



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



Hamma Lakhdar d'El-Oued
Université Echahid

Faculté de Sciences et de La Technologies

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER
ACADEMIQUE

Filière: Département Electrotechnique

Spécialité: Réseaux électriques

Par: Hammadi Tarek et Hafied Mohmmmed Tahar et
Khammes Yakoub

Thème

Optimisation de La Puissance électrique
Dans un Réseau électrique

Devant le jury composé de:

Mr. Barka nour eddine

President

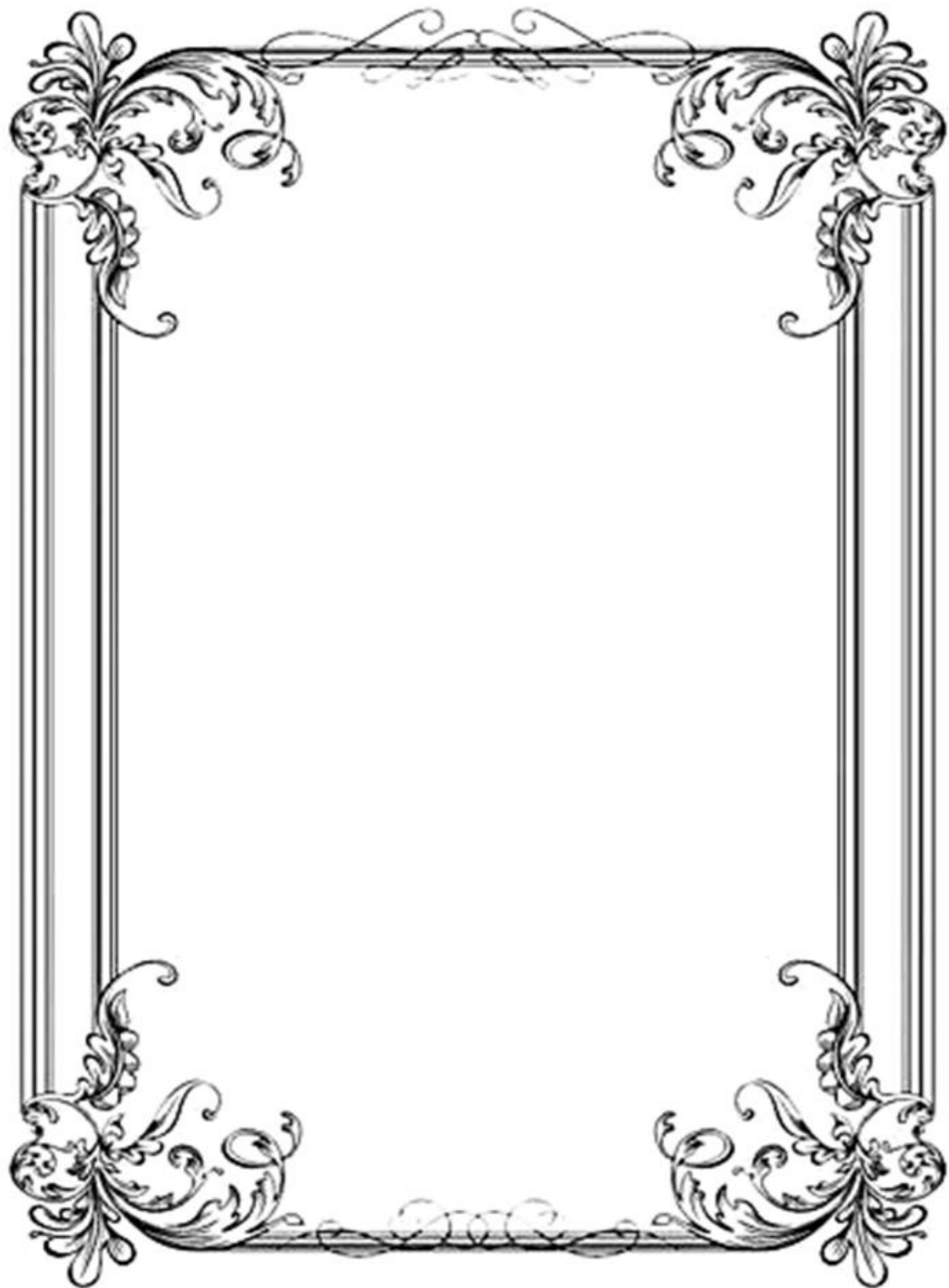
Mr. Gaid imad eddine

Examineur

Mr. Ossama maameri
Président

Encadreur

Année universitaire : 2023-2024



Dédicace

A celle que je préfère à moi-même, et pourquoi pas, elle s'est sacrifiée
pour moi

Elle n'a pas ménagé ses efforts pour me rendre heureux.

Nous marchons sur les chemins de la vie, et celui qui domine nos
esprits dans chaque chemin que nous empruntons reste

Le propriétaire d'un visage aimable et de bonnes actions.

Il n'a pas lésiné sur moi tout au long de sa vie

À mes amis, et à tous ceux qui m'ont soutenu et aidé avec tout ce qu'ils
ont, je présente cette recherche et j'espère qu'elle vous satisfera

Hammadi Tarek



Dédicace

Le voyage n'a pas été court, et n'aurait pas dû l'être, le rêve n'était pas proche, et la route était semée d'embûches, mais je l'ai fait et je l'ai obtenu. Louange, amour, remerciement et gratitude à Dieu, grâce à qui je regarde aujourd'hui un rêve longtemps attendu qui est devenu une réalité dont je suis fière.

À mon ange pur, ma force après Dieu, mon premier et éternel soutien "mon père", je dédie cet accomplissement qui, sans tes sacrifices, n'aurait pas existé, reconnaissant que Dieu t'ait choisi parmi les êtres humains comme mon père, le meilleur soutien et substitut, à celle qui m'a soutenu sans limites et m'a donné sans contrepartie "ma mère".
À ceux qui m'ont dit : "Nous te renforcerons avec ton frère", "Mes frères", "Que Dieu vous garde comme une côte solide pour moi", "Mes sœurs", "Celles qui ont cru en mes capacités et qui ont été la sécurité de mes jours", "Celles qui me rappellent ma force et qui se tiennent derrière moi comme une ombre", "Mon cher ami", "Ma mère".



Hafied Med Tahar

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes très chers parents ,

Pour leurs sacrifices, leur amour, leurs prières et leur soutien.

À mon cher frère et mes chères soeurs,

Aucun mot ne pourra décrire vos dévouements et vos sacrifices.

À ma chérie, grande mère,

puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur .

À ma chère famille,

proche et lointaine.

À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université EL OUED ,

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments

agréables que

nous avons passés ensemble.



Khammes Yakoub

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Sommaire	page
Remercîments	-
<i>Dédicace</i>	-
SOMMAIRE	I
Liste des figures	IV
Liste des Tableaux	V
INTRODUCTION GENERALE	02
<i>Chapitre 01</i> <i>générales an les lignes électriques à haute tension</i>	
I.1Introduction	04
I.2Définition des lignes électriques à haute tension	04
I.3.1. Avantages des lignes électriques à haute Tension :	05
I.4.1. Classification des lignes électriques à haute Tension :	06
I.5.1. Le rôle des lignes électriques à haute Tension dans les réseaux électriques	06
I.6.1. Installation de lignes électriques à haute Tension dans les réseaux électriques	07
I.6.2. L'importance des lignes électriques dans le réseau électrique	07
I.6.2.1 Description des réseaux électriques	07
I.6.2.2.Les niveaux de tensions	08
I.7. Conclusion	09
<i>Chapitre02</i> <i>Compensation de ligne électrique</i>	
II.1. INTRODUCTION	11
II.2Concepts de Base	11
II.2.1. Types des dispositifs FACTS	12
II.3.1.Modèles de SVC et TCSC dans l'écoulement de puissance	13

II.3.2. Modèles de SVC (Static Var Compensator)	13
II.3.3.Modèles de TCSC (Thyristors Controller Séries Capacité)	14
II.4.1.Installations d'énergie renouvelable utilisées pour améliorer l'énergie électrique	14
II.4.2. Types de Machines Electriques utilisées dans les éoliennes	15
II.4.3. Intégration de l'Energie Eolienne dans les réseaux électriques	16
II.5.2 Le système photovoltaïque	20
II.5.2.1 Les composants du système photovoltaïque	20
II.5.2.1.1 La cellule photovoltaïque	20
II.5.2.1.2 Comment fonctionner une cellule photovoltaïque ?	20
II.5.2.1.3.Différent technologies des cellules photovoltaïques	21
a)Technologie de la 1ère génération : cellules cristallines	21
b) Technologie de la 2ème génération : couches minces "thin films"	21
c)Technologie de 3ème génération : multi jonction, concentration	22
II.6.1. Le générateur photovoltaïque	22
II.6.2..System piles à combustibl	23
II.7. Avantages des piles à combustible	24
II.8. Inconvénients des piles à combustible	25
II.9.1Système hydraulique	25
II.9.2.1Energie hydraulique	25
II.9.2.2.Applications typiques de l'hydraulique	26
II.9.3.1Résumé général sur la ligne de compensation de puissance électrique	26
II.9.3.2.Principe de Fonctionnement	26
II.9.4.Types de Compensation	27
II.10.1Avantages	27
II.10.2.1Applications Pratiques	27

II.10.2.2. Technologies Associée	27
II.11. Conclusion	29
<i>Chapitre 03</i> <i>Simulation et résultat</i>	
III.1. INTRODUCTION	31
III.2.1. Caractéristiques de la ligne	31
III. 3.1. Interface graphique	31
III.3.2. Organigramme de calcul	31
III.3.3. Résultats	32
III. 4.1. Interprétation des résultats	34
III.4.1. Tension d'entrée en fonction de la distance	34
III.4.2. Courant d'entrée en fonction de la distance	34
III.4.2.1. Pertes de puissance sur la ligne	34
III.4.2.2. Application 2	34
III.5.1.1. Application:(programmation); compensation shunt avec SCV	35
III.5.1.2. Application(1) : réseau électrique de 9 jeux de barres	35
III.5.1.3. L'organigramme globale de l'intégration de SCV [32. 33]	36

III.5.1.4. Organigramme détaillée	37
III.5.1.5. les résultats de programmation (réseau 9 jeux de barres)	39
III.6.1. Interprétation	45
III.7. Conclusion	46
Conclusion Générale	48
Références Bibliographie	51
Résumé	54

Liste des figures

Figures	Page
Figure I.1: Schéma d'un réseau électrique	08
Figure I.2: Niveaux de tension normalisés	08
Figure II.7 : Le Modèle de SVC	13
Figure II.11 : Le Modèle de TCSC	14
<i>Figure I.3 : Principe de fonctionnement de cellule PV</i>	20
<i>Figure I.4 : Cellule solaire à base de silicium cristallin</i>	21
<i>Figure: Cellule solaire multi jonction</i>	22
Figure I.7: Caractéristique courant tension de Ns cellule en série	23
Figure 1.5 : Caractéristique courant tension de (Np) cellules en parallèles	23
Fig.I.12 système d'une pile à combustible	24
Figure III.1: Organigramme de calcul de tension et courant d'entrée en fonction de la Distance	31
Figure III.2: Tension d'entrée de la ligne en fonction de la distance	32

Figure III.3: Courant d'entrée de la ligne en fonction de la distance	33
Figure III.4: Chute de tension en fonction de la distance	33
Figure III.5: Chute de courant en fonction de la distance	34
Figure 5.1. Schéma d'un réseau test de 9 jeux de barres	35
Figure 5.2 . Variation de la tension – cas normal	40
Figure 5.3. Variation de la tension – cas rupture de la ligne (1-2)	41
Figure 5.4. Variation de la tension en fonction de l'incrément de la charge	45

Liste des Tableaux

Tableau	Page
Tableau II.1: Classification des principaux types de FACTS	13
Tableau 3-5 : Les avantages et inconvénients des types de génératrices les plus utilisées dans la génération de l'énergie éolienne	15
Tableau I.1 Applications typiques de l'hydraulique.	26
a. Tableau (V-1): Résultats des tensions du réseau électrique –cas normal - Méthode de GAUSS-SEIDEL-	39
b- tableau (V-2): Résultats des tensions du réseau électrique –cas rupture de la ligne (1-2)	41
c-1-(tableau VI.3.a) cas sans compensation	42
c-2-(tableau VI.3.b) cas avec compensation	43
d-(tableau VI.4.) cas de l'augmentation de la charge avec :20 % , 100%	44

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'optimisation de la puissance électrique dans un réseau électrique est un domaine crucial pour garantir une distribution efficace, fiable et économique de l'électricité.

Ce processus vise à maximiser l'utilisation des ressources disponibles tout en minimisant les pertes énergétiques et en assurant la stabilité du réseau.

À mesure que les réseaux électriques deviennent plus complexes et que les demandes en énergie augmentent, l'optimisation de la puissance électrique devient de plus en plus importante. Cela implique l'utilisation de techniques avancées telles que l'analyse de données en temps réel, l'utilisation de modèles mathématiques complexes, et le déploiement de technologies intelligentes pour surveiller, contrôler et ajuster les flux de puissance à travers le réseau.

Les principaux objectifs de l'optimisation de la puissance électrique comprennent la minimisation des pertes de puissance, l'équilibrage de la charge sur les lignes et les transformateurs, la réduction des congestions dans le réseau, et l'optimisation de la production d'énergie pour répondre à la demande tout en respectant les contraintes opérationnelles et réglementaires.

En adoptant une approche intégrée et en utilisant des outils d'analyse et de gestion avancés, les opérateurs de réseau peuvent améliorer l'efficacité énergétique, réduire les coûts d'exploitation, et renforcer la résilience du réseau électrique face aux perturbations et aux fluctuations de la demande.

les réseaux électriques doivent évoluer pour répondre à ces nouveaux défis. L'optimisation implique de maximiser l'efficacité de la production, de la transmission et de la distribution de l'électricité tout en minimisant les pertes et les coûts. Cela passe par l'utilisation de technologies avancées, telles que les réseaux intelligents, les systèmes de gestion de l'énergie, et les dispositifs de stockage. En améliorant la gestion des flux d'énergie et en équilibrant en temps réel l'offre et la demande, l'optimisation contribue non seulement à réduire l'empreinte carbone, mais aussi à renforcer la résilience et la flexibilité du réseau électrique face aux perturbations et aux fluctuations de la demande.

