285,77	285,77	2	AC-300
$V_2$	B-1	123,992 +j94,564	225,082	225,082	2	AC-240
	1-2	43,992 +j34,564	80,753	80,753	1	AC-240
	2-3	-56,008 -j45,436	104,099	104,099	1	AC-240
	B-3	136,633 +j102,124	246,22	246,22	2	AC-300
	3-4	-9,375 -j3,312	14,352	14,352	1	AC-240
	R-4	79,375 +j63,312	146,553	146,553	2	AC-240
$V_3$	B-1	111,511 +j84,272	201,752	201,752	2	AC-240
	1-2	31,511 +j24,272	57,412	57,412	1	AC-240
	B-2	117,09 +j89,085	212,365	212,365	2	AC-240
	2-3	48,601 +j33,357	85,085	85,085	1	AC-240
	3-4	-41,399 -j26,643	71,061	71,061	1	AC-240
	B-4	111,399 +j86,643	203,705	203,705	2	AC-240

**Tableau 2.3**

### 2.2.1.6. Paramètres de lignes :

Les résultats arrêtés du tableau 2.3 permettent de choisir et de déterminer les valeurs des paramètres électriques primaires des conducteurs des lignes. Ces derniers sont donnés dans le tableau 2.4 pour les trois variantes.

Exemple de calcul (r , x , b) :

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

	Ligne	F(mm <sup>2</sup> )	L(Km)	$r_0(\Omega/\text{km})$	$x_0(\Omega/\text{km})$	$b_0(\Omega^{-1}/\text{km})$ $\times 10^{-6}$	R( $\Omega$ )	x( $\Omega$ )	$b(\Omega^{-1})$ $\times 10^{-6}$
$V_1$	B-1	400	46,21	0,08	0,414	2,73	3,697	19,131	126,153
	1-2	240	88,092	0,13	0,43	2,66	11,452	37,88	234,325
	2-3	240	66,045	0,13	0,43	2,66	8,586	28,399	175,68
	3-4	240	76,969	0,13	0,43	2,66	10,006	33,097	204,737
	B'-5	300	71,376	0,1	0,422	2,71	7,138	30,121	193,429
$V_2$	B-1	240	46,21	0,13	0,43	2,66	6,007	19,87	122,919
	1-2	240	88,092	0,13	0,43	2,66	11,452	37,879	234,325
	2-3	240	66,045	0,13	0,43	2,66	8,586	28,399	175,68
	B-3	300	46,746	0,1	0,422	2,71	4,675	19,727	126,682
	3-4	240	76,969	0,13	0,43	2,66	10,006	33,079	204,737
	B-4	240	71,376	0,13	0,43	2,66	9,279	30,692	189,86
$V_3$	B-1	240	46,21	0,13	0,43	2,66	6,007	19,87	122,919
	1-2	240	88,092	0,13	0,43	2,66	11,452	37,879	234,325
	B-2	240	67,715	0,13	0,43	2,66	8,803	29,117	180,122
	2-3	240	66,045	0,13	0,43	2,66	8,586	28,399	175,68
	3-4	240	76,969	0,13	0,43	2,66	10,006	33,097	204,737
	B-4	240	71,376	0,13	0,43	2,66	9,279	30,692	189,86

Tableau 2.4

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

---

### 2.2.1.8 La comparaison des variantes:

Pour la comparaison des variantes et pour arrêter un choix convenable, on se base respectivement sur l'analyse technico-économique et le critère de dépenses réduites minimales  $D_{r\ min}$ . Ces concepts d'analyse technico-économique et de dépenses réduites sont largement utilisés dans le projet d'étude, de conception et d'élaboration des systèmes électriques et autre....

En raison de la complexité des réseaux électriques, ainsi bien dans leur structure et leur construction que dans leur régime et leur contrôle gestion, dans la fonction des dépenses réduites, on doit tenir compte de plusieurs aspects tels, essentiellement, techniques et économiques.

Conformément à ces conditions, la fonction des dépenses déduites, dans sa forme la plus simple, s'exprime:

$$D_r = D_I + D_{e,p} \quad (2.11)$$

$D_r$ : Dépenses réduites annuelles (DA/an);

$D_I$ : Dépenses sommaires d'investissements réduites à l'année (DA/an);

$D_{e,p}$ : Dépenses dues à l'énergie perdue par an (DA/an).

Les  $D_I$  contiennent les dépenses d'investissements initiales (de départ) et celles relatives à l'entretien, la réparation, le renouvellement...

En supposant que les quatre variantes ont les mêmes dépenses d'investissements complémentaires. Les  $D_I$  peuvent être limitées seulement au prix des lignes (conducteurs).  
Calcul des pertes de puissances:

On calcule les pertes de puissances actives et réactives pour chaque variante. Pour cela on utilise les expressions suivantes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P = (S^2/U_N^2).r \quad (2.12) \\ \Delta Q = (S^2/U_N^2).x \quad (2.13) \end{array} \right.$$

Exemple de calcul  $\Delta P$  et  $\Delta Q$  :

$$\Delta P_{B-1} = \frac{S_{B-1}^2}{U_N^2} \times r = \frac{(183,55)^2 + (139,082)^2}{(400)^2} \times 3,679 = 1,225 \text{ MW}$$

$$\Delta Q_{B-1} = \frac{S_{B-1}^2}{U_N^2} \times X = \frac{(183,55)^2 + (139,082)^2}{(400)^2} \times 19,131 = 6.341 \text{ MVAR}$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

	Ligne	Nombre De ligne Utilisé	L(Km)	S(MVA)	r ( $\Omega$ )	x( $\Omega$ )	$\Delta P$ (MW)	$\Delta Q$ (MVAR)	$\Delta S$ (MVA)
$V_1$	B-1	2	46,21	183,55 +j139,082	3,697	19,131	1,225	6,341	1,225 +j6,341
	1-2	1	88,092	103,55 +j79,082	11,452	37,88	1,215	4,019	1,215 +j4,019
	2-3	1	66,045	3,55 +j0,918	5,586	28,399	0,001	0,002	0,001 +j0,002
	3-4	1	76,969	-86,45 -j60,918	10,006	33,097	0,699	2,314	0,699 +j2,314
	B'-4	2	71,376	156,748 +j120,941	7,138	30,121	1,749	7,379	1,749 +j7,379
	Totale		348,692				4,889	20,055	4,889 +j20,055
$V_2$	B-1	2	46,21	123,992 +j94,564	6,007	19,87	0,913	3,02	0,913 +j3,02
	1-2	1	88,092	43,992 +j34,564	11,452	37,879	0,224	0,741	0,224 +j0,741
	2-3	1	66,045	-56,008 -j45,436	8,586	28,399	0,279	0,923	0,279 +j0,923
	B-3	2	46,746	136,633 +j102,124	4,675	19,727	0,85	3,588	0,85 +j3,588
	3-4	1	76,969	-9,375 -j3,312	10,006	33,097	0,006	0,019	0,006 +j0,019
	B-4	2	71,376	79,375 +j63,312	9,279	30,692	0,598	1,977	0,598 +j1,977
	Totale		395,843				2,87	10,268	2,87 +j10,268
$V_3$	B-1	2	46,21	111,511 +j84,272	6,007	19,87	0,733	2,426	0,733 +j2,426
	1-2	1	88,092	31,511 +j24,272	11,452	37,879	0,113	0,375	0,113 +j0,375
	B-2	2	67,715	117,09 +j89,085	8,803	28,399	1,191	3,669	1,191 +j3,669
	2-3	1	66,045	48,601 +j33,357	8,586	19,727	0,186	0,617	0,186 +j0,617
	3-4	1	76,969	-41,399 -j26,643	10,006	33,097	0,152	0,501	0,152 +j0,501
	B-4	2	71,376	111,399 +j86,643	9,279	30,692	1,155	3,821	1,155 +j3,821
	Totale		416,407				3,53	11,409	3,53 +j11,409

Tableau 2.5

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

---

### Calcul des dépenses d'investissements des conducteurs par an :

Pour procéder au calcul des dépenses d'investissement ( $D_i$ ) des conducteurs, Supposons que le rapport des prix par km est égale au rapport direct des sections.

$$\text{Soit : } \frac{F_i}{F_b} = \frac{D_i}{D_b} \quad (2.12)$$

$F_i$  : Section en question ;

$F_b$  : Section de base choisie quelconque ;

$D_i$  : Dépense par km de ligne (conducteurs) de section  $F_i$

$D_b$  : Dépenses de base donnée par km de longueur correspondantes à la section  $F_i$ .

