

République Algérienne Démocratique 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



**Domaine : Sciences et Technologie**  
**Filière : Electrotechnique**  
**Spécialité: Réseaux électriques**

**Mémoire de fin d'études**

**Pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

**Capacité de Transfert des lignes (liaisons) de grande longueur**

Présenté par :

- **DOUAFRA YACIN**
- **MEKKI ABDERRAHIM**



Sous la direction de :

**Pr. BOUNAYA KAMEL**

Inin 2017

# Résumé

---

## Résumé :

Le nombre important des interconnexions des longues lignes et des systèmes électro-énergétiques à haute tension (HT) et très haute tension (THT) est lié à l'augmentation de la demande en énergie électrique.

Par conséquent, ceci impose une étude qui se trouve être d'un intérêt primordial et d'actualité pour un fonctionnement sûr et fiable de ces systèmes complexes. Les deux intérêts clés de ces systèmes sont le maintien du plan de tension et l'augmentation du transit de puissance sur de longues distances de transport sans affecter la stabilité et le synchronisme de l'ensemble du système électro-énergétique. La technique valable utilisée jusqu'à l'heure actuelle dans ce domaine est l'emploi des compensations sur les lignes de grande distance pour obtenir un plan de potentiel acceptable et stable.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence des divers facteurs sur les lignes de grande longueur tel que la longueur de la ligne, la tension nominale, le nombre de conducteurs par phase, en fait, pour montrer comment la compensation réactive peut être améliorée la stabilité d'un réseau électrique soumis à une perturbation très utile pour le contrôle de la performance des liaisons d'interconnexion.

# Table des matières

---

Introduction Générale : .....	1
-------------------------------	---

## Chapitre I : Généralité Sur Les Réseaux Electriques

I.1. Introduction : .....	3
I.2. Généralité : .....	4
I.3. Les centrale de production : .....	5
I.3.1 Centrale Diesel : .....	5
I.3.2 : Centrale thermique : .....	6
I.3.3. centrale nucléaire : .....	8
I.3.4. Centrale hydraulique : .....	9
I.3.5 Centrales à énergie renouvelable : .....	10
1. Energie éolienne : .....	10
2. Energie solaire (photo voltaïque) : .....	11
I.4. Réseau électrique : .....	12
I.4.1. Définition : .....	12
I.4.2. Les types de réseau électrique : .....	12
I.4.2.1. Réseaux de transport et d'interconnexion : .....	12
I.4.2.2. Réseaux de répartition : .....	12
I.4.2.3. Réseaux de distribution : .....	13
I.4.3. Structure des réseaux : .....	13
I.4.3.1. Réseau maillé ou connecté : .....	13
I.4.3.2. Réseau en boucle : .....	14
I.4.3.3. Réseau radial ou en étoile : .....	14
I.5. Les niveaux de tensions des réseaux : .....	15
I.6. Les postes électriques : .....	16
I.6.1. Poste d'interconnexion : .....	16
I.6.2. Poste de transformation : .....	16
I.6.3. Les Poste mixtes : .....	16
I.7. Conclusion : .....	16



# Table des matières

---

## Chapitre II : généralité sur les systèmes de protection

II.1. Introduction :	17
II.2. Les défauts dans un réseau électrique :	17
II.3. Généralité sur la détection des défauts :	18
II.4. Les anomalies dans un réseau électrique :	19
II.4.1. Les courts-circuits :	19
II.4.1.1. Caractéristique du courant de court-circuit :	19
II.4.2. Les surtensions :	20
II.4.2.1. Les surtensions internes :	21
II.4.2.2. Les surtensions externes :	21
II.4.2.3. Les surtensions de commutation :	21
II.4.3. Les surcharges :	21
II.4.4. Les déséquilibres :	22
II.5. Elimination des défauts :	22
II.6. Généralités sur les protections :	23
II.7. Systèmes de protections :	24
II.8. La protection dans les lignes de transport d'énergie électrique :	24
II.9. Philosophie de protection dans les réseaux nationaux :	25
II.10. Zone de protection :	26
II.11. Qualité d'un système de protection :	27
1. Rapidité :	27
2. Sélectivité :	27
3. Sensibilité :	28
4. Fiabilité :	28
II.12. Les différents types de protections :	29
II.10.1. La protection différentielle :	29
II.10.2. Protection à distance :	30
II.10.3. Protection à maximum de courant :	31
II.10.4. Protection à maximum de tension :	32
II.10.5. Protection de surcharge thermique :	32
II.13. Conclusion :	33



# Table des matières

## Chapitre III : Traitement Générale De Différents Modèles De Ligne

III.1. Introduction :	34
III.2. Description des lignes à comparer :	34
III.3. Valeur de la puissance de charge en unités naturelles:	38
III.3.1. Régime à vide :	40
III.3.2. Régime en charge :	41
III.3.2.1. Ligne de 800Km :	41
III.3.2.2. Ligne de 1000Km :	41
III.4. Impact de la compensation du réactif :	43
III.4.1. Ligne à vide :	43
III.4.2. Ligne en charge :	44
III.4.2.1. Puissance de compensation pour $K_u=0.95$ :	44
III.4.2.2. Puissance de compensation pour $K_u=1$ .	44
III.4.2.2. Puissance de compensation pour $K_u=1.05$ .	45
III.5. Control de la tension :	45
III.5.1. Ligne à vide :	46
III.5.1.1. Ligne de 800 km :	47
III.5.1.2. Ligne de 1000 km :	48
III.5.2. Ligne en charge :	50
III.5.2.1. Ligne de 800 km :	50
III.5.2.2. Ligne de 1000 km :	52
III.6. Compensation au milieu de la ligne :	57
III.6.1 Liaison à vide :	60
III.6.1.1. Ligne de 800 km :	60
III.6.1.2. Ligne de 1000 km :	62
III.6.2. Régime en charge :	63
III.6.2.1. Ligne de 1000 km :	63
III.7. Conclusion :	66
Conclusion général :	67

# Liste des Figures

---

## Chapitre I : Généralité Sur Les Réseaux Electriques

Fig I.1: Schéma de description de réseaux électrique .....	4
Fig I.2 : Schéma d'un réseau électrique .....	5
Fig I.3.a : Principe d'un Moteur diesel.....	6
Fig I.3.b : Central diesel de Bechar (5x 8MW) .....	6
Fig I.4: Schéma d'un central Thermique .....	7
Fig I.5: Photo réel d'une centrale Thermique .....	7
Fig I.6 : Principe de la fission nucléaire .....	8
Fig I.7 : Schéma d'une centrale nucléaire .....	8
Fig I.8: Schéma d'une centrale hydraulique .....	9
Fig I.9: Schéma présente les types de centrale hydraulique .....	10
Fig I.10: photo d'une centrale hydraulique .....	10
Fig I.11: Schéma d'une éolienne .....	11
Fig 12 Principe de fonctionnement de central photo voltaïque .....	11
Fig I.13 : Photo réel d'une cellule, Panneau et Champ photovoltaïque .....	12
Fig I.14.schéma d'un réseau maillée .....	14
Fig I.15. Schéma d'un réseau bouclé .....	14
Fig I.16. Schéma d'un réseau radial en étoile .....	15
Fig 16.schéma présentée les Niveaux de tension normalisés.....	15

## Chapitre II : Généralité Sur Les Systèmes De Protection

Fig II.1: Différents types de défaut .....	20
Fig II.2: Épure d'une surtension.....	20
Fig II.3: Types de surtension .....	21
Fig II.4: Protection contre les surcharges .....	22
Fig II.5: Schéma d'un système de protection .....	24
Fig II.6: Zones de protection d'un réseau électrique .....	26

## Liste des Figures

Fig II.7: Principe de sélectivité .....	28
Fig II.8: Fiabilité de protection .....	29
Fig II.9: Schéma de protection différentielle .....	30
Fig II.10: protection à distance .....	31
Fig II.12: Caractéristique de protection à maximum de courant .....	31

### Chapitre III: Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

Fig III.1 : Epure du potentiel sans compensation pour ( $L=800\div 1000$ ).....	40
Fig III.2 : Epure du potentiel sans compensation régime en charge pour ( $L=800\div 1000$ ).....	42
Fig III.3 : Epure du potentiel après compensation régime à vide pour ( $L=800\div 1000$ ).....	46
Fig III.6 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime à vide ( $k_u=0.95\div 1.05$ ) .....	48
Fig III.7 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime à vide ( $k_u=0.95\div 1.05$ ) .....	49
Fig III.8 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=0.95$ ).....	50
Fig III.9 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=1$ ).....	51
Fig III.10 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=1.05$ ).....	51
Fig III.11 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=0.95$ ).....	52
Fig III.12 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=1$ ).....	53
Fig III.13 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=1.05$ ).....	53
Fig III.14 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime en charge ( $k_u=0.95$ ) .....	55
Fig III.15 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime en charge ( $k_u=1$ ) .....	56
Fig III.16 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime en charge ( $k_u=1.05$ ) .....	56
Fig III.17 : Shéma de compensation au milieu de la ligne .....	57
Fig III.18 : Epure du potentiel après compensation au milieu de la ligne ( $k_u=0.95,1$ et $1.05$ ).....	61
Fig III.19 : Epure du potentiel après compensation au milieu de la ligne ( $k_u=0.95, 1$ et $1.05$ ).....	63
Fig III.20. Sens positif des puissances réactive de ligne .....	63
Fig III.21 : Epure du potentiel après compensation au milieu de la ligne ( $k_u=0.95, 1$ et $1.05$ ).....	65



# Liste des tableaux

---

## Chapitre III

Tableau III.1 .....	37
Tableau III.2 .....	37
Tableau III.3 .....	38
Tableau III.4 .....	39
Tableau III.5 .....	40
Tableau III.6 .....	41
Tableau III.7 .....	41
Tableau III.8 .....	43
Tableau III.9 .....	44
Tableau III.10 .....	44
Tableau III.11 .....	44
Tableau III.12 .....	45
Tableau III.13 .....	45
Tableau III.14 .....	45
Tableau III.15 .....	46
Tableau. III.16 .....	47
Tableau. III.17 .....	47
Tableau. III.18 .....	47
Tableau. III.19 .....	47
Tableau. III.20 .....	48
Tableau. III.21 .....	48
Tableau. III.22 .....	49
Tableau. III.23 .....	49
Tableau. III.24 .....	50
Tableau. III.25 .....	50
Tableau. III.26 .....	51

## Liste des tableaux

---

Tableau. III.27 .....	52
Tableau. III.28 .....	52
Tableau. III.29 .....	53
Tableau. III.30 .....	54
Tableau. III.31 .....	55
Tableau. III.32 .....	55
Tableau. III.33 .....	56
Tableau III.34 .....	60
Tableau III.35 .....	61
Tableau III.36 .....	62
Tableau III.37 .....	62
Tableau III.38 .....	63
Tableau III.39 .....	64
Tableau III.40 .....	64
Tableau III.41 .....	65



*Introduction Générale*



### Introduction générale :

Aujourd'hui les problèmes liés au fonctionnement des réseaux électriques et surtout le transport d'énergie électrique ont pris une importance considérable. La consommation d'électricité qui ne cesse d'augmenter, les conditions d'environnement très contraignantes entre les centrales de production et de consommation de l'énergie électrique ce qui impose le transport à des grandes distances ainsi que la puissance à transporter par les lignes augmentent à un degré tel que le niveau de la très haute tension actuelle 220 kV sera insuffisante et inadéquate. Pour pallier ce problème on a recours impératif aux lignes à extra haute tension fonctionnant sous 400 kV et plus.

la solution adoptée, par les plupart des pays, pour faire face au problème de croissance rapide de la demande d'énergie électrique se résume dans les points suivants : La mise en service de nouvelles centrales de production plus puissantes, le maillage de plus en plus de réseau de transport et de distribution aussi, l'échange d'énergie entre pays par l'interconnexions internationales et même intercontinentales, mais cette complexité de structure pose des très nombreuses conséquences le plus important est la difficulté de maintenir un profil de tension acceptable et stable surtout avec les lignes de grande distance.

Le transport de l'énergie à très haute tension crée des problèmes particuliers qui nécessitent l'installation d'énormes appareils de compensation pour maintenir une tension constante et pour garantir la stabilité du réseau électrique. Citons les compensateurs statiques, les compensateurs synchrones. Leur capacité se mesure toujours en (méga-vars) est généralement variable afin que la puissance réactive absorbée par les inductances, ou débitée par les capacitances, puisse suivre les exigences du réseau. Afin d'apprécier l'ordre de grandeur des puissances requises.

Le sujet de notre mémoire traite la capacité de transfert d'une ligne grande longueur et Pour atteindre ces objectifs de recherche, ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, on considère une généralité sur les réseaux électriques .on donne un aperçu sur les réseaux électriques, depuis les centrales jusqu'aux abonnés, en passant par les lignes et les postes électriques. Par la suite dans le deuxième chapitre, nous avons présentée une généralité sur les systèmes de protection, on donne un aperçu général sur les défauts dans les réseaux électriques et la protection utilise contre ces défauts.

## Introduction générale

---

Finalemment dans la troisième chapitre on fait une analyse comparative entre deux modèles des lignes, on traité le régime de la ligne sous ses différents aspects, tels la distribution de potentiel et de la puissance réactive de la liaison sous l'effet de la charge en absence ou présence de la compensation a des fins de contrôle de la tension.



***Chapitre I***  
***Généralité Sur Les Réseaux***  
***Electriques***



### I.1. Introduction :

Le réseau électrique se compose d'un ensemble d'ouvrages de production, de transport et de distribution de l'énergie électrique ; Pour assurer sa stabilité nécessite une bonne surveillance et un contrôle en temps réel de son fonctionnement.

La production de l'énergie électrique résulte de diverses transformations de l'énergie. Par exemple, la production de l'énergie électrique d'origine mécanique est basée principalement sur la transformation de l'énergie primaire sous forme potentielle pour les turbines hydrauliques et calorifique pour les turbines à vapeur en une énergie électrique.

La production de l'électricité est basée sur différent mode de production :

- ✓ Centrale Diesel.
- ✓ Centrale Thermique.
- ✓ Centrale Nucléaire.
- ✓ Centrale Hydraulique.
- ✓ Centrales A Energie Renouvelable :
  - Énergie Éolienne
  - énergie solaire

Après la production nécessitent la permanence du transport et la mise à disposition de l'énergie par un réseau de transport ou de distribution :

- ✓ Haute Tension : pour les fortes puissances et les longues distances.
- ✓ Basse Tension : pour les moyennes et faibles puissances et les courtes distances.

Dans ce chapitre, intitulé généralités sur les réseaux électriques, on donne un aperçu sur les réseaux électriques, depuis les centrales jusqu'aux abonnés, en passant par les lignes et les postes électriques.

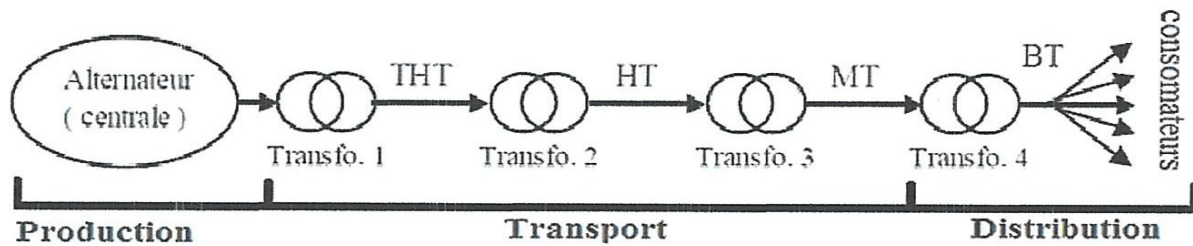


Fig I.1: Schéma de description de réseaux électrique

## I.2. Généralité :

La production de l'énergie électrique à proximité des lieux d'utilisation n'est pas toujours possible. Généralement, cette énergie est produite par des groupes de production nommée « **centrales** » sous une moyenne tension (15,5 kV ; 12,5 kV ; 11 kV ; 5,5 kV) dans des lieux de plus au moins distants des centres de consommation.

Elle sera ensuite transformée en haute tension (90 kV ; 150 kV ; 225 kV.....) par des transformateurs élévateurs « **TE** » installés à la sortie des générateurs. La totalité de l'énergie produite ou le sur plus disponible sera transporté par un ensemble de lignes électriques « **L** » sous une haute tension, plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres, jusqu'aux centres de consommation ; Elle sera de nouveau transformée par des transformateurs abaisseurs « **TA** » et distribuée sous une moyenne tension (30kV ; 10 kV....) pour la mettre à la disposition des abonnés . Le réseau électrique est hiérarchisé par le niveau de tension, celui-ci est fractionné en trois principales subdivisions à savoir le réseau de transport, de répartition et de distribution. [8]

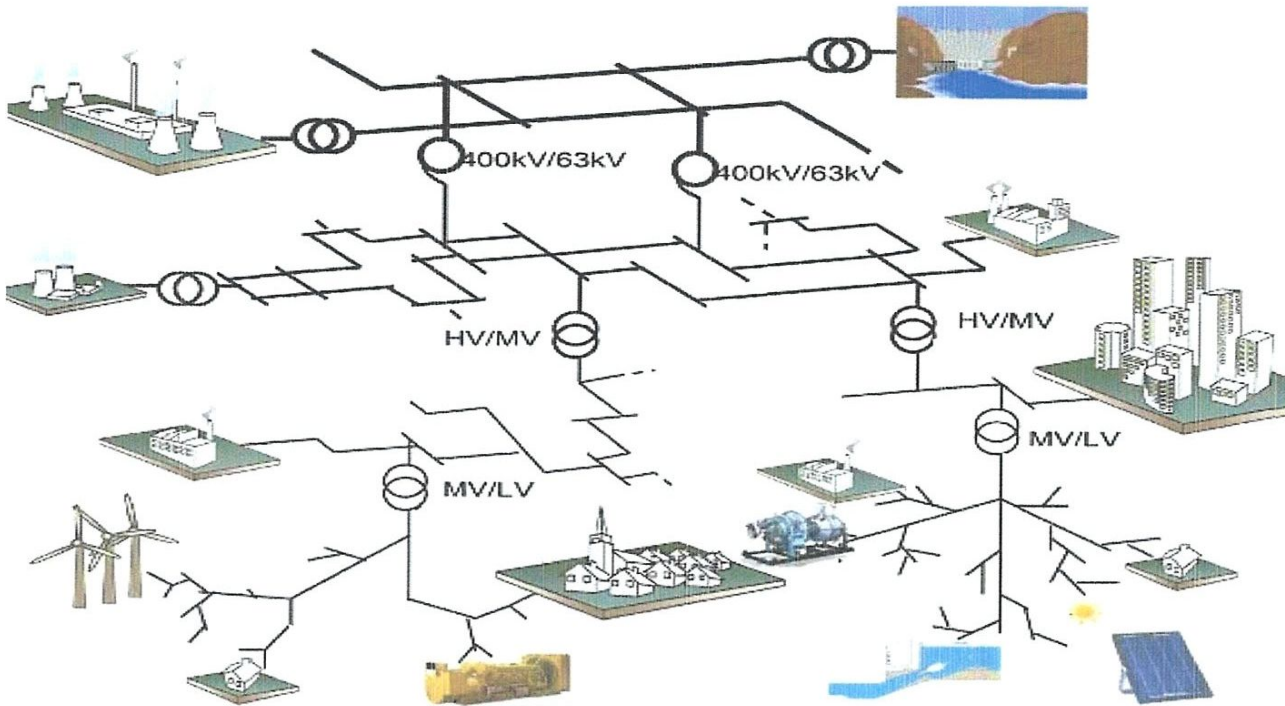


Fig I.2 : Schéma d'un réseau électrique

### I.3. Les centrales de production :

Les centrales de production se composent de puissants alternateurs mis en mouvement grâce à des turbines qui peuvent être à vapeur ou hydraulique, ou bien à gaz, ou Nucléaires. Pour assurer la continuité, il est préférable que la centrale possède plusieurs alternateurs, ainsi en cas de panne d'un les autres assurent la relève. Ils peuvent aussi être mis en service suivant la forte demande en énergie électrique.

#### I.3.1 Centrale Diesel :

La centrale diesel est une centrale très limitée en puissance électrique d'où le nom de microcentrale. Généralement utilisée pour le rôle d'alimenter un réseau électrique autonome (une agglomération, une usine, une petite zone industrielle...etc.). [7]



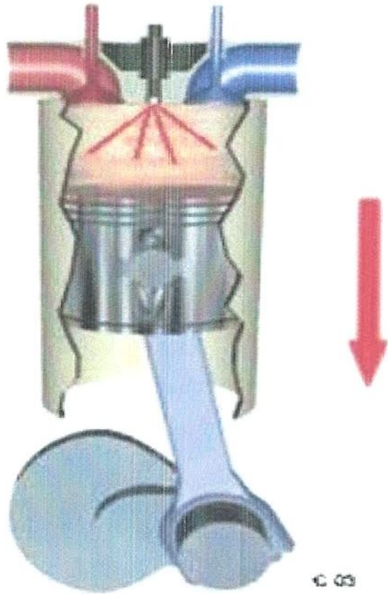


Fig I.3.a : Principe d'un  
Moteur diesel



Fig I.3.b : Central diesel de Bechar  
(5x 8MW)

### I.3.2 : Centrale thermique :

Ce type de central basée sur le chauffage de l'eau par la combustion d'un gaz, charbon ou du pétrole. Ici c'est la vapeur d'eau sous forte pression formée qui va mettre en mouvement la turbine qui actionnée un alternateur.