Chapitre 01

*générales an les lignes
électriques à haute tension*

générales an les lignes électriques à haute tension

I.1.Introduction :

Les lignes électriques à haute tension jouent un rôle essentiel dans la transmission efficace de l'électricité sur de longues distances. Voici une introduction générale à leur fonctionnement et à leur importance :

1. ****Définition et Fonctionnement : **** Les lignes électriques à haute tension transportent de grandes quantités d'électricité sur de longues distances, généralement entre les centrales électriques et les zones de consommation. Elles fonctionnent en utilisant des tensions élevées, généralement supérieures à 100 000 volts (100 kV), pour minimiser les pertes d'énergie pendant le transport.
2. ****Structure : **** Les lignes à haute tension sont généralement soutenues par de hautes tours en métal ou en béton, souvent espacées de plusieurs kilomètres. Les câbles conducteurs sont généralement faits d'aluminium ou d'acier recouvert de conducteurs en cuivre.
3. ****Isolation : **** En raison des tensions élevées, une isolation adéquate est essentielle pour éviter les pertes d'énergie et les courts-circuits. Les câbles sont souvent enveloppés dans des matériaux isolants tels que le polyéthylène réticulé (XLPE) ou l'huile minérale dans les câbles souterrains.
4. ****Importance : **** Les lignes à haute tension permettent de transporter l'électricité des sources de production, telles que les centrales électriques, vers les zones de consommation, y compris les villes et les zones industrielles. Elles facilitent également l'intégration des énergies renouvelables, comme l'éolien et le solaire, en transportant l'électricité produite dans des régions éloignées vers les zones où elle est nécessaire.
5. ****Sécurité : **** En raison des tensions élevées impliquées, les lignes à haute tension présentent des dangers potentiels pour la sécurité. Des mesures strictes de sécurité, telles que l'installation de panneaux d'avertissement et la formation du personnel, sont mises en place pour minimiser les risques pour les travailleurs et le public.

En résumé, les lignes électriques à haute tension jouent un rôle vital dans la distribution efficace de l'électricité, en permettant le transport à grande échelle sur de longues distances, ce qui contribue à maintenir l'alimentation électrique dans nos sociétés modernes.

I.2Définition des lignes électriques à haute tension :

Les **lignes à haute tension** sont les lignes principales des réseaux de transport d'électricité. Elles peuvent être aussi bien aériennes que souterraines ou sous-marines, quoique les professionnels réservent plutôt le terme aux liaisons aériennes. Elles servent au transport sur les longues distances de l'électricité produite par les diverses centrales électriques, ainsi qu'à l'interconnexion des réseaux électriques.

Pourquoi utiliser de haute tension

Le choix d'utiliser des lignes à haute tension s'impose, dès qu'il s'agit de transporter de l'énergie électrique sur des distances supérieures à quelques kilomètres. Le but est de réduire les chutes de tension en ligne, les pertes en ligne, et également d'améliorer la stabilité des réseaux.

Il est à noter que les pertes en ligne sont dues à l'effet Joule, qui ne dépend que de deux paramètres : la résistance et le courant ($P = R.I^2$). L'utilisation de la haute tension permet, à puissance transportée équivalente, de diminuer le courant, et donc les pertes. Par ailleurs, pour diminuer la résistance, il n'y a que deux facteurs, la résistivité des matériaux utilisés pour fabriquer les câbles de transport et, de la section de ces câbles. À matériaux de fabrication et section équivalents, les pertes sont donc égales, en principe, pour les lignes aériennes et pour les lignes souterraines. [1]

I.3.1. Avantages des lignes électriques à haute Tension :

*Sont moins coûteuses que les câbles souterraines au point de vue des frais d'installation et de réparation.

*permettent une surveillance aisée de leur état et un repérage facile des accidents et défauts.*peuvent être réparées très rapidement en cas d'accident ou de défaut.

* peuvent être sur chargées en intensité de courant sans trop de danger. [2]

I.3.2. Inconvénients des lignes électriques à haute Tension :

*Sont exposées aux surtensions d'origine atmosphérique.

- leur installation donne lieu à de difficiles discussions avec les propriétaires des terrains surplombés.
- soulèvent des problèmes d'esthétique et de respect des sites.
- sont susceptibles d'induire des forces électromotrices perturbatrices ou dangereuses dans les circuits de télécommunication.
- sont susceptibles de produire des perturbations radioélectriques gênant les réceptions de radiodiffusion et de télévision.
- la rupture de leurs conducteurs est susceptible de présenter des dangers pour les personnes, les animaux.
- *Selon certains scientifiques, les champs électriques et magnétiques peuvent exercer une influence néfaste sur la santé. [2]

I.4.1. Classification des lignes électriques à haute Tension :

Les installations électriques à haute tension comprennent toutes les installations alimentées sous une tension supérieure à 1 000 V en courant alternatif et à 1 500 V en courant continu.

La réglementation française subdivise le domaine de la **haute tension** en deux domaines HTA et HTB. Dans le cadre de l'harmonisation européenne, il a été décidé d'appeler **moyenne tension** (MT) les tensions au plus égales à 35 kV, ce qui correspond au domaine de la distribution.

Les installations HT peuvent être, en pratique, divisées en deux groupes répondant à des règles de conception et de mise en œuvre différentes .

les **postes**, qui assurent les fonctions de livraison, de répartition, de distribution et de transformation . [3]

les **installations** proprement dites, qui, à partir des postes, distribuent l'énergie électrique aux consommateurs qui peuvent être soit d'autres postes, soit des appareils tels que des moteurs, des fours, des chaudières...). [3]

I.5.1. Le rôle des lignes électriques à haute Tension dans les réseaux électriques :

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

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

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

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

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

à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence. [4]

I.6.1. Installation de lignes électriques à haute Tension dans les réseaux électriques :

Les installations électriques à haute tension comprennent toutes les installations dont la tension est supérieure à 1 000 V en courant alternatif et à 1 500 V en courant continu. RTE (Réseau de Transport d'Électricité) utilise des tensions de 225 et de 400 kV pour le transport de l'énergie sur les grandes distances mais également des tensions intermédiaires de 63 et 90 kV.

Dans cet article, nous allons traiter plus particulièrement des **installations de tensions 20 kV**, tension retenue en France pour le réseau de distribution publique d'un courant inférieur à 630 A.

Les tensions 3 et 5,5 kV sont consacrées à l'éclairage public. Les tensions 5,5 et 6,6 kV sont consacrées à l'alimentation de moteurs. La tension 11 kV est consacrée à la distribution, notamment dans le domaine maritime. D'autres tensions du domaine HTA sont aussi exploitées pour la distribution publique : 10 kV, 13,2 kV, 15 kV, 30 kV. Elles sont en voie de disparition en France mais toujours courantes dans d'autres pays.

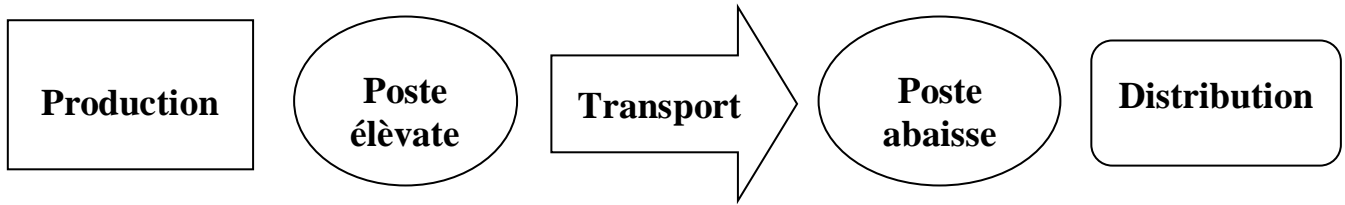
Les industries grandes consommatrices peuvent être alimentées directement à partir du réseau de transport sous des tensions allant jusqu'à 225 kV. [5]

I.6.2. L'importance des lignes électriques dans le réseau électrique :

Le réseau de distribution moyenne tension commence à partir du poste source HT/MT d'où partent plusieurs départs MT constitués d'un ensemble de conducteurs et d'appareils de coupure qui alimentent les charges moyenne tension ou les postes de distribution publique (MT/BT). Ce type de poste est constitué d'un transformateur (T1) alimenté par une ligne HT (HT1). Avec l'augmentation des charges à desservir, on peut y adjoindre un deuxième (T2), puis, en stade final, un troisième transformateur (T3) généralement en double attache. [6]

I.6.2.1 Description des réseaux électriques :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble. [7]



FigureI.1: Schéma d'un réseau électrique [7]

I.6.2.2.Les niveaux de tensions :

LanouvellenormeenvigueurenFranceUTE C18-510définitlesniveauxdetension alternative comme suit :

- **HTB**→pourunetensioncomposéesupérieureà50 kV
- **HTA**→ pour une tension composée comprise entre 1 k v et 50 kV
- **BTB**→pour une tension compose comprise entre 500 Vet 1 kV
- **BTA**→ pour une tension compose compriseentre50 Vet 500 V
- **TBT**→ pour une tension compose inférieureouégaleà50 V

LesnotationsdelanormeCEI38serontparfoisutiliséesdanscedocumentavecles définitions suivantes :

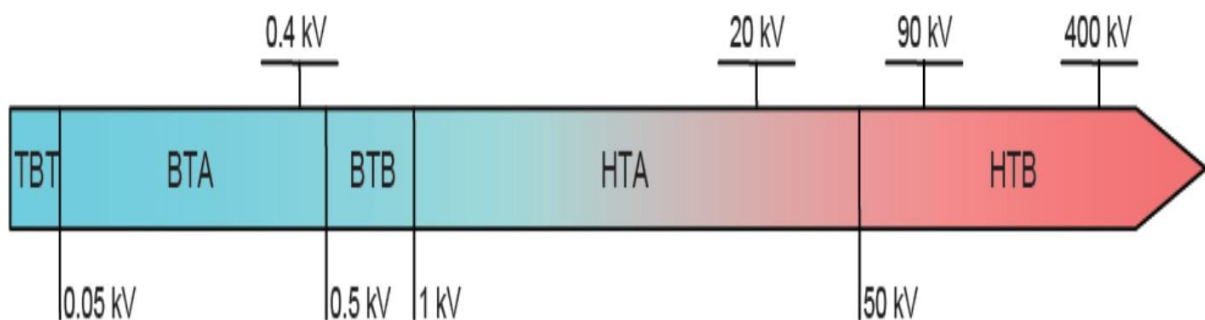
- **HT** pour une tension composée compriseentre35kV et220kV

Les valeurs normalisées sont:45 kV -66kV-110kV -132 kV-150kV-220kV

- **MT** pourunetensioncomposéecompriseentre1000 Vet35 kV

Les valeurs normalisées sont:3,3kV -6,6kV-11kV-22kV-33kV

- **BT** pour une tension composée comprise entre 100 V et 1000 V Les valeurs normalisées sont :400V-690V-1000V(à50Hz) [7]



FigureI.2: Niveaux de tension normalisés [7]

I.7. Conclusion :

Les lignes électriques à haute tension jouent un rôle crucial dans la distribution d'électricité à grande échelle, reliant les centrales de production aux zones de consommation. Elles sont essentielles pour assurer la fiabilité et l'efficacité du réseau électrique, permettant le transport de grandes quantités d'énergie sur de longues distances avec des pertes minimales.

Les avantages des lignes à haute tension incluent la réduction des pertes énergétiques grâce à l'augmentation de la tension, ce qui diminue le courant pour une même puissance transmise, et par conséquent, réduit les pertes par effet Joule. De plus, elles permettent une meilleure gestion du réseau et une intégration plus facile des énergies renouvelables, souvent produites loin des centres de consommation.

Cependant, elles posent également des défis. Les coûts d'installation et de maintenance sont élevés, et elles peuvent avoir des impacts environnementaux et visuels significatifs. Les lignes à haute tension peuvent également être sources de controverses en raison des préoccupations concernant les champs électromagnétiques et les effets potentiels sur la santé.

En conclusion, malgré les défis et les préoccupations, les lignes électriques à haute tension restent indispensables pour le fonctionnement efficace et durable des réseaux électriques modernes. Leur développement continu et leur optimisation sont nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques croissants et aux objectifs de transition énergétique vers des sources plus durables.

Chapitre 02

Compensation de ligne électrique

Compensation de ligne électrique :**II.1. INTRODUCTION :**

De manière générale, les dispositifs FACTS agissent en fournissant ou en absorbant de la puissance réactive, en augmentant ou en réduisant la tension aux jeux de barres, en contrôlant l'impédance des lignes ou en modifiant les phases des tensions [3]. Ce chapitre est consacré aux effets de dispositifs FACTS et de sources renouvelables dans un réseau électrique. Le but principal est de répondre aux questions suivantes: Que peuvent apporter les FACTS et la source renouvelable dans la conduite d'un réseau électrique? Quelles doivent être leurs caractéristiques (types de dispositifs, puissances,... etc.)?

Le câblage électrique est un aspect fondamental de l'infrastructure moderne, indispensable pour le fonctionnement des bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels. Il consiste à installer des conducteurs électriques et des équipements connexes afin de distribuer l'électricité de manière sûre et efficace. Cette introduction abordera les concepts de base, les types de câbles utilisés, les normes de sécurité, et les considérations environnementales et économiques.

II.2. Concepts de Base

Le câblage électrique implique la connexion de différents composants du système électrique, tels que les interrupteurs, les prises, les luminaires, les tableaux de distribution et les appareils électroménagers. Les principaux éléments comprennent :

1. ***Conducteurs*** : Généralement en cuivre ou en aluminium, ils transportent le courant électrique.
2. ***Isolants*** : Matériaux entourant les conducteurs pour prévenir les courts-circuits et les décharges électriques.
3. ***Connexions*** : Points de jonction entre différents segments de câblage, comme les bornes et les connecteurs.
4. ***Protection*** : Dispositifs tels que les disjoncteurs et les fusibles qui coupent le courant en cas de surcharge ou de court-circuit.

Types de Câbles

Il existe plusieurs types de câbles électriques, chacun conçu pour des applications spécifiques:

1. ***Câble non métallisé (NMC)*** : Utilisé dans les installations résidentielles pour le câblage général.
2. ***Câble armé (BX)*** : Utilisé dans les environnements où une protection mécanique supplémentaire est nécessaire.
3. ***Câble souterrain (UF)*** : Conçu pour être enterré directement dans le sol.

4. *Câble coaxial et câble à fibres optiques* : Utilisés pour les transmissions de données et les communications normes de Sécurité

Le câblage électrique doit respecter des normes strictes pour garantir la sécurité des installations et des utilisateurs. Ces normes varient selon les pays, mais incluent généralement:

1. *Normes NF C 15-100 (France)* : Régissent les installations électriques dans les bâtiments résidentiels et les petites entreprises.
2. *National Electrical Code (NEC) (États-Unis)* : Fournit des directives détaillées pour les installations électriques sécurisées.
3. *Réglementations locales* : Chaque région peut avoir des exigences spécifiques supplémentaires.