Pour un conducteur de longueur  $L_i$  et de section  $F_i$  donnée, on peut déterminer les dépenses comme:

$$D_{ii} = D_i \times L_i = \frac{F_i}{F_b} \times L_b \times D_b \quad (2.13)$$

En divisant et multipliant le deuxième membre par une longueur  $L_i$  de base choisie également quelconque, on obtient:

$$D_{ii}^* = \frac{F_i}{F_b} \times D_b \times \frac{L_i}{L_b} \times L_b \quad (2.14)$$

Ce qui permet d'exprimer :

$$D_{ii}^* = \frac{D_{ii}}{D_b \times L_b} = L_i^* \times F_i^* \quad (2.15)$$

On obtient ainsi une forme dans laquelle les dépenses sont exprimées par unité. Il suffit donc de choisir arbitrairement  $F_b$  et  $L_b$  pour rendre directement comparables les investissements, respectifs dans les quatre variantes.

$$\text{Soit par exemple : } \left\{ \begin{array}{l} F_b = 300 \text{ mm}^2 \\ L_b = 70 \text{ km} \end{array} \right.$$

Exemple de calcul ( $D_{ii}^*$ ) :

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

$$D_{l(B-1)}^* = L_{(B-1)}^* \times F_{(B-1)}^* = \frac{F_{B-1}}{F_b} \times \frac{L_{B-1}}{L_b} = \frac{46,21}{70} \times \frac{400}{300} = 0,8$$

	Ligne	F(mm <sup>2</sup> )	L(Km)	L <sub>b</sub> (Km)	F <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	F*	L*	D <sub>li</sub> *
V <sub>1</sub>	B-1	400	46,21	70	300	1,333	0,66	0,88
	1-2	240	88,092	70	300	0,8	1,258	1,006
	2-3	240	66,045	70	300	0,8	0,944	0,755
	3-4	240	76,969	70	300	0,8	1,099	0,879
	B'-4	300	71,376	70	300	1	1,02	1,02
	Totale			348,692				
V <sub>2</sub>	B-1	240	46,21	70	300	0,8	0,66	0,528
	1-2	240	88,092	70	300	0,8	1,258	1,006
	2-3	240	66,045	70	300	0,8	0,944	0,755
	B-3	240	46,746	70	300	1	0,668	0,668
	3-4	240	76,969	70	300	0,8	1,099	0,879
	B-4	240	71,376	70	300	0,8	1,02	0,816
	Totale			395,843				
V <sub>3</sub>	B-1	240	46,21	70	300	0,8	0,66	0,528
	1-2	240	88,092	70	300	0,8	1,258	1,006
	B-2	240	67,715	70	300	0,8	0,967	0,774
	2-3	240	66,045	70	300	0,8	0,944	0,755
	3-4	240	76,969	70	300	0,8	1,099	0,879
	B-4	240	71,376	70	300	0,8	1,02	0,816
	Totale			416,407				

Tableau 2.6

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

---

### Calcul des dépenses dues à l'énergie perdue par an :

Les dépenses due aux pertes d'énergie annuelle, peuvent être calculées par la formule spécifique suivante :

$$D_{e.p} = \gamma_1 \Delta P_{Tmax} = \gamma_2 \Delta A_T \text{ [DA/an]} \quad (2.16)$$

$\Delta P_{Tmax}$  : Pertes maximales totales des puissance actives (KW)

$\Delta A_T$  : Pertes totales d'énergie annuelle (kWh)

$\gamma_1$  : Constante qui se détermine par la formule suivante:

$$\gamma_1 = \delta (K_m \alpha + b\tau) \quad (2.17)$$

$\delta$ : Tient compte de l'éloignement du réseau à élaborer.

$$\delta = 1.03 \div 1.1 \rightarrow U_N \geq 110 \text{ kV}$$

$$\delta = 1.1 \div 1.2 \rightarrow U_N = 6 \div 30 \div 60 \text{ kV}$$

$$\delta = 1,2 \div 1.2 \rightarrow U_N \geq 1 \text{ kv}$$

$K_m$  : Coefficient qui tient compte du degré de coïncidence des maximum decharges,

$K_m < 1$ .

$\alpha$  : Coefficient spécifique qui exprime l'augmentation des dépenses au niveau de la production pour couvrir les pertes dans les réseaux (DA/kW).

$\beta$  : Prix moyen de l'énergie (DA/kWh).

$$b = 5 \div 8 \text{ DA/kWh}$$

$\tau$  : Temps de pertes maximales (h)

Les résultats de calcul pour toutes les variantes sont représentés dans le tableau 2.7 :

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

	$\Delta$	$K_m$	$\alpha$ (DA/kW)	$\beta$ (DA/kWh)	$\tau$ (h)	$\Delta P_{Tmax}$ (kW)
$V_1$	1,08	0,9	A	8	7500	$4,889 \cdot 10^3$
$V_2$	1,08	0,9	A	8	7500	$2,87 \cdot 10^3$
$V_3$	1,08	0,9	A	8	7500	$3,53 \cdot 10^3$

**Tableau 2.7**

Comme  $\gamma_1$  est une constante, donc les dépenses dépendent des Pertes maximales totales des puissances actives APTmX

### Comparaison des variantes:

	$D_{ii}^*$	$\Delta P_{Tmax}$ (kW)	L(Km)	Nombre de Ligne
$V_1$	4,54	$4,889 \cdot 10^3$	348,692	3
$V_2$	4,652	$2,87 \cdot 10^3$	395,843	2
$V_3$	4,758	$3,53 \cdot 10^3$	416,407	1

**Tableau 2.8**

D'après le tableau 2.8 on prend la deuxième variante comme la variante retenue du premier cas.

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

### Paramètres des différentes lignes pour la variante retenue:

Ligne	F(mm <sup>2</sup> )	L(Km)	$r_0(\Omega/\text{km})$	$x_0(\Omega/\text{km})$	$b_0(\Omega^{-1}/\text{km})$ $\times 10^{-6}$	R( $\Omega$ )	x( $\Omega$ )	$b(\Omega^{-1})$ $\times 10^{-6}$
B-1	240	46,21	0,13	0,43	2,66	6,007	19,87	122,919
1-2	240	88,092	0,13	0,43	2,66	11,452	37,879	234,325
2-3	240	66,045	0,13	0,43	2,66	8,586	28,399	175,68
B-3	300	46,746	0,1	0,422	2,71	4,675	19,727	126,682
3-4	240	76,969	0,13	0,43	2,66	10,006	33,097	204,737
B-4	240	71,376	0,13	0,43	2,66	9,279	30,692	189,86

Tableau 2.9

### 2.2.2. Alimentation direct à partir de PI:

Distance entre les différents nœud :

$L_{ij}$	$L_{PI1}$	$L_{PI2}$	$L_{PI3}$	$L_{PI4}$	$L_{12}$	$L_{23}$	$L_{34}$
L (km)	60	144	111	48	88	66	77

Tableau 2.10

#### 2.2.2.1 Choix de la tension nominale du transport:

Pour le calcul de la tension nominale, on procède de la même manière que lorsqu'on implante un poste régional. La charge la plus éloignée de PI et la longueur correspondante présentent :

$$L_{PI4} = 48 \text{ km} ; \quad P_4 = 70 \text{ MW} ;$$

$$\text{Ce qui donne : } U_4 = 282,394 \implies U_N = 400 \text{ kV}$$

### 2.2.2.2. Choix des variantes de la configuration du réseau:

Le choix des variantes est effectué de la même manière que pour le premier cas, sauf que les distances entre PI et les nœuds de charges changent.

