



الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
العلمي والبحث العالي التعليم وزارة
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE - ANNABA

Département d'Électronique, d'Électrotechnique et Automatique

MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme d'INGÉNIEUR D'ETAT

Domaine : Science et Technologie
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Production Electrique et Energies Renouvelables

Présenté par

Mouna DJILI
Abdelmalek STAMBOULI

CONCEPTION ET MODÉLISATION D'UN RÉSEAU DE TRANSPORT ÉLECTRIQUE

Encadré par

Pr. Mourad HOUABES
ENSTI Annaba

Membres du jury :

Dr. Tarek MESSIKH	Président	ENSTI
Dr.Soumaya BENNEGJAI	Examineur	ENSTI
Dr.Zakarya DJELLOUL KHEDDA	Examineur	ENSTI



Remerciements :

Tout d'abord merci à DIEU .

*Je remercie mon encadrant Pr [**Mourad Houabes**], pour ses conseils avisés, sa disponibilité, sa gentillesse et son soutien tout au long de ce projet .*

Un grande Remerciement à membre de jury .

*Je tiens également à remercier tous les enseignants et le personnel de [**L'École Supérieure de Technologies et d'Ingénierie**] pour l'excellente instruction qu'ils m'ont dispensée au fil des ans.*

Un grand merci à mes parents, mes amis et ma famille pour leur soutien.

Dédicace :

Je dédie ce travail à ceux qui occupent une place particulière dans ma vie :

*Je suis reconnaissante à **ma mère** et à **mon père** pour leur éternel .*

*Merci à ma sœur (**Manel**) et à mon frère (**Aymen**) pour leur présence réconfortante, leur soutien et leur amour indéfectible.*

*Je suis reconnaissante à mes amies (**Hanane, Chahra, Anfel, Imene, Fattoum, Aya, Manar, Zohour, Sara, Nourane et Yousra**) pour leur amitié sincère, leurs mots d'encouragement et les moments de bonheur partagés. Merci à tous du fond du cœur*

*Élève ingénieure : **DJILI Mouna***

Dédicace :

Je dédie le fruit de ce travail tout d'abord à L'âme de notre

vénéré Prophète MOHAMED, Que la prière et le salut soit sur lui.

Ensuite à ma mère bien aimée, qui m'a comblé de son amour et de sa tendresse, et qui a éclairé mon chemin tout au long de ma vie.

A mon père, qui a veillé à mon éducation et fait de moi un homme droit et sage , à mes chères frères et a ma chère sœur bien aimée

A mes chers oncles que j'adore particulièrement et qui m'ont toujours soutenu tout au long de ma vie Mes très chères tantes que j'aime ,

A tous mes amis.

STAMBOULI Abdelmalek

Résumé :

Les réseaux de transport jouent un rôle clé dans l'acheminement de l'énergie électrique des sites de production vers les zones de consommation. Fonctionnant en haute et très haute tension, ils doivent répondre à des exigences de sécurité, d'efficacité énergétique et de conformité aux normes.

Ce travail propose une solution fiable et évolutive pour améliorer ces réseaux. L'analyse du réseau permet d'en optimiser le fonctionnement, notamment grâce à la surveillance :

- des courants de transit dans les lignes, qui ne doivent pas dépasser les limites admissibles,
- des tensions aux nœuds, qui doivent rester dans une plage de $\pm 10\%$.

ملخص:

تلعب شبكات النقل دورًا محوريًا في نقل الطاقة الكهربائية من مواقع الإنتاج إلى مناطق الاستهلاك. ويجب أن تستوفي هذه الشبكات، عند تشغيلها بجهد عالٍ وفائق الارتفاع، متطلبات السلامة وكفاءة الطاقة والامتثال للأنظمة.

يقترح هذا العمل حلاً موثوقًا وقابلًا للتطوير لتحسين هذه الشبكات

يتيح تحليل الشبكة التشغيل الأمثل، لا سيما من خلال مراقبة:

تيارات النقل في الخطوط، والتي يجب ألا تتجاوز الحدود المسموح بها،

الجهد عند العقد، والذي يجب أن يبقى ضمن نطاق $\pm 10\%$

Abstract:

Transmission networks play a key role in transporting electrical energy from production sites to consumption areas. Operating at high and extra-high voltages, they must meet safety, energy efficiency, and regulatory compliance requirements.