Cette vapeur passe ensuite dans un condenseur qui la fait repasser à l'état liquide, l'eau obtenue est ensuite redirigée vers la chambre de combustion à l'aide d'une pompe afin d'y être à nouveau vaporisée.

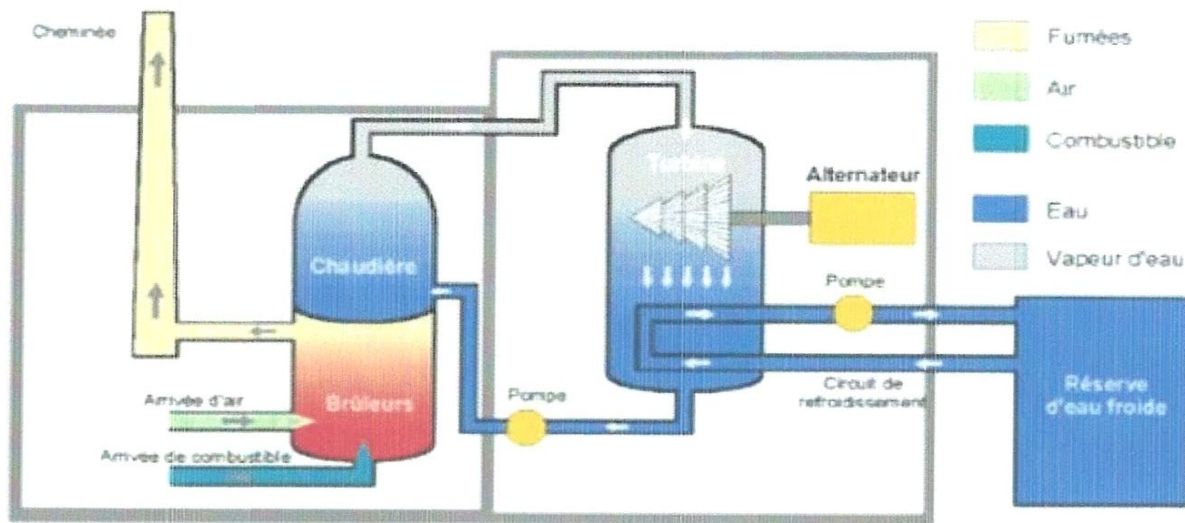


Fig I.4: Schéma d'un central Thermique

Ce schéma présente une centrale à circuit fermé d'eau, mais il existe des centrales à circuit ouvert.



Fig I.5: Photo réal d'une centrale Thermique



**I.3.3. Centrale nucléaire :**

Dans les centrales nucléaires c'est le même principe qu'une centrale thermique sauf que l'énergie émise par la réaction de transformation de l'uranium qui chauffe l'eau de la chaudière.

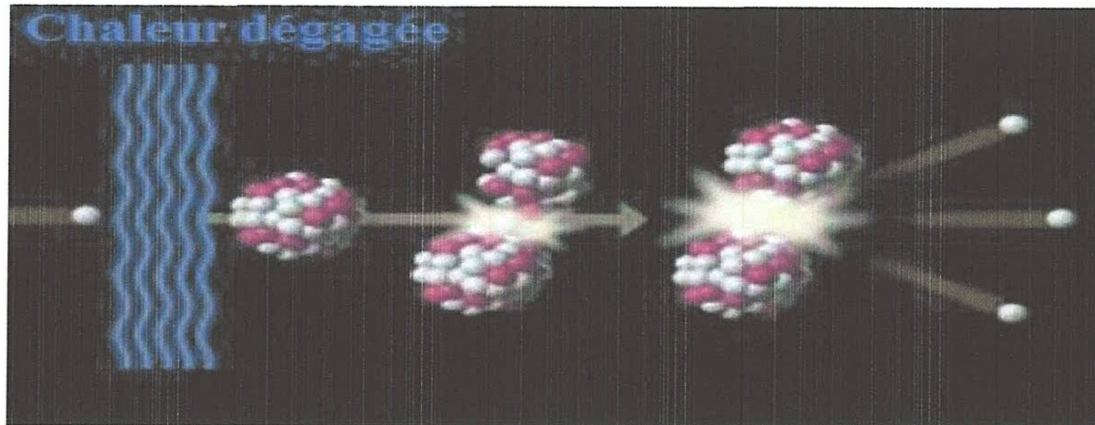


Fig I.6 : Principe de la fission nucléaire

Ensuit la vapeur d'eau formée qui va mettre en mouvement la turbine qui actionnée un alternateur.

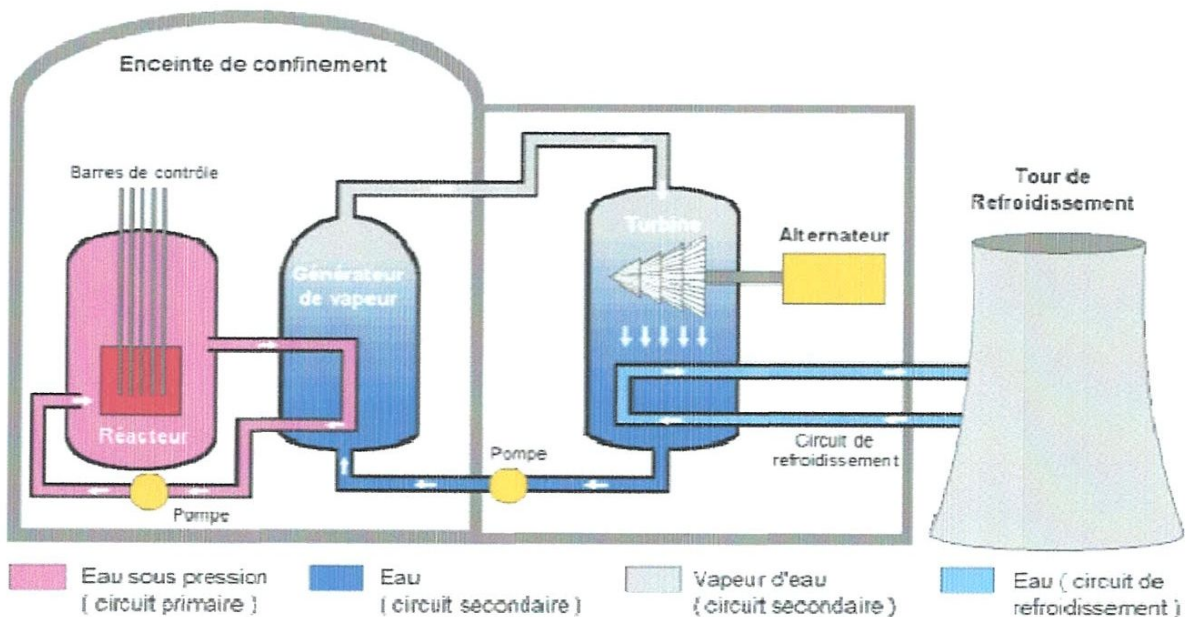


Fig I.7 : Schéma d'une centrale nucléaire

### I.3.4. Centrale hydraulique :

Les centrales hydrauliques convertissent en énergie électrique l'énergie cinétique d'un flot déversant d'eau. Pour transformer en électricité cette énergie cinétique, la plupart des centrales hydrauliques ont recours soit à la dénivellation naturelle entre deux parties consécutives d'un cours d'eau, comme une chute, ou à l'aménagement d'un barrage sur le cours d'eau afin d'élever le niveau d'eau et créer ainsi la dénivellation requise pour obtenir la force motrice nécessaire. [9]

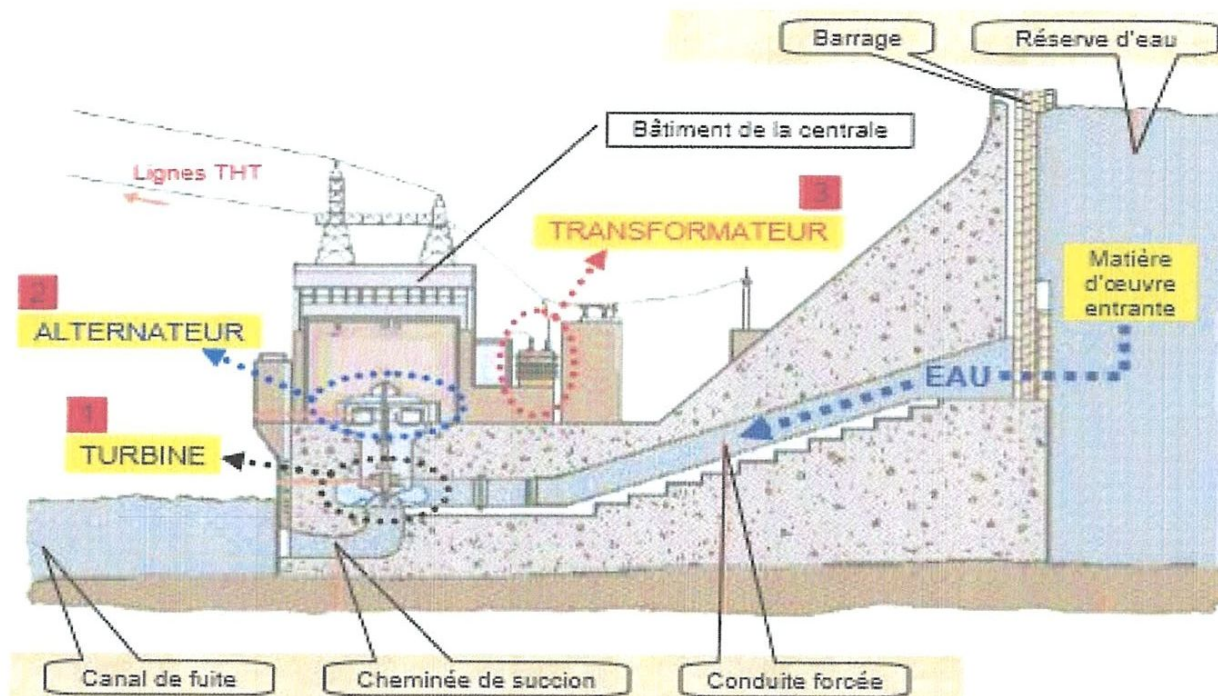


Fig 1.8: Schéma d'une centrale hydraulique

La conduite forcée de l'eau sur les pales met en mouvement la turbine. L'eau est ensuite remise dans le milieu naturel par un canal de fuite. La turbine entraîne un alternateur qui produit de l'énergie électrique.

Il existe plusieurs types de centrales hydrauliques en fonction de la hauteur de la chute d'eau et du volume de la réserve d'eau :

- ✓ les usines au fil de l'eau (moins de 25 m)
- ✓ les usines d'écluse (entre 25 et 300 m)
- ✓ les usines de lac (plus de 300 m de chute)
- ✓ les usines de pompage (recyclage perpétuel de l'eau entre deux réservoirs)





Fig I.9: Schéma présente les types de centrale hydraulique

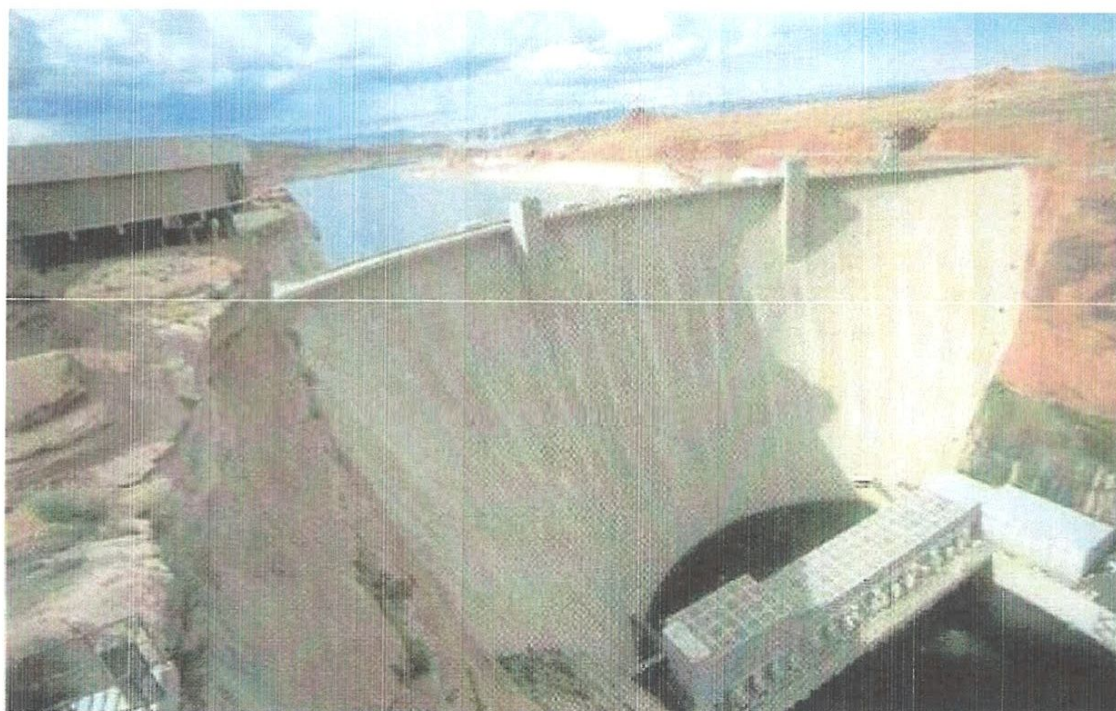


Fig I.10: photo d'une centrale hydraulique

### I.3.5. Centrales à énergie renouvelable :

#### 1. Énergie éolienne :

Pour produire de l'électricité, les éoliennes fonctionnent à peu près selon le même principe qu'une centrale hydraulique. Au lieu d'un flot déversant, l'éolienne utilise

l'énergie cinétique de l'air en mouvement pour faire tourner les pales de la turbine qui est raccordée à un alternateur.

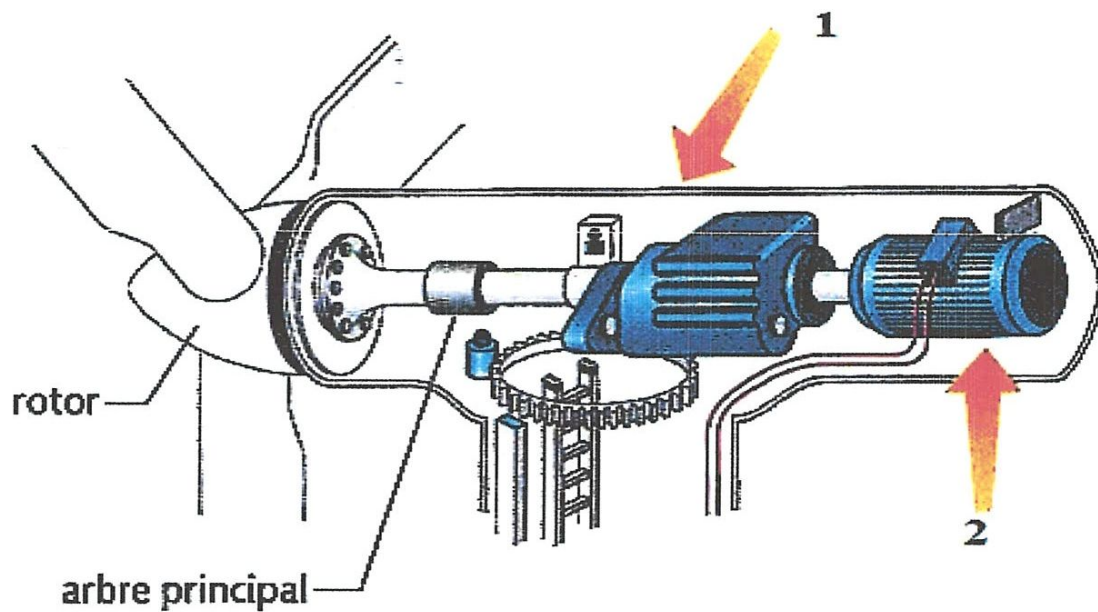


Fig I.11: Schéma d'une éolienne

1. l'arbre principal est couplée a l'alternateur par un multiplicateur qui permet d'augmente la vitesse de rotation à 1500 tr par minute.
2. l'alternateur convertie l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique.

## 2. Energie solaire (Photovoltaïque) :

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable elle permet de produire l'électricité par transformation d'une partie de rayonnement solaire grâce a une cellule photovoltaïque.

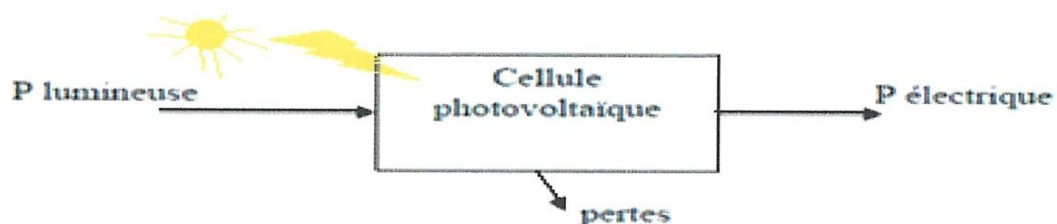


Fig I.12 : Principe de fonctionnement de central photovoltaïque



Les cellules photovoltaïques est l'unité de base qui permet de couvrir l'énergie lumineuse en énergie électrique. Un panneau est un ensemble des cellules photovoltaïques et le champ compose de plusieurs panneaux.

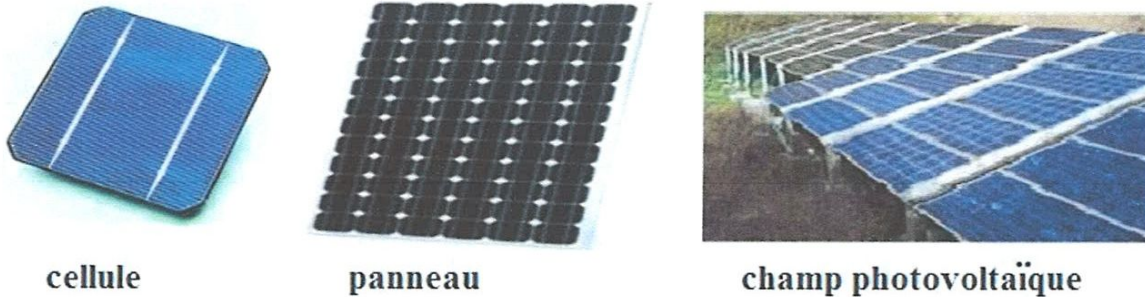


Fig I.13 : Photo réel d'une cellule, Panneau et Champ photovoltaïque

## I.4. Réseau électrique :

### I.4.1. Définition :

C'est l'ensemble des matériaux qui permet transporter l'énergie électrique à partir des centrales de génération puis par des transformateurs en passant par les lignes électriques de différents niveaux de tension connectées entre elles dans des postes électriques. Le réseau électrique assure la gestion de l'ensemble : production, transport, distribution et consommation, tout en assure la stabilité de cet ensemble.

### I.4.2. Les types des réseaux électriques :

On distingue trois types de réseau : [3]

#### I.4.2.1. Réseaux de transport et d'interconnexion :

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission de collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport), il est constitué des lignes très hautes tension (THT) à 150, 220 et 400 kV.

#### I.4.2.2. Réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour le rôle de répartir au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est entre 50 à 90 kV selon

les régions. Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte. En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres. Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille (supérieure à 60 MVA) nécessite un raccordement à cette tension.

### **I.4.2.3. Réseaux de distribution :**

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 45 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique. On existe deux types de réseaux de distribution :

#### **1. Réseaux de distribution à moyenne tension :**

- HTA (30 et 10 kV le plus répandu).
- Neutre à la terre par une résistance.
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens.
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains.
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

#### **2. Réseaux de distribution à base tension :**

- BTA (230 / 400 V)
- Neutre directement à la terre
- Réseaux de type radial, maillés et bouclés.