Exemple : première variante

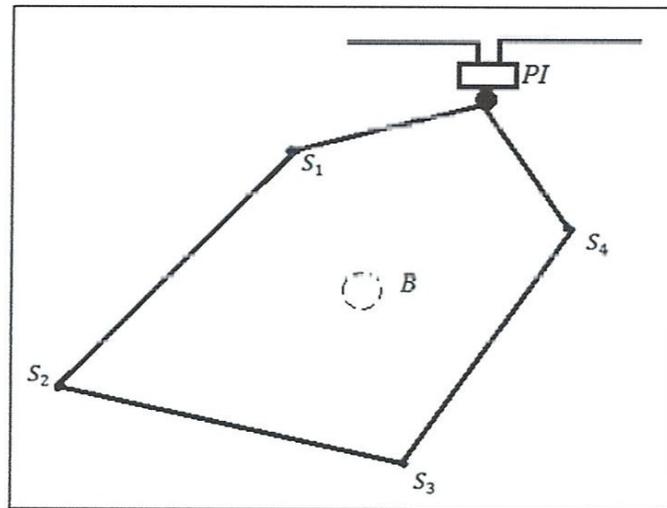


Figure 2.14

### 2.2.2.3. Détermination des paramètres des différentes variantes:

On procède de la même manière que dans le premier cas:

**Première variante:**

$$S_{PI1} = 165,280 + j125,074 \text{ MVA}$$

$$S_{PI4} = 174,720 + j134,926 \text{ MVA}$$

$$S_{12} = S_{PI1} - S_1 = 85,280 + j65,074 \text{ MVA}$$

$$S_{23} = S_{12} - S_2 = -14,720 - j14,926 \text{ MVA}$$

$$S_{34} = S_{23} - S_3 = -104,720 - j74,926 \text{ MVA}$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

Les résultats de calcul permettent de représenter le schéma en tenant compte du sens réel puissances de ligne. On définit ainsi un nœud de section des puissances apparentes (puissances actives et réactives) localisé dans le nœud trois (3). Ce nœud renseigne sur la tension est la plus basse.

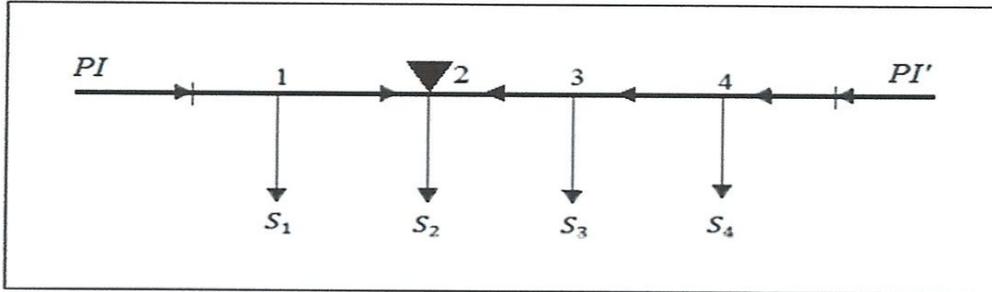


Figure 2.15

Deuxième variante :

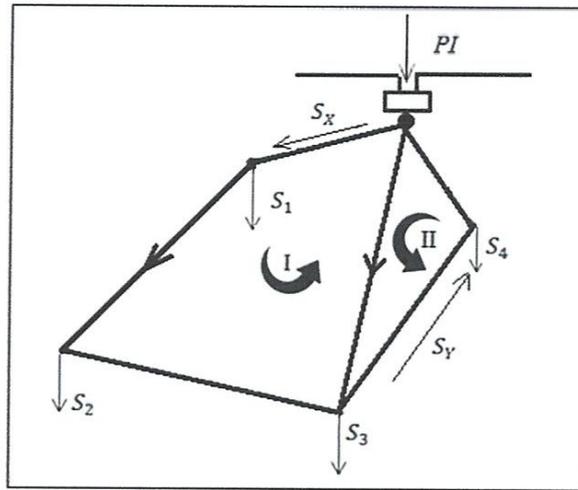


Figure 2.16

La procédure de calcul par les moments électriques permet de définir :

$$L_X = 325 \text{ Km} ; L_Y = 236 \text{ Km} \quad ; \quad L_{XY} = L_{YX} = L_{PI3} = 111 \text{ Km}$$

$$A_X = 48890 + j36720 \text{ MVA} \quad ; \quad A_Y = -26610 - j19320 \text{ MVA}$$

Et de déterminer :

$$S_{PI1} = S_X = 133,339 + j101,296 \text{ MVA}$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

$$S_{12} = S_X - S_1 = 53,339 + j41,296 \text{ MVA}$$

$$S_{23} = S_{12} - S_2 = -46,661 - j38,704 \text{ MVA}$$

$$S_{PI3} = S_3 + S_Y - S_{23} = 86,619 + j64,478 \text{ MVA}$$

$$S_{PI4} = S_4 - S_Y = 120,042 + j64,478 \text{ MVA}$$

$$S_{34} = S_Y = -50,042 - j34,222 \text{ MVA}$$

Les résultats de calcul permettent de représenter le schéma en tenant compte du sens réel des puissances de ligne. On définit ainsi un nœud de section de puissance apparente localisé dans le nœud deux (2). Ce nœud renseigne sur le lieu où la tension est la plus basse.

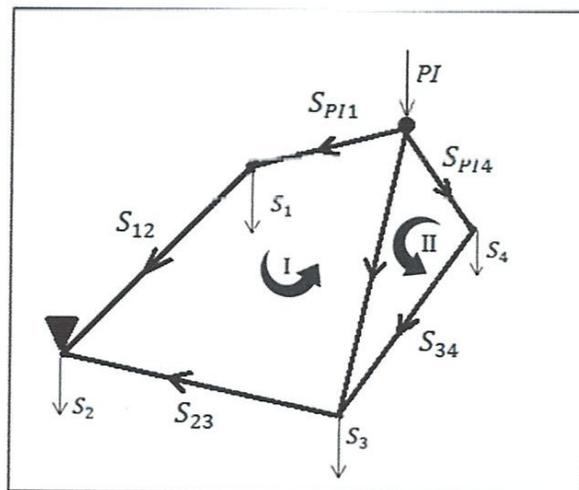


Figure 2.17

Troisième variante :

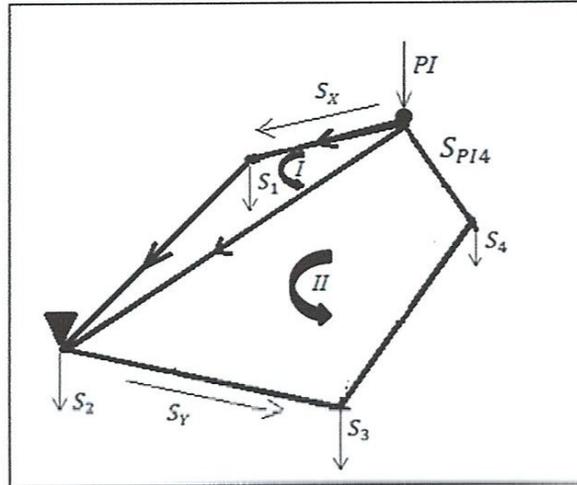


Figure 2.18

On procède ici de la même manière que précédemment :

$$L_X = 292 \text{ Km} ; L_Y = 335 \text{ Km} ; L_{XY} = L_{YX} = L_{PI3} = 144 \text{ Km}$$

$$A_X = 32960 + j25440 \text{ MVA} ; A_Y = -11310 - j9780 \text{ MVA}$$

Et de déterminer :

$$S_{PI1} = S_X = 122,109 + j92,287 \text{ MVA}$$

$$S_{12} = S_X - S_1 = 42,109 + j32,287 \text{ MVA}$$

$$S_Y = S_{23} = 18,722 + j10,471 \text{ MVA}$$

$$S_{PI2} = S_2 + S_Y - S_{12} = 76,613 + j58,184 \text{ MVA}$$

$$S_{34} = S_Y - S_3 = -71,278 - j49,529 \text{ MVA}$$

$$S_{PI4} = S_4 - S_{34} = 141,278 + j109,529 \text{ MVA}$$

Après les résultats trouvés le schéma peut être représenté comme suit :

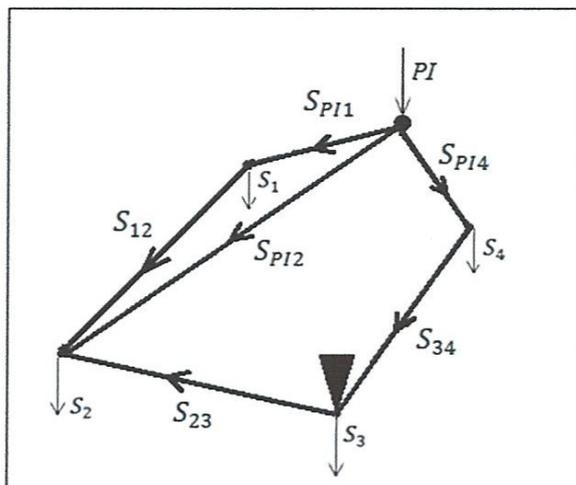


Figure 2.19

On définit ainsi un nœud de section des puissances apparentes ( des puissance actives et réactives) localisé dans le nœud trois 3.