This work proposes a reliable and scalable solution to improve these networks.

Network analysis allows for optimized operation, particularly through monitoring :

- transit currents in the lines, which must not exceed permissible limits,
- voltages at the nodes, which must remain within a range of $\pm 10\%$.

Table des matières

Introduction générale :	1
Présentation de l'Entreprise de stage :	2
Chapitre I : Généralités sur les réseaux d'énergie électrique	
1.1 Rôle de réseau électrique :	3
1.2 Classification de réseau électrique :	3
1.2.1 Les réseaux de transport :	3
1.2.2 Les réseaux de répartition :	3
1.2.3 Les réseaux de distribution :	3
1.2.4 Les réseaux d'interconnexion :	3
1.3 Les structures topologiques des réseaux électriques :	3
1.3.1 les réseaux radiaux :	3
1.3.2 les réseaux bouclés :	4
1.3.3 Les réseaux maillés :	4
1.4 Les postes électriques :	4
1.4.1 Types de postes :	4
Chapitre II : Calcul de la répartition des puissances	
Introduction :	5
2.1 Régime normal.....	6
2.1.1 détermination des puissances :	6
2.1.1.1 simplification de nœud 6 et 7	6
2.1.1.2 Loi de Kirchhoff :	6
2.1.2 Les choix de tensions :	7
2.1.3 Calculs de courants :	9
2.2.1 détermination des puissances :	9
2.1.2 Calculs de courants :	10
2.1.3 Vérifications des sections :	11
2.3 Régime futur :	11
2.3.1 détermination des puissances des charges et des sources :	11
2.3.2 détermination des puissances :	12
2.3.1.1 simplification de nœud 6 et 7	12
2.1.1.2 Loi de Kirchhoff :	12
2.3.3 Calcul des courants :	13
2.3.5 vérification de régime après avarie avec une tension (U=220 kV)	14
Conclusion :	14
Chapitre III : Calcul des courants de court circuit	

Introduction :	15
3.1 Les types de courant de court-circuit :	15
3.1.1 court-circuit phase-terre (court-circuit monophasé) :	15
3.1.2 Le court-circuit phase-phase (PP):	15
3.1.3 Le court-circuit phase-phase-terre (PPT):	16
3.1.4 Le court-circuit triphasé (PPP):	16
3.2 Effets du courant de court-circuit :	17
3.2.1 L'effet électrodynamique :	17
3.2.2 L'effet thermique :	17
3.2.3 L'arc électrique :	17
3.2.4 Courants de terre :	17
3.3 Calcul des courants de court-circuit (C.C.C):	18
Conclusion :	18
Chapitre IV : Choix de l'appareillage électrique	
4.1 Introduction :	19
4.2 Les transformateurs de puissance:	19
4.2.1 Définition :	19
4.2.2 Choix des transformateurs :	19
4.2.3 La vérification du choix des transformateurs :	19
4.3 Les Disjoncteurs	20
4.3.1 Définition :	20
4.3.2 Choix et vérification des disjoncteurs	21
4.4 Les sectionneurs :	21
4.4.1 Choix et vérification des sectionneurs :	21
4.5 Les jeux de barres :	22
4.5.1 Définition :	22
4.5.2 Choix et vérification des jeux de barres :	22
4.5.3 Vérification selon le courant admissible :	22
4.5.4 Vérification selon la tenue thermique :	22
Conclusion :	22
Chapitre V : Le calcul des tensions	
Introduction :	24
5.1 Calcul des tensions aux nœuds :	24
5.2 calcul des chutes de tension :	24
5.3 Les Type de compensation :	25

5.3.1 Compensation capacitive :	25
5.3.2 compensation inductif :	25
5.3.3 Compensation Série :	25
5.3.4 Compensation Shunt :	25
5.4 le réglage de tension :	25
5.4.1 Augmentation de la tension de la source 1 de 220kV à 225kV :	26
5.4.2 Production de la puissance réactive aux bornes de la charges 11 (40%) sans augmentation de U(1):	26
5.4.3 Production de la puissance réactive aux bornes de la charges 11 (40%) avec augmentation de U(1):	27
Conclusion :	27
Conclusion générale	28