### **I.4.3. Structure des réseaux :**

#### **I.4.3.1. Réseau maillé ou connecté :**

Lorsque des lignes en boucle sont regroupées pour relier des points très éloignés les uns des autres, elles forment un réseau maillé. Ce type de réseau offre une très grande fiabilité d'approvisionnement car chaque tronçon de ligne peut être alimenté via différentes voies. Même une défaillance sur plusieurs tronçons n'engendre pas une grosse perturbation. [10]



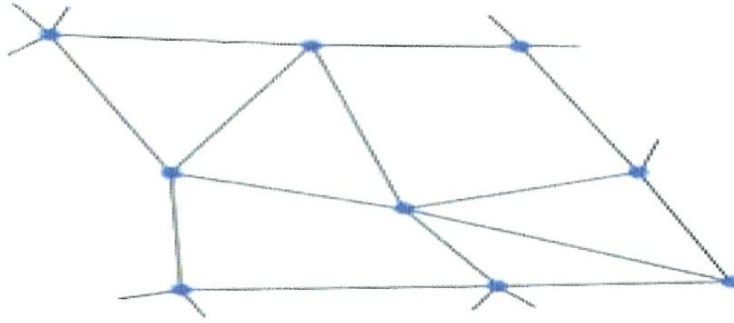


Fig I.14. schéma d'un réseau maillé

Les postes électriques sont reliés entre eux par de nombreuses lignes électriques, apportant une grande sécurité d'alimentation.

#### I.4.3.2. Réseau en boucle :

L'assemblage en boucle des lignes permet de mettre hors circuit une partie de la ligne défectueuse grâce à ses points de séparation. L'alimentation électrique est interrompue uniquement dans cette partie jusqu'à la réparation de la panne, le reste du réseau peut continuer à fonctionner.



Fig I.15. Schéma d'un réseau bouclé

Les postes rouges représentent les apports d'énergie, la sécurité d'alimentation bien qu'inférieure à celle de la structure maillée reste élevée.

#### I.4.3.3. Réseau radial ou en étoile :

Il représente le réseau sous sa forme la plus simple. Les lignes partent d'un point central, par exemple une station de transformation locale, et rayonnent depuis celui-ci. Si une perturbation se produit sur ce type de réseau, l'alimentation électrique de tous les clients rattachés à ce rayon défectueux est interrompue, jusqu'à ce que la panne soit réparée. La panne d'une station de transformation peut paralyser tout un quartier.

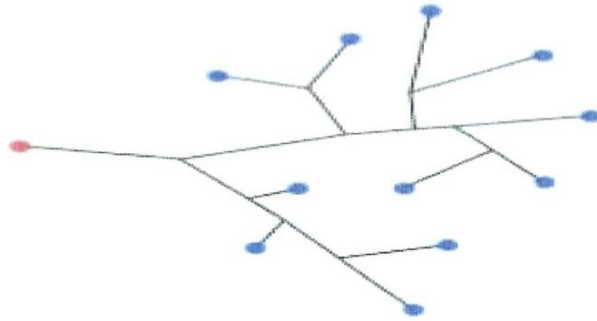


Fig I.16. Schéma d'un réseau radial en étoile

Les postes rouges représentent les apports d'énergie, la sécurité d'alimentation est faible puisqu'un défaut sur la ligne ou sur le poste rouge coupe l'ensemble des clients en aval.

### I.5. Les niveaux de tensions des réseaux :

La nouvelle norme CEI (ainsi que les textes législatifs en vigueur en Algérie depuis juin 2002) définissent les niveaux de tension utilisée par Sonalgaz comme suit :

- HTB : pour une tension composée supérieure à 50 kV.
- HTA : pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV.
- BTB : pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 kV.
- BTA : pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V.
- TBT : pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V. [8]

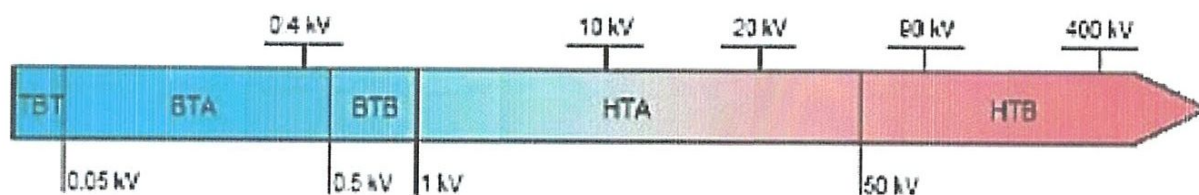


Fig I.16: Schéma présentée les Niveaux de tension normalisés

Ou :

**HTB** : désignera la Haute Tension.

**HTA** : désignera la Moyenne Tension.

**BTB, BTA** : désignerons le domaine de la Basse Tension.

**I.6. Les postes électriques :**

Par définition, un poste électrique est une installation d'organes de liaison et de manœuvre où parvient l'énergie des centrales et d'où cette énergie est orientée vers les centres de consommation. Donc Les postes électriques sont les nœuds du réseau électrique.[11]

Suivant les fonctions qu'ils assurent il y a plusieurs types de postes :

**I.6.1. Poste d'interconnexion :**

Sont des postes qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même niveau de tension. [8]

**I.6.2. Poste de transformation :**

Dans lesquels il existe au moins deux jeux de barres à des tensions différentes liés par un ou plusieurs transformateurs, les transformateurs permettent de passer d'un niveau de tension à un autre : MT/BT, BT/MT, MT/ HT.

**I.6.3. Les Postes mixtes :**

Assurant à la fois la fonction d'interconnexion et la fonction de transformation, ces postes très fréquents.

**I.7. Conclusion :**

Ce chapitre avait essentiellement pour le but de description de réseau électrique ; alors nous avons présenté dans ce chapitre des notions générales sur les réseaux électriques commençons par les différentes centrales de production, en arrivons a les différents types et structures de réseau, les postes électriques et leurs types, les niveaux de tension utilisée par Sonalgaz. Donc ce chapitre donne un aperçu général sur les différents éléments d'un réseau électrique.



*Chapitre II*  
*Généralité Sur Les Système*  
*De Protection*



## II.1. Introduction :

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau électrique et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur), lorsque ces éléments sont le siège d'une perturbation indésirable: court-circuit, défaut d'isolement, surtension,...etc. Le choix d'un dispositif de protection n'est pas le fruit d'une réflexion isolée, mais une des étapes les plus importantes de la conception d'un réseau électrique.

Un système de protection, c'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble, de façon cohérente et adaptée au réseau. Le système de protection se compose d'une chaîne constituée des éléments suivants :

- ✓ Les capteurs de mesure (courant et tension) fournissant les informations de mesure nécessaires à la détection des défauts.
- ✓ Les relais de protection, chargés de la surveillance permanente de l'état électrique du réseau, jusqu'à l'élaboration des ordres d'élimination des parties défectueuses, et leur commande par le circuit de déclenchement.
- ✓ Les organes de coupure dans leur fonction d'élimination de défaut : disjoncteurs, interrupteurs fusibles. [3]

## II.2. Les défauts dans un réseau électrique :

Les lignes de transport sont construites avec des conducteurs nus, ces conducteurs sont installés sur des structures métalliques spéciales sont « les pylônes » dans les quels ces conducteurs sont séparés du pylône lui-même par des composants isolants et séparés entre eux par des espaces suffisants permettant à l'air d'agir comme isolant si pourquoi différents types des défauts peuvent se produire . [12]

Les défauts dans un réseau électrique peuvent avoir différentes origines :

- ✓ **Mécanique** : a cause d'une rupture de conducteurs ou une liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs par un corps étranger.
- ✓ **Electrique** : C'est l'altération des isolants des matériels de réseau, par exemple. En effet, les matériels électriques que l'on trouve sur le réseau ou dans les postes comportent des isolants (solides, liquides ou gazeux) constitués d'assemblages plus ou moins complexes placés entre les parties sous tension et

la masse. Ces isolants subissent des dégradations au cours du temps qui conduisent à des défauts d'isolement et donc des courts-circuits.

- ✓ **Atmosphériques** : Les lignes aériennes sont soumises aux perturbations extérieures telles que la foudre, les tempêtes ou le givre.
- ✓ **Humaine** : par exemple la mise à la terre d'une phase ou un couplage entre deux sources de tension différentes ou des phases différentes. l'ouverture d'un sectionneur en charge. [13]

### II.3. Généralité sur la détection des défauts :

Le but essentiel d'un système de protection est de non seulement détecter les défauts, mais aussi commander automatiquement les appareils de coupure nécessaires pour éliminer le défaut.

Les grandeurs utilisées pour détecter un défaut sont :

- La température **T**.
- La tension **U**.
- La fréquence **F**.
- L'intensité de courant **I**.
- La vitesse de variation (la dérivée) de **U**, **I** ou **F**.
- La puissance apparente **S = U.I**.
- La puissance active **P = U.I.cos(ψ)**.
- La puissance réactive **Q= U.I. sin(ψ)**.
- L'impédance **Z=U/I**. [8]

Ces grandeurs sont fluctuantes du fait notamment des variations de la charge ou de topologie de réseau, néanmoins elles évoluent dans un domaine normalement fixé par les règles générales d'exploitation du réseau. Par exemple les tensions peuvent varier dans un domaine exceptionnel (0.7 à 1.1  $U_n$ ) et les courants ne dépassent jamais (1.1 à 1.3  $I_n$ ). Le fait que les grandeurs sortent brusquement de ces domaines est caractéristique la présence d'une anomalie et utilisé comme critère de détection et ceci s'accompli par l'accueil d'information par les transformateur de mesures (transformateur de tension « TT » et de courant « TC ») qui traduisant la variation des grandeurs principales du réseau. [12]

## II.4. Les anomalies dans un réseau électrique :

Dans un réseau électrique on trouve plusieurs catégories de défauts. Ceux-ci sont caractérisés par leur type, leur durée et l'intensité du courant de défaut :

### II.4.1. 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 où isolés.
- ✓ Les courts-circuits triphasés à la terre où isolés. [14]

#### II.4.1.1. Caractéristique du courant de court-circuit :

Dans les installations électriques différents courts-circuits peuvent se produire. Ils sont principalement caractérisés par : [12]

##### 1. Leur durée :

- ✓ **Auto extincteur** : Un défaut monophasé auto-extincteur est un défaut qui s'élimine seul sans coupure de l'alimentation ou fermeture d'un disjoncteur. Ces défauts existent sur les réseaux à neutre avec impédance.
- ✓ **Réamorçant** : Un défaut réamorçant est un défaut monophasé auto-extincteur qui réapparaît périodiquement.
- ✓ **Permanent** : ce type de défaut c'est le plus fréquent de courts circuits monophasés il provoque la coupure de l'alimentation.

##### 2. Leur origine :

- ✓ Mécanique.
- ✓ surtension externe ou interne.
- ✓ dégradation d'isolement.



3. Type de défaut :

- ✓ **Défauts monophasés :** Ce sont des défauts entre une phase et la terre.
- ✓ **Défauts biphasés avec terre :** Ce sont des courts-circuits entre deux phases de la ligne et la terre.
- ✓ **Défauts biphasés isolés :** ce sont des courts-circuits entre deux phases de la ligne.
- ✓ **Défaut triphasé :** un défaut triphasé est provoqué par un court-circuit entre les trois phases de la ligne.

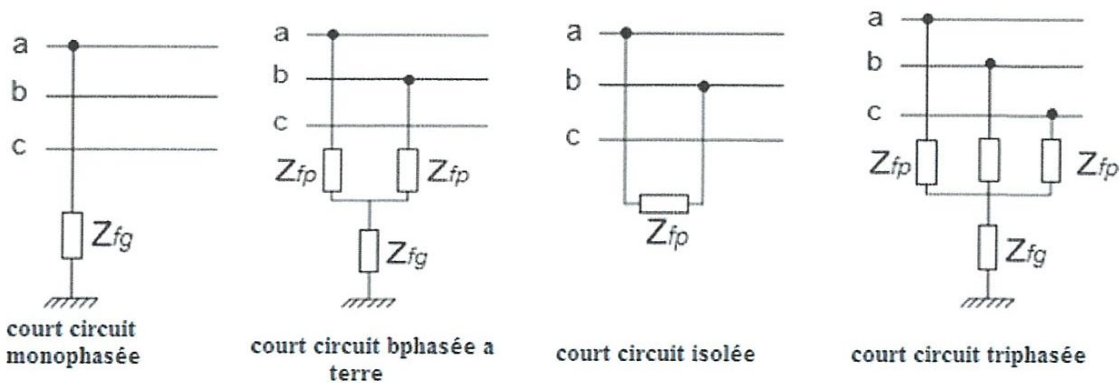


Fig II.1: Différents types de défaut

II.4.2. Les surtensions :

Une surtension est une impulsion ou une onde de tension, donc le réseau se trouve accidentellement portée une tension supplémentaire de sa tension nominale.

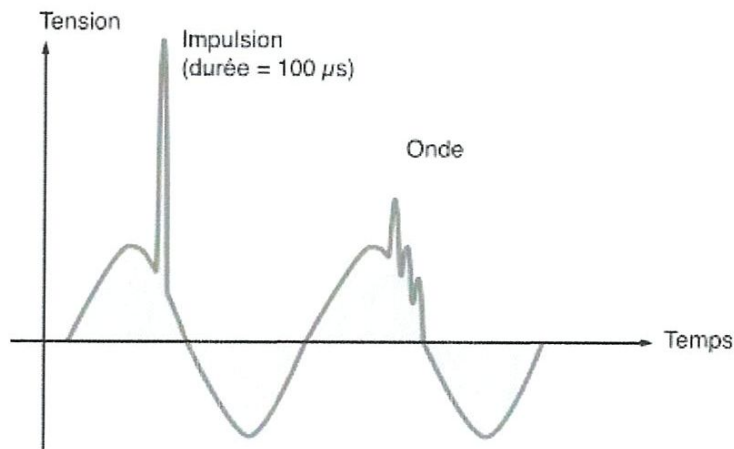


Fig II.2: Épure d'une surtension



On distingue différents types de surtension telle que : [2]

1. **Les surtensions internes** : Elles sont liées au fonctionnement du réseau, les plus fortes et les plus fréquentes résultant de l'ouverture brutale des disjoncteurs d'une durée de quelques dizaines microsecondes.
2. **Les surtensions externes** : Ces tensions sont liées aux effets de la foudre, Au moment de l'impact, la foudre provoque une impulsion de courant qui arrive à atteindre des dizaines de milliers d'ampères. Cette décharge génère une surtension dans le système électrique qui peut provoquer des incendies et la destruction des équipements électriques.
3. **Les surtensions de commutation** : Ces surtensions sont générées dans les lignes électriques, principalement en raison des commutations de machines de grande puissance. Les moteurs électriques sont des charges très inductives dont la connexion et le débranchement provoque des surtensions.

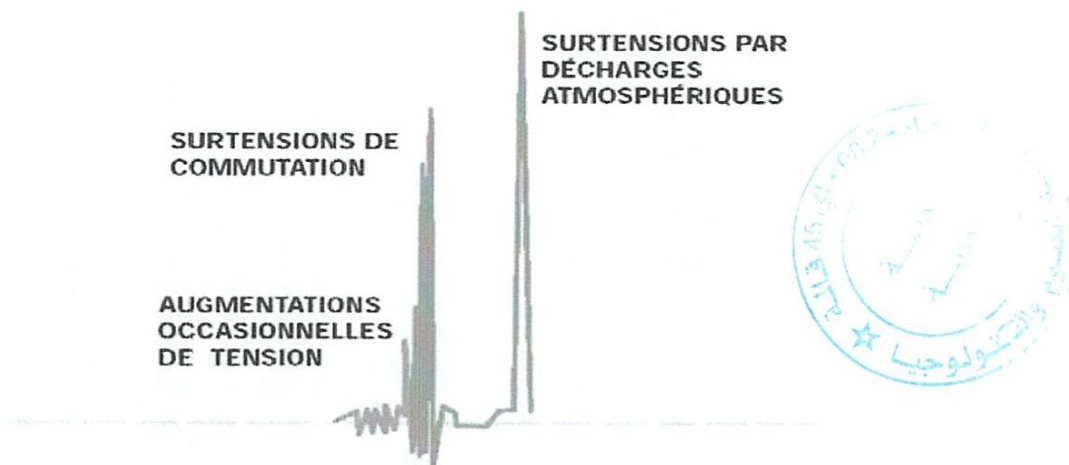


Fig II.3: Types de surtension

### II.4.3. Les surcharges :

Une surcharge électrique se produit lorsqu'une quantité trop importante de courant passe dans un circuit électrique. La surcharge est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible les origines de surcharges sont :

- ✓ Les courts-circuits.
- ✓ 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. [8]

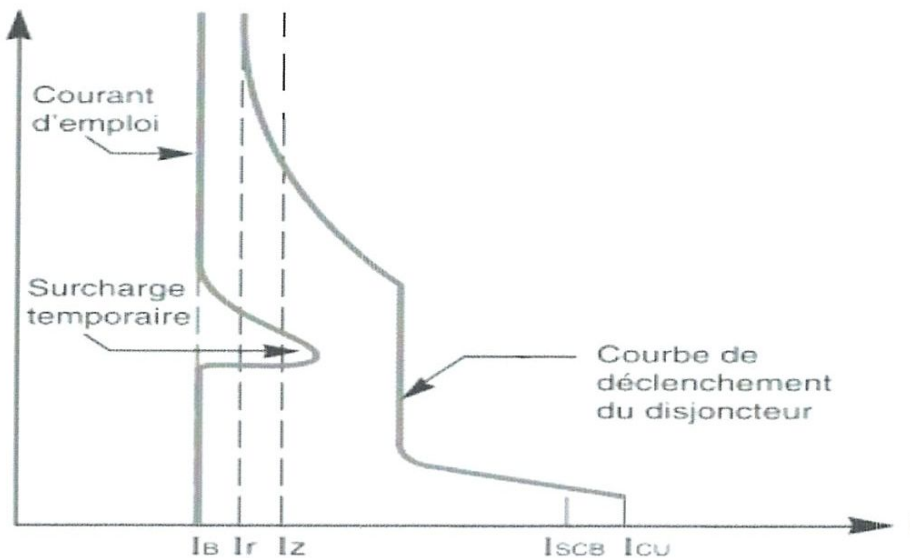


Fig II.4: Protection contre les surcharges

#### II.4.4. Les déséquilibres :

Les déséquilibres sont généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases de réseau électrique. 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. [14]

#### II.5. Elimination des défauts :

Les courts-circuits sont des incidents qu'il faut éliminer le plus rapidement possible. C'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement est une des performances prioritaires. On n'oubliera pas que le temps d'élimination des défauts comprend deux composantes principales :

- ✓ Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- ✓ Le temps d'ouverture des disjoncteurs.

La protection d'un réseau électrique consiste à détecter tout défaut qui surviendrait sur le réseau afin de protéger les éléments du réseau contre des surintensités destructrices. Une

fois le défaut est détecté, il faut pouvoir le localiser au mieux afin de ne mettre hors tension que la partie du réseau la plus proche du défaut.

Les protections doivent :

- ✓ Détecter la présence d'un défaut.
- ✓ Identifier l'ouvrage atteint.
- ✓ Commander les organes de coupure, dont l'ouverture conduira à l'isolement de cet ouvrage (et seulement celui-là) par rapport au reste du réseau.

Cette tâche fait appel à un processus comprenant plusieurs opérations tel que la mesure des tensions et des courants ainsi le filtrage et l'échantillonnage pour terminer avec un traitement numérique qui résulte par la localisation de défaut et la possibilité de l'élimination rapide par les organes de commande. [12]

## **II.6. Généralités sur les protections :**

La gestion des réseaux électriques est devenue très complexe et difficile à gérer avec la croissance de ces éléments soit pour la production ou pour le transport d'énergie électrique. Ce dernier est assuré par des lignes à très haute tension (THT), ces lignes sont menacées à des perturbations et défauts d'origine diverses qui affectent la qualité et la stabilité économique de fourniture d'énergie aux clients. Le développement et l'installation de la technologie numérique dans la protection des lignes de transport a créé de nouvelles solutions qui permettent d'améliorer l'analyse de ces défauts grâce à leurs capacité de calcul des valeurs des signaux mesurés, d'opérations arithmétiques et le fonctionnement logique. Ce développement est présenté par l'introduction des relais numériques qui constituent un avantage considérable sur les relais analogiques statiques, cela, s'ajoutent des avantages supplémentaires tels que :

- ✓ La possibilité d'auto surveillance.
- ✓ L'enregistrement des données pour le diagnostique des défauts.
- ✓ Le choix des caractéristiques de déclenchement.
- ✓ Une faible consommation de courant.



## II.7. Systèmes de protections :

La Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) définit la protection comme l'ensemble des dispositions destinées à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et si nécessaire d'élaborer d'autres ordres de signalisations. Un système de protection est un système installé dans le but de satisfaire aux objectifs de disponibilité de l'énergie, de sécurité des personnes et des équipements.