II.2.1. Types des dispositifs FACTS :

La technologie FACTS n'est pas limitée par un seul dispositif mais elle regroupe une collection de dispositifs à base de l'électronique de puissance implantés dans les réseaux électriques afin de mieux contrôler le flux de puissance et augmenter la capacité de transit de leurs lignes. Par action de contrôle rapide de ces systèmes sur l'ensemble de paramètres du réseau: tension, impédance, déphasage ...etc. ils permettent d'améliorer les marges de stabilité et assurer une meilleure flexibilité du transfert d'énergie. Le tableau II.1 représente la classification des dispositifs de compensation FACTS :

Tableau II.1: Classification des principaux types de FACTS. [11]

Dispositif FACTS (électronique de puissance)		Commande conventionnelle (électromécanique)	
À base de convertisseurs de tension (GTO, IGCT ou IGBT)	À base de thyristors	RLC, transformateurs	
STATCOM	SVC	Compensateur shunt (L ou C): MSC ou MSR	Dispositif shunt
SSSC	TCSC, TCSR (moins courant)	FSC	Dispositif série
UPFC	IPFC	Transformateurs déphaseur (PST)	Dispositif hybride
HVDC Back-to-Back VSC	HVDC Back-to-Back LCC		Autres Dispositif hybride

II.3.1. Modèles de SVC et TCSC dans l'écoulement de puissance

II.3.2. Modèles de SVC (Static Var Compensator) :

Dans la pratique, il y a plusieurs modèles de SVC, le modèle défini par (Conférence Internationale des Grandes Réseaux Electrique) considère le SVC comme un générateur synchrone qui ne produit aucune puissance active, identique à un condensateur synchrone en parallèle avec une réactance inductive. Le jeu de barres au point de raccordement est comme un jeu de barres PV bus, devient PQ bus quand le SVC fonctionne à sa limite. [12]

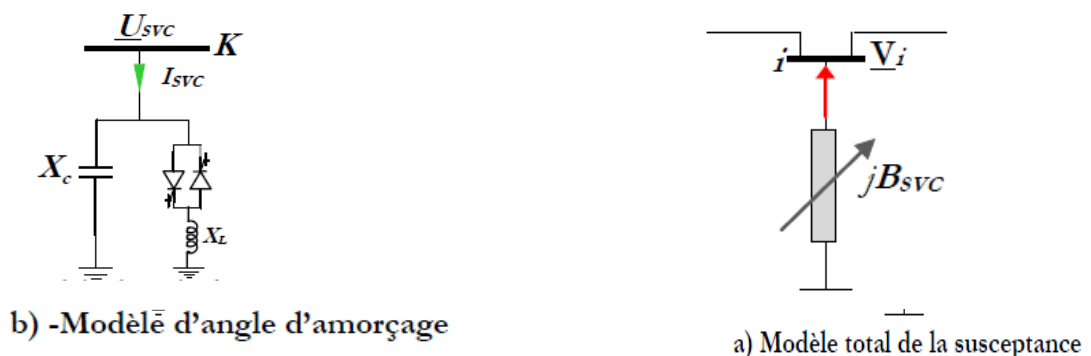


Figure II.7 : Le Modèle de SVC [13]

II.3.3.Modèles de TCSC (Thyristors Controller Séries Capacité) :

Constitué d'une inductance en série avec un gradateur et l'ensemble en parallèle avec Une capacité

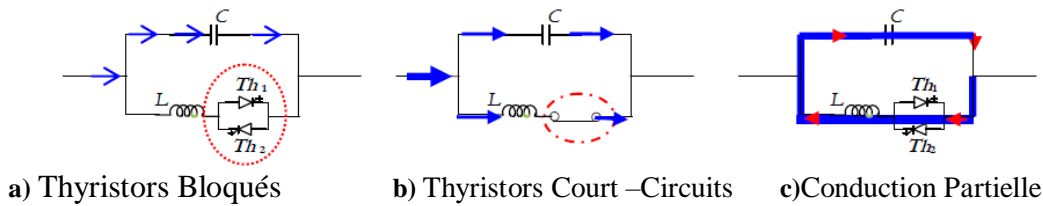


Figure II.11 :Le Modèle de TCSC [14]

Le TCSC placé en série dans une ligne de transport permet de contrôler le flux de puissance et d'élever la capacité de transfert des lignes en agissant sur la réactance qui varie selon l'angle de retard à l'amorçage des thyristors . [15]

II.4.1.Installations d'énergie renouvelable utilisées pour améliorer l'énergie électrique :

L'unité de stockage d'énergie est définie par son énergie, la capacité, le rendement de charge (et de décharge), la puissance de charge, et la puissance de décharge. L'intégration de moyens des tockage aux systèmes électriques nécessite l'étude de ses caractéristiques. Dans cette partie, on essaie de partir de structure générale de l'unité de stockage.

L'unité de stockage dans le système électrique comprend trois parties (voir figure 3) [7],[8]: centre de stockage,

- Système de transformation de puissance, - Système de contrôle et de surveillance des équipements pendant la charge-décharge

Principe des moyens de stockage d'énergie Dans ces dernières années, un grand nombre de systèmes de stockage d'énergie pour l'énergie électrique ont été développés. Les systèmes les plus fréquemment utilisées sont montrés à la figure 4. Ils peuvent être divisés en stockage indirect en utilisant un milieu intermédiaire et de stockage direct comme le stockage dans le champ magnétique ou électrique

Techniques de stockage à moyenne et faible échelles dont les usages peuvent également servir le réseau, mais aussi la production décentralisée pour de nombreuses applications. Ces techniques comprennent le stockage sous forme mécanique (volants d'inertie), sous forme électrochimique (accumulateurs et super condensateurs), sous forme magnétique, ou sous forme d'air comprimé ou d'hydrogène (piles à combustible)

Techniques de stockage à grande échelle dont les usages peuvent être utilisés par un gestionnaire de réseau. Ces techniques comprennent le stockage : sous forme d'énergie

gravitaire (systèmes hydrauliques), sous forme d'énergie thermique, sous forme d'énergie de pression (air comprimé), sous forme chimique (batteries chimiques [15])

II.4.2. Types de Machines Electriques utilisées dans les éoliennes :

Différents types de machines électriques peuvent être utilisés pour la génération de puissance éolienne à savoir:

- Asynchrones : à cage d'écureuil, à rotor bobiné ou à double alimentation;
- Synchrones : à rotor bobiné ou à aimant permanent;
- Autres types de génératrices : générateur à haute tension, à reluctance variable ou à flux transversal.

Nous présentons dans le tableau (3,5) les avantages et les inconvénients relatifs à chaque type de génératrices. Ce tableau permettra, selon les besoins et les moyens, de faire un choix lors de la Conception. Au-delà, des facteurs techniques et économiques fixent le type de machine pour chaque application.

Tableau 3-5 : Les avantages et inconvénients des types de génératrices les plus utilisées dans la génération de l'énergie éolienne

		Avantages	Inconvénients
Générateur Asynchrone	A rotor bobiné	- Glissement variable pour minimiser les fluctuations des couple et puissance (causées par les rafales) - Simple - Fiable - Ne nécessite pas de bagues (commande optique)	- Nécessite un système de compensation de la puissance réactive - Variation de la vitesse limitée (dépend des variations de la résistance ajoutée) - Pertes d'énergie dans la résistance - Commande en puissance insuffisante
	Double alimentation	- Différence de fréquences (mécanique - électrique) compensée par le convertisseur - Contrôle des puissances active et réactive séparément - Peut être magnétisée par le réseau électrique ou par son propre rotor - Peut générer sa propre puissance réactive	- Coût élevé - La machine doit produire de la puissance réactive en cas de défaut de fonctionnement - La gamme des vitesses dépend de l'investissement économique au dépend de l'efficacité - Nécessite l'utilisation des bagues

Générateurs synchrones	A rotor bobiné	- Ne nécessite pas la compensation de la puissance réactive - Possibilité de se passer de la boîte à vitesse (grâce à l'augmentation du nombre de pôles)	- Chère - Volumineuse par rapport à une génératrice synchrone de même puissance - Nécessite un convertisseur pour gérer toutes les plages de puissances
	A aimant permanent	- Excitation indépendante - Grande efficacité - Grand facteur de puissance - Génération de la puissance à n'importe quelle vitesse	- Matériau aimant permanent cher et difficile à travailler - Nécessité de système de commande sur une large plage de puissance - Nécessite le refroidissement de l'aimant permanent qui perd ses propriétés avec l'augmentation de température

II .4.3. Intégration de l'Energie Eolienne dans les réseaux électriques :

Au cours de ces années, les réseaux électriques ont vu un changement élémentaire de types de générations comme le remplacement d'un grand nombre de centrales pour des raisons de vieillissement. Par conséquent, dans cette situation l'intégration de la production d'énergie renouvelable dans les réseaux électriques est devenue fondamentale pour aborder avec succès le changement climatique et les préoccupations de sécurité énergétique. En outre la production est cofinancée par des prix fixes à des niveaux élevés pour les différentes sources d'énergie renouvelable (RPS). Ces prix sont indépendants du niveau de pénétration des (RPS) dans le réseau.

D'autre part, les opérateurs des réseaux sont tenus par la loi pour assurer une production d'énergie renouvelable illimitée [16] [17].

La production de puissance par de grandes fermes éoliennes est soumise aux différents modèles de générateurs comme le même cas dans les centrales conventionnelles telles que les centrales thermiques, turbines à gaz ou les centrales hydroélectriques. Trois problèmes majeurs doivent être résolus pour

l'intégration de grandes fermes d'éoliennes dans le système de transport:

- la puissance de sortie des turbines éoliennes dépend des conditions météorologiques et peut être intermittente;
- Un niveau plus élevé de la réserve de puissance que nous devons fournir;
- Des capacités de transmission appropriées doivent être créées pour que la puissance atteigne aux centres des charges.

De plus, la croissance rapide de la pénétration éolienne dans les réseaux de puissance présente aussi un nouveau défi pour les opérateurs des grands systèmes électriques. La production des parcs éoliens varie en permanence avec le temps, mais le réseau doit maintenir un équilibre constant entre la production et la demande. De nombreuses études sont menées pour connaître les effets de cette énergie stochastique sur la régulation et la stabilité des tensions du réseau. Le but est alors d'informer les opérateurs et les planificateurs des réseaux pour leur faire connaître le réel impact associé à cette augmentation de la présence de l'énergie éolienne [48]. La source d'énergie éolienne se diffère sur les sources d'énergie conventionnelles de trois façons principales: le facteur de vent, l'emplacement des ressources, et les machines électriques utilisées. L'emplacement des ressources justifié par les zones fortes de puissance de vent, et le choix des machines électriques dépendent à des facteurs techniques et économiques.

Actuellement, le modèle du générateur éolien le plus utilisé est le générateur à vitesse variable (aérogénérateurs), puisqu'il est capable de générer sa propre puissance réactive. Les principaux avantages de la production d'énergie éolienne à vitesse variable sont :[48]

- La capacité de commander la puissance réactive et, de cette façon, de découpler la commande des puissances active et réactive; [18]

- Le générateur peut se magnétiser à partir du rotor sans prélever au réseau la puissance réactive nécessaire; - Il est capable d'échanger de la puissance réactive avec le réseau pour faire la commande de tension.

Une machine asynchrone à double alimentation est une machine asynchrone dont le stator est relié directement au réseau de puissance et dont le rotor est connecté à un convertisseur de type source de tension (VSC) en « back-to-back », qui fait office de variateur de fréquence. La double alimentation fait référence à la tension du stator prélevée du réseau et à la tension du rotor fournie par le convertisseur. Ce système permet un fonctionnement à vitesse variable sur une plage spécifique de fonctionnement. Le convertisseur compense la différence des fréquences mécanique et électrique par l'injection d'un courant à fréquence variable au rotor. Dans ce contexte, la puissance mécanique qui peut être extraite du vent se détermine au moyen de l'expression suivante:

$$P_g = \begin{cases} 0 & V < V_D \\ \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^3 \cdot C_P(\lambda, \beta) & V_D \leq V \leq V_N \\ P_N & V_D \leq V \leq V_N \\ 0 & V > V_A \end{cases}$$

ρ : est la masse volumique de l'air ; S : la surface balayée par la turbine;

V : la vitesse du vent;

C_P : le coefficient de puissance, correspondant au rendement aérodynamique de la turbine

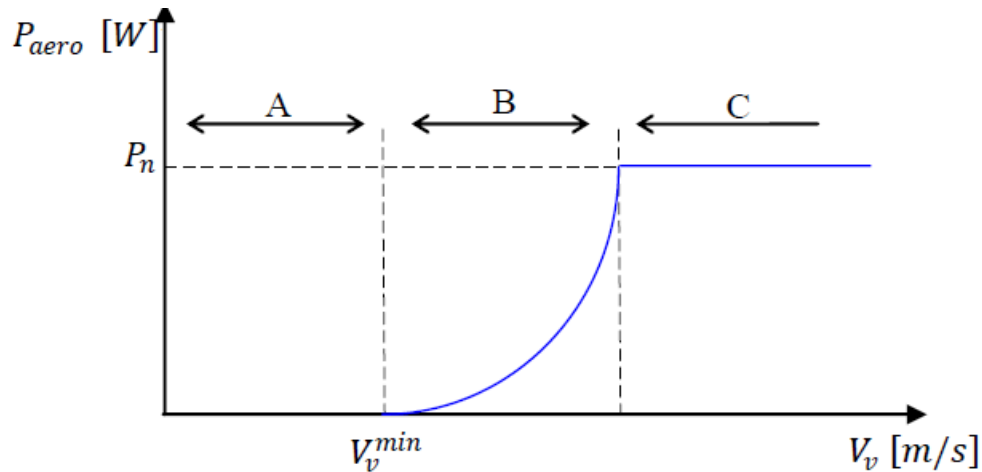
V_D : la vitesse critique du vent;

V_A : la vitesse de décrochage;

$\lambda = R\omega / V$: ratio de vitesse;

R : est le rayon de la turbine et ω la vitesse mécanique de la turbine;

β : est l'angle d'orientation des pales; La relation (3,33) montre qu'une petite variation de la vitesse du vent induit une grande variation de la puissance générée.



Courbe typique de puissance en fonction de la vitesse du vent

- la zone A, où $P_{turbine}=0$ (la turbine ne fournit pas de puissance);
- la zone B, dans laquelle la puissance fournie sur l'arbre dépend de la vitesse du vent V_v ;
- la zone C, où généralement la vitesse de rotation est maintenue constante par un dispositif de régulation et où la puissance $P_{turbine}$ fournie reste sensiblement égale à P_n .

De plus la puissance mécanique captée par la turbine est donnée par l'équation suivante: [19]

$$P_m = \frac{\pi}{2} \cdot \rho \cdot R^2 \cdot C_p \lambda \cdot V^3$$

Et comme nous l'avons mentionné déjà, que la machine asynchrone doublement alimentée peut produire et / ou absorber de la puissance réactive et donc réguler leur facteur de puissance apparent. La puissance réactive générée à la sortie de la turbine éolienne peut être calculée à partir de cette formule ci-dessous:

$$Q_g = \frac{\sqrt{1 - (\cos \phi)^2}}{\cos \phi} P_g$$

II .5.2 Le système photovoltaïque

II.5.2.1 Les composants du système photovoltaïque

II.5.2.1.1 La cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui convertissent la lumière qui arrive du soleil en énergie électrique (courant-tension) par un processus appelé « effet photovoltaïque », cet effet a été découvert en 1839 par E. Becquerel [8]. On peut la réaliser à l'aide des matériaux semi-conducteurs qui dépend à des caractéristiques électriques entre les conducteurs et les isolants.

II.5.2.1.2 Comment fonctionner une cellule photovoltaïque ?

Un photon (particule de lumière) dont l'énergie est suffisante et heurtant un atome peut arracher un électron. Il crée ainsi une paire électron-trou. L'électron ayant acquis suffisamment d'énergie peut se déplacer vers la jonction N/P, où la présence du champ électrique a pour conséquence la collecte de l'électron vers la région N. Une tension électrique apparaît entre les deux côtés N et P. Le dispositif devient donc générateur électrique sous l'effet de la lumière. La collecte de courant se fait par les contacts métalliques (électrodes). Si ces électrodes sont reliées à un circuit extérieur, un courant circule. Le courant produit par une cellule photovoltaïque est un courant continu. (Figure I.3).