Liste de figures :

figure II. 1 Le modèle de réseau étudié	5
figure II. 2 le modèle de réseau étudié en régime normal	6
figure II. 3 le modèle de réseau étudié en régime après avarié	10
figure III. 1 le court-circuit phase-terre	15
figure III. 2 Le court-circuit phase-phase	16
figure III. 3 Le court-circuit phase-phase-terre	16
figure III. 4 Le court-circuit triphasé	17

Liste de tableaux :

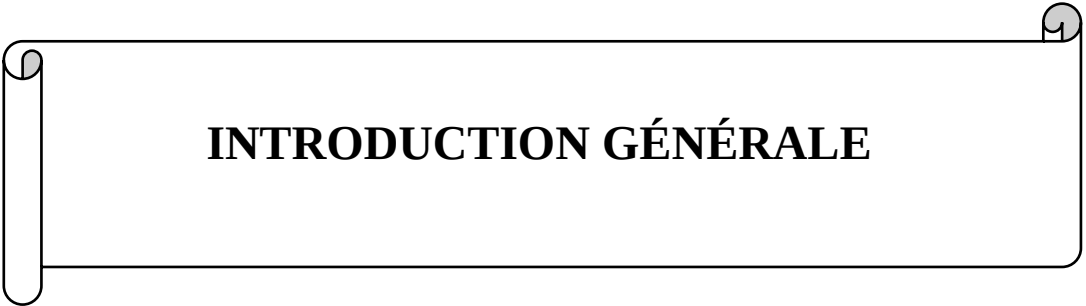
Tableau II. 1 les puissances des charges	5
Tableau II. 2 les puissances des sources.....	5
Tableau II. 3 le choix de tension	8
Tableau II. 4 les calculs des courants	9
Tableau II. 5 Le tableau des sections.....	9
Tableau II. 6 Les calculs des courants en régime après avarie.....	11
Tableau II. 7 les puissances des charges en régime futur	11
Tableau II. 8 les puissances des sources en régime futur	11
Tableau II. 9 Calcul des courants	13
Tableau III. 1 Calcul de ICC	18
Tableau IV. 1 Choix et vérification des transformateurs.....	20
Tableau IV. 2 Choix des disjoncteurs.....	21
Tableau V. 1 calcul des tension au nœuds.....	24
Tableau V. 2 calcul des chutes de tension.....	25
Tableau V. 3 Augmentation de la tension de la source 1	26
Tableau V. 4 Production Q sans augmentation de U(1)	26
Tableau V. 5 Production Q avec augmentation de U(1).....	27

Liste des symboles :

Symbole	Signification	Unité
U	Tension (complexes ou efficaces)	kV
I	Courant	A
P	Puissance active	MW
Q	Puissance réactive	MVAR
S	Puissance apparente	MVA
ΔU	Chute de tension relative	%
Z	Impédance	Ω
R	Résistance	Ω
X	Réactance	Ω
$i2t$	Impulsion thermique (tenue thermique des équipements)	$A^2 \cdot s$
K	Coefficient thermique (conducteur)	$A \cdot s^{0.5} / mm^2$
F	Section du conducteur	mm^2
I _{cc}	Courant de court-circuit	A ou kA
I _{adm}	Courant admissible (en régime permanent ou de court-circuit)	A
I _{choc}	Courant de choc électrodynamique admissible	kA
t _{cct}	Durée du court-circuit	s
B	Impulsion thermique totale	$A^2 \cdot s$
P _{Gi}	Puissance active générée à l'unité ii	MW
Q _{Gi}	Puissance réactive générée à l'unité ii	Mvar

Liste d'abréviation :

Abréviation	Signification
RE	Réseau Électrique
THT	Très Haute Tension
HT	Haute Tension
MT	Moyenne Tension
BT	Basse Tension
P	Puissance active
Q	Puissance réactive
S	Puissance apparente
Icc	Courant de court-circuit
Ichoc	Courant de choc
B	Impulsion thermique (énergie dissipée)
Un / Und	Tension nominale
In / Ind	Courant nominal
IT²t	Tenue thermique (énergie admissible par l'appareillage)
Sch	Puissance de charge
Str	Puissance nominale du transformateur
DSJ	Disjoncteur
CT	Current Transformer (Transformateur de courant)
VT	Voltage Transformer (Transformateur de tension)
SF6	Hexafluorure de soufre (gaz isolant pour disjoncteurs)
CEI	Commission Électrotechnique Internationale