Un système de protection généralement est composé de :

- ✓ Un relais qui implémente la logique du relais.
- ✓ La mesure : TC et/ou TP qui donne les valeurs des courants et des tensions au point où le relais est installé.
- ✓ Les réglages : doivent être calculés de manière à assurer un fonctionnement correct du système de protection.
- ✓ Un organe de coupure (disjoncteurs) qui, suite à la décision du relais, coupe la partie en défaut. [5]

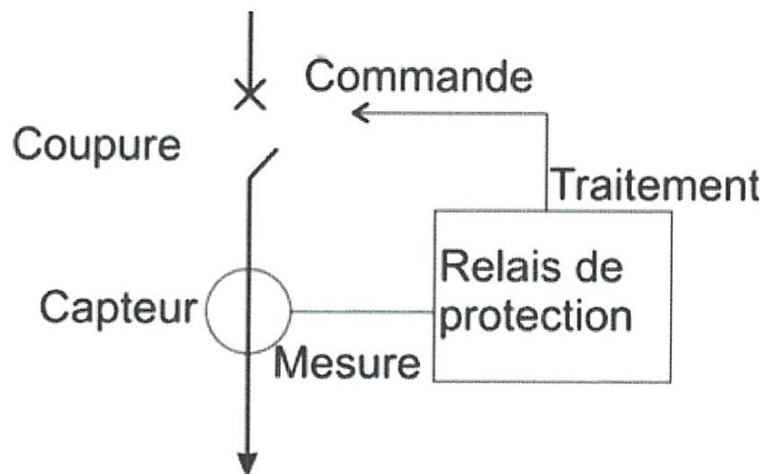


Fig II.5: Schéma d'un système de protection

## II.8. La protection dans les lignes de transport d'énergie électrique :

Dans les réseaux de transport d'énergie électrique quatre types des relais sont utilisés :

- ✓ Les relais à maximum de courant temporisés et instantanés.

- ✓ Les relais différentiels.
- ✓ Les relais de distance.
- ✓ Les relais à liens de communications.

Chacun des quatre arrangements est utilisé individuellement ou dans diverses combinaisons pour la protection des lignes de transport. [12]

### **II.9. Philosophie de protection dans les réseaux nationaux :**

Le plan de protection GRTE est conçu de façon à prévoir tous les équipements basse tension nécessaire qui permettent de protéger de façon sûre et sélective les lignes et les transformateurs contre tous les types de défauts .Aussi, il est élaboré une philosophie qui précise les paramètres de réglage et les fonctions à adopter pour définir harmonieusement les différentes priorités d'action entre les protections pour assurer une bonne sélectivité et garantir la continuité d'alimentation.[8]

Le calcul des réglages dépend de plusieurs paramètres à savoir :

#### **1. Le type de réseau:**

- ✓ Réseau de transport.
- ✓ Réseau d'interconnexion
- ✓ Réseau de répartition.
- ✓ Réseau de distribution.

#### **2. La topologie du réseau:**

- ✓ Ligne ordinaire dans un réseau maillé de transport ou de répartition.
- ✓ Ligne longue reliant des postes disposant de lignes courtes.
- ✓ Ligne en antenne.
- ✓ Transformateur d'interconnexion THT/HT.
- ✓ Transformateur HT/MT.

#### **3. Le type de protection:**

- ✓ Protection de distance.
- ✓ Protection différentielle
- ✓ Protection à maximum de courant.
- ✓ Protection de surcharge thermique.

- ✓ Protection à maximum ou à minimum de tension..... (Etc).

#### 4. La technologie des protections:

- ✓ Electromécanique.
- ✓ Statique.
- ✓ Numérique.

#### II.10. Zone de protection :

En plus des performances que doivent avoir les relais, il faut savoir de placer correctement pour les rendre plus efficaces. Pour atteindre cet objectif on découpe le réseau en zones délimitées par les positions des organes de coupure.

La figure montre une disposition caractéristique des zones de protection, correspondant respectivement à des sections de ligne, des jeux de barres et des transformateurs. Ces zones se recouvrent pour ne laisser aucun point de l'installation sans protection. [3]

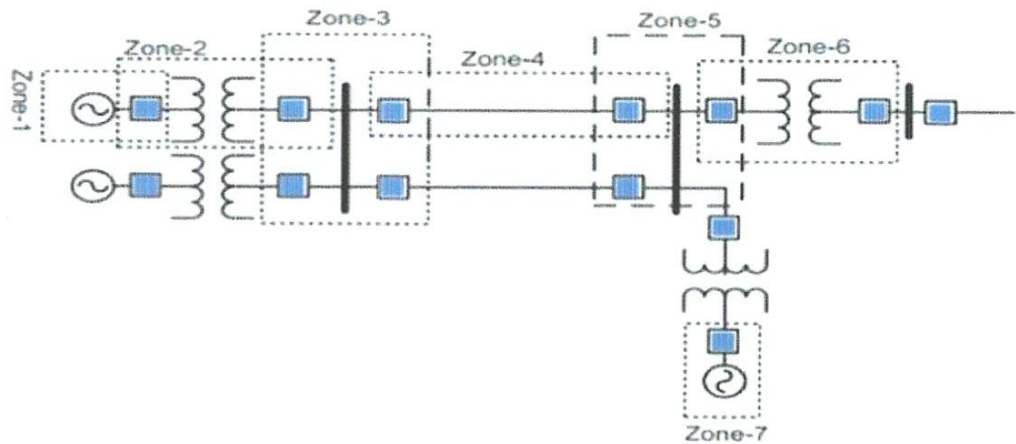


Fig II.6: Zones de protection d'un réseau électrique

- . Pour les relais de la zone 1 : Responsables de défaut qui est situé à l'intérieur du générateur
- . Pour les relais de la zone 2 : Responsables de tous les défauts qui se trouvent dans le transformateur.
- . Pour les relais de la zone 3 : Responsables de tous les défauts qui se trouvent dans les jeux de bars (Bus bars).
- . Pour les relais de zone 4 : Responsables de tous les défauts qui se trouvent sur les lignes de transport d'énergie.



## II.11. Qualité d'un système de protection :

Le rôle d'un système de protection est de isoler la zone de défaut de système de puissance pour protégée les équipements de cette zone en tenant en compte de ne pas déranger le fonctionnement le reste du système il est à noter donc qu'un système de protection agit seulement après détection de défaut il ne peut pas anticiper le défaut mais il minimise la dure de défaut pour limite les endommagements aux équipements et leur conséquence. [16]  
A cet effet un tel système est tenu d'avoir les caractéristiques suivantes :

### 1. Rapidité :

Les courts-circuits sont des incidents dangereux donc il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement et des performances prioritaires. Le temps d'élimination du court-circuit comprend deux composantes principales :

- ✓ Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- ✓ Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes. [3]

### 2. Sélectivité :

Dans une installation électrique, la continuité de service est une nécessité donc une sélectivité permet d'éliminée que la partie en défaut, elle surtout prise en compte sur le plan économique d'exploitation puisque indique dans quel mesure il est possible de maintenir en service le max de réseau lorsqu'un de ses éléments est affectée d'un fonctionnement anormal. [5]

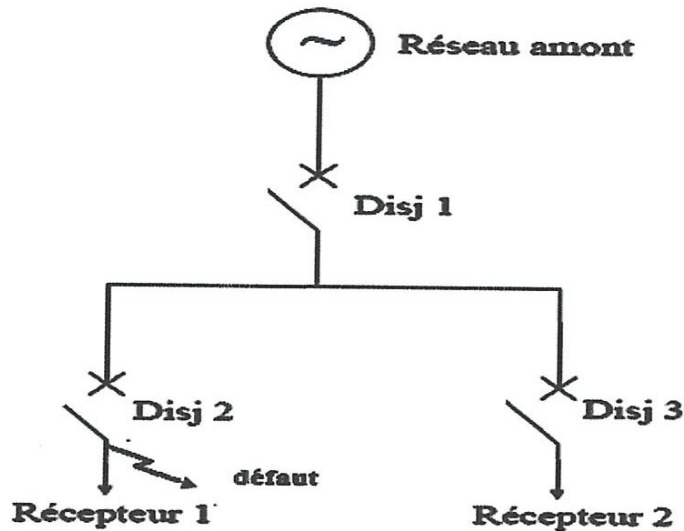


Fig II.7: Principe de sélectivité

Un défaut en aval de Disj 2 doit se traduire uniquement par l'ouverture de Disj 2.

- ✓ La sélectivité est totale si Disj 2 s'ouvre et Disj 1 reste fermé
- ✓ La sélectivité est partielle si la condition notée ci-dessus n'est pas toujours respectée.

### 3. Sensibilité :

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de courts-circuits entre :

- Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et donc parfaitement connu,
- Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner.

### 4. Fiabilité :

Les définitions et les termes proposés ici, sont dans la pratique, largement utilisés au plan international.

- ✓ Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un court-circuit sur le réseau en tout point conforme à ce qui est attendu.

- ✓ La fiabilité d'une protection, qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement incorrect (éviter les déclenchements intempestifs), est la combinaison de :
- La sûreté : qui est la probabilité de ne pas avoir de défaut de fonctionnement.
  - La sécurité : qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif.

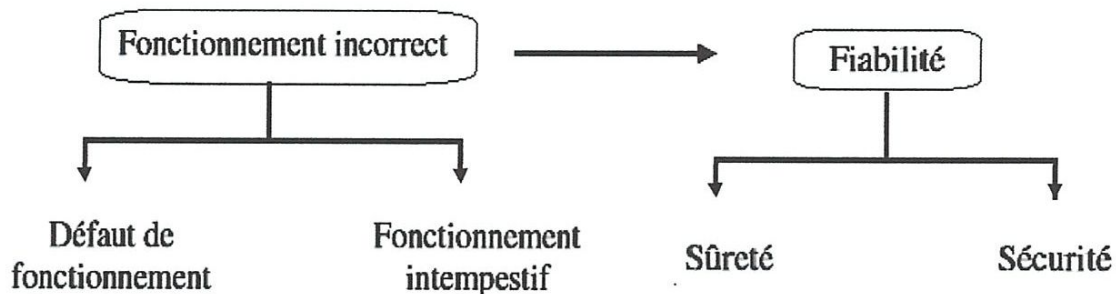


Fig II.8: Fiabilité de protection

## II.12. Les différents types de protection :

Les protections sont utilisées pour détecter et isoler tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique. La fonction de protection est réalisée par des relais ou des appareils multifonctions, qui comparent en permanence les grandeurs électriques du réseau à des seuils réglables. En fonction du type de protection, les grandeurs mesurées par les capteurs peuvent être : courant, tension, fréquence puissances, température...etc.

Lorsque la mesure dépasse le seuil, le système de protection donne des ordres d'action comme l'ouverture du disjoncteur, après une temporisation définie. La temporisation c'est la somme du temps de coupure du disjoncteur (temps de mesure, de calcul de l'algorithme, de réponse de l'appareil et le temps d'élimination de l'arc), des tolérances de temporisation (marge de sécurité afin d'éviter les doubles déclenchements). [17]

### II.12.1. La protection différentielle :

La protection différentielle est l'une des techniques les plus fiables et les plus Populaires dans la protection des systèmes d'énergie. La protection différentielle est obtenue par la comparaison de la somme des courants primaires (entrant) à la somme des courants



secondaires (sortant). Si la somme des courants qui entrent et les courants qui quittent la zone de protection est égale à zéro, on conclut qu'il n'y a aucun défaut. Cependant, si cette somme n'est pas égale à zéro, la protection différentielle conclut qu'un défaut existe dans la zone et prend des mesures pour isoler la zone en défaut du reste du système. [12]

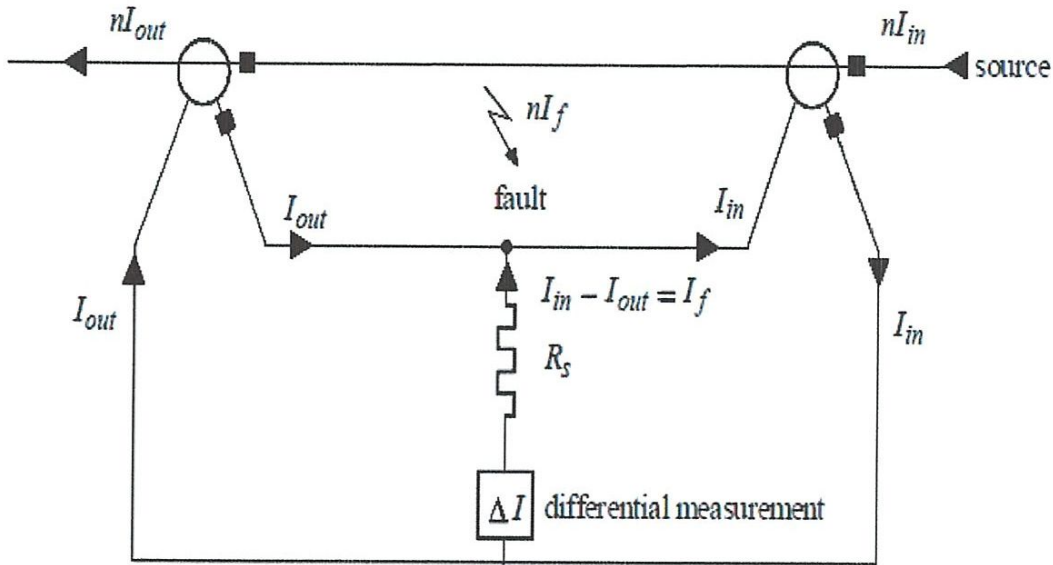


Fig II.9: Schéma de protection différentielle

### II.12.2. Protection à distance :

On utilise un relais capable de mesurer l'impédance d'une ligne instantanément. En effet, l'impédance d'une ligne électrique est proportionnelle à sa longueur. Le principe de base de la protection à distance implique la division de la tension au point de mesure par le courant mesuré. Par exemple l'impédance apparente ainsi calculée est comparée avec l'impédance de la ligne  $Z_L$ . Si l'impédance mesurée est inférieure à  $Z_L$  (soit de 0 à 100%), on suppose qu'il y a un défaut sur la ligne entre le relais et l'extrémité de la ligne ainsi protégée.

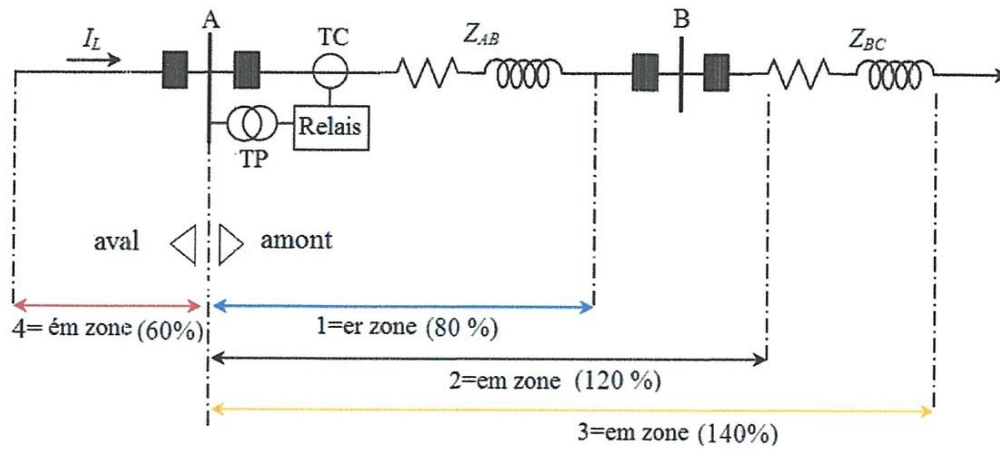


Fig II.10: protection à distance

### II.12.3. Protection à maximum de courant :

Quand un défaut se produit sur un réseau, le courant augmente dramatiquement au voisinage du point de défaut par rapport à la valeur du courant de charge avant défaut, dans ce cas les relais à maximum de courant offrent une plus simple forme de protection pour les lignes de transport. Ces relais mesurent le courant qui circule dans la ligne à protéger et compare ce courant à un courant de réglage appelé le courant de seuil, si ce courant mesuré dépasse la valeur seuil, le relais donne l'ordre au disjoncteur local pour ouvrir le circuit et isole la section en défaut. La protection à maximum de courant dans les lignes de transport peut être divisée en deux catégories : protection à maximum de courant directionnelle et protection à maximum de courant non directionnelle. [18]

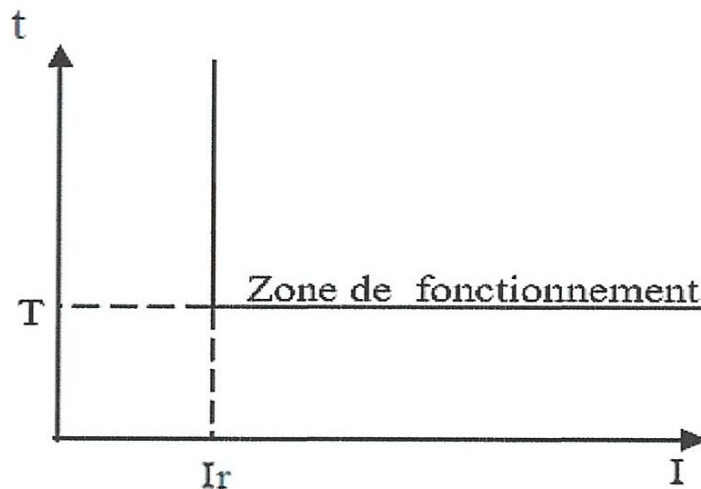


Fig II.11: Caractéristique de protection à maximum de courant

Ou,  $I_r$  : le seuil de courant de fonctionnement

$T$  : temps de temporisation

le relais ne déclenche que si le courant détecté dépasse le seuil de courant de fonctionnement ( $I_r$ ) pendant un temps au moins égal au temps de retard sélectionné ( $T$ ).

#### II.12.4. Protection à maximum de tension :

Les relais de tension peuvent être à maximum de tension ou à minimum de tension. La mesure s'effectue sur une valeur instantanée ou sur une valeur de crête, éventuellement sur une valeur moyenne. Ce type de relais est habituellement temporisé. La mesure s'effectue sur les tensions simples, les tensions composées, les tensions directes, inverses ou homopolaires. Elle comporte deux seuils :

- ✓ Un seuil haut, instantané, règle à ( $1.2 \times U_n$ ) entre phase et ( $1.45 \times V_n$ ) entre phase et terre.
- ✓ Un seuil base, temporisé à 4 s et réglée ( $1.1 \times U_n$ ) entre phase et ( $1.1 \times V_n$ ) entre phase et neutre.

Elle commande le désarmement du réenclencheur.[5]

#### II.12.5. Protection de surcharge thermique :

Elle est utilisée pour protéger les machines (moteur, alternateur et le transformateur de puissance) contre les surcharges. Pour détecter l'existence d'une surcharge, elle fait une estimation de l'échauffement des bobines primaire et secondaire à protéger à partir de la mesure du courant.

La protection détermine l'échauffement  $E$  des transformateurs à partir d'un modèle thermique défini par l'équation différentielle suivante : [3]

$$\tau \cdot \frac{dE}{dt} + E = \left( \frac{I}{I_n} \right)^2$$

Avec,

$E$  : Échauffement.

$\tau$  : Constante de temps thermique du transformateur.

$I_n$  : Courant nominal.

$I$  : Courant efficace.



**II.13. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présentée les différentes anomalies dans les réseaux électriques leurs origines et leurs caractéristiques on donne une généralité sur les systèmes de protection ainsi les critères de qualité d'un système de protection .nous avons finie par les différentes types de protection.



***Chapitre III***

***Traitement Général De Différents  
Modèles De Ligne***

### III.1. Introduction :

L'énergie électrique est devenue progressivement un besoin quasi vital pour pratiquement tous les domaines interactifs entre les sociétés et leurs environnements. Les interactions, ainsi induites à travers les années, portent en règle générale, un caractère pluridimensionnel et installent, de ce fait, un impact déterminant sur tous les processus et les mécanismes.

L'énergie électrique se démarque des autres formes d'énergie par ses propriétés spécifiques. En effet, les processus de production et de consommation sont instantanés et excluent le stockage ; la dynamique de leur fonctionnement réalise des réactions inverses intrinsèques, tels les échanges énergétiques, les effets régulateurs, les réactions transitoires..., son impact déployé dans tous les besoins de la société mesure l'importance incessante de sa matrice, de sa gestion, de l'optimisation de ces divers régimes.

Le transport de l'énergie électrique sur des grandes distances territoriales et interterritoriales, pose dans ce sens, une problématique incontournable pour les sciences de l'électro-énergétique. On y est confronté, en effet, au problème respectivement, de capacité de transport, de stabilité, de contrôle du plan de tension, de dimensionnement...

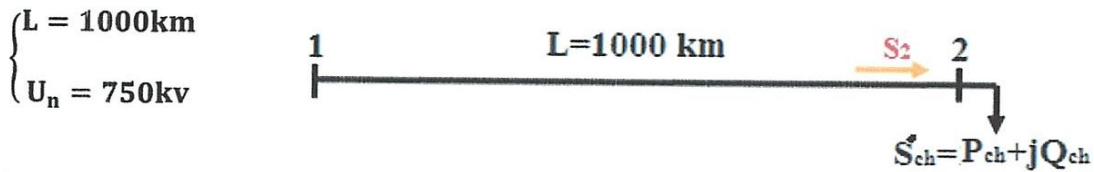
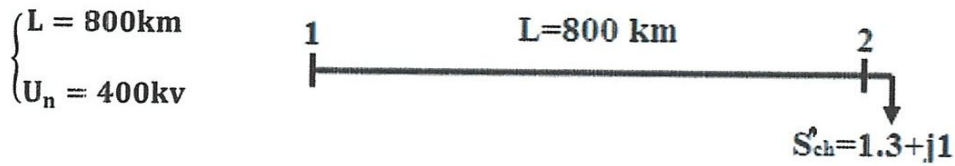
Le travail que nous sommes engagés à réaliser s'inscrit justement dans ce cadre et traite d'une analyse comparative entre différents modèles, dans le but de définir telle ou telle performance par tel ou tel paramètre. L'importance ou l'intérêt octroyé au transport sur des grandes distances et d'autant plus justifié que le territoire est plus large. On considère dans ce travail, dans un premier lieu, des lignes de différentes longueurs ; sous différentes tensions et pour différentes configurations.