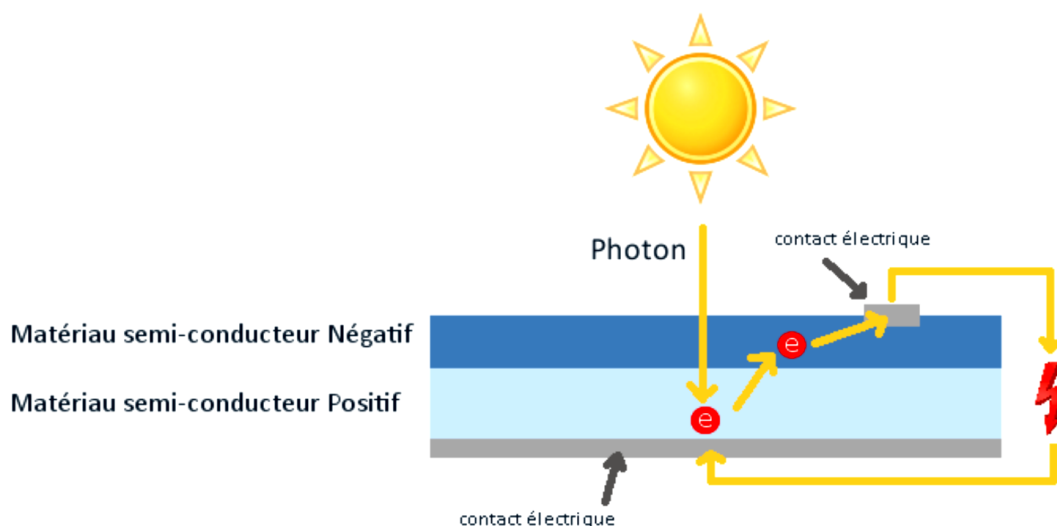


Figure I.3 : Principe de fonctionnement de cellule PV [20]

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des « impuretés ») sont substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée dopage. □□ Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau contiendra des électrons libres en excès : il sera dit de type N (exemple : silicium dopé au phosphore).

□ Si au contraire, l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le silicium, le matériau sera déficitaire en électrons : il sera dit de type P (exemple : silicium dopé au bore) [21].

II.5.2.1.3 Différent technologies des cellules photovoltaïques :

La technologie des cellules PV a été développée à travers trois générations principales : [22]

a) Technologie de la 1ère génération : cellules cristallines :

Les cellules de première génération sont basées sur une seule jonction P-N qui utilisent généralement le silicium sous forme cristalline comme matériau semi-conducteur (Fig. I.4). La méthode de production basée sur les wafers de silicium est très énergivore et donc très chère. Elle nécessite par ailleurs un silicium d'une grande pureté. On différencie également les cellules à base de silicium monocristallin et polycristallin.

a) Technologie de la 2ème génération : couches minces "thin films"

Plus récemment sont apparues les technologies de couches minces, plus fines et dont la part du marché semble promise à une augmentation rapide. Les cellules dites couche mince (Thin-film) constituent ce que certains appellent les cellules de seconde génération car elles font historiquement suite aux cellules en silicium cristallin relativement épaisses. On distingue plusieurs types de cellules couche minces à savoir :

- * Le silicium amorphe (a-si).
- * Le tellure de Cadmium (CdTe) .
- * Le cuivre/indium/sélénium ou cuivre/indium/Gallium/sélénium (CIS ou CIGS).



Figure I.4 : Cellule solaire à base de silicium cristallin

c) Technologie de 3ème génération : multi jonction, concentration :

Elles sont constituées de molécules organiques combinant flexibilité et légèreté. Il y a trois types de ces cellules : les moléculaires, celles en polymères et les organiques hybrides. Ces technologies sont encore au stade de la recherche et de développement.



Figure: Cellule solaire multi jonction

II.6.1. Le générateur photovoltaïque :

Le rassemblement de plusieurs cellules photovoltaïque série et/ou parallèle, disposées en rangées compose un dispositif qui s'appelle un module photovoltaïque. La différence entre ces modules est en fonction de nombre de cellules séries et parallèles rangées selon la technologie. L'interconnexion des modules photovoltaïques soit séries ou parallèles produit un générateur PV qui génère beaucoup plus de puissance. Il s'appelle aussi un champ photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque combine trois connexions principales :

➤ Association en série

Une association de N_{cellule} en série (figure I.7) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant I_{cc} et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

D'après la figure ci-dessus, la formule de tension et de courant peut écrire :

$$V_{\text{coNs}} = N_s * V_{\text{co}} \quad I_{\text{ccNs}} = I_{\text{cc}}$$

V_{coNs} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_{cellules} en série.

I_{ccNs} : Le courant de court-circuit de N_{cellules} en série.

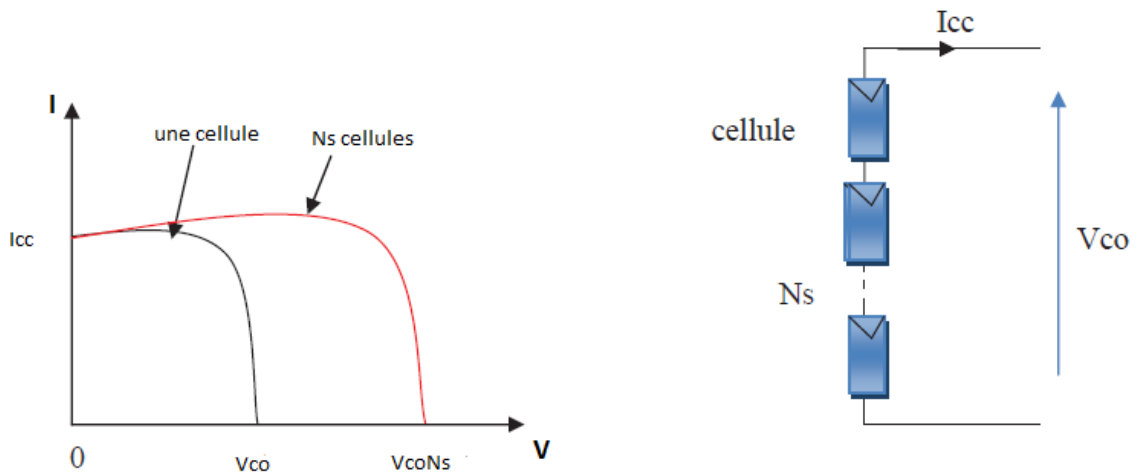


Figure I.7: Caractéristique courant tension de Ns cellule en série

□ □ Association en parallèle

Une association parallèle de (Np) cellule figure (1.5) est possible et permet d'augmenter le courant de sortie du générateur. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. [23]

$$I_{ccNp} = Np * I_{cc} \quad V_{coNp} = V_c$$

I_{ccNp} : La somme des courants de court circuit de (Np) cellule en parallèle.

V_{coNp} : Tension de circuit ouvert de (Np) cellule en parallèle.

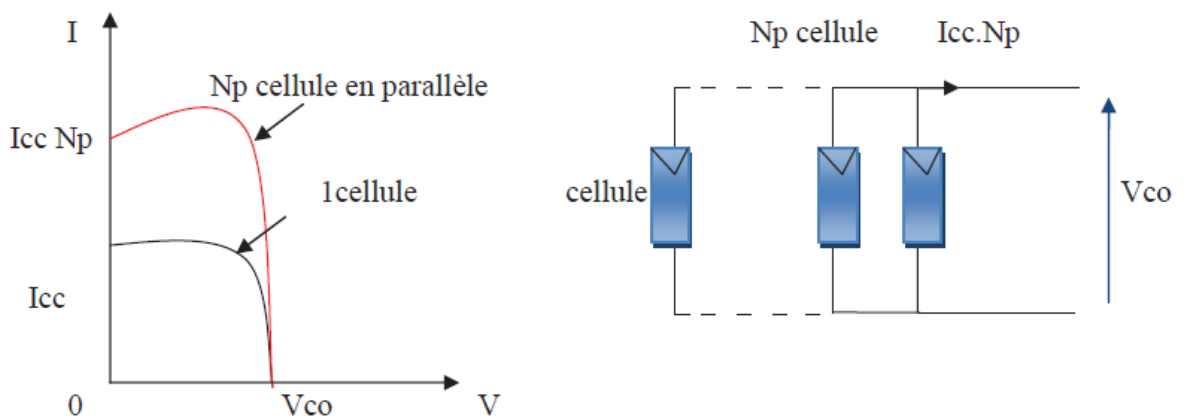


Figure 1.5 : Caractéristique courant tension de (Np) cellules en parallèles [24]

II.6.2. System piles à combustibl :

La tension maximale théorique de cellule d'une pile à combustible est environ 1.23V, sa capacité de courant dépend de la surface cellulaire.

Pour obtenir des niveaux de tension et de courant qui sont bien adapté pour les applications plusieurs piles à combustibles sont reliées en série. Cet ensemble est appelé empilement de pile à combustible nécessité pour son fonctionnement l'ajout de plusieurs appareils auxiliaires destinés à l'alimentation et au conditionnement des gaz, a la gestion de l'humidification de la membrane et au contrôle de la température de fonctionnement du système. [25] La figure suivant présente le système d'une pile à combustible.

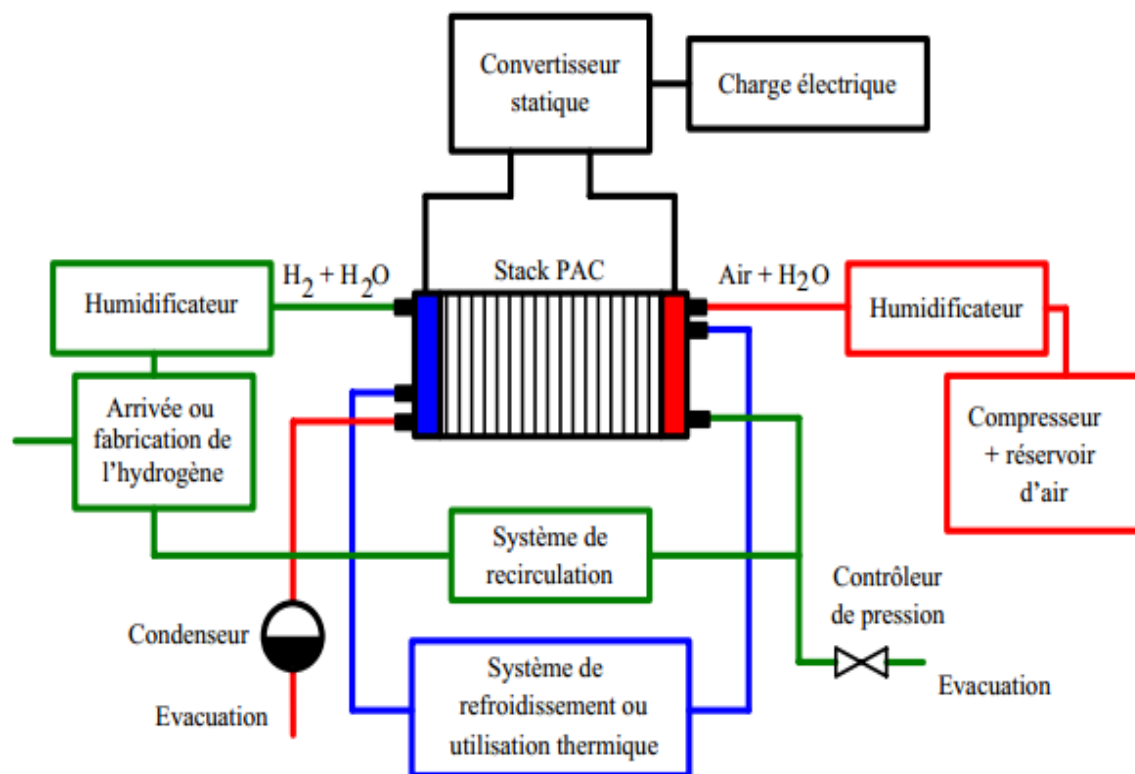


Fig.I.12 système d'une pile à combustible [27].

II.7. Avantages des piles à combustible

Les avantages, sont variés, les plus communs pour les différents types sont suivants :

□□ **Efficacité** : les piles à combustible sont généralement plus efficaces que les

moteurs à combustion à piston ou turbine fondée. Un autre indice pour cela est que les petits systèmes peuvent être tout aussi efficaces que les grands. Ceci est très important dans le cas des petits systèmes locaux de production d'énergie nécessaire à la production combinée de chaleur et systèmes d'alimentation.

□□ **Simplicité** : Les éléments d'une pile à combustible sont très simples, avec peu ou pas de pièces mobiles. Cela peut conduire à une grande fiabilité et à long terme des systèmes

durables.

□□ **Faibles émissions** : Le sous-produit de la réaction principale des piles à combustible, lorsque l'hydrogène est le combustible, est l'eau pure, ce qui signifie qu'une pile à combustible peut être essentiellement «zéro émission». Ceci est Leur principal avantage lorsqu'elles sont utilisées dans les véhicules, puisqu'il ya une exigence de réduction de véhicule émissions, et même de les éliminer dans les villes. Toutefois, il convient de noter que, Actuellement, les émissions de CO₂ sont presque toujours impliqués dans la production d'hydrogène ce qui est nécessaire en tant que combustible.

□□ **Silence** : Les piles à combustible sont très calmes, même ceux qui ont d'importantes transformations au carburant supplémentaire équipement. Ceci est très important tant dans les applications portables que dans les productions combinées locales d'énergie et de chaleur.

II.8. Inconvénients des piles à combustible :

Coût trop élevé de production et de maintenance ;

Les inconvénients associés aux piles à combustible sont liés à leur manque de développement

Durée de vie trop faible ;

Gestion thermique délicate ;

Disponibilité insuffisante de l'hydrogène

II.9.1. Système hydraulique

II.9.2.1. Energie hydraulique :

L'origine de mots hydraulique est issue de la grec que (HYDRAULIKOS) ce sont deux mots (HYDOR) qui signifie l'eau et (AULOS) c'est à dire pipe [26].

Différentes formes d'énergie sont utilisées en hydraulique :

- L'énergie potentielle (par gravité), comme un château d'eau.
- L'énergie cinétique (par vitesse), comme une turbine hydroélectrique.
- L'énergie par pression. C'est cette forme d'énergie qui est utilisée dans les systèmes hydrauliques industriels et mobiles [27].