### 2.2.2.4. Calcul des courants de lignes et des sections :

	Ligne	S (MVA)	I (A)	F (mm <sup>2</sup> )	Nombre De ligne utilisé	Type
$V_1$	PI-1	165,280 +j125074	299,17	299,17	2	AC-300
	1-2	85,280 +j65,074	154,84	154,84	1	AC-240
	2-3	-14,720 -j14,926	30,26	30,26	1	AC-240
	3-4	104,720 +j101,296	185,86	185,86	1	AC-240
	PI-4	174,720 +j134,926	318,64	318,64	2	AC-400
$V_2$	PI-1	133,339 +j101,296	241,70	241,70	2	AC-300
	1-2	53,3390 +j41,296	97,37	97,37	1	AC-240
	2-3	46,6610 +j38,704	87,61	87,61	1	AC-240
	PI-3	86,619 +j64,478	155,86	155,86	2	AC-240
	3-4	-50,042 -j34,222	87,51	87,51	1	AC-240
	PI-4	120,042 +j94,222	220,27	220,27	2	AC-240
$V_3$	PI-1	122,109 +j94,222	220,93	220,93	2	AC-240
	1-2	42,109 +j32,287	76,59	76,59	1	AC-240
	PI-2	76,613 +j58,184	138,86	138,86	2	AC-240
	2-3	18,722 +j10,471	30,96	30,96	1	AC-240
	3-4	-71,278 -j49,529	125,28	125,28	1	AC-240
	PI-4	141,278 +j109,529	258,03	258,03	2	AC-240

Tableau 2.11

### 2.2.2.5. Paramètre de ligne :

	Ligne	F(mm <sup>2</sup> )	L(Km)	$r_0(\Omega/\text{km})$	$x_0(\Omega/\text{km})$	$b_0(\Omega^{-1}/\text{km})$ $\times 10^{-6}$	R( $\Omega$ )	x( $\Omega$ )	b( $\Omega^{-1}$ ) $\times 10^{-6}$
V <sub>1</sub>	PI-1	300	60	0,1	0,422	2,71	6	25,32	162,6
	1-2	240	88	0,13	0,43	2,66	11,44	37,84	234,08
	2-3	240	66	0,13	0,43	2,66	8,58	28,38	175,56
	3-4	240	77	0,13	0,43	2,66	10,01	33,11	204,82
	PI-4	400	48	0,08	0,414	2,73	3,84	19,872	131,04
V <sub>2</sub>	PI-1	300	60	0,1	0,422	2,71	6	25,32	162,6
	1-2	240	88	0,13	0,43	2,66	11,44	37,84	234,08
	2-3	240	66	0,13	0,43	2,66	8,58	28,38	175,56
	PI-3	240	111	0,13	0,43	2,66	14,43	47,73	395,26
	3-4	240	77	0,13	0,43	2,66	10,01	33,11	204,82
	PI-4	240	48	0,13	0,43	2,66	6,24	20,64	127,68
V <sub>3</sub>	PI-1	240	60	0,13	0,43	2,66	7,8	25,8	159,6
	1-2	240	88	0,13	0,43	2,66	11,44	37,84	243,08
	PI-2	240	144	0,13	0,43	2,66	18,72	61,92	383,04
	2-3	240	66	0,13	0,43	2,66	8,58	28,38	175,56
	3-4	240	77	0,13	0,43	2,66	10,01	33,11	204,82
	PI-4	240	48	0,13	0,43	2,66	4,8	20,256	130,08

Tableau 2.1

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

### 2.2.2.6. La comparaison des variantes :

	Ligne	Nombre De ligne utilisé	L(Km)	S(MVA)	r ( $\Omega$ )	x( $\Omega$ )	$\Delta P$ (MW)	$\Delta Q$ (mvar)	$\Delta S$ (MVA)
V <sub>1</sub>	PI-1	2	60	165,280 +j125074	6	25,32	1,611	6,798	1,611 +j6,798
	1-2	1	88	85,280 +j65,074	11,44	37,84	0,823	2,721	0,823 +j2,721
	2-3	1	66	-14,720 -j14,926	8,58	28,38	0,024	0,078	0,024 +j0,078
	3-4	1	77	104,720 +j101,296	10,01	33,11	1,037	3,431	1,037 +j3,431
	PI-4	2	48	174,720 +j134,926	3,84	19,872	1,17	6,053	1,170 +j6,053
	Totale		339				4,665	19,081	4,665 +j19,081
V <sub>2</sub>	PI-1	2	60	133,339 +j101,296	6	19,872	1,052	4,437	1,052 +j4,437
	1-2	1	88	53,3390 +j41,296	11,44	25,32	0,325	1,076	0,325 +j1,076
	2-3	1	66	-46,6610 +j38,704	8,58	37,84	0,197	0,652	0,197 +j0,658
	PI-3	2	111	86,619 +j64,478	14,43	28,38	1,052	3,478	1,052 +j3,478
	3-4	1	77	-50,042 -j34,222	10,01	47,73	0,23	0,761	0,230 +j0,761
	PI-4	2	48	120,042 +j94,222	6,24	33,11	0,908	3,004	0,908 +j0,761
Totale		450				3,764	13,408	3,764 +j13,408	
V <sub>3</sub>	PI-1	2	60	122,109 +j94,222	7,8	25,8	1,142	3,778	1,142 +j3,778
	1-2	1	88	42,109 +j32,287	11,44	37,84	0,201	0,666	0,201 +j0,666
	PI-2	2	144	76,613 +j58,184	18,72	61,92	1,075	3,555	1,075 +j3,555
	2-3	1	66	18,722 +j10,471	8,58	28,38	0,025	0,082	0,025 +j0,082
	3-4	1	77	-71,278 -j49,529	10,01	33,11	0,471	1,56	0,471 +j1,56
	PI-4	2	48	141,278 +j109,529	4,8	20,256	0,959	4,046	0,959 +j4,046
Totale		483				3,873	13,687	3,873 +j13,687	

Tableau 2.13

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

Calcul des dépenses d'investissements des conducteurs par an :

	Ligne	F(mm <sup>2</sup> )	L(Km)	$L_b$ (Km)	$F_b$ (mm <sup>2</sup> )	$F^*$	$L^*$	$D_{ii}^*$
$V_1$	PI-1	300	60	70	300	1	0,857	0,857
	1-2	240	88	70	300	0,8	1,257	1,006
	2-3	240	66	70	300	0,8	0,943	0,754
	3-4	240	77	70	300	0,8	1,1	0,88
	PI'-4	400	48	70	300	1,333	0,686	0,88
	Totale		339					4,411
$V_2$	PI-1	300	60	70	300	1	0,857	0,857
	1-2	240	88	70	300	0,8	1,257	1,006
	2-3	240	66	70	300	0,8	0,943	0,754
	PI-3	240	111	70	300	0,8	1,586	1,269
	3-4	240	77	70	300	0,8	1,1	0,88
	PI-4	240	48	70	300	0,8	0,686	0,549
Totale		450					5,315	
$V_3$	PI-1	240	60	70	300	0,8	0,857	0,686
	1-2	240	88	70	300	0,8	1,257	1,006
	PI-2	240	144	70	300	0,8	2,057	1,646
	2-3	240	66	70	300	0,8	0,943	0,754
	3-4	240	77	70	300	0,8	1,1	0,88
	PI-4	240	48	70	300	1	0,686	0,686
Totale		483					5,658	

Tableau 2.14

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

Calcul des dépenses due à l'énergie perdue par an :

	$\delta$	$K_m$	$\alpha$ (DA/kW)	$\beta$ (DA/kWh)	$\tau$ (h)	$\Delta P_{Tmax}$ (kW)
$V_1$	1,08	0,9	A	8	7500	$4,665 \cdot 10^3$
$V_2$	1,08	0,9	A	8	7500	$3,764 \cdot 10^3$
$V_3$	1,08	0,9	$\alpha$	8	7500	$3,873 \cdot 10^3$

Tableau 2.15

Comparaison des variantes :

	$D_{ii}^*$	$\Delta P_{Tmax}$ (kW)	L(Km)	Nombre de Ligne
$V_1$	4,411	$4,665 \cdot 10^3$	339	3
$V_2$	5,315	$3,764 \cdot 10^3$	450	2
$V_3$	5,658	$3,873 \cdot 10^3$	483	2

Tableau 2.16

D'après le tableau 2.16 on prend la première variante comme la variante retenue du deuxième cas.