A decorative horizontal scroll frame with a light gray fill and a dark gray border. The left and right ends of the scroll are rolled up, with the top edge of the scroll visible. The text is centered within the scroll.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le système électro énergétique peut être résumé par les quatre fonctions : Production, Transport, Distribution et Utilisation. C'est le système PTDU. L'énergie électrique doit être d'abord produite (MT ; $\sim 600\text{MW}$ /centrale). C'est le rôle des centrales électriques. Elle doit être ensuite acheminée vers les postes d'interconnexions et le réseau qui les relie, en grande quantité (THT ; $\sim 100\text{MW}$ /ligne) et sur de grandes distances (100km): c'est le transport. Elle est ensuite répartie entre des régions et vers les grands consommateurs, tels que les usines sidérurgiques, postes de transformations des grandes villes, ... (HT ; $\sim 60\text{MW}$; $\sim 50\text{km}$): c'est la répartition. Finalement, elle est distribuée aux postes de transformations des villages, quartiers de villes (MT), puis aux petits consommateurs qui sont en général, les habitations, les administrations, (BT) ... c'est la distribution. Ce n'est qu'à ce niveau qu'elle peut être utilisée pour l'éclairage, faire tourner les moteurs, ... : c'est l'utilisation.

Le réseau électrique est l'ensemble des sources et des lignes qui assurent les trois fonctions P, T, et D. En effet la puissance électrique doit être produite instantanément pour satisfaire le consommateur à tout moment, mais elle ne peut pas être emmagasinée en quantité suffisante. C'est la contrainte d'égalité. D'un autre côté la tension et la fréquence doivent être assurées dans un intervalle de tolérance bien précis pour que le fonctionnement des appareils électriques utilisés par les consommateurs soit satisfaisant. Le courant qui parcourt les conducteurs ne doit pas dépasser les valeurs admissibles par ces derniers, ainsi que par tout composant du réseau qu'il traverse, lignes, transformateurs, jeu de barres, disjoncteurs, sectionneurs, ... En plus tout ce système doit être protégé contre les surcharges, courts-circuits, sursensions, ... réaliser la compensation, éviter les harmoniques...

Les gérants du réseau électrique doivent assurer le bon fonctionnement de tout le système, le plus économiquement possible, avec la plus grande sûreté (pour que la durée de vie de l'appareillage soit suffisante) et continuité de fonctionnement (pour satisfaire le consommateur), tout en assurant la plus grande qualité possible de l'énergie électrique (sans chute de tension, sans coupure, sans harmoniques, ...).

Présentation de l'entreprise de stage de l'étudiante (DJILI Mouna) :

J'ai effectué mon stage à spe unité koudiet eddraouche EL TARF c'est une centrale thermique de cycle combiné.

Ce stage est lié directement à mon pfe (modélisation dans réseau de transport électrique)

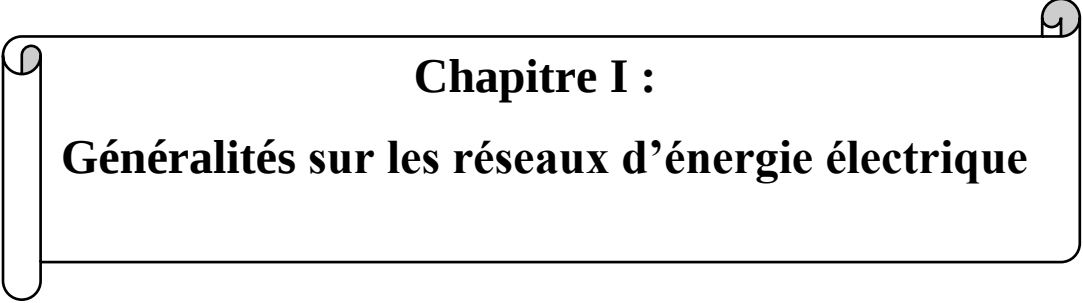
Pendant le stage j'ai compris qu'un bon intégré le réseau est garanti la stabilité et la fiabilité et l'efficacité de ce systèmes.