II.9.2.2 .Applications typiques de l'hydraulique :

Tableau I.1 Applications typiques de l'hydraulique. [10]

Hydraulique industrielle	<ul style="list-style-type: none"> • Machines-outils • Machines de transformation des plastiques • Centrales électriques et nucléaires
Hydraulique mobile	<ul style="list-style-type: none"> • Excavateurs et grues • Machines de construction, agricoles et forestières • Véhicules automobiles, véhicules utilitaires et sur rails
Hydraulique de construction navale	<ul style="list-style-type: none"> Réglages du gouvernail • Grues de bord • Sabords de charge
Hydraulique offshore	<ul style="list-style-type: none"> • Dameuses hydrauliques • Fraiseuses de sol • Equilibrage maritime
Constructions hydrauliques en acier	<ul style="list-style-type: none"> • Equilibrage maritime • Actionnement de ponts • Plateformes élévatrices de bateaux
Technique spéciale	<ul style="list-style-type: none"> • Techniques robotique et de manipulation • Actionnements d'antennes
Hydraulique dans l'aviation	Dépend des conditions particulières du service aérien (servosoupapes)

II.9.3.1. Résumé général sur la ligne de compensation de puissance électrique :

La ligne de compensation électrique, également connue sous le terme de compensation de puissance réactive ou ligne de compensation capacitive, est un dispositif utilisé dans les réseaux électriques pour améliorer la qualité de l'énergie transmise et augmenter l'efficacité des systèmes électriques. Voici une synthèse générale des principales fonctions et avantages de cette technologie: [28]

II.9.3.2.Principe de Fonctionnement :

La ligne de compensation est conçue pour gérer la puissance réactive dans un réseau électrique. La puissance réactive est la composante de l'électricité qui ne fait pas de travail

utile mais est nécessaire pour maintenir les tensions appropriées dans le réseau. Elle est principalement causée par des charges inductives comme les moteurs et les transformateurs.

II.9.4.Types de Compensation :

Compensation Capacitive : Utilise des condensateurs pour fournir de la puissance réactive positive. Elle est couramment utilisée pour compenser les charges inductives.

Compensation Inductive* : Utilise des réactances ou bobines pour absorber la puissance réactive excédentaire générée par des charges capacitatives.

II.10.1.Avantages :

* -Amélioration de la Qualité de l'Énergie* : La compensation réduit les fluctuations de tension et améliore le facteur de puissance, ce qui conduit à une meilleure stabilité du réseau.

* -Réduction des Pertes* : En améliorant le facteur de puissance, les pertes résistives dans les lignes de transmission sont réduites, ce qui diminue la consommation d'énergie globale.

* -Augmentation de la Capacité de Transport* : Avec un meilleur facteur de puissance, la même infrastructure de transmission peut transporter plus de puissance active utile.

* -Réduction des Coûts* : Les entreprises de distribution peuvent éviter des pénalités liées à un facteur de puissance faible et réduire les coûts d'investissement dans de nouvelles infrastructures.

II.10.2.1.Applications Pratiques :

* -Industrielle* : Utilisée dans les usines pour compenser les charges inductives des machines et améliorer l'efficacité énergétique.

* -Réseaux de Distribution* : Les opérateurs de réseaux utilisent la compensation pour maintenir la stabilité et l'efficacité de l'ensemble du réseau électrique.

* -Énergies Renouvelables* : Les parcs éoliens et solaires intègrent des dispositifs de compensation pour gérer les variations de puissance et stabiliser leur production.

II.10.2.2.Technologies Associée :

* -Compensateurs Statique* : Appareils électroniques qui ajustent la quantité de compensation en temps réel.

* -SVC (Static Var Compensator)* : Systèmes sophistiqués qui utilisent des thyristors pour contrôler la quantité de puissance réactive injectée ou absorbée.

* -FACTS (Flexible AC Transmission Systems)* : Ensemble de technologies qui incluent les SVCs et d'autres dispositifs pour améliorer la flexibilité et la fiabilité du réseau électrique

-Coûts Initiaux : L'installation de systèmes de compensation peut nécessiter un investissement initial significatif .Maintenance : Les systèmes de compensation doivent être correctement entretenus pour assurer leur fiabilité et efficacité sur le long terme

.Intégration : Il peut être complexe d'intégrer ces systèmes dans des réseaux électriques existants sans perturber leur fonctionnement [29]

II.11. Conclusion :

La compensation de ligne électrique est essentielle pour optimiser la performance et la fiabilité des réseaux de distribution d'électricité. En gérant efficacement la puissance réactive, ces dispositifs améliorent la qualité de l'énergie, réduisent les pertes dans le système, augmentent la capacité de transport d'électricité et contribuent à des économies substantielles sur les coûts d'exploitation et d'investissement.

Les avantages de la compensation de ligne sont particulièrement pertinents dans le contexte actuel d'intégration croissante des énergies renouvelables, où la stabilité et la flexibilité du réseau deviennent des enjeux critiques. Malgré les coûts initiaux et les défis d'intégration, les bénéfices à long terme en font une solution précieuse pour les opérateurs de réseaux et les industries consommatrices d'électricité.

En somme, la compensation de ligne électrique représente une avancée technologique significative qui soutient la transition vers des réseaux électriques plus durables et efficaces, répondant ainsi aux exigences croissantes en matière de stabilité et de qualité de l'énergie.

Chapitre 03

Simulation et résultat

Simulation et résultat :

III.1. INTRODUCTION :

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

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

III.2.1. Caractéristiques de la ligne :

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

$s=547.11 \text{ mm}^2$; $d_c=26.4 \text{ mm}$; $r_{20^\circ\text{C}}=0.103 \Omega/\text{Km}$; $x_0=0.405 \Omega/\text{Km}$;
 $b_0=2.57 \cdot 10^{-6} \text{ Siemens/Km}$; $L=200 \text{ Km}$ [30]

III. 3.1. Interface graphique :

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

L'interface permet d'évaluer :

- * La tension d'entrée et le courant d'entrée en fonction de la température
- * La tension d'entrée et le courant d'entrée en fonction de la distance. [30]

II. 3.2. Organigramme de calcul :

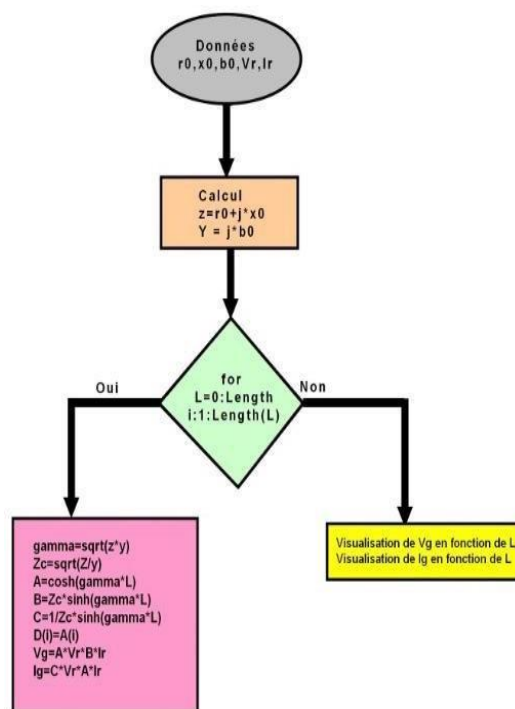


Figure III.1: Organigramme de calcul de tension et courant d'entrée en fonction de la Distance [31]

III .3.3.Résultats :

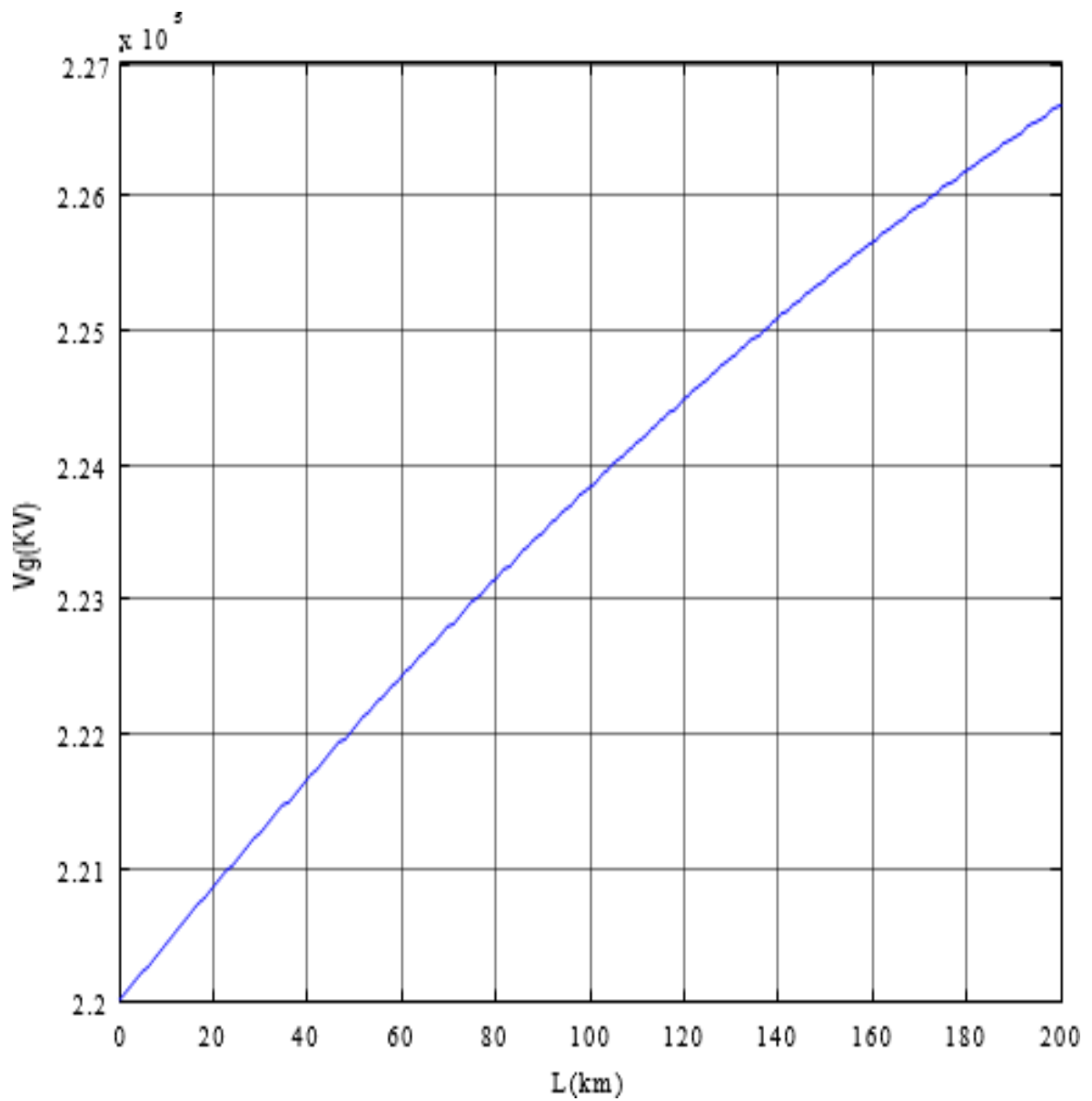


Figure III.2: Tension d'entrée de la ligne en fonction de la distance [31]

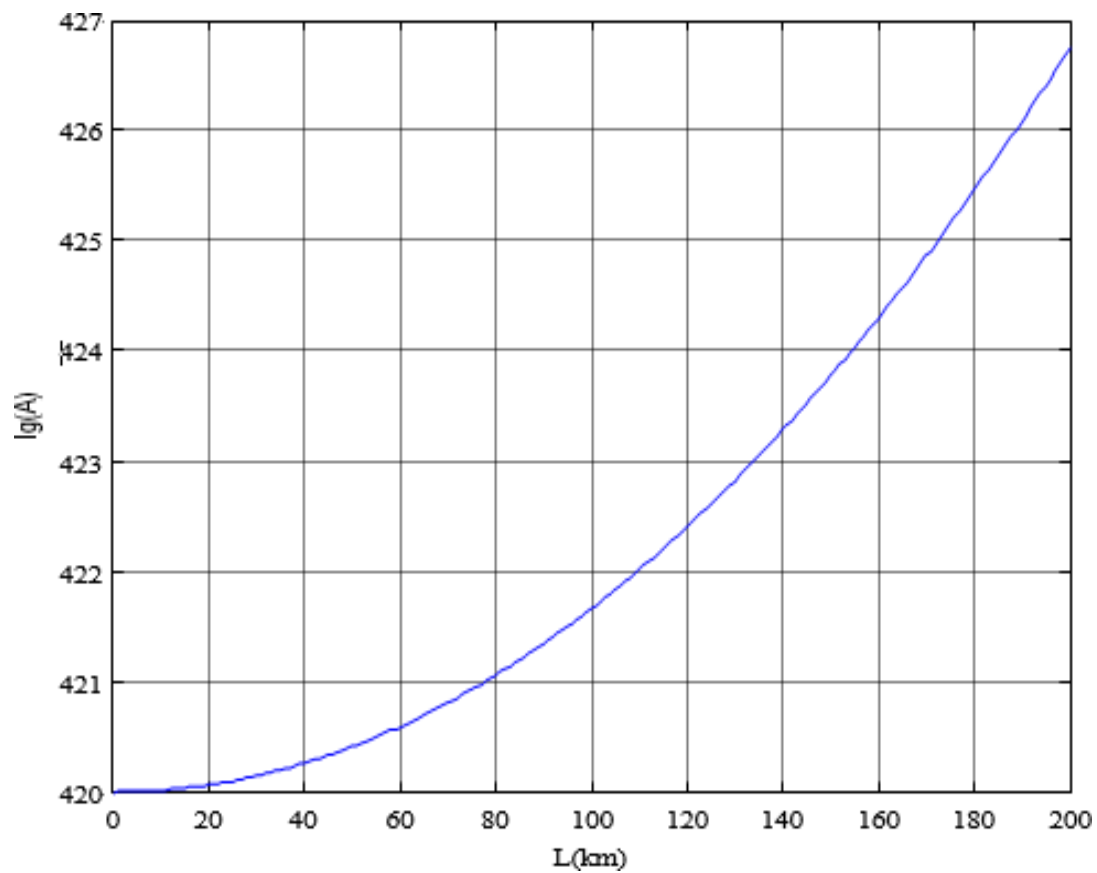


Figure III.3: Courant d'entrée de la ligne en fonction de la distance [31]