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

Paramètres des différentes lignes pour la variante retenue :

Ligne	F(mm <sup>2</sup> )	L(Km)	$r_0(\Omega/\text{km})$	$x_0(\Omega/\text{km})$	$b_0(\Omega^{-1}/\text{km})$ $\times 10^{-6}$	R( $\Omega$ )	x( $\Omega$ )	$b(\Omega^{-1})$ $\times 10^{-6}$
PI-1	300	60	0,1	0,422	2,71	6	25,32	162,6
1-2	240	88	0,13	0,43	2,66	11,44	37,84	234,08
2-3	240	66	0,13	0,43	2,66	8,58	28,38	175,56
PI-3	240	111	0,13	0,43	2,66	14,43	47,73	295,26
3-4	240	77	0,13	0,43	2,66	10,01	33,11	204,82
PI-4	240	48	0,13	0,43	2,66	6,24	20,64	127,68

Tableau 2.17

2.2.3. Comparaison des deux variantes retenue :

	$D_{ii}^*$	$\Delta P_{Tmax}$ ( kW)	L(Km)	Nombre de Ligne
$V_2$ ( premier cas )	4,652	$2,87 \cdot 10^3$	395,843	2
$V_1$ ( deuxième cas)	4,411	$4,665 \cdot 10^3$	339	3

Tableau 2.18

En tenant compte des deux lignes PI et B on trouve les résultats suivant :

Calcul pour une seul ligne :

$$L_{PI-B} = 81 \text{ Km} ; U_N = 400 \text{ Kv} ; S_B = 340 + j260 \text{ MVA}$$

$$S_{B/2} = 170 + j130 \text{ MVA}$$

$$I_{PI-B} = 308,905 \text{ A} ; F_{PI-B} = 400 \text{ mm}^2$$

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

Ligne	F(mm <sup>2</sup> )	L(Km)	$r_0(\Omega/\text{km})$	$x_0(\Omega/\text{km})$	$b_0(\Omega^{-1}/\text{km})$ $\times 10^{-6}$	R( $\Omega$ )	x( $\Omega$ )	$b(\Omega^{-1})$ $\times 10^{-6}$
PI-B	400	81	0,08	0,414	2,73	6,48	33,534	222,13

Tableau 2.19

Ligne	F(mm <sup>2</sup> )	L(Km)	S(MVA)	r ( $\Omega$ )	x( $\Omega$ )	$\Delta P$ (MW)	$\Delta Q$ (MVAR)	$\Delta S$ (MVA)
PI-B	400	81	170 +j130	6,48	33,534	1,855	9,599	1,855 +j9,599

Tableau 2.20

Les dépenses pour les deux lignes :

$D_{li}^* \times 2$	$\Delta P_{Tmax} \text{ (kW)} \times 2$	L(Km) $\times 2$
3,085	$3,71 \cdot 10^3$	162

Tableau 2.21

## Chapitre 2: Traitement des données et choix de modèle

---

Et donc les dépenses pour les deux variantes sera :

	$D_{ii}^*$	$\Delta P_{Tmax}$ ( kW)	L(Km)	Nombre de Ligne
$V_2$ ( premier cas )	7,737	$6,58 \cdot 10^3$	557,843	3
$V_1$ ( deuxième cas)	4,411	$4,665 \cdot 10^3$	339	3

**Tableau 2.23**

Après avoir les résultats finales dans le tableau 2.23, nous montrons que la dépense réduite et les pertes de la deuxième variante (deuxième cas) est plus petite que de la première variante ( première cas ).

Donc la variante retenue générale est la deuxième variante ( deuxième cas).

**CHAPITRE 3 :**  
**LES**  
**TRANSFORMATEURS**

## Chapitre 3 : Les transformateurs

---

### 3.1. Généralité sur les transformateurs :

#### 3.1.1. Les définitions principales :

Le transformateur est un appareil électromagnétique statique destiné à transformer un courant alternatif primaire en autre <sup>courant</sup> secondaire de même fréquence ayant dans le cas général d'autre caractéristique, en particulier une autre tension et un autre courant.

Un transformateur se compose d'un noyau en tôles d'acier, de deux ou plusieurs enroulements à couplage électromagnétique et dans le cas particulier d'un autotransformateur, à couplage électrique.

Selon le nombre d'enroulements, le transformateur est dit à trois ou à plusieurs enroulements. Conformément au genre du courant on distingue les transformateurs monophasés, triphasés, et polyphasés. On entend par enroulement d'un transformateur polyphasé l'ensemble de tous les enroulements de phase de même tension reliés entre eux d'une certaine façon. L'enroulement du transformateur auquel est amenée l'énergie du courant alternatif est appelé enroulement primaire et l'autre enroulement du quelle l'énergie est prélevée est appelé enroulement secondaire. Conformément aux applications des enroulements toute les grandeurs qui se rapport à l'enroulement primaire, par exemple la puissance, le courant, la résistance, etc., sont également appelé primaire et celles qui se rapportent à l'enroulement secondaire sont dites secondaire.

L'enroulement connecté au réseau à tension plus élevée est appelé enroulement de haut tension (HT) ; l'enroulement connecté au réseau de tension inférieure est appelé enroulement de basse tension (BT). Si la tension secondaire est inférieure à celle primaire le transformateur est appelé transformateur abaisseur, et lorsque cette tension est supérieure à la tension primaire le transformateur est dit transformateur élévateur.

On appelle transformateur à prises un transformateur dont les enroulements sont dotés des prises spéciales permettent de varier le rapport de transformation.

Pour prévenir l'action néfaste de l'air sur l'isolement des bobines et améliorer le refroidissement du transformateur on place son noyau avec les enroulements dans une cuve remplie d'huile à transformateur. Ces transformateurs sont appelés transformateur dans l'huile. Ceux qui ne sont pas plongés dans l'huile sont appelés transformateur sec.

## Chapitre 3 : Les transformateurs

---

### 3.1.2. Grandeurs nominales d'un transformateur :

Les grandeurs nominales d'un transformateur : puissance, tension, courant, fréquence, etc., sont indiquées sur la plaque signalétique qui doit être visible. Mais le terme « nominal »

Peut être appliqué également aux grandeurs qui ne sont pas indiquées sur la plaque signalétique mais qui se rapportent un régime nominal : rendement nominal, condition nominal de température du milieu de refroidissement, etc.

On appelle service nominal d'un transformateur le service indiqué sur la plaque signalétique .

La puissance nominale d'un transformateur est celle aux bornes de l'enroulement secondaire, indiquée sur la plaque signalétique et exprimée en KVA ou MVA.

La tension primaire nominale est la tension indiquée sur la plaque signalétique, si l'enroulement primaire est à prises sa tension nominale est marquée spécialement .

La tension secondaire nominale est la tension aux bornes de l'enroulement secondaire lorsque le transformateur fonctionne à vide ( la tension aux bornes de l'enroulement primaire étant nominale) si l'enroulement secondaire comporte des prises sa tension nominale est marquée spécialement.