Au cours de mon stage, j'ai approfondi ma compréhension du fonctionnement d'une unité de production électrique, en découvrant les contraintes liées à la production, les variations de charge, ainsi que l'importance cruciale de l'évacuation de l'énergie vers le réseau. Ces aspects sont essentiels dans le cadre de la modélisation d'un réseau, car ils permettent de dimensionner de manière appropriée les lignes de transport, de prévoir les flux d'énergie, de minimiser les pertes et d'assurer l'équilibre entre la production et la consommation.

Ainsi, cette expérience sur le terrain m'a permis de mieux comprendre les exigences techniques d'un réseau de transport moderne et d'affiner ma réflexion lors de la conception et la modélisation du réseau dans mon PFE.

Présentation de l'entreprise de stage de l'étudiant (STAMBOULI Abdelmalek) :

Mon stage a été effectué a l'entreprise somik Skikda où nous avons enrichi et Approfondi nos connaissances en matière de transport d énergie électrique, ce stage J'ai été utile où nous avons appris de bien communiquer avec le personnel de l'ingénieur et technicien et ainsi développer un esprit d'équipe au sein de l'entreprise

A decorative horizontal scroll frame with a black outline. The left end features a vertical scroll bar with a circular end. The right end has a small circular detail at the top. The text is centered within the frame.

Chapitre I :

Généralités sur les réseaux d'énergie électrique

1.1 Rôle de réseau électrique :

L'évolution technologique a rendu possible l'adaptation des tensions à des puissances élevées, ce qui a favorisé la généralisation du courant alternatif grâce à l'utilisation de transformateurs. Le système électrique est organisé par niveaux de tension. Le système électrique se compose de trois segments fondamentaux : le transport, la répartition et la distribution. Une hiérarchisation des niveaux de tension peut être définie au sein de ce réseau, les transitions entre ces niveaux étant assurées par les transformateurs et les postes sources, qui assurent la liaison entre les différentes strates de tension [1]

1.2 Classification de réseau électrique :

1.2.1 Les réseaux de transport :

Exploités sous haute tension, les réseaux de transport ont pour mission d'acheminer l'énergie électrique depuis les centres de production vers les zones à forte demande. Les puissances élevées qui y transitent nécessitent l'emploi de lignes à très grande capacité. [2]

1.2.2 Les réseaux de répartition :

Alimentés par des centrales électriques de moyenne puissance (inférieure à 100 MW) et par le réseau de transport, les réseaux de répartition électrique, fonctionnant en haute tension, assurent la distribution de l'électricité à l'échelle régionale. [2]

1.2.3 Les réseaux de distribution :

Constitués de deux sous-niveaux de tension moyenne et basse tension, les réseaux de distribution permettent le raccordement des utilisateurs résidentiels. Leur conception vise à offrir aux consommateurs une large gamme de solutions, en fonction des spécificités du pays et de la densité de population. [2]

1.2.4 Les réseaux d'interconnexion :

Le réseau d'interconnexion sert à la distribution d'énergie entre les diverses centrales opérationnelles. De plus, il facilite la réparation des réseaux en cas de panne d'une source ou lors d'un incident. [2]

1.3 Les structures topologiques des réseaux électriques :

1.3.1 les réseaux radiaux :

Il est constitué de plusieurs artères s'étendant à partir d'un point d'alimentation, mais elles sont "bouclables mais non bouclées" en raison d'un dispositif de couplage qui permet l'approvisionnement de certains dérivés via des artères adjacentes. [3]

1.3.2 les réseaux bouclés :

Ils sont approvisionnés par diverses sources (généralement 2 ou 3, rarement plus). La présence de diverses sources simultanées (renforce la sécurité d'approvisionnement en cas de défaillance de l'une d'entre elles (comme un transformateur) ou sur une boucle. [3]

1.3.3 Les réseaux maillés :

Ce sont des réseaux entièrement maillés, où l'ensemble des lignes est interconnecté en boucle. Il est essentiel que chaque section de la structure puisse supporter des surcharges constantes, et qu'elle soit équipée, à ses deux extrémités, d'instruments de coupure. Cela garantit donc la sécurité maximale, mais au coût le plus onéreux. [3]