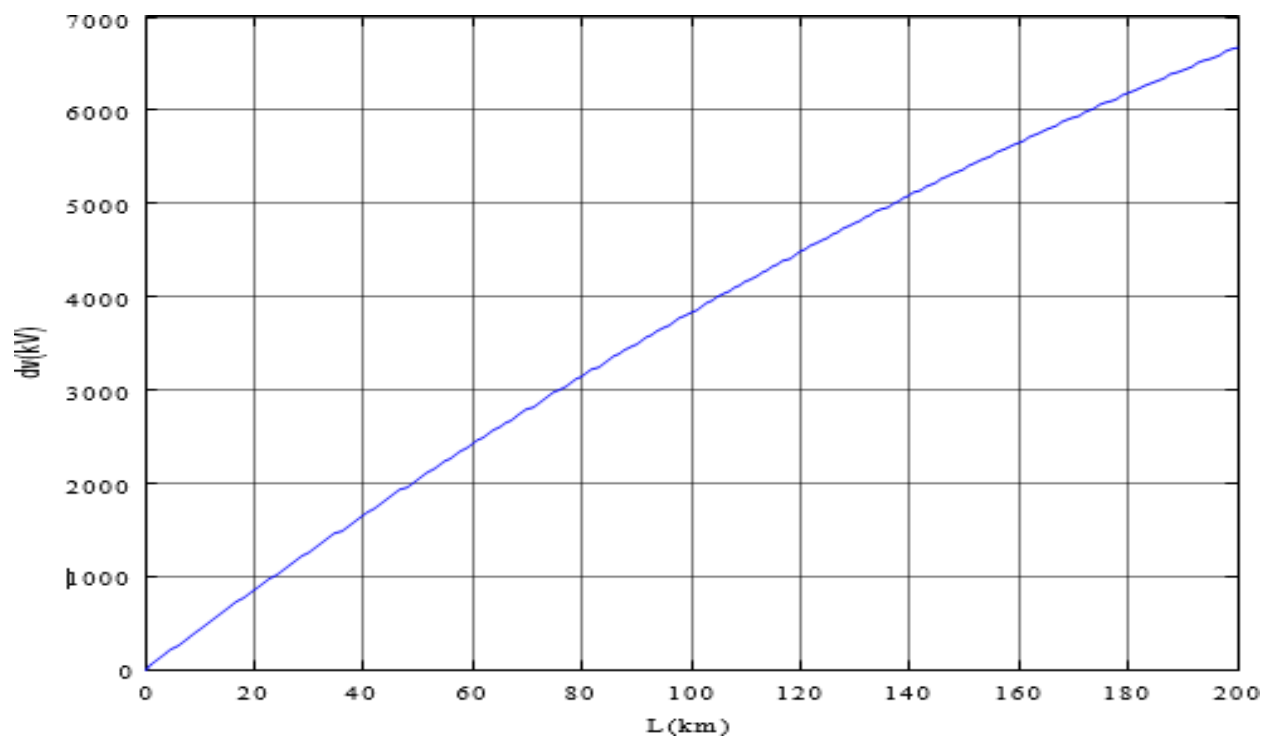


Figure III.4: Chute de tension en fonction de la distance [31]

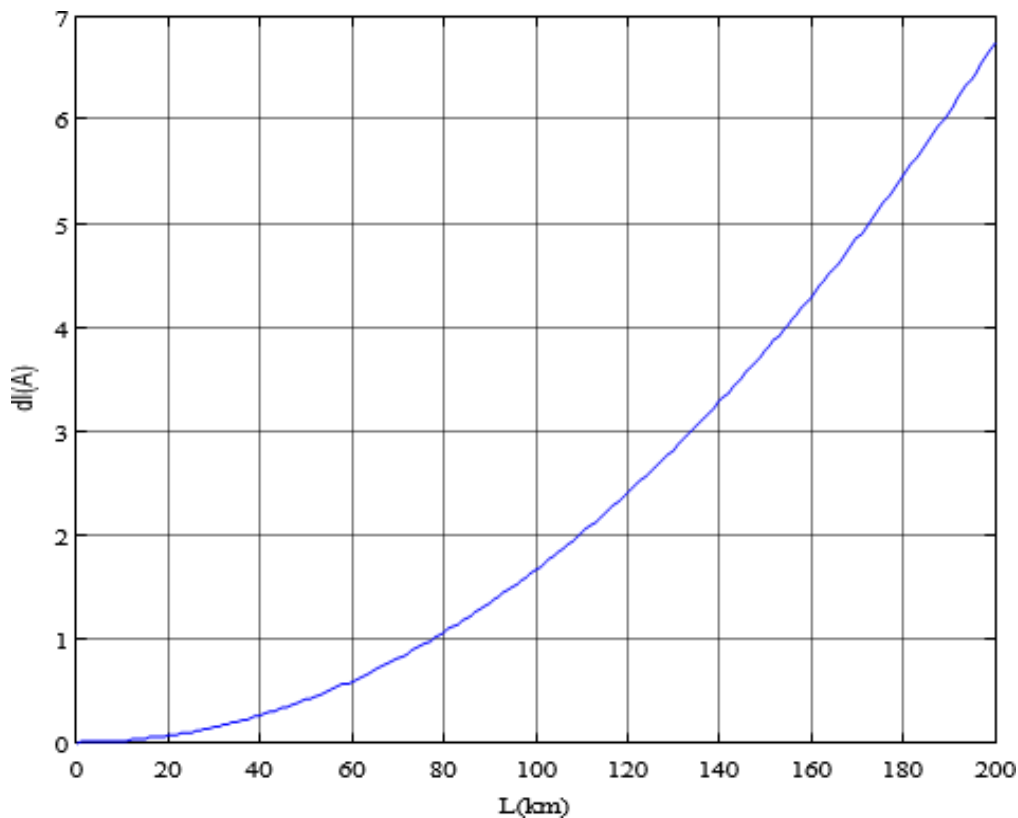


Figure III.5: Chute de courant en fonction de la distance [31]

III. 4.1. Interprétation des résultats :

III.4.1.1. Tension d'entrée en fonction de la distance:

Nous remarquons que la chute de tension provoquée par la ligne de longueur 200 km est de 7000 V ce qui correspond à un taux de 3,08% de la tension de départ. Cette chute de tension présente un caractère non linéaire. Ce que nous considérons comme un résultat satisfaisant.

(Figure III.2)

III.4.2 Courant d'entrée en fonction de la distance :

Nous remarquons que la baisse de courant est de 7 A sur un courant de 427 A qui nous donne un taux de 1,64%, cette baisse présente une forme parabolique, qui est en concordance avec la chute de tension. (Figure III.3) [31]

III.4.2.1. Pertes de puissance sur la ligne

La perte de puissance est de 2,989 MVA sur une puissance de 300 MVA nous donne un taux de déperdition de puissance de 0,99%, ce qui est une valeur satisfaisante. [30]

III.4.2.2. Application 2

Dans tous les réseaux de transport, il est nécessaire de maintenir la tension aux différents jeux de barres dans des limites acceptables. Les systèmes de transmission flexibles en

courant alternatif (FACTS) sont des moyens de contrôle rapides et flexibles capables de faciliter le transit des puissances et d'améliorer la stabilité des réseaux électriques. Le contrôleur dynamique shunt SVC est un dispositif FACTS qui permet de régler la tension et d'amortir les oscillations dues à des perturbations dans les réseaux électriques. [34]

III.5.1.1. Application:(programmation); compensation shunt avec SCV

III.5.1.2. Application(1) : réseau électrique de 9 jeux de barres :

Au départ, un simple réseau électrique de 9 jeux de barres est utilisé juste pour illustrer l'effet du dispositif de Compensation (FACT) .Ce réseau test est constitué de 6 lignes électriques, 3 générateur ,3transformateur et 3charges.

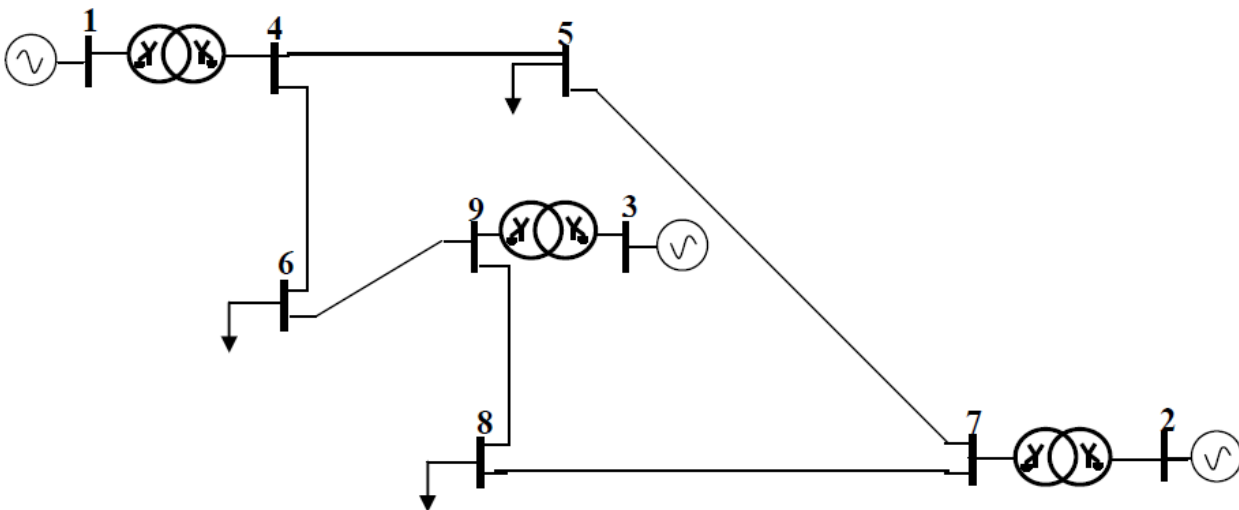
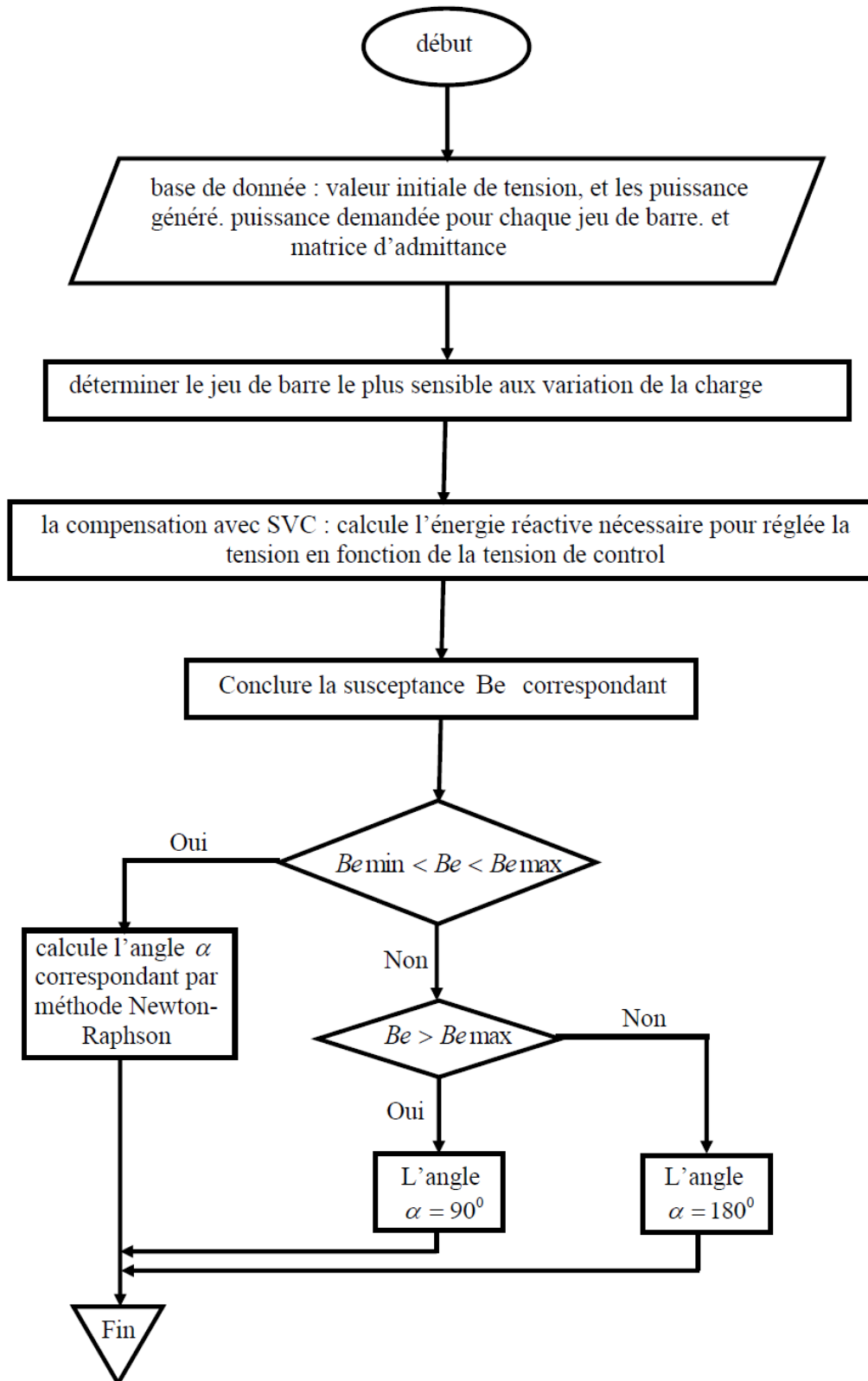


Figure 5.1. Schéma d'un réseau test de 9 jeux de barres

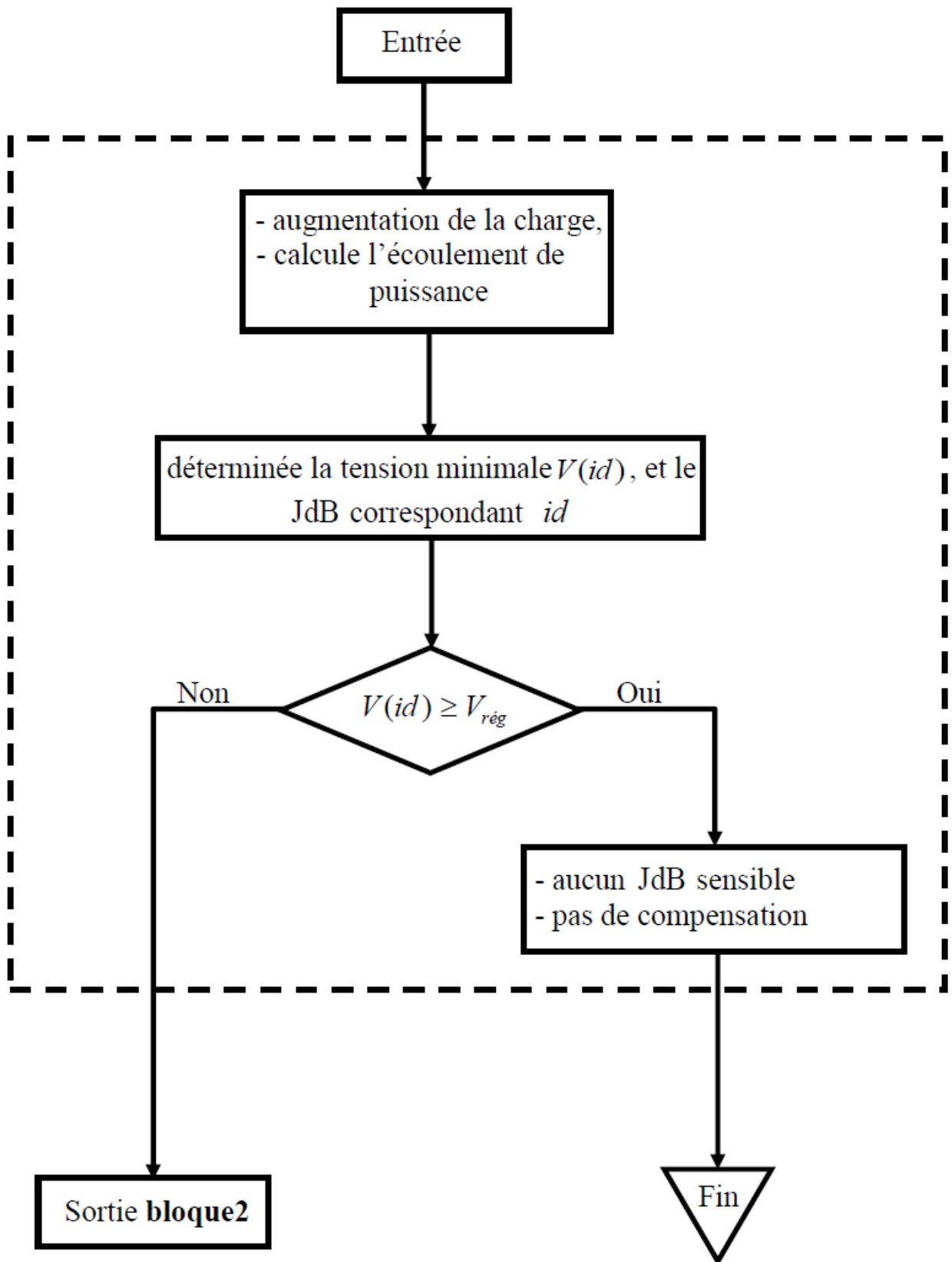
Le tableau (VI .1) , la Figure(5.2) montrent les tensions au niveau des jeux de barres du réseau test trouvées sans et par l'intégration du dispositif shunt avec SCV dans la méthode de calcul de l'écoulement de puissance (méthode de GAUSS-SEIDEL).On remarque une amélioration des tensions au niveau des jeux de barres due à la présence de ce dispositif shunt. Alors que le tableau (VI.3.a,b) visualise les résultats du réseau 9 bus obtenu avec et sans l' SCV,(les résultats de programmation).