On appelle courants nominaux primaire et secondaire d'un transformateur les courants indiqués sur la plaque signalétique et calculés suivant les valeurs correspondantes de la puissance nominale. Vu que le rendement d'un transformateur est très élevé on admet que les puissances nominales des deux enroulements sont égales. Soit la puissance nominale d'un transformateur triphasé  $P_N = 100 \text{ KVA}$ , les tensions nominales primaire et secondaire

$U_{1N} = 6000 \text{ Kv}$  et  $U_{2N} = 230 \text{ Kv}$  on a alors :

$$I_{1N} = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 9,63 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 230} = 251 \text{ A}$$

La fréquence nominale adoptée en U.R.S.S est de 50 Hz selon la Norme soviétique 183-55

### 3.1.3. Principaux types de transformateurs :

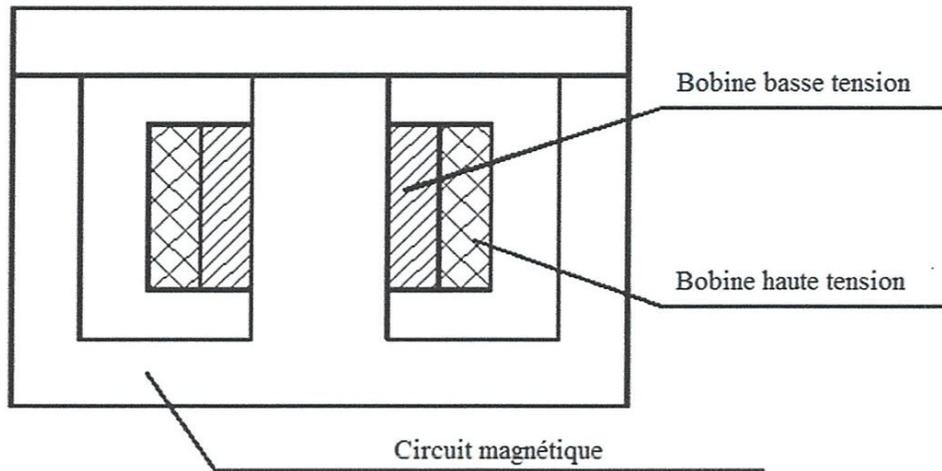
Les types de transformateurs les plus importants sont :

- Les transformateurs de puissance Sont utilisés pour le transport et la distribution de l'énergie électrique.
- Les autotransformateurs S'érent à transformer la tension dans des limites relativement restreintes pour le couplage des réseaux interconnectés de différentes tensions, pour la mise en marche des moteurs ç courant alternatif.
- Les transformateurs destinés à alimenter les installations à convertisseur statique (redresseur à vapeur de mercure, soupapes à semi-conducteurs, etc.) pour la transformation du courant alternatif en courant continu ou du courant continu en courant alternatif.
- Les transformateurs d'essais destinés aux essais sous haute et très haute tension.
- Les transformateurs de puissance spéciaux sont utilisés pour l'alimentation des fours électriques transformateurs de sondage, etc.
- Les transformateurs de mesure de courant et de la tension pour le branchement dans les schéma des appareils de mesure.
- Les transformateurs utilisés en radiotechnique, etc.

### 3.1.4 Les principaux éléments des transformateurs :

#### a) Circuit magnétique :

Le circuit magnétique du transformateur est en tôles laminées à froid d'acier au silicium à grains orientés et faibles pertes magnétiques. Les deux faces des tôles sont revêtues d'un isolant céramique. La construction du circuit magnétique a été optimisée en fonction des propriétés de l'acier laminé à froid de façon à obtenir les meilleurs paramètres pour le circuit magnétique, en l'occurrence des pertes minimales à vide et une faible puissance magnétisante. Le circuit magnétique est du type colonne.



**Figure 3.1:** Circuit magnétique du transformateur

### **b) Enroulements :**

Les enroulements des transformateurs sont en cuivre ou en aluminium électrolytique. Les enroulements haute tension sont du type en couches. L'isolation entre couches est réalisée avec du papier à guilage, du carton (presspahn) et de l'huile. Les enroulements basse tension sont constitués de fil préformé ou de feuillard isolé avec du papier DDP et du carton. Les enroulements peuvent être placés à même les jambes du circuit magnétique sur des mandrins et bloqués par calage entre les culasses supérieure et inférieure du circuit magnétique.

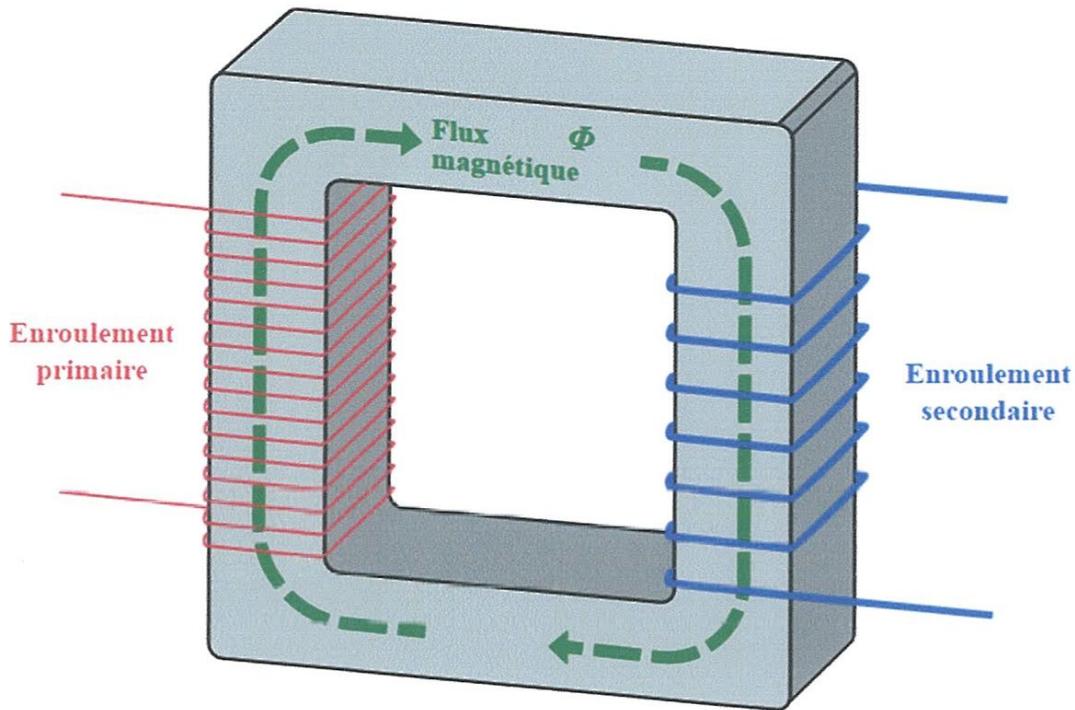


Figure 3.2 : Les enroulements du transformateur

### c) Changeur de prises :

Le transformateur est équipé d'un changeur de prises triphasé à vide qui permet de modifier le réglage de la tension une fois que l'appareil a été mis hors tension. La commande du changeur agit de manière synchrone sur les trois phases et sa poignée son cadran est situé sur le couvercle du transformateur. La tension se règle en faisant tourner la poignée du changeur jusqu'à la position voulue. Le changeur ne peut pas être utilisé quand le transformateur est sous tension. La poignée du changeur comprend un anneau perforé et des broches de verrouillage qui assurent un positionnement (réglage) correct de la poignée après le réglage de la tension. Les transformateurs bitension sont dotés de deux poignées de changeur sur leur couvercle. L'une sert à sélectionner un ou deux réglages possibles de haute tension (HT) tandis que l'autre permet de régler la tension par petits pas.

### d) Cuve :

La cuve des transformateurs hermétiques possède des parois ondulées conçues pour servir d'ailettes de radiateur. Les transformateurs respirant (du type à conservateur) comprennent aussi une cuve en acier ondulé.

## Chapitre 3 : Les transformateurs

---

La cuve est d'une construction solide qui autorise le transport, dans des conditions normales, d'un transformateur rempli d'huile sans dommage dû aux vibrations.

Le bas de la cuve comporte des dispositifs pour maintenir fermement le transformateur pendant son transport au moyen de sangles ou de cordes synthétiques de grande résistance mécanique.

La partie basse de la cuve est dotée des dispositifs suivants :

- vanne de purge.
- vanne d'échantillonnage (en option).
- embase avec galets de roulement bidirectionnel (90°) (en option) et bornes de terre.

L'embase présente des trous qui servent à tirer le transformateur sur de courtes distances et sur une surface lisse.

En tirant le transformateur par les barres de renfort des parois ondulées de la cuve, on risque d'endommager celle-ci ou de provoquer une fuite d'huile.

Le revêtement anticorrosion du transformateur sera adapté aux conditions environnementales dans lesquelles l'unité fonctionnera. La peinture standard assure une protection dans un milieu non agressif. Pour les environnements industriels, maritimes, etc., on commandera des revêtements renforcés, galvanisés ou d'autres peintures à déterminer au cas par cas.