### III.2. Description des lignes à comparer :

Les deux lignes sont comparées pour deux tensions nominales ( $U_n=400\div 750\text{Kv}$ ), pour deux faisceaux de conducteurs ; ( $n=2\div 3$ ) et sous l'appel d'une même charge relative ( $S^*$ ). Les paramètres électriques, linéiques primaires et secondaires des lignes sont calculés par les expressions suivantes :



## Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne



Paramètres primaires :

- La résistance active  $R_0$  :

$$r_0 = \frac{\rho}{nF} \quad \Omega/km \quad [3.1]$$

- La réactance :

$$x_0 = 0.144 \log \frac{D_m}{R_{eq}} + \frac{0.016}{n} \quad \Omega/km \quad [3.2]$$

- La susceptance linéique :

$$h_0 = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{D_m}{R_{eq}}} \quad \Omega^{-1}/km \quad [3.3]$$

- La conductance:

$$g_0 = \frac{\Delta P_{cou}}{U_n^2} \quad \Omega^{-1}/km \quad [3.4]$$

Ou,

$\rho$ -résistivité de conducteur  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ ;  $F$ -section de conducteur,  $\text{mm}^2$ ;  $D_m$ -distance moyenne géométrique entre phase (mètre);  $R_{eq}$ -rayon équivalent de faisceaux de la phase  $\text{cm} \cdot 10^{-2}$ ;  $\Delta P_{cour}$ -pertes actives par couronne,  $\text{kw}/\text{km}$ .

Les dernières grandeurs sont déterminées, respectivement, par les formules ( $\rho, F, \Delta P_{cour}$  entent donnes ) ;

$$D_m = \sqrt[3]{a_{11} * a_{21} * a_{31}} \quad [3.5]$$

$$R_{eq} = \sqrt{r_c * d_m^{n-1}} \quad \text{Pour : } n \leq 3 \quad [3.6]$$

$$R_{eq} = \sqrt[n]{r_c \prod_{i=2}^n a_{ii}} \quad \text{Pour : } n > 3 \quad [3.7]$$

Ou,

$r_c$ -Rayon d'un conducteur de faisceaux ;  $d_m$ -distance moyenne géométrique entre conducteurs de faisceaux de la phase ;  $n$ -nombre de conducteur dans les faisceaux ;  $a$ -distance entre phases.

### Paramètres secondaires :

Pour les lignes de grande longueur et sous haute tension, il est souvent très justifiable de négliger, la résistance linéique et la conducteur transversale ;  $r_0 = g_0 = 0$ .

Cette simplification permet, d'idéaliser la ligne (sans pertes) et de rendre les divers traitements, et analyse, moins contraignants.

Ainsi l'impédance  $Z_c$  caractéristique et le facteur d'onde  $\gamma_0$  linéique s'expriment, respectivement.

$$Z_c = \sqrt{\frac{z_0}{y_0}} = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}} = \sqrt{\frac{x_0}{b_0}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad [3.7]$$

$$\gamma_0 = \sqrt{(r_0 + jx_0)(g_0 + jb_0)} = \sqrt{-x_0 b_0} = j\sqrt{x_0 b_0} = j\alpha_0 \quad [3.8]$$

On constate immédiatement que pour une ligne idéale l'impédance caractéristique porte un caractère actif et le facteur  $\gamma_0$  se convertit en un déphaseur idéal ( $j\alpha_0$ ).

Ou,  $\alpha_0$ -mesure déviation de vecteur considéré par km (facteur de phase).

Pour les sections de conducteur, retenues pour l'analyse comparatives, on peut déterminer tous les paramètres cités.

## Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

Les valeurs de ces paramètres sont saisies dans le tableau (tableau. III.1):

Paramètres primaires							
N	F(mm <sup>2</sup> )	r <sub>c</sub> (cm)	R <sub>éq</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (cm)	r <sub>o</sub> (Ω/t <sub>rm</sub> )	X <sub>0</sub> (Ω/km)	b.10 <sup>-6</sup> (Ω <sup>-1</sup> /km)
2	600	1.655	8.14	1386	0.026	0.33	3.39
3	400	1.4	13.08	1386	0.026	0.29	3.788
Paramètres secondaires							
N	F(mm <sup>2</sup> )	α <sub>0</sub> (°/km)	y <sub>0</sub> ≈ b <sub>0</sub> .10 <sup>-6</sup>	γ <sub>0</sub> (10 <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	β <sub>0</sub> (10 <sup>-1</sup> )	Z <sub>c</sub> (Ω)	
2	600	0.06	3.39	1.058	4.15	312	
3	400	0.06	3.788	1.048	4.68	276.69	

Tableau III.1

On peut remarque que, pour une section sommaire égale (F<sub>s</sub>= 2.600=3.400=1200 mm<sup>2</sup>), on passant de la configuration n=2 à celle n=3 de la phase, la réactance x<sub>0</sub> diminue mais la susceptance b<sub>0</sub> augmentent ; la résistance r<sub>0</sub> étant constante puisque F<sub>s</sub>= cte, c.-à-d les pertes actives restent constantes. La diminution de la réactance x<sub>0</sub> implique la diminution des pertes du potentiel (des pertes de la puissance réactive), donc l'augmentation de la capacité de transport de la liaison. L'augmentation de susceptance b<sub>0</sub> livre un potentiel (relève) à la ligne (en augmentant sa puissance réactive capacitive). Donc, installe une réserve en puissance réactive (potentiel) très utile pour le contrôle des régimes de la ligne. Ce changement d'état paramétrique se reflète, par l'interaction mutuelle de ses deux effets(x<sub>0</sub>, b<sub>0</sub>), dans la variation de l'impédance d'onde (Z<sub>c</sub>) et, par conséquent dans celle de la puissance caractéristique (naturelle) de la ligne. En effet, une variation de n=2÷3 implique une variation correspondante de l'impédance Z<sub>c</sub>=312/276.69 ; donc une diminution ΔZ<sub>c</sub>=11.3%.

La diminution de l'impédance caractéristique se traduit par une augmentation de la puissance naturelle (tableau III.2):

$$P_{c(n)} = \frac{U_N^2}{Z_c(n)} = \frac{1}{Z_c(n)} \quad [3.9]$$

U <sub>H</sub>	400kv			750kv		
	F <sub>mm</sub> <sup>2</sup>	Z <sub>c</sub> (Ω)	P <sub>c</sub> (Mw)	F(mm <sup>2</sup> )	Z <sub>c</sub> (Ω)	P <sub>c</sub> (Mw)
2	600	312	512.82	600	312	1802.88
3	400	276.7	578.26	400	276.7	2032.96

Tableau III.2



## Chapitre III : Traitement général des quelques modèles de ligne

La puissance caractéristique  $P_c$  est proportionnelle au carré de la tension et inversement proportionnelle à l'impédance  $Z_c$  ; l'impact de la tension est beaucoup plus prépondérant que celui de l'impédance.

### III.2 Valeur de la puissance de charge en unités naturelles :

Pour les cas de configuration à comparer, on a modélisé la charge par sa valeur relative par rapport à la puissance caractéristique  $P_c$ . Donc, pour différentes configurations et tensions nominales, la charge, exprimée en unités naturelles, prend des valeurs différentes .

Si on pose que  $P.u$  :

$$S_{ch}^* = P_{ch}^* + jQ_{ch}^* \quad [3.10]$$

La puissance en unité naturelle s'exprime alors :

$$S_{ch} = S_{ch}^* . P_c = P_{ch}^* . P_c + jQ_{ch}^* . P_c = P_{ch} + jQ_{ch} \quad [3.11]$$

A différentes valeurs de  $P_c$  correspondantes différentes valeurs de  $S_{ch}$ . Supposons que, pour l'analyse comparative considérée, la puissance de charge est constante et est donnée  $P.u$  par rapport au modèle correspondant à  $n=2$ ,  $U_n=400$  kv,  $S_{ch}^* = 1.3+j1$ .

La puissance de charge en unités naturelle est alors :

$$\begin{aligned} S_{ch} &= 1.3.P_c + j1.P_c = 1.3*512.82 + j512.82 \\ &= 666.66 + j512.82 \text{ MVA} \end{aligned}$$

On peut exprimer, alors pour les autres configurations la puissance de charge  $P.u$  (Tableau III.3) :

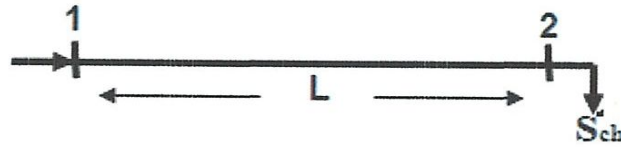
$U_H$	400KV		750KV	
	$P_c$	$S_{ch}^*$	$P_c$	$S_{ch}^*$
2	512.82	1.3+j1	1802.88	0.37+h0.284
3	578.26	1.153+j0.886	2032.96	0.328+j0.252

Tableau III.3

On peut voir du tableau II.3 que, pour la charge donnée initiale et maintenue constante, la ligne sous des tensions plus hautes ( $U_n=750$ KV) devient sous chargée ; ce qui favorise un effet capacitif plus prépondérant et une surtension probable. L'estimation plus

## Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

nette de cette différence du taux de charge peut être faite à partir de la valeur de la puissance limite maximale de la liaison ; laquelle, pour les grandes distances de transfert, s'exprime généralement :



$$P_m = \frac{U_1 U_2}{z_c \sin \alpha_0 l} \quad [3.12]$$

Ou bien, P.u :

$$P_m^* = \frac{p_m}{\frac{u_1 u_2}{z_c}} = \frac{1}{\sin \alpha_0 l} \quad [3.13]$$

Cette puissance dépend, non seulement de la tension et de l'impédance  $z_c$  mais également de la longueur ; plus la longueur augmente, plus la puissance maximale diminue.

En supposant, pour une estimation moyenne, que  $U_1^* U_2 \approx U_n^2$ , on déterminé les valeurs limites pour tous les cas de configuration.

On donne, dans ce tableau III.4 les valeurs estimées de  $P_m^*$  et de la marge jusqu'à le charge initiale.

N	L=800 km			L=1000 km		
	$P_m^*$	$P_{ch}^*$	Km %	$P_m^*$	$P_{ch}^*$	Km %
2		1.3	3.46		0.36	216
3	1.345	1.153	16.65	1.154	0.28	251.8

Tableau III.4

- **Plan de potentiel :**

Pour analyser le plan de potentiel ou long de la ligne on peut utilise la formule idéalisée suivant :

$$U(x) = \cos(\alpha_0 x) + Q_2^* \sin(\alpha_0 x) + P_2^* \sin(\alpha_0 x) \quad [3.14]$$

Ou :  $X = 0 \div 800, 1000 \text{ Km}$

Et :  $Q_2^* = Q_2^{* \prime}$

### III.3.1. Régime à vide :

En régime à vide  $P_2^* = Q_2^* = 0$  et la dernière expression se réduit à la forme :

$$U_n = U(x) = \cos \alpha_0 x$$

- **Distribution de potentiel :**

Longueur de la ligne		800 Km	1000 Km
$S_2 = P_2 + jQ_2$		0+j0	0+j0
x(Km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	0.9781	0.9781
400	24	0.9135	0.9135
600	36	0.809	0.809
800	48	0.6691	0.6691
1000	60	-----	0.5000

Tableau III.5

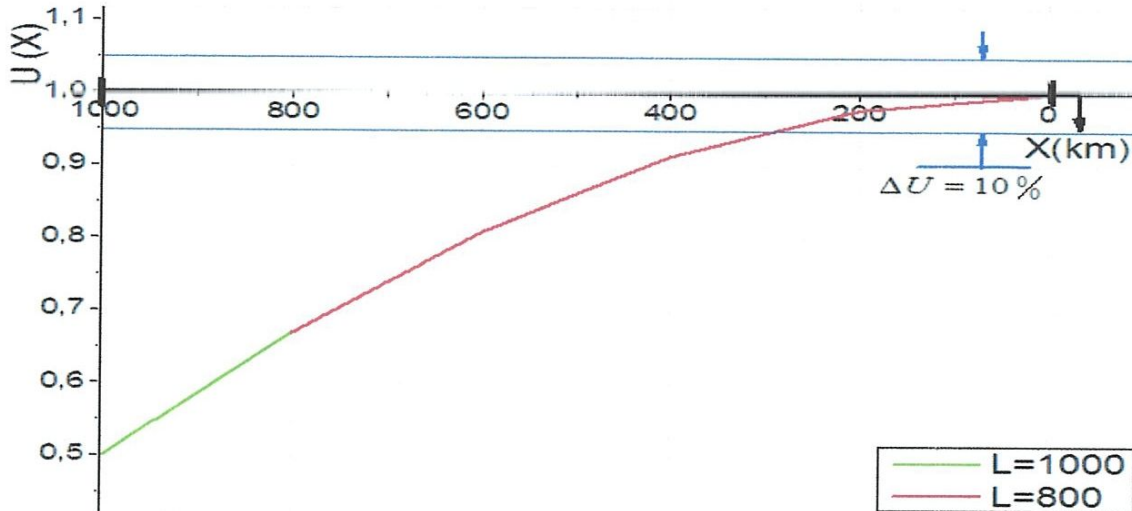


Fig III.1 : Epure du potentiel sans compensation pour L=800, 1000 km



III.3.2.Régime en charge :

III.3.2.1.Ligne de 800Km :

Un(Kv)		400	
$S_2=P_2+jQ_2$		1.3+j1	1.15+j0.88
X(Km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
100	6	1.1073	1.0930
200	12	1.21	1.1853
300	18	1.3224	1.2734
400	24	1.4211	1.3538
500	30	1.5127	1.4269
600	36	1.592	1.4884
700	42	1.6586	1.5381
800	48	1.7109	1.5749

Tableau III.6

III.3.2.2.Ligne de 1000Km :

Un(Kv)		750	
$S_2=P_2+jQ_2$		0.36+j0.28	0.34+j0.25
X(Km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
100	6	1.0244	1.0211
200	12	1.039	1.0322
300	18	1.0432	1.0329
400	24	1.0325	1.0232
500	30	1.021	1.0038
600	36	0.996	0.9742
700	42	0.9611	0.9384
800	48	0.9170	0.8873
900	54	0.8647	0.8312
1000	60	0.8052	0.768

Tableau III.7

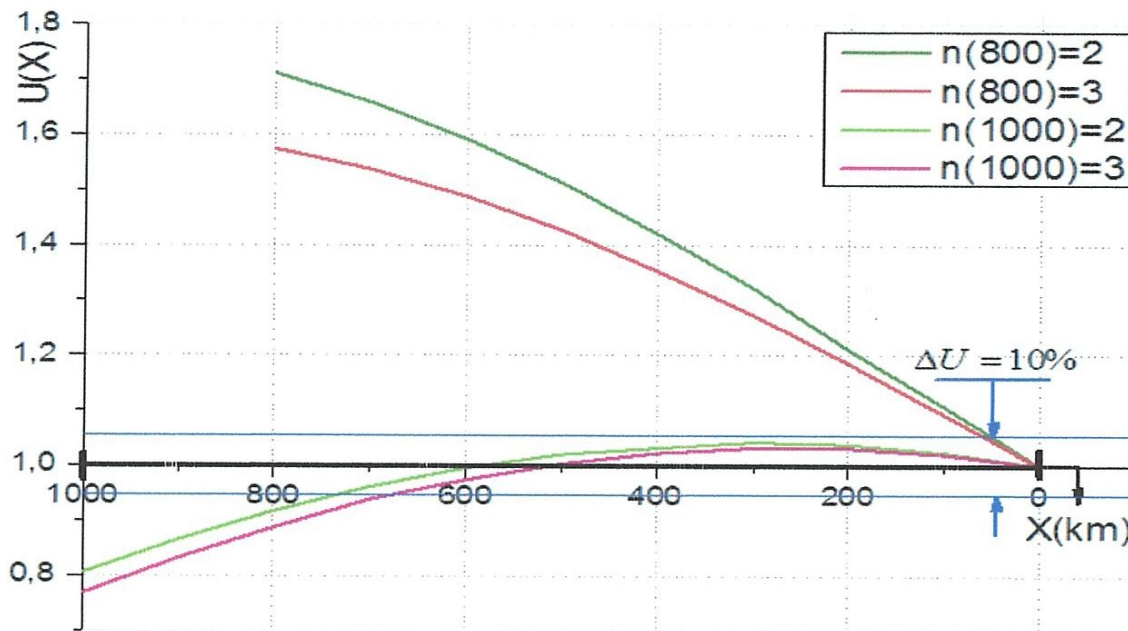


Fig III.2 : Epure du potentiel sans compensation régime en charge ( $L=800\div 1000$ )

Le graphique du potentiel montre en même temps, l'impact du niveau nominal du potentiel, du nombre de  $n$  de conducteur par phase et de la charge rapportée à la puissance caractéristique ( $P_u$  de  $P_c$ ).

Pour la ligne de  $L=800Km$  portée à la tension  $U_n=400Kv$  l'impact de la charge s'avère très important ; l'écart absolu des tensions d'extrémité est ainsi de 71% pour  $n=2$  et de 57% pour  $n=3$ ; d'où l'effet du faisceau (14%) également.

En mettant la ligne sous la tension  $U_n=750Kv$  et en gardant la même charge, les dits écarts s'atténuent considérablement, jusqu'à attendre respectivement en valeur absolue ,20%( $n=2$ ) et 25%( $n=3$ ).

En gardant la même charge et en relevant le niveau de tension, les courants de ligne diminuent d'autant que ce niveau augmente, c'est ce qui explique fondamentalement la diminution des écarts absolus. Mais en augmentant le niveau de tension, la puissance réactive de ligne augmente proportionnellement au carré de la tension ( $Q_e=U^2 \cdot b$ ). Cet effet implique également une pondération dans l'écart absolu.

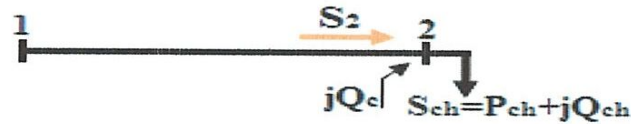
Une autre déduction peut être faite à partir des graphiques. En effet, pour une même charge, l'impact du niveau de tension atténue fortement celui du faisceau : de 14%( $n=2\div 3$ ) quand  $U_n=400Kv$  jusqu'à 4% ( $n=2\div 3$ ) quand  $U_n=750Kw$ . Pour la charge donnée, et

## Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

respectivement sur les deux niveaux de tension considérés la distribution du potentiel le long de ligne est inadmissible ( $\Delta U_{ad} = 10\%$ ). Sous le niveau  $U_n=400\text{Kv}$  la ligne est surchargée : sous  $U_n=750$  ; elle est sous chargée.

Pour l'intérêt de l'analyse comparative, maintenons encore, les mêmes modules, avec la même charge et introduisons des mesures de compensation pour tenter d'insérer le plan de tension dans limites convenables.