III.5.1.3. L'organigramme globale de l'intégration de SCV [32. 33]

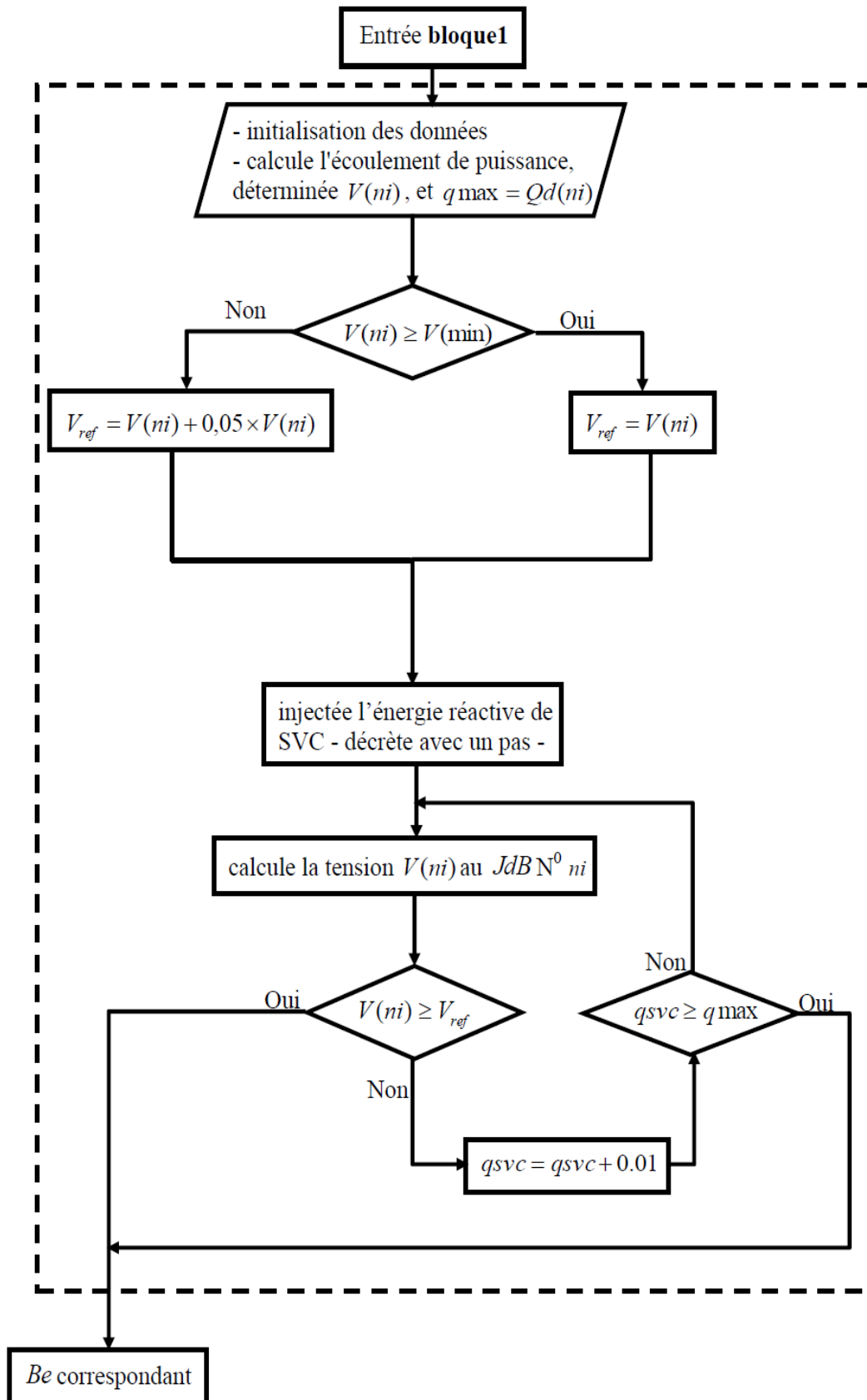


III.5.1.4. Organigramme détaillée

Bloque 1 : déterminer le jeu de barre le plus sensible aux variations de la charge.



Bloque 2 : la compensation avec SVC : calcule nécessaire l'énergie réactive pour régler la tension en fonction de la tension de control.



III.5.1.5. les résultats de programmation (réseau 9 jeux de barres)

a. Tableau (V-1): Résultats des tensions du réseau électrique –cas normal

- Méthode de GAUSS-SEIDEL-

Bus	Sans compensation	Avec compensation
	V(p.u)	V(p.u)
1	1.06	1.0600
2	1.025	1.0251
3	1.009	1.0129
4	0.998	1.0019
5	0.987	0.9871
6	0.982	0.9877
7	0.967	0.9819
8	0.970	0.9703
9	0.960	0.9874

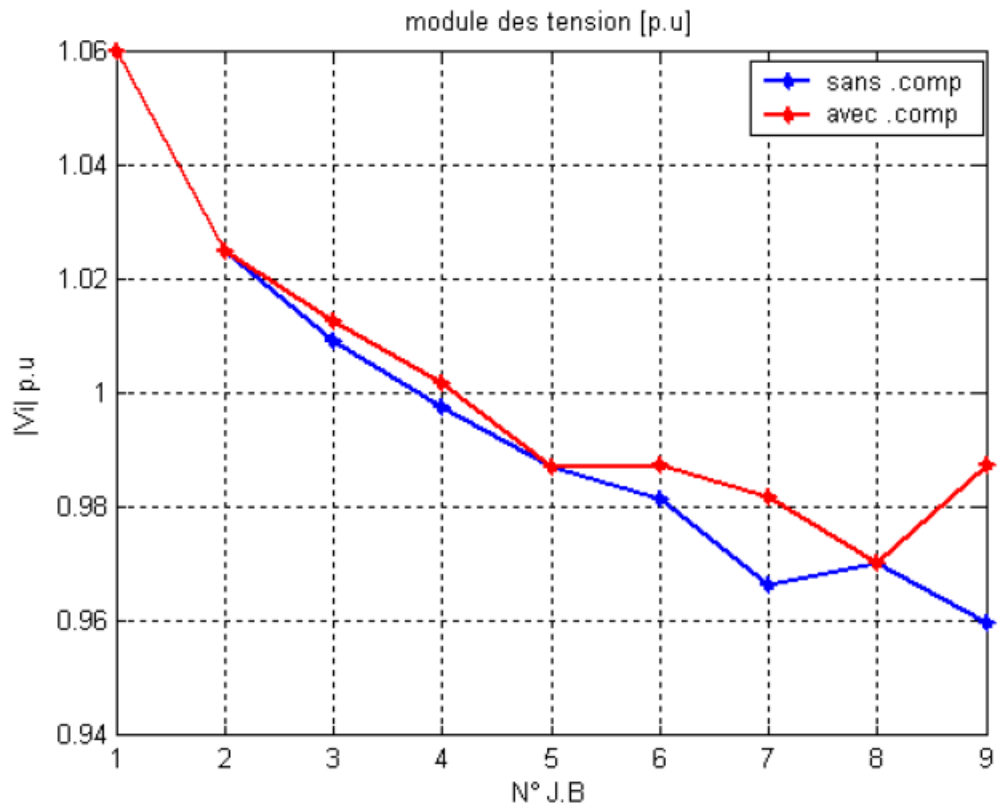


Figure 5.2 . Variation de la tension – cas normal

b- tableau (V-2):Résultats des tensions du réseau électrique –cas rupture de la ligne (1-2)

Bus	Sans compensation	Avec compensation
	V(p.u)	V(p.u)
1	1.06	1.0600
2	0.890	0.8920
3	0.908	0.9130
4	0.885	0.8913
5	0.867	0.8686
6	0.872	0.8798
7	0.854	0.8732
8	0.872	0.8730
9	0.847	0.8795

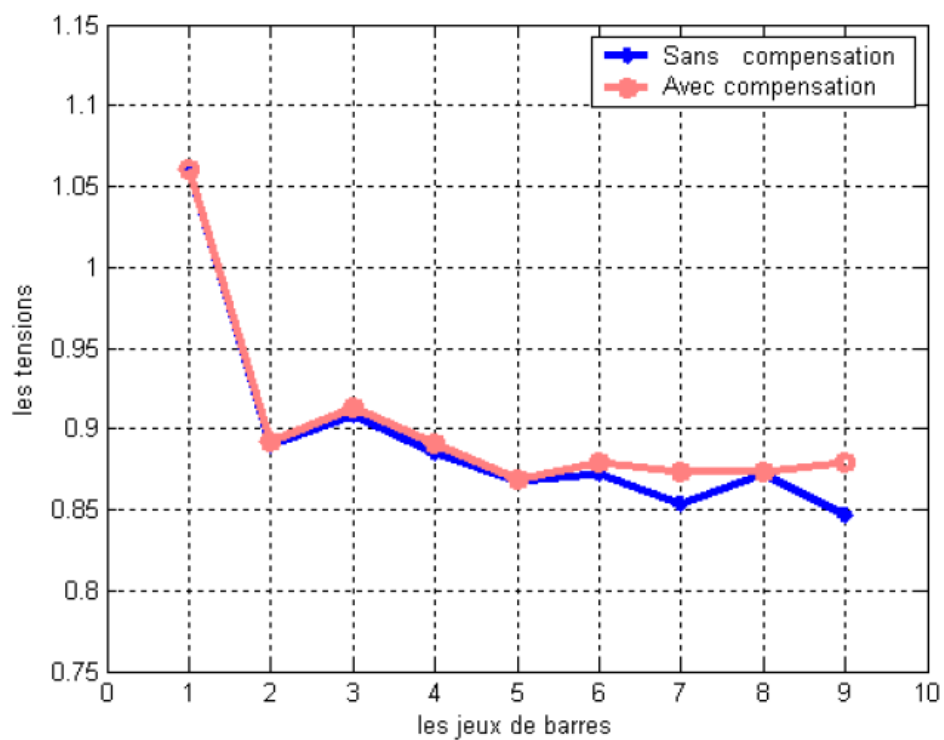


Figure 5.3. Variation de la tension – cas rupture de la ligne (1-2)

c- Les résultats de programmation(Puissance générée, Pertes, Coût optimal.....) de réseau 9 jeux de barres:

- Les jeux de barres le plus sensible c'est : 9 et 7
- La puissance demandée active: 203.700 . MW
- La puissance demandée réactive: 90.400 . MVAR

c-1-(tableau VI.3.a) cas sans compensation

Résultats	Sans Compensation	
	Cas normale	Cas rupture de la ligne(1-2)
Tension 9 (pu)	0.960	0.847
Tension 7 (pu)	0.967	0.854
Puissance active générée (MW)	212.452	236.595
Puissance réactive générée (MVAR)	101.046	197.649
Pertes active (MW)	9.939	33.831
Pertes réactive (MVAR)	10.770	107.498
Coût optimal (\$/h)	3132.924	3560.155
Susceptible Be J.d.B 9	//////////	//////////
Susceptible Be J.d.B 7	//////////	//////////
α J.d.B 9	//////////	//////////
α J.d.B 7	//////////	//////////
Puissance réactive injectée (SVC) (MVAR)	00	00

c-2-(tableau VI.3.b) cas avec compensation

Résultats	Avec Compensation	
	Cas normale	Cas rupture de la ligne(1-2)
Tension 9 (pu)	0.9874	0.8795
Tension 7 (pu)	0.9819	0.8732
Puissance active généré (<i>MW</i>)	213.540	236.840
Puissance réactive généré (<i>MVAR</i>)	89.545	185.142
Pertes active (<i>MW</i>)	9.846	33.148
Pertes réactive(<i>MVAR</i>)	10.147	104.742
Coût optimal (\$/h)	3120.347	3542.077
Susceptible Be J.d.B 9	0.1032	0.1305
Susceptible Be J.d.B 7	0.1130	0.1430
α J.d.B 9	110.90	90
α J.d.B 7	110.87	90
Puissance réactive injectée(SVC) (<i>MVAR</i>)	11	10

d-(tableau VI.4.) cas de l'augmentation de la charge avec :20 % , 100%

Résultats	Sans Compensation			Avec Compensation		
	KK=1	KK=1.2	KK=2	KK=1	KK=1.2	KK=2
Tension	0.960	0.946	0.884	0.9874	0.9793	0.9353
Puissance active généré (<i>MW</i>)	212.452	259.3	455.154	213.540	259.122	455.39
Puissance réactive généré (<i>MVAR</i>)	101.046	137.394	335.045	89.545	123.359	309.566
Pertes active (<i>MW</i>)	9.939	14.860	48.780	9.846	14.682	47.990
Pertes réactive <i>MVAR</i>	10.770	29.122	154.562	10.147	28.079	150.666
Susceptible Be J.d.B	////////	////////	////////	0.1032	0.1261	0.1891
α J.d.B 9	////////	////////	////////	110.90	110.83	110.65
Puissance réactive injectée (SVC) (<i>MVAR</i>)	00	00	00	11	13.2	21.9
Coût optimal (\$/h)	3132.924	3983.685	9297.443	3120.347	3980.086	9270.775

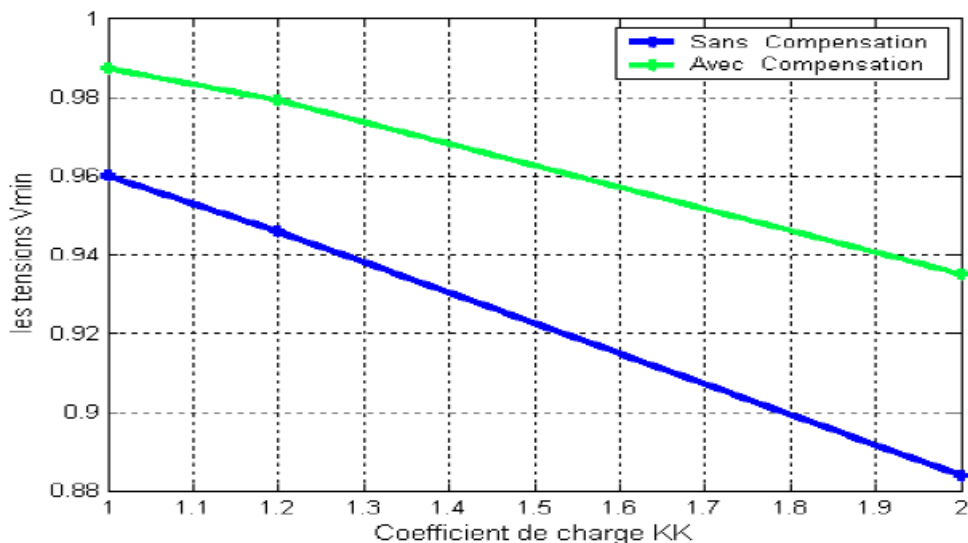


Figure 5.4. Variation de la tension en fonction de l'incrément de la charge

III.6.1. Interprétation

- D'après les résultats de programmation, le J.d.B le plus sensible si les jeux de barres 9 et 7 dans le réseau test 9 jeux de barres, 27 et 30 dans le réseau 30 jeux de barres.