### e) Couvercle :

Les éléments suivants sont présents sur le couvercle du transformateur :

- Deux anneaux destinés au levage du transformateur ou de sa partie active.
- Un indicateur de niveau d'huile (dans les transformateurs hermétiques).
- Un orifice pour remplir la cuve d'huile (dans les transformateurs hermétiques).
- Un thermomètre.
- Un dispositif de contrôle DGPT-2.
- Un piquage pour le raccordement au conservateur (dans les transformateurs à conservateur).
- Des traversées haute et basse tension.
- Une ou des bornes de terre.

## Chapitre 3 : Les transformateurs

---

### f) Conservateur :

Le récipient cylindrique appelé conservateur est agencé à l'horizontale sur le couvercle. Sur certaines versions, la tubulure reliant le conservateur et le couvercle est parfois équipée d'un relais Buchholz.

Un niveau à contact magnétique monté sur le côté du conservateur indique le niveau d'huile actuel dans le transformateur.

Un orifice de remplissage d'huile se trouve normalement au-dessus du couvercle. Il peut être fermé hermétiquement par un bouchon, soit comporter un petit tuyau raccordé à un dessiccateur au silicate permettant d'équilibrer les pressions interne et externe.

Seules les versions à bouchon vissé sont dotées d'un dessiccateur à silicate intégré, l'entrée d'air de celui-ci étant située en bas de la cuve du conservateur.

En option, le conservateur peut être équipé d'une vanne de vidange pour éliminer les dépôts d'huile ou l'eau en excès.

### g) Huile du transformateur :

Les transformateurs sont remplis d'huile minérale sans PCB. Avant le remplissage, on la filtre et on la sèche afin d'obtenir la rigidité diélectrique requise. La valeur de la tension de claquage d'un échantillon d'huile neuve traitée ne doit pas être inférieure à 45 kV/2,5 mm dans un système défini selon les normes applicables (pour un transformateur en service, la rigidité diélectrique ne sera pas inférieure à 35 kV). Si la valeur mesurée de la tension de claquage est inférieure, il faut régénérer l'huile par filtration ou par un procédé équivalent. Sur demande, le transformateur pourra être rempli d'autres types d'huile à convenir et à confirmer dans la spécification technique.

### 3.1.5. Fonctionnement et maintenance du transformateur :

#### 3.1.5.1. Fréquence des inspections :

Elle est imposée par le règlement sur les installations électriques en vigueur dans le pays où le transformateur est exploité, mais le constructeur recommande une périodicité de 12 mois au moins.

## Chapitre 3 : Les transformateurs

---

### 3.1.5.2 Contenu d'une inspection de routine :

Lors d'une inspection, il est vivement recommandé de faire spécialement attention aux points suivants :

- Les indications de tous les compteurs et dispositifs de mesure.
- Les niveaux indiqués par les jauges d'huile.
- La température de l'huile affichée par le thermomètre installé sur le couvercle du transformateur.
- La charge du transformateur (valeur du courant).
- L'état des dispositifs auxiliaires.
- L'état des traversées ;
- L'état des raccordements aux dispositifs de protection ainsi que celui des dispositifs de protection eux-mêmes.
- Les conditions ambiantes en s'intéressant spécialement à la température. Il est aussi nécessaire de prendre note.
- De l'état des bornes de traversée.
- De toute anomalie du son produit par le transformateur.
- Des éventuelles traces d'huile sous le transformateur.

Remarque : Pendant l'inspection, on respectera toutes les règles de sécurité applicables. Si le transformateur est équipé de boîtiers, on contrôlera l'état des éléments qu'ils renferment. Un défaut d'étanchéité responsable d'une petite fuite (à condition que le niveau d'huile indiqué se maintienne au-dessus du niveau minimum) n'entraîne pas de détérioration des paramètres de l'huile dans la cuve. Après en avoir réparé la cause, il n'est pas nécessaire d'effectuer des essais de contrôle de l'huile.

### 3.1.5.3 Fonctionnement anormal du transformateur :

En cas de dommage ou de perturbations entravant son fonctionnement normal, on mettra le transformateur hors circuit et on procédera à une inspection en urgence. On donne ci-dessous une liste de causes types réclamant une telle inspection :

- fuite/perte d'huile.
- tout endommagement bien apparent des traversées.
- toute modification facilement perceptible de l'intensité du bruit produit par le transformateur.

## Chapitre 3 : Les transformateurs

---

- un échauffement excessif des câbles de raccordement.
- une hausse de la température indiquée par le thermomètre situé sur le couvercle, au-delà des quelque 105 °C préconisés.

### 3.1.5.4. Bruit :

Si le niveau de bruit d'un transformateur en service est un paramètre opérationnel important (par exemple, s'il est installé à proximité d'appartements, de bureaux, etc.), il convient que l'entité contractante détermine le seuil de bruit supérieur émis par l'appareil.

Une impression subjective de bruit fort en cours de fonctionnement ne peut pas fonder une réclamation. Des unités semblables peuvent différer par leur niveau de bruit, ce qui fait qu'une comparaison peut ne pas être suffisante non plus. La seule mesure fiable est celle réalisée dans une salle insonorisée de qualité professionnelle.

### 3.1.5.5. Dégazage :

C'est un phénomène dangereux, encore qu'il se produise occasionnellement dans les transformateurs. Il résulte d'une lente évolution d'un gaz inflammable, de l'hydrogène principalement, suite à une décharge partielle dans l'huile ou dans tout autre matériau isolant. Un coussin de gaz apparu dans le haut de la cuve provoque une baisse du niveau d'huile et une hausse de la pression dans la cuve. Une baisse systématique du niveau d'huile sans survenue d'une fuite nette en est un signe caractéristique. Il est recommandé d'en avertir rapidement le fabricant du transformateur ou un service spécialisé.

## 3.2. Choix des transformateurs de puissance :

Le choix des transformateurs est une étape très importante pour assurer la continuité du service pour tous les clients (les charges), avec une bonne qualité d'énergie.

Pour choisir les types et les nombres des transformateurs que l'on doit être installé dans les postes transformations de chaque charge il est nécessaire de connaître :

- La tension nominale du réseau 330 KV
- La puissance de charges qu'il doit être alimenté.
- La stabilité de consommation (charge fluctueuse ou bien stable).

## Chapitre 3 : Les transformateurs

Dans les postes de transformation des réseaux HT, on installe d'habitude deux transformateurs, pour assurer la continuité de service, des fois et en cas d'une charge fluctueuse on utilise trois transformateurs, pour assurer l'alimentation de toute la charge en cas de surcharge la puissance de chacun d'eux est choisi par la formule suivante :

$$S_{ch} = n \times (0,65 \div 0,7) \times S_{NT} \quad (3.1)$$

$S_{ch}$  : Puissance de calcul maximale de poste.

$S_{NT}$  : Puissance nominale de transformateur.

On a quatre charges comme suit :

$S_{ch}$ (MVA)	Etat de charge	Nombre de transformateur	$S_T$ calculé (MVA)	$S_{NT}$ (MVA)
$S_1 = 80 + j60 = 100$	Fluctueuse	3	33,3	63
$S_2 = 100 + j80 = 128,06$	Stable	2	64,3	125
$S_3 = 90 + j60 = 108,16$	Fluctueuse	3	36,05	63
$S_4 = 70 + j60 = 92,2$	Stable	2	46,1	63

Tableau 3.1

Exemple de calcul :

Pour  $S_1 = 100$  MVA et le nombre de transformateur utiliser égal à 3 c.-à-d. la puissance divisée par trois ;

$$S_{T \text{ calculé}} = \frac{100}{3} = 33,3 \text{ MVA} \Rightarrow S_{NT} = 63 \text{ MVA}$$

$S_{T \text{ calculé}}$  : Puissance de transformateur calculée.