### III.4. Impact de la compensation du réactif :



Pour le calcul de la puissance réactive, au bout de la ligne à contrainte  $K_u$  exigée, on peut utiliser la formule suivant :

$$Q_2^{*'} = -ctg(\alpha_0 l) + \sqrt{\frac{K_u}{\sin(\alpha_0 l)} - P_2^{*2}} \quad [3.15]$$

Le calcul de la puissance réactive de compensation s'effectue, ensuite par la formule :

$$Q_c^* = Q_{ch}^* - Q_2^{*'} \quad [3.16]$$

#### III.4.1. Ligne à vide :

Imposons les limites admissibles  $\Delta U^* = \pm 5\%$  ; ce qui correspond à  $k_u=0.95\div 1.05$ . Les résultats de calcul sont saisis dans le tableau suivant :

$K_u$	$L$	$U_n$	$N$	$F(\text{mm}^2)$	$S_{ch}^*$	$Q_2^{*'}$	$Q_c^*$	$S_2^{*' = P_2^* + jQ_2^{*'}$
0.95	800	400	2	600	0	0.378	-0.378	$0+j0.378$
			3	400	0	0.378	-0.378	$0+j0.378$
	1000	750	2	600	0	0.526	-0.526	$0+j0.526$
			3	400	0	0.526	-0.526	$0+j0.526$
1	800	400	2	600	0	0.445	-0.445	$0+j0.445$
			3	400	0	0.445	-0.445	$0+j0.445$
	1000	750	2	600	0	0.577	-0.577	$0+j0.577$
			3	400	0	0.577	-0.577	$0+j0.577$
1.05	800	400	2	600	0	0.513	-0.513	$0+j0.513$
			3	400	0	0.513	-0.513	$0+j0.513$
	1000	750	2	600	0	0.635	-0.635	$0+j0.635$
			3	400	0	0.635	-0.635	$0+j0.635$

Tableau III.8



**III.4.2. Ligne en charge :**

**III.4.2.1. Puissance de compensation pour  $K_u=0.95$  :**

**III.4.2.1.1. Ligne de 800Km :**

U(kv)	400	
N	2	3
$S_{ch}=P_{ch}+jQ_{ch}$	1.3+j1	1.15+j0.88
$Q_2^*$	-0.903	-0.341
$Q_c^*$	1.903	1.221
$S_{ch}^*=P_{ch}^*+jQ_{ch}^*$	1.3-j0.903	1.15-j0.341
F(mm <sup>2</sup> )	600	400

Tableau III.9

**III.4.2.1.2. Ligne de 1000Km :**

U(kv)	750	
N	2	3
F(mm <sup>2</sup> )	600	400
$S_{ch}=P_{ch}+jQ_{ch}$	0.36+j0.28	0.34+j0.25
$Q_2^{*}$	0.460	0.510
$Q_c^*$	-0.180	-0.230
$S_{ch}^*=P_{ch}^*+jQ_{ch}^*$	0.36+j0.46	0.34+j0.510

Tableau III.10

**III.4.2.2. Puissance de compensation pour  $K_u=1$  :**

**III.4.2.2.1. Ligne de 800Km :**

U(kv)	400	
n	2	3
F(mm <sup>2</sup> )	600	400
$S_{ch}=P_{ch}+jQ_{ch}$	1.3+j1	1.15+j0.88
$Q_2^{*}$	-0.551	-0.201
$Q_c^*$	1.551	1.08
$S_{ch}^*=P_{ch}^*+jQ_{ch}^*$	1.3-j0.551	1.15-j0.200

Tableau III.11

### III.4.2.2.2. Ligne de 1000Km :

U(kv)	750	
N	2	3
F(mm <sup>2</sup> )	600	400
S <sub>ch</sub> =P <sub>ch</sub> +jQ <sub>ch</sub>	0.36+j0.28	0.34+j0.25
Q <sub>2</sub> '	0.540	0.526
Q <sub>c</sub> *	-0.26	-0.276
S <sub>ch</sub> ' = P <sub>ch</sub> ' + jQ <sub>ch</sub> '	0.36+j0.54	0.36+j0.526

Tableau III.12

### III.4.2.2. Puissance de compensation pour K<sub>u</sub>=1.05 :

#### III.4.2.2.1. Ligne de 800Km :

U(kv)	400	
N	2	3
F(mm <sup>2</sup> )	600	400
S <sub>ch</sub> =P <sub>ch</sub> +jQ <sub>ch</sub>	1.3+j1	1.15+j0.88
Q <sub>2</sub> '	-0.347	0.0194
Q <sub>c</sub> *	0.653	0.8606
S <sub>ch</sub> ' = P <sub>ch</sub> ' + jQ <sub>ch</sub> '	1.3-j0.347	1.15+j0.0194

Tableau III.13

#### III.4.2.2.2. Ligne de 1000Km :

U(kv)	750	
N	2	3
F(mm <sup>2</sup> )	600	400
S <sub>ch</sub> =P <sub>ch</sub> +jQ <sub>ch</sub>	0.36+j0.28	0.34+j0.25
Q <sub>2</sub> '	0.580	0.586
Q <sub>c</sub> *	-0.300	-0.336
S <sub>ch</sub> ' = P <sub>ch</sub> ' + jQ <sub>ch</sub> '	0.36+j0.580	0.36+j0.586

Tableau III.14

### III.5. Control de la tension :

- **Plan de potentiel :**

Le calcul du plan ou potentiel le long de la ligne s'effectue par l'expression

$$U(x) = \cos(\alpha_0 x) + Q_2^* \sin(\alpha_0 x) + P_2^* \sin(\alpha_0 x) \quad [3.17]$$

Ou  $Q_2^*$  représente la puissance exigée au bout de la ligne pour réaliser les rapports  $K_u$  requis.

### III.5.1. Ligne à vide :

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

X	U(x)					
	L=800Km			L=1000Km		
	$Q_2^{*}$			$Q_2^{*}$		
	0.378	0.445	0.513	0.526	0.577	0.635
0	1	1	1	1	1	1
200	1.0567	1.0706	1.0848	1.0875	1.0981	1.1101
400	1.067	1.0945	1.01222	1.1274	1.1482	1.1718
600	1.0312	1.0706	1.1105	1.1182	1.1482	1.1822
800	0.95	1	1.05	1.06	1.0979	1.141
1000				0.95	1	1.05
$K_u$	0.95	1	1.05	0.95	1	1.05

Tableau III.15

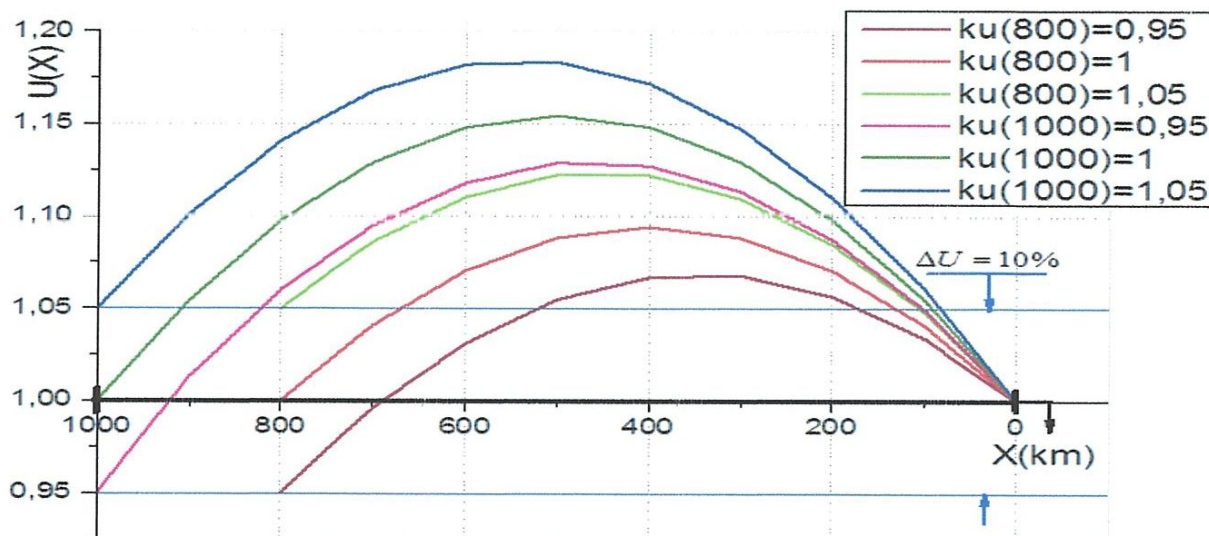


Fig III.3 : Epure du potentiel après compensation régime à vide (L=800÷1000)

D'après les résultats du tableau (III.15), on remarque également que la tension sort des limites admissibles pour la seule compensation à la fin de ligne et pour les trois valeurs de  $K_u$  (0.95, 1 et 1.05). La tension est maximale et est très grande par rapport à celle des extrémités. Considérons donc une compensation au milieu de la ligne.



## Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

On utilise la formule suivant :

$$Q_2^* = -ctg\left(\frac{\alpha_0 l}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{K_u}{\sin\left(\frac{\alpha_0 l}{2}\right)}\right)^2 - P^2} \quad [3.18]$$

### III.5.1.1. Ligne de 800 km :

$U_n$ (kv)	400		
$k_u$	0.95	1	1.05
$S_{ch}^* = P_{ch}^* + jQ_{ch}^*$	0	0	0
$Q_2^{*'} $	0.0896	0.213	0.3355
$Q_c^* $	-0.0896	-0.213	-0.3355
$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*'}$	0+j0.0896	0+j0.213	0+j0.3355

Tableau. III.16

- Pour  $k_u=0.95$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*'}$		0+j0.0896
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)
0	0	1
200	12	0.9968
400	24	0.9500
600	36	0.8617
800	48	0.7357

Tableau. III.17

- Pour  $k_u=1$

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*'}$		0+j0.213
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)
0	0	1
200	12	1.0223
400	24	1.0000
600	36	0.9342
800	48	0.8271

Tableau. III.18

- Pour  $k_u=1.05$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*'}$		0+j0.3355
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)
0	0	1
200	12	1.0479
400	24	1.0500
600	36	1.0059
800	48	0.9184

Tableau. III.19

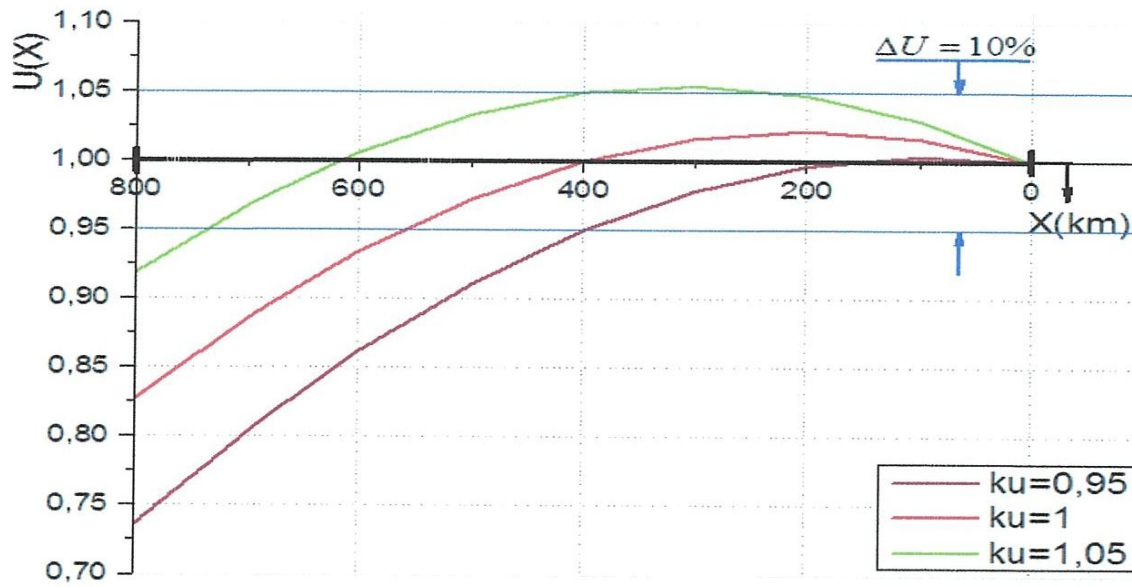


Fig III.6 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime à vide ( $k_u=0.95\div 1.05$ )

III.5.1.2. Ligne de 1000 km :

$U_n$ (kv)	750		
$k_u$	0.95	1	1.05
$S_{ch}^* = P_{ch}^* + jQ_{ch}^*$	0	0	0
$Q_2^{*'} $	0.168	0.268	0.368
$Q_c^* $	-0.168	-0.268	-0.368
$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*'}$	$0+j0.168$	$0+j0.268$	$0+j0.368$

Tableau. III.20

- Pour  $k_u=0.95$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*'}$		$0+j0.168$
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)
0	0	1
200	12	1.0130
400	24	0.9818
600	36	0.9077
800	48	0.7939
1000	60	0.6454

Tableau. III.21

- Pour  $ku=1$  :

$S_2^{*'} = P_2^{*'} + jQ_2^{*'}$		0+j0.268
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)
0	0	1
200	12	1.0338
400	24	1.0225
600	36	0.9665
800	48	0.8682
1000	60	0.7320

Tableau. III.22

- Pour  $ku=1.05$  :

$S_2^{*'} = P_2^{*'} + jQ_2^{*'}$		0+j0.368
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)
0	0	1
200	12	1.0546
400	24	1.0632
600	36	1.0253
800	48	0.9426
1000	60	0.8186

Tableau. III.23

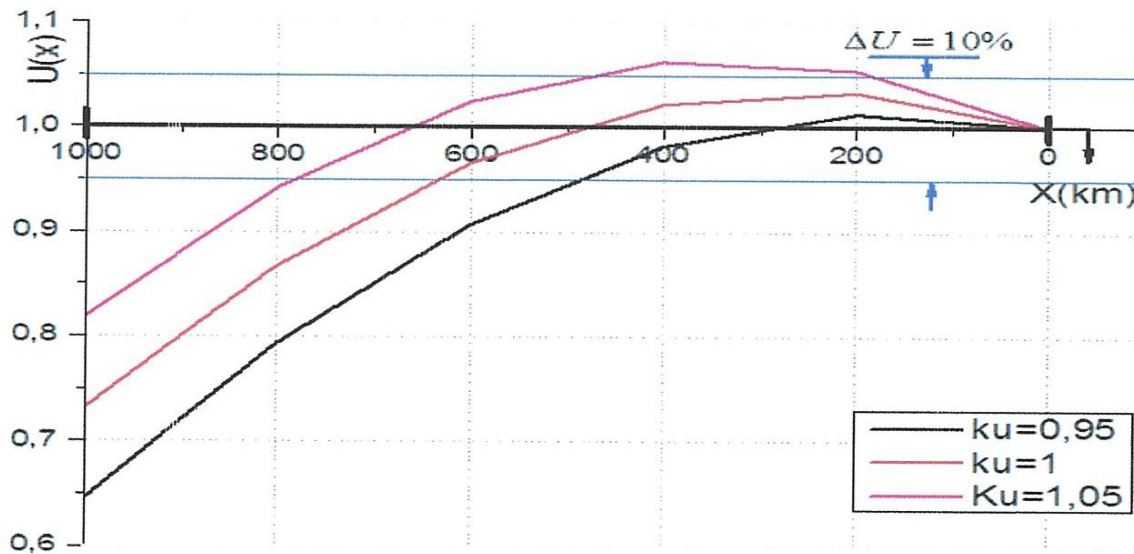


Fig III.7 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime à vide ( $k_u=0.95-1.05$ )



III.5.2. Ligne en charge :

III.5.2.1. Ligne de 800 km :

- Pour  $k_u=0.95$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*}'$		1.3-j0.664	1.15-j0.342
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	0.8823	0.9379
400	24	0.8327	0.9046
600	36	0.8712	0.9090
800	48	0.9818	0.9500

Tableau. III.24

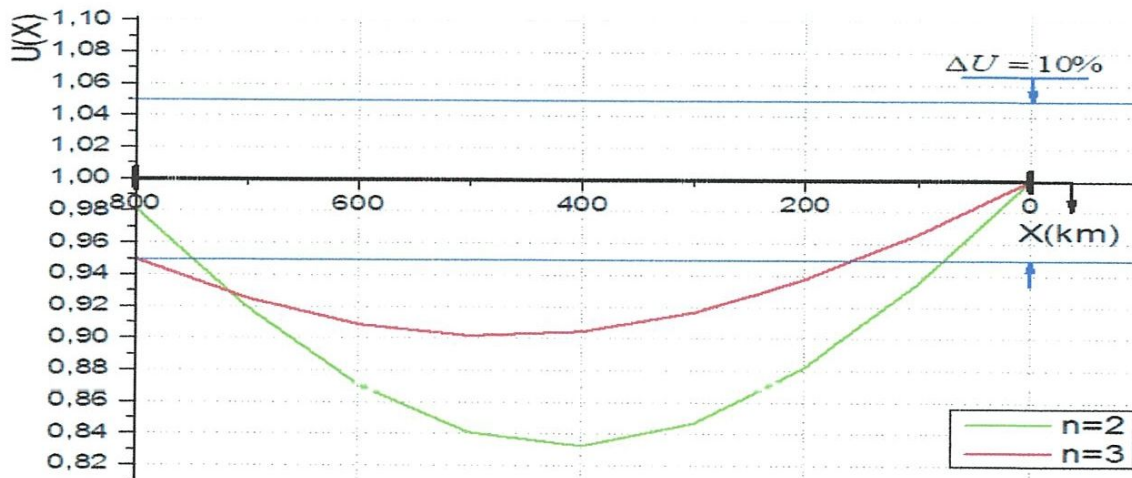


Fig III.8 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=0.95$ )

- Pour  $k_u=1$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*}'$		1.3-j0.553	1.15-j0.200
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	0.9044	0.9665
400	24	0.8681	0.9545
600	36	0.9044	0.9668
800	48	1.0000	1.0000

Tableau. III.25

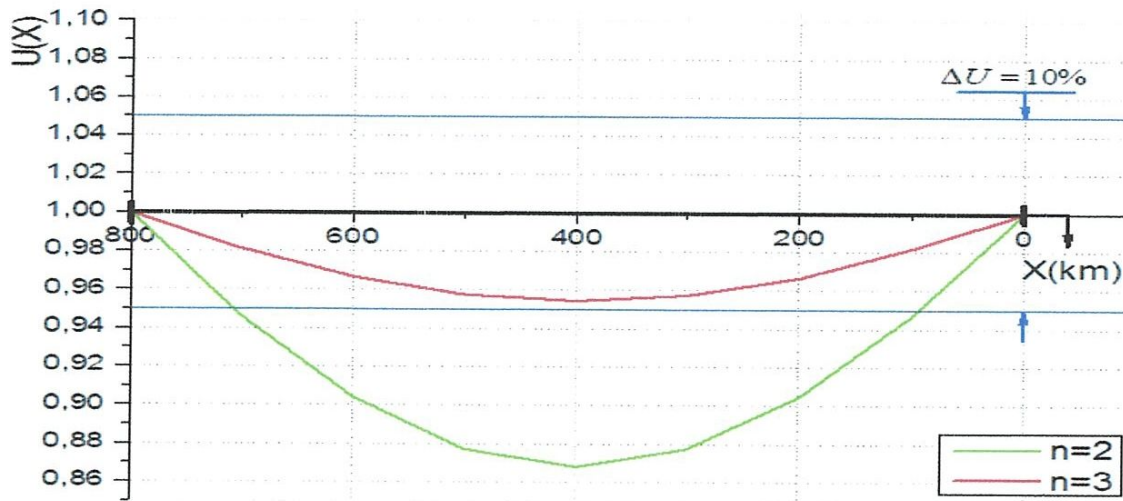


Fig III.9 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=1$ )

- Pour  $k_u=1.05$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*}'$		1.3-j0.347	1.15-j0.0795
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	0.9518	0.9908
400	24	0.9360	0.9976
600	36	0.9750	1.0187
800	48	1.0500	1.0500

Tableau. III.26

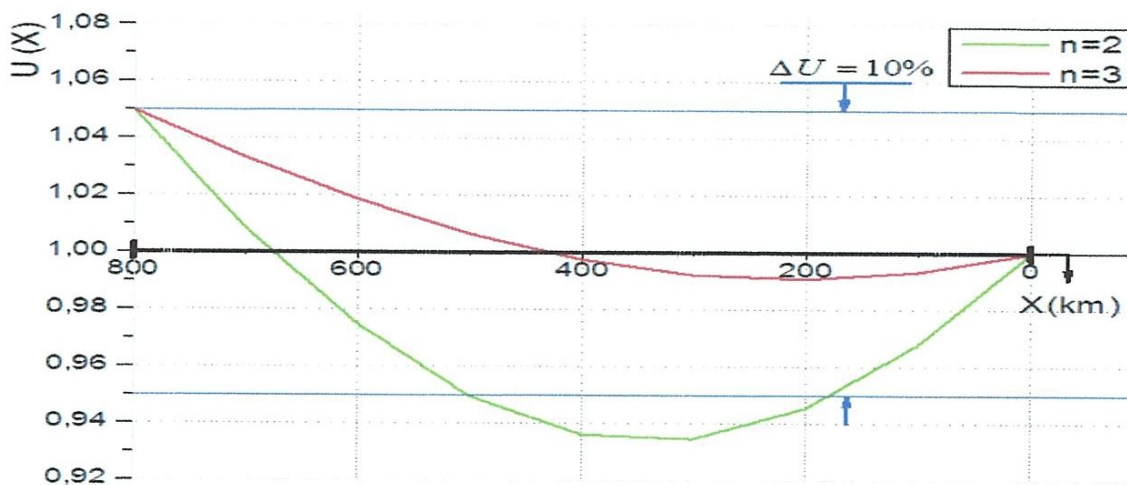


Fig III.10 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=1.05$ )

D'après les résultats des tableaux et les épures de potentiel pour ce cas (régime en charge, ligne 800 km), on remarque que la tension reste dans les limites admissibles ( $\Delta U = \pm 5\%$ ), pour  $k_u=1,1.05$  et  $n=3$ , et sort de la limite dans les autre conditions.