1.4 Les postes électriques :

1.4.1 Types de postes :

1.4.1.1 Les postes à fonction d'interconnexion:

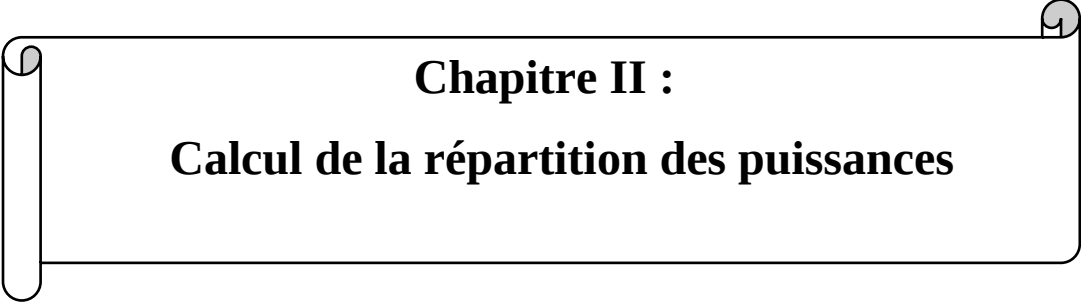
comportant un ou plusieurs points de connexion triphasés désignés sous le terme de jeux de barres. sont conçues pour permettre l'aiguillage de différentes lignes (lignes, transformateurs, etc.) ayant la même tension. [4]

1.4.1.2 Les poste de transformation :

Ces installations comprennent au minimum deux ensembles de jeux de barres à des niveaux de tension distincts, interconnectés par un ou plusieurs transformateurs. [4]

1.4.1.3 Les postes mixte:

Les appareillages haute tension assurent des fonctions clés : la commande ou l'interruption du courant, le maintien de la continuité ou l'isolement des circuits, ainsi que l'ajustement des niveaux de tension grâce aux transformateurs de puissance. Ce type d'équipement, nécessitant plusieurs étapes de conversion, est fréquemment rencontré dans les réseaux interconnectés. [4]



Chapitre II :

Calcul de la répartition des puissances

Introduction :

Dans ce chapitre, les principaux objectifs sont : la détermination des puissances actives et réactives qui circulent dans les branches du réseau électrique. C'est ce qu'on appelle le « Load Flow ».

Par suite, les résultats du load flow nous permettent d'un choix préalable de la tension du réseau. Cela nous permettra de calculer les courants qui circulent dans les branches et faire le choix de la section des conducteurs de phase.

Les données pour réaliser ce travail sont les puissances des charges et des sources ainsi que leurs positions géographiques, les caractéristiques des transformateurs et des lignes, ...

Pour un RE maillé à plusieurs nœuds, les équations nécessaires à la détermination du load flow forment un système de $2n-1$ équations non linéaires pour autant d'inconnues et sans l'utilisation de l'informatique et donc des modèles du RE il est très difficile de les résoudre.

Considérons un réseau de transport constitué de 11 nœuds, 11 charges et 4 sources (12 tronçons).

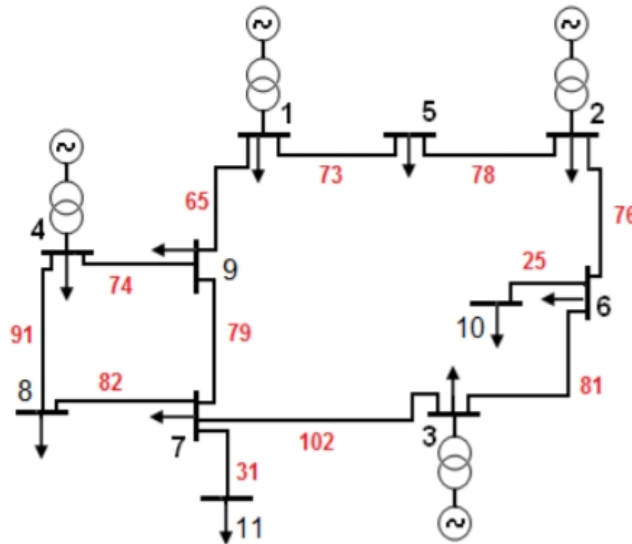


figure II. 1 Le modèle de réseau étudié

Tableau II. 1 les puissances des charges

Nœud	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$P_c(\text{MW})$	136	124	114	134	142	90	96	106	144	42	37
$Q_c(\text{MVar})$	84	72	84	100	110	60	64	54	112	29	18