Donc on remarque que :

- Pour cet situation, nous avons montrée la possibilité d'améliorée la niveau de tension en utilisant le dispositif SVC .
- le compensateur dynamique shunt SVC qui a été injecté dans le réseau, a influé positivement sur le réseau qu' 'on a étudié.

-Donc il y a une amélioration sur les indices de qualité de l'énergie, en particulier la tension.

Le jeu de barre le plus sensible est le jeu de barre '9' dans le réseau test 9 jeux de barres .

Le jeu de barre le plus sensible est le '30' dans le réseau 30 jeux de barres.

Donc on remarque que :

- la tension est améliorée.
- Réduction faible des pertes de l'énergie active .
- amélioration de cout de production
- le dispositif de contrôle SVC peut jouer un rôle très important dans le domaine de la compensation des puissances réactives et le contrôle des tensions des différents noeuds .

-Les modèles de SVC les plus courants sont des modèles statiques, car conçus pour des

logiciels de répartition de charges. Lesquels sont destinés à des études statiques de réseau. Ils

sont constitués d'éléments de réseaux : réactances, susceptance, noeuds, etc...

III.7. Conclusion :

Un épisode de simulation haute tension est un exercice intensif conçu pour tester et renforcer les compétences, la prise de décision et la coordination des équipes dans des situations complexes et critiques. Ces simulations sont souvent utilisées dans divers secteurs tels que la santé, la sécurité, l'armée, et les services d'urgence pour préparer les professionnels à des scénarios d'urgence réels.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'optimisation de la puissance électrique dans un réseau électrique est un domaine clé pour assurer l'efficacité, la fiabilité et la durabilité des systèmes de distribution d'énergie. L'objectif principal de cette optimisation est de minimiser les pertes d'énergie et les coûts d'exploitation tout en maximisant la qualité du service et en respectant les contraintes techniques et de sécurité. Voici quelques points clés pour une conclusion générale sur ce sujet :

1. ***Importance de la gestion de la demande*** : La gestion efficace de la demande d'électricité est cruciale pour équilibrer la production et la consommation. Les techniques de gestion de la demande, telles que la tarification dynamique et les programmes de réponse à la demande, peuvent aider à lisser les pics de consommation et à améliorer l'utilisation des ressources existantes.

2. ***Intégration des énergies renouvelables*** : L'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique pose des défis uniques en termes de variabilité et de prédictibilité. Des solutions telles que les systèmes de stockage d'énergie, les réseaux intelligents et l'amélioration des capacités de prévision météorologique sont essentielles pour intégrer efficacement ces sources d'énergie dans le réseau.

3. ***Réseaux intelligents (Smart Grids)*** : Les réseaux intelligents jouent un rôle crucial dans l'optimisation de la puissance électrique. Ils permettent une surveillance en temps réel, une communication bidirectionnelle entre les producteurs et les consommateurs, et une gestion automatisée des ressources. Ces technologies permettent de réagir rapidement aux changements dans la demande et l'offre d'électricité.

4. ***Techniques d'optimisation avancées*** : L'utilisation d'algorithmes avancés, comme les algorithmes génétiques, les algorithmes de colonies de fourmis, et les techniques d'apprentissage automatique, peut améliorer

l'efficacité de l'optimisation de la puissance électrique. Ces techniques permettent de résoudre des problèmes complexes avec de nombreuses variables et contraintes.

5. ***Fiabilité et sécurité*** : La fiabilité du réseau est une priorité absolue. Les stratégies d'optimisation doivent inclure des mesures pour prévenir les pannes et assurer une récupération rapide en cas d'incident. Cela implique la maintenance prédictive, la redondance des systèmes et l'amélioration des infrastructures existantes.

6. ***Enjeux économiques et environnementaux*** : L'optimisation de la puissance électrique contribue à réduire les coûts opérationnels et les émissions de gaz à effet de serre. En minimisant les pertes d'énergie et en augmentant l'efficacité énergétique, il est possible de réaliser des économies substantielles et de réduire l'impact environnemental du secteur énergétique. En conclusion, l'optimisation de la puissance électrique dans un réseau électrique est un domaine multidimensionnel qui nécessite une approche intégrée, combinant des avancées technologiques, des stratégies de gestion efficaces, et des considérations économiques et environnementales. En adoptant ces pratiques, il est possible de créer des systèmes électriques plus résilients, durables et économiquement viables.

Références
Bibliographie

Références Bibliographie

- [1] <https://www.techno-science.net>
- [2] DOUIS KAMEL EDDINE, MELIK ZAKARIA<<Simulation et conception de ligne électrique à haute tension>>, mémoire de magister ,université Hamma Lakhdar Eloued 2021.
- [3] <https://www.techniques-ingenieur.fr>
- [4] BELLAMOUCHE ABDELHAI, BEKOUCHE MOUSSA , BEKOUCHE ELHADI<<Conception et simulation de lignes électriques à haute tension>>mémoire de magister ,université Hama Lakhdar Eloued 2020.
- [5] <https://www.techniques-ingenieur.fr>
- [6] Dr.BOUKADOUM AZIZ<<Support de Cours Réseaux Electriques>>.
- [7] M.KACHI MILOUD,REMADNIA MOKDAD,GOUAIDIA SAID<<Modélisation des paramètres des lignes électriques>>mémoire de magister 2019.
- [8] MICHEL LAMBERT<<L'enseigne électrique à haute tension>>
- [9] SARI LOUBNA ,DIABI CHAIMA<<Etude d'un réseau de transport d'énergie à haute tension 90 KV>> Mémoire de magister université Annaba 2020.
- [10] <https://www.researchgate.net> [Yasser Diab](#)
- [11] Mémoire Harrat Ahlem Mr.M.Chouki
Promotion 2020-2021
Amélioration de la stabilité de tension d'un réseau électrique par système FACTS
- [12] X.P. Zhang, C. Rehtanz, B. Pal, «Flexible AC transmission systems: Modelling and Control ». Springer, 2005
- [13] H. Belguidoum, « Les systèmes FACTS utilisant les convertisseurs entièrement commandés ». Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas, Sétif, 2012.
- [14] F.Z. Gherbi, F.Lakdja, R.Berber , "dispatching économique au moyen de diapositif FACTS ," ACTA ELECTROTECHNICA-Mediamira science Publisher, vol. 51, no. 1, pp. 51-54, 2010
- [15] A. Talbi, A. Benoudjit, « Les systèmes FACTS ».ResearchGate, 2014
- [16] Hugh Outhred, "Meeting the Challenges of Integrating Renewable Energy into Competitive Electricity Industries," in conference in Renewable Energy, May 3, 2007.
- [17] L. Slimani and ,T Bouktir, "Optimal Power Flow with High Wind Energy Penetration using Artificial Bee Colony Algorithm," in 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING, University of Sciences & Technology Houari Boumediene, 2012.

-
- [18] Miguel LOPEZ , "contribution a l'optimisation d'un systeme de conversion eolien pour une unite de production isolée," Université Paris sud Thèse Doctorat, 2008.
- [19] Herman Bayem, Yannick Phulpin, Philippe Dessante and Julien Bect, "Probabilistic computation of wind farm power generation based on wind turbine dynamic modeling," PMAPS, 2008.
- [20] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller, B. Sada Sy, "Le pompage photovoltaïque», Manuel de cours à l'intention des ingén
- [21]http://nteserveur.univlyon1.fr/nte/geosciences/geodyn_ext/Exercices/ExosTT1Atmosphere.htm
- [22] Amezizne sadek « implantation expérimentale de l'MPPT de système de génération hybride solaire-éolien », mémoire magister, université Batna ,2010.
- [23] SAADI RAMZI (Convertisseurs Base Tension (42V ; 540V) ; Application Source Hybride Utilisation Une pile à Combustible) thèse de doctorat L'Université Biskra 2015.
- [24] BELKACEM BOUZDA SIHAM (Etude des phénomènes des écoulements des gaz dans les canaux dans un pile à combustible de type PEMFC) thèse de Magister en physique de l'Université Batna(2011).
- [25] Guillaume-Conception de convertisseur statique pour l'utilisation de (P a C) thèse de doctorat université Joseph Fourier
- II.5.4 Système hydraulique
- [26] Site web, https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_drive_system.
- [27] Site web, <https://elearning-deprecated.univ-annaba.dz/mod/resource/view.php?id=37884>
- [28] Le Roux, T. (Ed.). (2018). Risques industriels: savoirs, régulations, politiques d'assistance, fin XVIIIe-début XXe siècle. Presses universitaires de Rennes.
- [29] Site web <https://hyquip.co.uk/training-materials/2817-hydac-hydraulic-basic-hydraulics-and-components-training-centre-manual.html>.
- [30] DOUIS KAMEL EDDINE, MELIK ZAKARIA<<Simulation et conception de ligne électrique à haute tension>>, mémoire de magister ,université Hamma Lakhdar Eloued 2021.
- [31] , BEKOUCHE MOUSSA , BEKOUCHE ELHADI<<Conception et simulation de lignes électriques à haute tension>>mémoire de magister ,université Hama Lakhdar Eloued 2020.
- [32] Fuerte-Esquivel, C.R., Acha, E., Ambriz-Pérez, H., « A Thyristor Controlled Series Compensator Model for the Power Flow Solution of Practical Power Electronic », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, no 1, February 2000
- [33] CHOKRI Ben Salah Belhadj Ahmed « Contribution à l'analyse de la stabilité statique

de la tension » thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de MONTRÉAL Juin 1996.

[34]Geidl, M., « Implementation of FACTS and Economic Generation Dispatch in an Interactive Power Flow Simulation Platform », ETH Zürich.

Résumé:

Après de nombreuses études approfondies dans des domaines cruciaux de l'amélioration de l'énergie électrique dans le réseau électrique, nous avons atteint, à travers ce thème, les objectifs les plus importants d'amélioration de l'énergie électrique en réduisant les pertes d'énergie et les coûts d'exploitation tout en maximisant la qualité de service et en respectant les restrictions techniques et de sécurité pour surveiller et contrôler les flux d'énergie à travers le réseau.

Vous trouverez ci-dessous quelques-uns des sujets abstraits dont nous avons discuté dans ce sujet:

- * Le premier chapitre contient un aperçu général des lignes électriques à haute tension, qui transportent à leur tour de grandes quantités d'électricité sur de longues distances, généralement entre les centrales de production d'électricité et les zones de consommation, ce qui permet de les transmettre largement sur de longues distances, ce qui contribue à maintenir l'approvisionnement en énergie. dans nos sociétés modernes.
- . * Tandis que le deuxième chapitre contient une compensation pour la ligne électrique, qui à son tour considère le câblage électrique comme un aspect essentiel de l'infrastructure moderne, nécessaire au fonctionnement des bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels. Cela comprenait l'installation de conducteurs électriques et d'équipements connexes pour distribuer l'électricité de manière sûre et efficace
- . * Dans le dernier chapitre, nous précisons les prestations de ces opérations de contrôle dans divers secteurs, tels que la protection sanitaire, la coordination, le militaire et les services d'urgence dans le monde judiciaire..

Many and in-depth studies in critical areas on improving electrical energy in the electrical grid, during this subject, we have reached the most important objectives of improving electrical energy by reducing energy losses and operating costs while maximising the quality of service and respecting technical and security restrictions to monitor and control energy flows through the network.

The following are some of the exeses that we touched on in this subject, which are:

- . The first chapter contains a generality of high-voltage power lines that in turn carry large amounts of electricity over long distances, usually between power plants and consumption

areas, allowing their large-scale transmission over long distances, which helps maintain energy supplies in our modern societies.

. While the second chapter contained the compensation of the power line, which in turn considered electrical wiring to be an essential aspect of modern infrastructure, it is necessary for the operation of residential, commercial and industrial buildings. It included the installation of electrical connectors and related equipment to distribute electricity safely and efficiently.

. In the last chapter, we touched on the simulation and the result based on numerical simulation procedures to operate long-distance lines. These simulations are also used in various industries such as health care, security, army and emergency services to prepare specialists for emergency scenarios in the real world

يعد دراسات عديدة ومتعمقة في مجالات حاسما عن تحسين الطاقة الكهربائية في الشبكة الكهربائية توصلنا خلال هذا الموضوع الى اهم اهداف تحسين الطاقة الكهربائية عن طريق تقليل خسائر الطاقة وتكاليف التشغيل مع تعظيم جودة الخدمة واحترام القيود الفنية والأمنية لمراقبة وضبط تدفقات الطاقة عبر الشبكة

: فيما يلي بعض المحاور المستخلصة التي تطرقنا اليه في هذا الموضوع والمتمثلة في

احتواء الفصل الاول على عام لخطوط الكهرباء ذات الجهد العالي والتي بدورها تحمل كميات كبيرة من الكهرباء . لمسافات طويلة، عادة بين محطات توليد الطاقة ومناطق الاستهلاك مما يتيح نقلها على نطاق واسع لمسافات طويلة، مما يساعد في الحفاظ على إمدادات الطاقة في مجتمعاتنا الحديثة

في حين ان الفصل الثاني احتواء على تعويض خط الكهرباء الذي بدوره اعتبر الأسلاك الكهربائية جانباً أساسياً من البنية التحتية الحديثة، وهي ضرورية لتشغيل المباني السكنية والتجارية والصناعية. وأشتمل تركيب الموصلات الكهربائية والمعدات ذات الصلة لتوزيع الكهرباء بأمان وكفاءة

وفي الفصل الاخير تطرقنا الى المحاكاة والنتيجة باعتماد على قيام باجراءات محاكاة عددية لتشغيل خطوط المسافات الطويلة كما تُستخدم عمليات المحاكاة هذه في صناعات مختلفة مثل الرعاية الصحية والأمن والجيش وخدمات الطوارئ لإعداد المتخصصين لسيناريوهات الطوارئ في العالم الحقيقي