### III.4.2.2. Ligne de 1000 km :

- Pour :  $k_u=0.95$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*}'$	0.36+j0.455	0.34+j0.465	
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	1.0755	1.0772
400	24	1.1089	1.1115
600	36	1.0983	1.1009
800	48	1.0442	1.0460
1000	60	0.9500	0.9474

Tableau. III.27

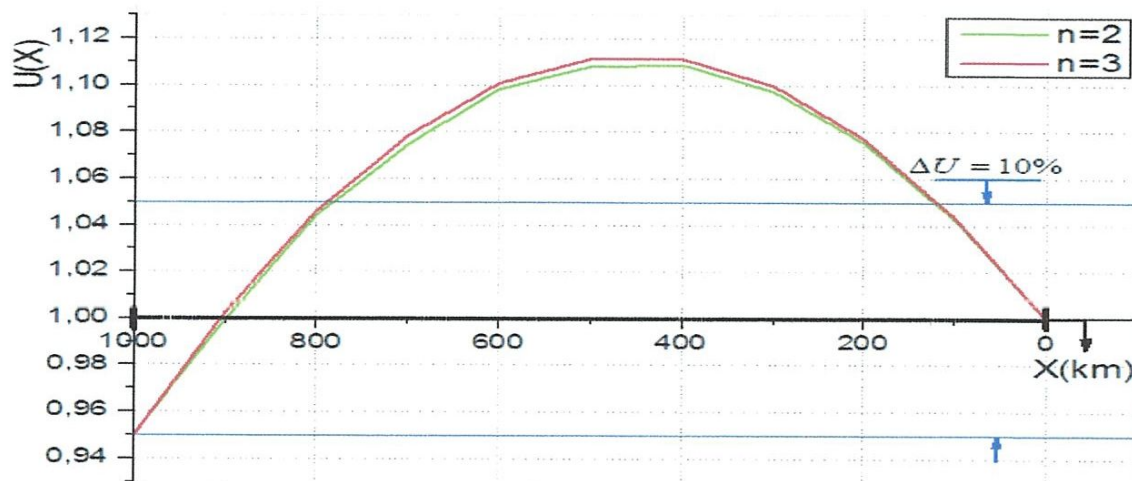


Fig III.11 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=0.95$ )

- Pour :  $k_u=1$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*}'$	0.36+j0.516	0.34+j0.526	
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	1.0882	1.0898
400	24	1.1336	1.1360
600	36	1.1336	1.1360
800	48	1.0882	1.0898
1000	60	1.0000	1.0000

Tableau. III.28



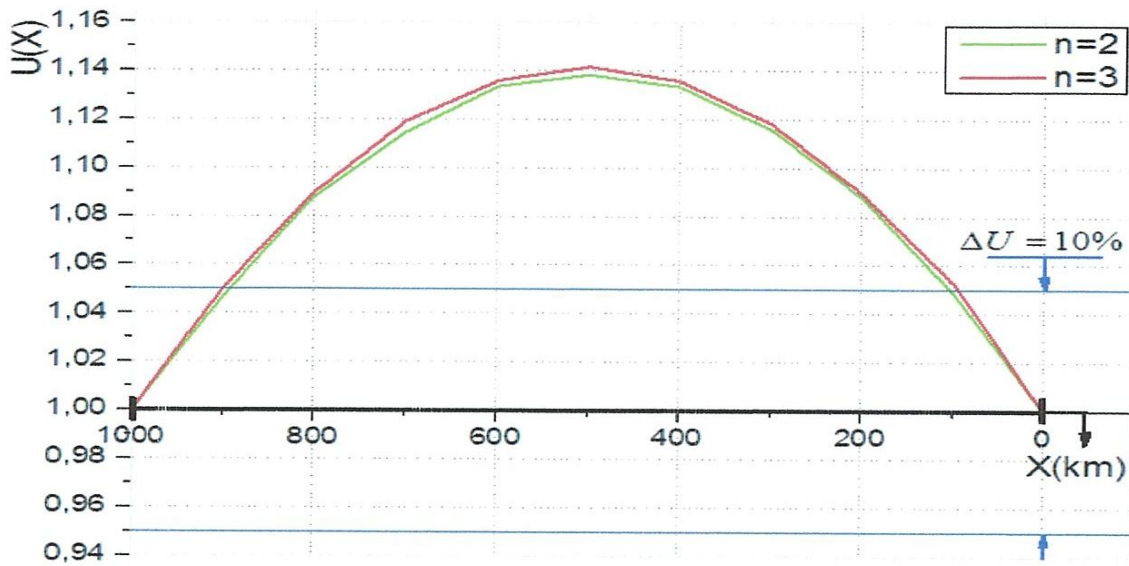


Fig III.12 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=1$ )

- Pour :  $k_u=1.05$

$S_2' = P_2^* + jQ_2^{*}$		0.36+j0.577	0.34+j0.586
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	1.1008	1.1023
400	24	1.1581	1.1603
600	36	1.1686	1.1708
800	48	1.1267	1.1334
1000	60	1.0500	1.0500

Tableau. III.29

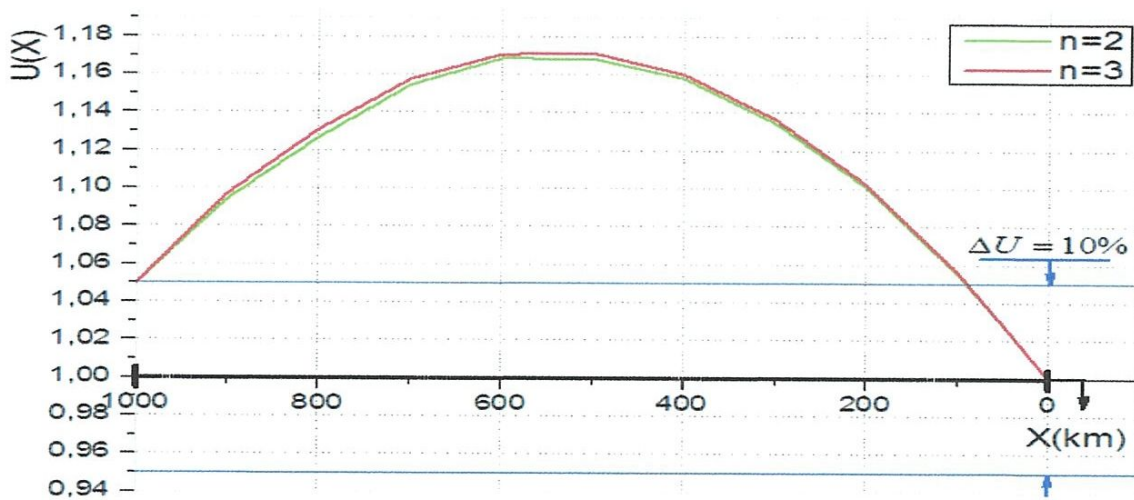


Fig III.13 : Epure du potentiel après compensation régime en charge ( $k_u=1.05$ )

### Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

D'après les résultats des tableaux (III.24 jusqu'à III.29) et leurs épures de potentiel pour le cas de régime en charge, on remarque que la tension sort des limites admissibles ( $\Delta U = \pm 5\%$ ) pour toutes les valeurs de  $k_u$  ( $0.95 \div 1 \div 1.05$ ) et pour les deux configurations des phases ( $n=2, n=3$ ).

On constate, également, l'impact porté par les nombre " $n$ " de conducteurs dans le faisceau.

Cet effet est nettement marqué par le rapport des tensions d'extrémités de ligne est particulièrement pour la ligne à  $L=800\text{km}$ .

Plus ce rapport est grand, plus cet effet est petit. Par exemple, pour le cas considéré, l'écart de tension dans la position moyenne du à  $n=2 \div 3$  varie de  $\Delta U(n)$  conformément aux rapports respectifs  $k_u=0.95 \div 1 \div 1.05$ .

Cet effet est nettement réduit pour la ligne  $L=1000\text{km}$  à cause de l'augmentation de la puissance réactive de la ligne ; puisque la longueur à augmenté.

Donc on va essayer de compenser au milieu de la ligne. Pour se faire, on utilise la formule suivant :

$$Q_2^* = -ctg\left(\frac{\alpha_0 l}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{K_u}{\sin\left(\frac{\alpha_0 l}{2}\right)}\right)^2 - P^2} \quad [3.19]$$

$K_u$	0.95		1		1.05	
N	2	3	2	3	2	3
$F(\text{mm}^2)$	600	400	600	400	600	400
$S_{ch}^*$ $= P_{ch}^* + Q_{ch}^*$	0.36+j0.133	0.34+j0.198	0.36+j0.235	0.34+j0.238	0.36+j0.336	0.34+j0.340
$Q_2^*$	0.133	0.198	0.2353	0.238	0.336	0.340
$Q_c^*$	0.1465	0.0519	0.0447	0.0112	-0.0569	-0.0902
$S_2^*$ $= P_2^* + Q_2^*$	0.36+j0.133	0.34+j0.198	0.36+j0.235	0.34+j0.238	0.36+j0.336	0.34+j0.340

Tableau. III.30

- Pour :  $k_u=0.95$  :

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*}'$		0.36+j0.1335	0.34+j0.1981
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	1.0088	1.0217
400	24	0.9794	1.0036
600	36	0.9123	0.9467
800	48	0.8145	0.8544
1000	60	0.6940	0.7332

Tableau. III.31

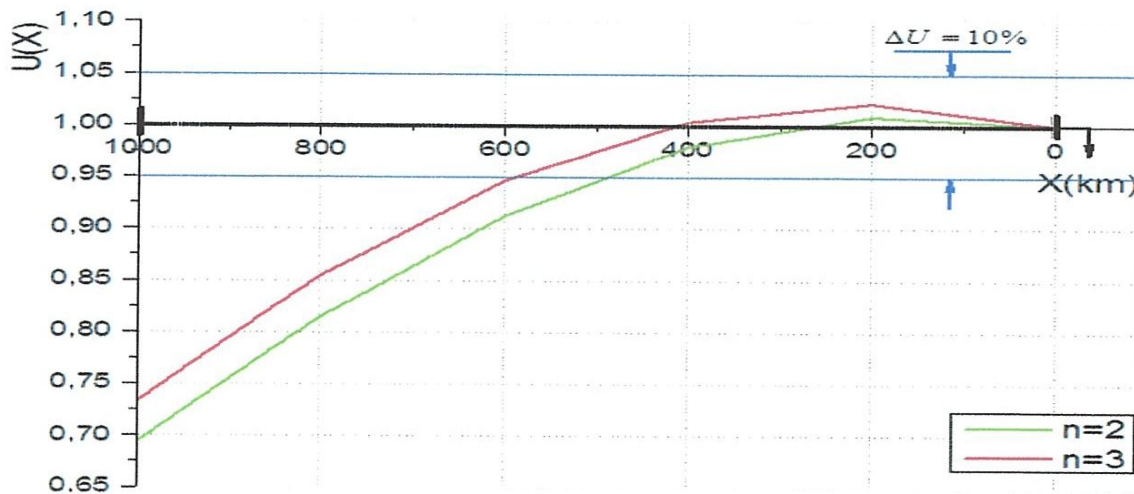


Fig III.14 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime en charge ( $k_u=0.95$ )

- Pour :  $k_u=1$

$S_2^{*'} = P_2^* + jQ_2^{*}'$		0.36+j0.2353	0.34+j0.2388
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	1.0298	1.0301
400	24	1.0203	1.0200
600	36	0.9701	0.9700
800	48	0.8875	0.8833
1000	60	0.7732	0.7656

Tableau. III.32



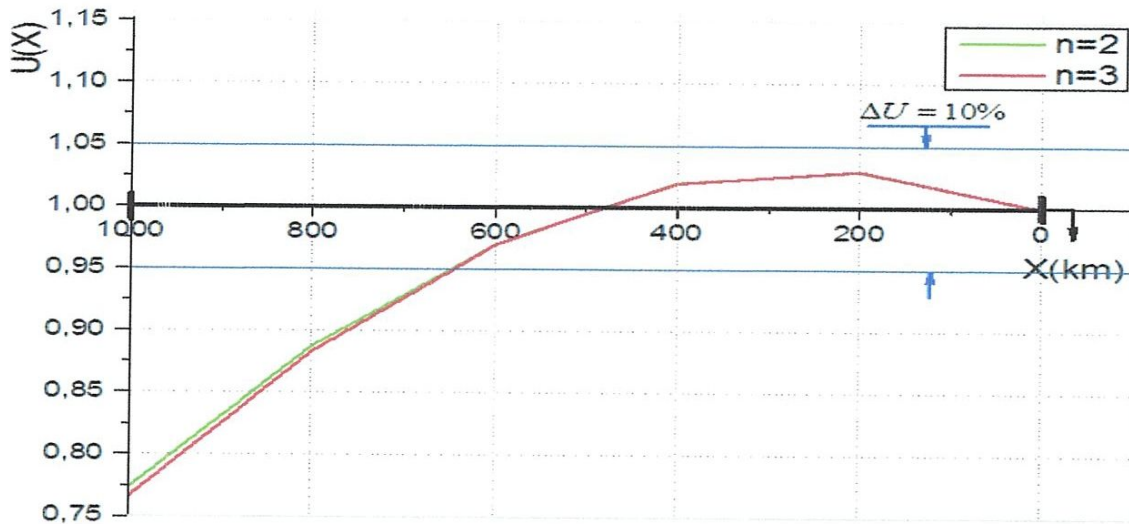


Fig III.15 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime en charge ( $k_u=1$ )

- Pour :  $k_u=1.05$  :

$S_2' = P_2^* + jQ_2^{*}$		0.36+j0.3369	0.34+j0.3402
X (km)	$\alpha_0 x$	U(x)	U(x)
0	0	1	1
200	12	1.0509	1.0511
400	24	1.0612	1.0609
600	36	1.0301	1.0284
800	48	0.9575	0.9558
1000	60	0.8541	0.8473

Tableau. III.33

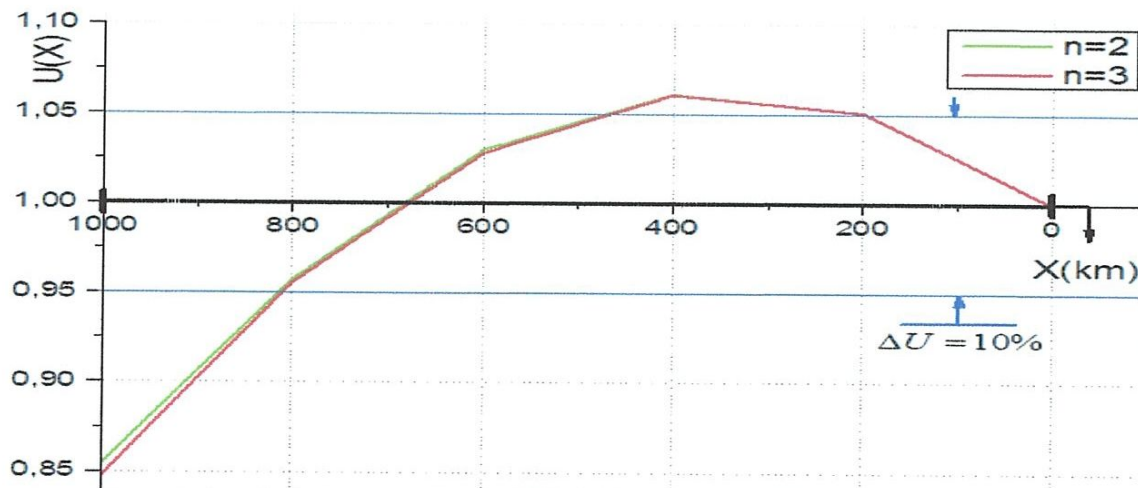


Fig III.16 : Epure du potentiel après compensation au milieu régime en charge ( $k_u=1.05$ )

## Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

D'après les résultats du tableau et ses épures de potentiel, on remarque que la tension n'est pas encart dans les limites admissibles ( $\Delta U = \pm 5\%$ ), même avec la compensation au milieu de la ligne.

Dans ce cas on va essayer de compenser la partie qui sort des limites (de 600 jusqu'à 1000km) dans le milieu :

### III.6. Compensation au milieu de la ligne :

On a constaté dans ce qui précède que la seule compensation à l'extrémité de la liaison ne peut assurer une distribution admissible du potentiel.

Le caractère du potentiel est naturellement distributif le long de la ligne et son graphique dépend de plusieurs facteurs (charge, longueur, autres paramètres).

Les moyens de son contrôle doivent porter, en principe, le même caractère. De ce fait pendant le traitement des procédures de compensation, on s'applique souvent à réaliser une répartition conforme des moyens de compensation sur « toutes » la « topologie » du système (structure du système).

Nous nous proposons, ainsi, dans ce qui suit, d'étudier l'impact de l'installation de la compensation dans la position médiane de la liaison, tout en se conformant à celle exigée aux extrémités sous les contraintes  $k_u$  correspondantes.

Ainsi, on se serait orienté vers le principe de répartition.

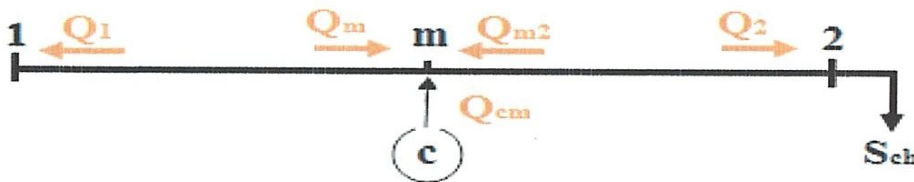


Fig III.17 : schéma de compensation au milieu de la ligne.

Les expressions de traitement analytique gardent la même forme à quelques transformations près.

En effet, comme on a introduit des conditions différentes ( $k_i$ ) sur les tronçons considérés, les conditions initiales pour le traitement des deux tronçons ne restent pas les mêmes.

Tronçons : « m-2 ».

### Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

L'expression de l'équilibre de la tension garde la forme :

$$U_m = U_2 \left[ \cos \alpha_0 \frac{l}{2} + Q_2 \frac{Z_c}{U_2^2} \sin \alpha_0 \frac{l}{2} + JP_2 \frac{Z_c}{U_2^2} \sin \alpha_0 \frac{l}{2} \right] \quad [3.19]$$

Pour rendre les résultats, du traitement directement comparables, on doit choisir la même valeur de base d'expression en unité relatives pour toutes les grandeurs correspondantes. Soit, pour les tensions,  $U_b = U_N$ . Ce qui permet de mettre :

$$U_2^* = \frac{U_2}{U_N}; \quad U_m^* = \frac{U_m}{U_N}; \quad U_1^* = \frac{U_1}{U_N} \quad [3.20]$$

Si la tension  $U_2$ , exigée constante, égale à la tension nominale, pour toutes les traitements, alors,

$$U_2^* = \frac{U_2}{U_N} = 1 \quad [3.21]$$

En écrit, alors pour le tronçon considéré :

$$U_m^* = \frac{U_m}{U_N} = \cos \alpha_0 \frac{l}{2} + Q_2^* \sin \alpha_0 \frac{l}{2} + JP_2^* \sin \alpha_0 \frac{l}{2} \quad [3.22]$$

Ce qui donne pour les puissances réactives correspondantes :

$$U_2^* = -ctg \alpha_0 \frac{l}{2} + \sqrt{\left( \frac{k_{m2}}{\sin \alpha_0 \frac{l}{2}} \right)^2 + P_2^{*2}} \quad [3.23]$$

$$Q_{m2}^* = (k_{m2}^2 - 1)ctg \alpha_0 \frac{l}{2} - Q_2^* = k_{m2}^2 ctg \alpha_0 \frac{l}{2} - \sqrt{\left( \frac{k_{m2}}{\sin \alpha_0 \frac{l}{2}} \right)^2 + P_2^{*2}} \quad [3.24]$$

Ou,

$$k_{m2} = \frac{U_m}{U_2} = \frac{U_m}{U_N} = U_m^* \quad [3.25]$$

$$Q_2^* = \frac{Q_2}{S_b}; \quad P_2^* = \frac{P_2}{S_b}; \quad S_b = \frac{U_N^2}{Z_c} \quad [3.26]$$

Avec,

$$U_m = U_m^* \cdot U_N \quad [3.27]$$

Ce qui donne,



$$U_1 = U_m^* \cdot U_N [\cos \alpha_{0\frac{l}{2}} + \frac{Q_m^*}{U_m^{*2}} + J \frac{P_2^*}{U_m^{*2}} \sin \alpha_{0\frac{l}{2}}] \quad [3.28]$$

Avec,

$$Q_m^* = \frac{Q_m}{S_b} \quad [3.29]$$

$$P_2^* = \frac{P_2}{S_b} \quad [3.30]$$

Ou bien,

$$U_1 = \frac{U_1}{U_N} = U_m^* [\cos \alpha_{0\frac{l}{2}} + \frac{Q_m^*}{U_m^{*2}} + J \frac{P_2^*}{U_m^{*2}} \sin \alpha_{0\frac{l}{2}}] \quad [3.31]$$

Pour la puissance réactive, on peut écrire, analogiquement :

$$Q_{m(m)}^* = -ctg \alpha_{0\frac{l}{2}} + \sqrt{\left(\frac{k_{1m}}{\sin \alpha_{0\frac{l}{2}}}\right)^2 - P_{m(m)}^{*2}} \quad [3.32]$$

Avec,

$$Q_{m(m)}^* = \frac{Q_m}{U_m^2} = \frac{Q_m}{U_m^{*2} \frac{U_N^2}{Z_c}} = \frac{Q_m^*}{U_m^{*2}} \quad [3.33]$$

$$P_{m(m)}^* = \frac{P_m^*}{U_{ll}^{*2}} \quad [3.34]$$

$$k_{1m} = \frac{U_1}{U_m} = \frac{U_1}{U_m^* U_N} = \frac{U_1^*}{U_m^*} \quad [3.35]$$

Ce qui donne,

$$Q_m^* = -U_m^{*2} ctg \alpha_{0\frac{l}{2}} + U_m^{*2} \sqrt{\frac{U_1^{*2}}{U_m^{*2} \sin^2 \alpha_{0\frac{l}{2}}} - \frac{P_m^{*2}}{U_m^{*4}}} \quad [3.36]$$

Ou bien,

$$Q_m^* = -U_m^{*2} ctg \alpha_{0\frac{l}{2}} + \sqrt{\left(\frac{k_u U_m^*}{\sin \alpha_{0\frac{l}{2}}}\right)^2 - P_m^{*2}} \quad [3.37]$$

De même : on définit, par analogie :

$$Q_{1(m)}^* = k_{1m} ctg \alpha_{0\frac{l}{2}} - \sqrt{\left(\frac{k_{1m}}{\sin \alpha_{0\frac{l}{2}}}\right)^2 - P_{m(m)}^{*2}} \quad [3.38]$$

Ou,

$$Q_{1(m)}^* = (k_{1m}^2 - 1) ctg \alpha_{0\frac{l}{2}} - Q_{m(m)}^* \quad [3.39]$$

Ce qui donne, respectivement, en rapportant les grandeurs à la même base,

$$Q_1^* = -k_u^2 \text{ctg} \alpha_{0\frac{l}{2}} - \sqrt{\left(\frac{k_u U_m^*}{\sin \alpha_{0\frac{l}{2}}}\right)^2 - P_m^{*2}} \quad [3.40]$$

Et,

$$Q_1^* = (k_u^2 - U_m^{*2}) \text{ctg} \alpha_{0\frac{l}{2}} - Q_m^* \quad [3.41]$$

On définit alors la puissance du compensateur, comme :

$$Q_{cm} = Q_{m2} - Q_m \quad [3.42]$$

### III.6.1. Liaison à vide :

#### III.6.1.1. Ligne de 800 km :

On considère le cas de minimum de charge le plus contraignant quand  $S_{ch} = P_{ch} + jQ_{ch} = 0$ . Les divers calculs sont réalisés par les formules définies en y mettant :

$P_k^* = P_{ch}$ , puisque, pour une ligne sans pertes, les puissances actives de ligne sont toutes égales à  $P_{ch}$ ; les puissances réactives correspondantes étant déterminées conformément aux contraintes  $k_l$ .