Le Nœud 1 est considéré comme le nœud bilan

Tableau II. 2 les puissances des sources

Source	2	3	4
$P_G(\text{MW})$	300	280	320
$Q_G(\text{MVar})$	186	174	198

2.1 Régime normal

2.1.1 détermination des puissances :

2.1.1.1 simplification de nœud 6 et 7

Pour le nœud 6 :

$$S_{6\text{tot}} = S_6 + S_{10} + \Delta S_{6_10}$$

$$\Delta S_{6_10} = 0.05(P_{C10} + Q_{C10}) ; \Delta S_{6_10} = 0.05(42 + 29j) = 2.1 + 1.45j$$

Alors :

$$S_{6\text{tot}} = 90 + 60j + 42 + 29j + 2.1 + 1.45j ; \quad S_{6\text{tot}} = 134.1 + 90.45j$$

Pour le nœud 7 :

$$S_{7\text{tot}} = S_7 + S_{11} + \Delta S_{7_11} ; \quad S_{7\text{tot}} = 134.85 + 82.9j$$

2.1.1.2 Loi de Kirchhoff :

A/loi de nœud:

$$S_{15} = S_{52} + S_{C5}$$

$$S_{G2} + S_{52} = S_{C2} + S_{26}$$

$$S_{26} = S_{C6} + S_{63}$$

$$S_{G3} + S_{63} = S_{C3} + S_{37}$$

$$S_{79} + S_{37} = S_{78} + S_{C7}$$

$$S_{78} + S_{48} = S_{C8}$$

$$S_{49} + S_{48} + S_{C4} = S_{G4}$$

$$S_{19} + S_{49} = S_{97} + S_{C9}$$

Alors :

$$S_{15} - S_{52} = S_{C5} \quad S_{15} - S_{52} = 142 + 110j$$

$$S_{52} - S_{26} = S_{C2} - S_{G2} \quad S_{52} - S_{26} = -176 - 114j$$

$$S_{26} - S_{63} = S_{C6} \quad S_{26} - S_{63} = 134.1 + 90.45j$$

$$S_{63} - S_{37} = S_{C3} - S_{G3} \quad S_{63} - S_{37} = -166 - 90j$$

$$S_{97} + S_{37} - S_{78} = S_{C7} \quad S_{97} + S_{37} - S_{78} = 134.85 + 82.9j$$

$$S_{78} + S_{48} = S_{C8} \quad S_{78} + S_{48} = 106 + 54j$$

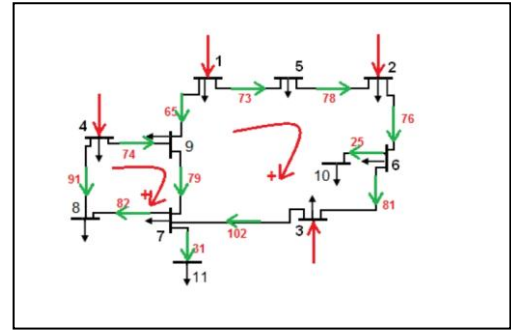


figure II. 2 le modèle de réseau étudié en régime normal

$$S_{49} + S_{48} = S_{G4} - S_{C4}$$

$$S_{49} + S_{48} = 186 + 98j$$

$$S_{19} + S_{49} - S_{97} = S_{C9}$$

$$S_{19} + S_{49} - S_{97} = 144 + 112j$$

B/loi de maille :

$$S_{15}.l_{15} + S_{52}.l_{52} + S_{26}.l_{26} + S_{63}.l_{63} + S_{37}.l_{37} - S_{97}.l_{97} - S_{19}.l_{19} = 0$$

$$S_{49}.l_{49} + S_{97}.l_{97} + S_{78}.l_{78} - S_{48}.l_{48} = 0$$

Alors :