Confirmation des résultats :

$$\frac{S_{ch}}{n \cdot S_{NT}} \leq 0,7$$
$$\Leftrightarrow \frac{100}{3 \times 63} = 0,529 \leq 0,7$$

## Chapitre 3 : Les transformateurs

Donc on utilise deux types de transformateurs et ses caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

$S_{NT}$ (MVA)	$\Delta P_0$ (KW)	$\Delta P_{cc}$ (KW)	$\Delta U_{cc}$ (%)	$I_0$ (%)	$\Delta Q_0$ (KVAR)
63	120	265	11	0,8	504
125	180	420	11	0,5	625

Tableau 3.2

### 3.2.1. Les paramètres de transformateurs :

Les paramètres de transformateurs sont calculés par les formules suivantes :

$$r_T = \Delta P_{cc} \times \frac{U_N^2}{S_N^2} \quad [\Omega] \quad (3.2)$$

$$x_T = \Delta P_{cc} \times \frac{\Delta U_{cc} \%}{100} \times \frac{U_N^2}{S_N} \quad [\Omega] \quad (3.3)$$

$$g_T = \frac{\Delta P_0}{U_N^2} \quad [\Omega^{-1}] \quad (3.4)$$

$$b_T = \frac{I_0 \%}{100} \times \frac{S_N}{U_N^2} = \frac{\Delta Q_0}{U_N^2} \quad [\Omega^{-1}] \quad (3.5)$$

Après les calculs les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

ud	Nombre de transformateur	$S_N$ (MVA)	$U_N$ (KV)	$\Delta U_{cc}$ (%)	$\Delta P_{cc}$ (KW)	$\Delta P_0$ (KW)	$I_0$ %	$r_T$ ( $\Omega$ )	$x_T$ ( $\Omega$ )	$g_T$ ( $\Omega^{-1}$ )	$b_T$ ( $\Omega^{-1}$ )	$\Delta Q_0$ (KVAR)
	3	63	330	11	265	120	0,8	8	210	1,1	4,63	504
	2	125	330	11	420	180	0,8	3,22	105	1,65	5,74	625
	3	63	330	11	265	120	0,8	8	210	1,1	4,63	504
	2	63	330	11	265	120	0,8	8	210	1,1	4,63	504

Tableau 3.3

## Chapitre 3 : Les transformateurs

### 3.2.2. Les pertes dans les transformateurs :

Pour le cas étudier les pertes électrique de puissance active  $\Delta P_T$  et réactif  $\Delta Q_T$  sont les plus essentiel, pour les calculs de la variante retenue.

$\Delta P_T$  Et  $\Delta Q_T$  peuvent etre calculé par les formule suivantes :

$$\Delta P_T = \frac{r_T}{n} \times \frac{P_{ch}^2 + P_{ch}^2}{U_{NT}^2} + n \times \Delta P_0 = n \times \Delta P_0 + \frac{\Delta P_{cc}}{n} \beta^2 \quad [\text{MW}] \quad (3.6)$$

$$\Delta Q_T = \frac{x_T}{n} \times \frac{P_{ch}^2 + P_{ch}^2}{U_{NT}^2} + n \times \Delta Q_0 = n \times \frac{I_0 \%}{100} \times S_N + \frac{\Delta U_{cc}}{n \times 100} \beta^2 \quad [\text{MVAR}] \quad (3.7)$$

Avec :  $\beta = \frac{S_{ch}}{S_{NT}} \quad (3.8)$

Après les calculs on trouve le résultat dans le tableau suivant :

Nœud	Nombre de transformateur	$r_T$ ( $\Omega$ )	$x_T$ ( $\Omega$ )	$\Delta Q_0$ (KVAR)	$\Delta P_0$ (KW)	$U_{NT}$ (KV)	$S_{ch}$ (MVA)	$\Delta P_T$ (MW)	$\Delta Q_T$ (MVAR)
1	3	8	210	504	120	330	80 +j60	0,605	7,94
2	2	3,22	105	625	180	330	100 +j80	0,602	8,986
3	3	8	210	504	120	330	90 +j60	0,646	9,033
4	2	8	210	504	120	330	70 +j60	0,552	9,276

Tableau 3.4

### 3.2.3. La puissance à l'entrée des postes :

Pour avoir des bons résultats, les puissances d'entrées des transformateurs peuvent être calculées par les formules suivantes :

$$S_i' = S_i + \Delta S_{Ti} - j \sum_{i=1}^n Q_{ci} \quad (i = 1 \div 4) \quad (3.9)$$

$$S_i' = P_i + \Delta P_{Ti} + j(Q_i + \Delta Q_{Ti} - \sum_{i=1}^n Q_{ci}) \quad (i = 1 \div 4)$$

$$Q_c = \frac{b}{2} \times U_N^2 \quad [\text{MVAR}] \quad (3.10)$$

## Chapitre 3 : Les transformateurs

Ligne	$U_N$ (Kv)	$B(\Omega^{-1}) \times 10^{-6}$	$Q_c$ (MVAR)
PI-1	330	162,6	8,853
1-2	330	234,08	12,746
2-3	330	175,56	9,559
3-4	330	204,82	11,152
PI'-4	330	131,04	7,135

**Tableau 3.5**

D'après les résultats dans le tableau 3.5 et les formules précédentes, on trouve les résultats finaux dans le tableau suivant:

Exemple de calcul :

$$S_i' = P_1 + \Delta P_{T1} + j(Q_1 + \Delta Q_{T1} + (Q_{c\ PI-1} + Q_{c\ 1-2}))$$

$$S_i' = 80 + 0,605 + j(60 + 7,94 - 8,853 - 12,746)$$

$$S_i' = 80,605 + j46,341 \text{ (MVA)}$$

Poste	Ligne	$Q_c$ (MVAR)	$\Delta P_T$ (MW)	$\Delta Q_T$ (MVAR)	$S_{ch}$ (MVA)	$S'$ (MVA)
1	PI-1	8,853	0,606	7,94	80 + j60	80,605 + j46,341
	1-2	12,746				
2	1-2	12,746	0,602	8,986	100 + j80	100,602 + j66,681
	2-3	9,559				
3	2-3	9,559	0,646	9,033	90 + j60	90,646 + j48,322
	3-4	11,152				
4	3-4	11,152	0,552	9,276	70 + j60	70,552 + j50,989
	4-PI'	7,135				

**Tableau 3.6**

## Conclusion

A l'issue du travail réalisée, on peut faire les conclusions suivantes :

- Le choix de model du réseau électrique à élaborer doit être soumis à un traitement technico-économique déterminé.
- Ce dernier est d'autant plus complexe que le nombre de paramètre, à prendre en charge pendant le choix, est plus grand.
- Pendant le calcul et les diverses analyses, ainsi que pendant la gestion et l'exploitation du réseau électrique, on doit tenir rigoureusement de la notion des graphiques de charge.
- En élaborant un réseau électrique, on doit veiller à assurer une bonne continuité de service.
- On doit tenir compte, vis-à-vis du réseau élaboré d'une possibilité d'extension.
- Le réseau élaborer doit présenter un réseau active en potentiel pour prévenir la croissances des charges dans ce temps.

# Bibliographie

## **BROCHURES DE COURS :**

- [1] Analyse et protection des réseaux électriques. (Pr, Bounaya Kamel).
- [2] Les réseaux électrique ; éléments de description et d'analyses de base  
  
(Pr, Bounaya Kamel).
- [3] Planification des réseaux (Pr, Bounaya Kamel).
- [4] Qualité de l'énergie électrique (Pr, Bounaya Kamel).

## **OUVRAGE :**

- [5] M kostenco et L. piotrovski , " Machines électriques", tome (01),édition Mir.moscou,  
  
1969.
- [6] WILDI Théodore , "Electrotechnique",3ème édition, Boeck , 2000.
- [7] BERNARD Hochart, "Le transformateur de puissance",2ème édition, lavoasier,1988.
- [8] VALENTIN Crastan, "les réseaux électrique 1 ",edition :lavoisier, 2006

## **Documents web :**

- [9] "Transport et distribution de l'électricité", <http://www.hydroquebec.com>.
- [10] "Les transformateurs triphasés", <https://www.schneider-electric.fr>.

## **Article :**

- [11] "Notice d'utilisation et de maintenance des transformateurs immergés dans l'huile"  
  
Power and productivity for a better world TM ABB,2010.

## **Mémoire et thèse :**

- [12] EL HADJ Oumar Niono, "Elaboration et choix des éléments d'un réseau électrique",  
  
Mémoire de master, Université de Guelma, juin 2009.

- 
- [13] Bouchahed mohamed, "Etude des équipements de protections de la nouvelle ligne 400 Kv en Algérie", Mémoire de magistère, Université Constantine, 2009.