Les valeurs des puissances réactives nécessaires des extrémités des tronçons de ligne pour maintenir une tension  $U_m^*$  déterminée sont saisies dans le tableau, le rapport des tensions d'extrémités étant maintenu constant ( $K_u = U_1^* = 1$ ).

$U_N$	400 kv		
$U_m^*$	0.95	1	1.05
$Q_2$	0.0896	0.213	0.3355
$Q_{m2}$	-0.3086	-0.213	-0.1052
$Q_m$	0.3086	0.213	0.1052
$Q_c$	-0.6172	-0.423	-0.2104
$Q_{1m} = Q_1^*$	-0.0896	-0.213	-0.3355

Tableau III.34

Pour déterminer la répartition du potentiel le long de ces tronçons, on utilise les formules prédéterminées correspondantes, soit :

Tronçon « m-2 »

$$f(Q_2^*, P_2^*, x) =$$

$$U_m^*(x) = \cos \alpha_0 x + Q_2^* \sin \alpha_0 x + j P_2^* \sin \alpha_0 x \quad [3.43]$$

Tronçon « 1-m »

$$f(Q_2^*, P_2^*, U_m^* x) =$$

$$U_1^*(x) = U_m^* (\cos \alpha_0 x + \frac{Q_m^*}{U_m^{*2}} \sin \alpha_0 x + j \frac{P_m^*}{U_m^{*2}} \sin \alpha_0 x) \quad [3.44]$$

Ou ;  $x = 0 \div 400$  ;  $U_m = 0.95 \div 1 \div 1.05$ .

$U_m^*$		0.95	1	1.05	
$S_2^* = P_2^* + jQ_2^*$		0+j0.0896	0+j0.213	0+j0.3355	
$S_m^* = P_m^* + jQ_m^*$		0+j0.3086	0+j0.213	0+j0.1052	
x	$U_m(x)$	0	1	1	
		200	0.9967	1.0224	1.048
		400	0.95	1	1.05
	$U_1(x)$	0	0.95	1	1.05
		200	0.9967	1.0224	1.048
		400	1	1	1

Tableau III.35

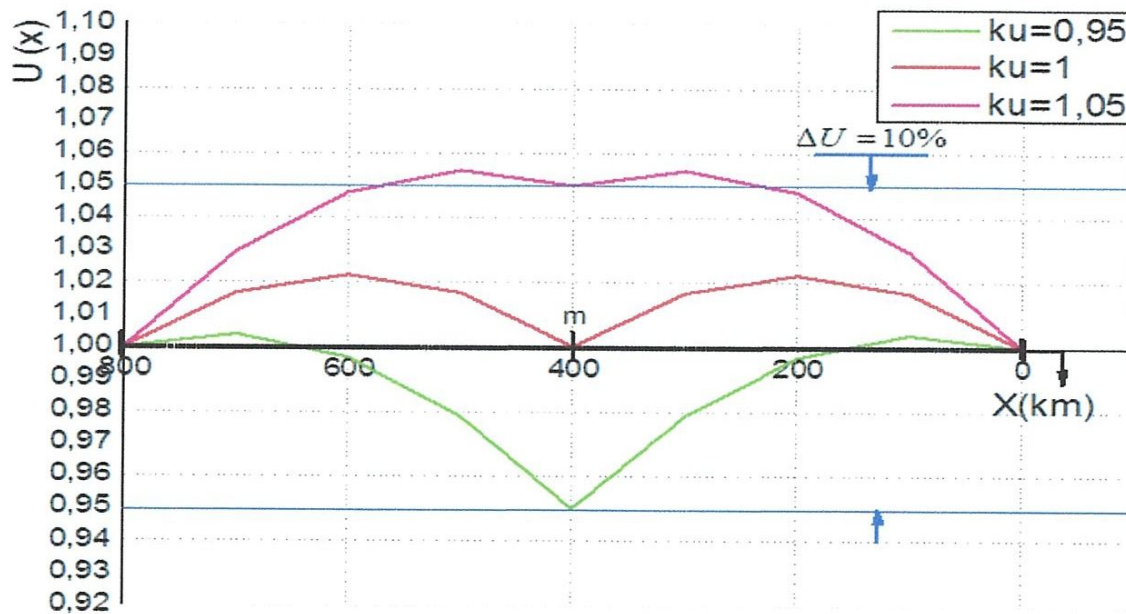


Fig III.18 : Epure du potentiel après compensation au milieu de la ligne ( $k_u=0.95, 1$  et  $1.05$ )



## Chapitre III : Traitement Général Des Différents Modèles De Ligne

Pour palier essentiellement à un régime à minimum de charge ou à une rupture de charge (régime à vide), on doit disposer de compensateur à caractère l'inductif à distribuer dans le cas considéré sur les deux extrémités de la liaison et en son point « m » médian.

Le plan de tension peut être encore plus amélioré en répartissant les compensateurs sur d'autres points de la liaison. L'investissement en puissance de compensation en qualité et en lieu dépend de l'impact recherche (objectif) en même temps, qu'il est tributaire de critère technico-économique.

### III.6.1.2. Ligne de 1000 km :

De la même manière précédemment, on détermine les puissances de ligne exigées, et la répartition du potentiel.

$U_N$	750 kv		
$U_m^*$	0.95	1	1.05
$Q_2^*$	0.168	0.268	0.368
$Q_{m2}^*$	-0.2546	-0.268	-0.2813
$Q_m^*$	0.3368	0.268	0.1904
$Q_c^*$	-0.5913	-0.536	-0.4717
$Q_1^*$	-0.168	-0.268	-0.368

Tableau III.36

$U_m^*$		0.95	1	1.05
$S_2$		0+j0.168	0+j0.268	0+j0.368
$S_m$		0+j0.3368	0+j0.268	0+j0.1904
<b>X</b>	$U_m(x)$	0	1	1
		200	1.0131	1.0339
		400	0.9819	1.0226
		500	0.95	1.0000
	$U_1(x)$	0	0.95	1.0000
		200	1.0131	1.0226
		400	0.9819	1.0339
		500	1	1

Tableau III.37

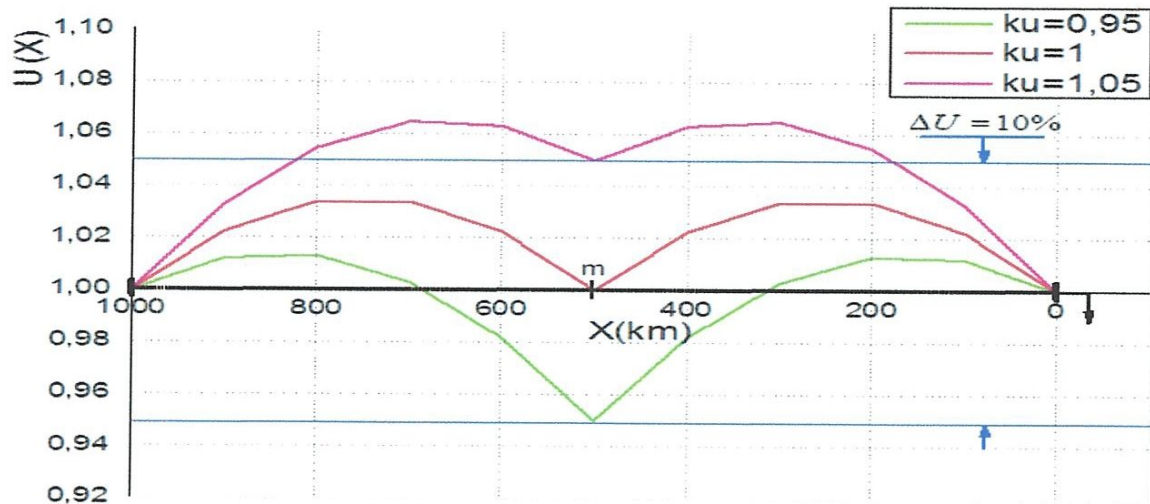


Fig III.19 : Epure du potentiel après compensation au milieu de la ligne ( $k_u=0.95, 1$  et  $1.05$ )

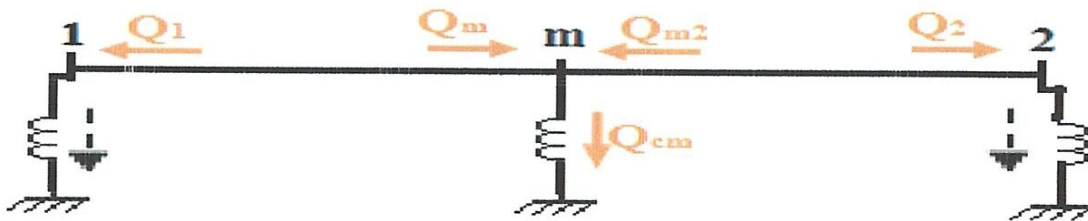


Fig III.20. Sens positif des puissances réactive de ligne

### III.6.2. Régime en charge :

#### III.6.2.1. Ligne de 1000 km :

$U_N$	750 kv					
$U_m^*$	0.95		1		1.05	
$S_{ch} = P_{ch} + jQ_{ch}$	0.36+j0.133	0.34+j0.198	0.36+j0.235	0.34+j0.238	0.36+j0.336	0.34+j0.340
$Q_2^*$	0.1335	0.1981	0.2353	0.2388	0.3369	0.3409
$Q_{m2}^*$	-0.3024	-0.3662	-0.2353	-0.2388	-0.1593	-0.1626
$Q_m^*$	0.2057	0.2096	0.2353	0.2388	0.2659	0.2691
$Q_c^*$	-0.5081	-0.5778	-0.4706	-0.4776	-0.4252	-0.4317
$Q_1^*$	0.1335	0.1981	0.2353	0.2388	0.3369	0.3409

Tableau III.38

- Pour :  $U_m^* = 0.95$  :

$U_m^*$		0.95	
$S_2$		$0.36+j0.1335$	$0.34+j0.1981$
$S_m$		$0.36+j0.2057$	$0.34+j0.2096$
x	$U_m(x)$	0	1
		200	1.0086
		400	0.9788
		500	0.9500
	$U_1(x)$	0	0.9500
		200	0.9788
		400	1.0086
		500	1

Tableau III.39

- Pour :  $U_m^* = 1$  :

$U_m^*$		1	
$S_2$		$0.36+j0.2353$	$0.34+j0.2388$
$S_m$		$0.36+j0.2353$	$0.34+j0.2388$
x	$U_m(x)$	0	1
		200	1.0298
		400	1.0198
		500	1
	$U_1(x)$	0	1
		200	1.0198
		400	1.0298
		500	1

Tableau III.40



- Pour :  $U_m^* = 1.05$  :

$U_m^*$		1.05	
$S_2$		$S_2$	0.34+j0.3402
$S_m$		$S_m$	0.34+j0.2691
x	$U_m(x)$	0	1
		200	1.0508
		400	1.0607
		500	1.0500
	$U_1(x)$	0	1.0500
		200	1.0607
		400	1.0508
		500	1

Tableau III.41

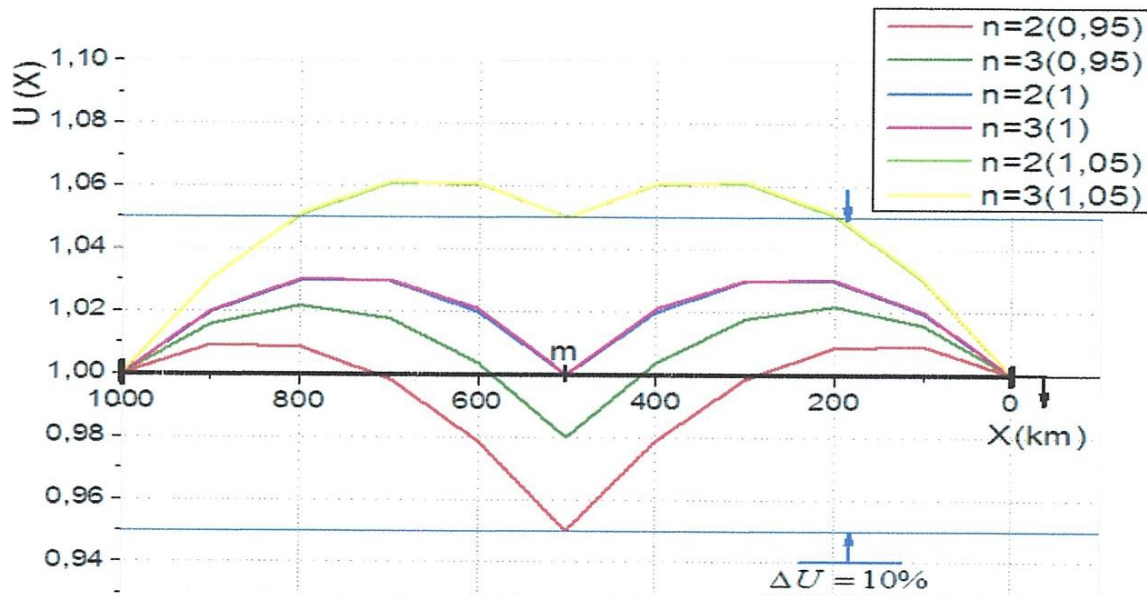


Fig III.21 : Epure du potentiel après compensation au milieu de la ligne ( $k_u=0.95, 1$  et  $1.05$ )

### III.7. Conclusion :

Les calculs réalisés et leur analyse, montrent, particulièrement pour une liaison de grande portée, que;

-La tension le long de la ligne est fortement dépendante du régime de charge (régime à vide, régime en charge),

-La limite de la puissance maximale de la liaison diminue avec la longueur : la capacité de transport diminue.

-avec la compensation de la puissance réactive, on peut fortement améliorer les caractéristiques de la liaison: plan de potentiel, pertes de puissance, réserve de stabilité, capacité de transport...

-En utilisant la configuration en faisceau des phases, on peut également améliorer des indices de performance de la ligne...



***Conclusion Générale***



## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire de master traite le problème de la stabilité de tension liée au transport d'énergie électrique sur des grandes distances. Donc, on a fait une analyse comparative entre deux modèles de ligne de différents longueurs, sous différentes tensions et pour différentes configurations, avec ou sans compensation.

Ce travail est fait essentiellement dans le but d'améliorer le transport d'énergie sur des grandes distances et le contrôle du plan de potentiel le long de la ligne.

Les résultats que nous avons obtenus permettent de faire les conclusions suivantes :

- ✓ Le nombre de conducteurs par phase peut être une solution pour le contrôle du plan de potentiel.
- ✓ La limite de la puissance maximale transportable diminue avec la longueur : capacité de transport diminue.
- ✓ Une compensation appropriée permet d'améliorer et de contrôler la stabilité de tension.
- ✓ Pour assurer la stabilité de système électrique de grande portée, il est essentiel de maintenir la tension du récepteur ( $U_2$ ) et la tension de la source ( $U_1$ ) dans les limites admissible, par l'installation des dispositifs capables d'absorber (ligne à vide) ou de fournir (ligne en charge) de puissance réactive et capable de passer rapidement d'un état à l'autre.
- ✓ Le contrôle de la tension par l'énergie réactive peut atteindre une meilleure gestion de l'énergie et une amélioration de tension, il exige de contrôler les paramètres suivants : Lieu de compensation, nombre de conducteurs par phase, type de charge (régime à vide ou on charge).

## Bibliographie

---

- [1] Pr. BOUNAYA KAMEL : les réseaux électriques premiers partis, élément de distribution et d'analyse de base : direction de la publication universitaire de Guelma 2010.
- [2] Mr. LEMDANI SOUFIANE : importance et nécessité de l'étude de la compensation et de sa contribution a la gestion de l'exploitation des longues lignes de transport a extra haut tension. Mémoire de magister, Université Mohamed Boudhiaf Oran 2010.
- [3] Mr. ZELLAGUI MOHAMED : étude des protections des réseaux électriques mt (30 & 10 kv). Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine 2010.
- [4] Mr FERDES ATEF, Mr ARRIBI SALAH EDDINE : ligne de grande longueur compensation et performance, Mémoire de master, Université De Guelma 2015
- [5] Mr. ELMOUSTAPHA BLAL MOHAMED, Mr. SANOGO BAKARY : seuil de protection principes et choix, Mémoire de master, Université De Guelma 2015
- [6] Mr. BELGUIDOUM HOCINE : Les systèmes FACTS utilisant les convertisseurs entièrement commandés. Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas, Setif 2012
- [7] Ecole Technique De Blida : les moyens de production de l'énergie électrique SONELGAZ/SPE.
- [8] Mr. CHERIF MED FOU DHIL, Mr.CHERIF KHAYR EDDINE : calcul et protections d'une ligne de transport électrique htb-220kv, Mémoire De Master Academique, Université Kasdi Merbah, Ouargla 2014
- [9] Comment ca Marche, Ontario power génération INC, 2010, opg.com.
- [10] Mr MOSTEFAOUI ABDELKADER : Etude de la répartition optimale des puissances dans un réseau électrique par la Programmation non linéaire. Mémoire De Magister. Université Hassiba Benbouali Chlef 2008
- [11] Transport et Distribution de l'Energie Electrique Cours donné à l'Institut d'Electricité Montefiore Université de Liège J.L. LILIEEN 2010
- [12] Mr. DAAOU YASSINE : Classification et localisation des défauts dans les lignes de transport THT en temps réel, Université Des Sciences Et De Technologie d'Oran/2011

## Bibliographie

---

[13] Mr. CONG DUC PHAM : Détection et localisation de défauts dans les réseaux de distribution HTA en présence de génération d'énergie dispersée Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'institut national polytechnique de Grenoble 2005

[14] Mr BOUCHAHDANE MOHAMED : étude des équipements de protection de la nouvelle ligne 400 kv en Algérie mémoire présenté pour obtenir le diplôme de magister Université Mentouri Constantine 2009.

[15] Mr ANDRE SASTRE : protection des réseaux HTA industriels et tertiaires CT 174 édition décembre 1994

[16] Mr MOHAMED KARAKACH : contribution a l'analyse de sureté de fonctionnement de système de protection d'un turboalternateur Mémoire De Magister 2008

[17] Mr CRISTIAN JECU : Système de protections novateur et distribué pour les réseaux Moyenne Tension du futur Thèse Pour Obtenir Le Grade De Docteur De L'université De Grenoble 2011

[18] Mr IBRAHIM FARHAT: Classification and Location in Transmission Line Systems Using Neural Networks, Concordia University Montreal, Quebec, Canada. mars 2003