$$S_{15}.73 + S_{52}.78 + S_{26}.76 + S_{63}.81 + S_{37}.102 - S_{97}.79 - S_{19}.65 = 0$$

$$S_{49}.74 + S_{97}.79 + S_{78}.82 - S_{48}.91 = 0$$

Sous forme matrice on a :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 73 & -65 & 78 & 76 & 81 & 102 & -79 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 79 & 82 & -91 & 74 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{15} \\ S_{19} \\ S_{52} \\ S_{26} \\ S_{63} \\ S_{37} \\ S_{97} \\ S_{78} \\ S_{48} \\ S_{49} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 142 + 110j \\ -176 - 114j \\ 134.1 + 90.45j \\ -166 - 90j \\ 134.85 + 82.9j \\ 106 + 54j \\ 186 + 98j \\ 144 + 112j \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} S_{15} \\ S_{19} \\ S_{52} \\ S_{26} \\ S_{63} \\ S_{37} \\ S_{97} \\ S_{78} \\ S_{48} \\ S_{49} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 44.03 + 55.43j \\ 88.92 + 91.92j \\ -97.97 - 54.57j \\ 78.03 + 59.43j \\ -56.07 - 31.02j \\ 109.93 + 58.98j \\ 30.31 + 23.21j \\ 5.39 - 0.71j \\ 100.61 + 54.71j \\ 85.39 + 91.92j \end{bmatrix}$$

2.1.2 Les choix de tensions :

La tension U_n sera choisit avec une valeur standard comprise entre $0,6U < U_n < 1,5U$.

les relations que utilisé :

$$U = 4.34\sqrt{L + 0.016P} \text{ pour : } L < 250\text{km et } P < 60 \text{ MW}$$

$$U = \sqrt{P(0.1 + 0.015\sqrt{L})} \text{ pour : } L < 1000 \text{ km et } P > 60 \text{ MW}$$

Pour la ligne 1-5 :

$$P = 44.03 \text{ MW}$$

$$U = 4.34\sqrt{L + 0.016P}$$

$$\text{Donc } U_{15} = 4.34\sqrt{73 + 0.016 * 44030}$$

$$U_{15} = 121.01 \text{ kV}$$

$$0.6.150 < U_{15} < 1.5.150$$

$$90 < U_{15} < 225$$

$$\text{Donc : } U_{15} = 150 \text{ kV}$$

Pour la ligne 5-2 :

$$P = 97.97 \text{ MW ; } U = \sqrt{P(0.1 + 0.015\sqrt{L})}$$

$$\text{Donc : } U_{52} = \sqrt{97970(0.1 + 0.015\sqrt{78})}$$

$$U_{52} = 150.91 \text{ kV}$$

$$90 < U_{52} < 225$$

$$\text{Donc : } U_{52} = 150 \text{ kV}$$

Alors :

Tableau II. 3 le choix de tension

Ligne	P(MW)	L(Km)	U(kV)
1-5	44.03	73	150
5-2	97.97	78	150
2-6	78.03	76	150
6-3	56.07	81	150
3-7	109.93	102	150
9-7	30.31	79	150
7-8	5.39	82	150
4-8	100.61	91	150
4-9	85.39	74	150
1-9	88.92	65	150

2.1.3 Calculs de courants :

Tableau II. 4 les calculs des courants

ligne	S(MVA)	/S/	U(kV)	I(A)
1-5	44.03 + 55.43j	70.7873	150	272.4604
5-2	- 97.97 - 54.57j	112.1437	150	431.6413
2-6	78.03 + 59.43j	98.0834	150	377.5232
6-3	- 56.07 - 31.02j	64.0797	150	246.6429
3-7	109.93 + 58.98j	124.7519	150	480.1703
9-7	30.31 + 23.21j	38.1770	150	146.9433
7-8	5.39 - 0.71j	5.4374	150	20.9286
4-8	100.61 + 54.71j	114.5232	150	440.8000
4-9	85.39 + 43.29j	95.7365	150	368.4900
1-9	88.92 + 91.92j	123.64	150	475.89
6-10	44.1+30.45j	53.59	150	206.2725
7-11	38.85+18.9j	43.2	150	166.2899

2.1.5 Choix des sections :

D'après le tableau des sections :

Tableau II. 5 Le tableau des sections

F(mm ²)	35	70	95	130	150	185	240	300	400	500	600
I _{adm}	175	265	330	380	445	510	610	690	835	945	1050

$$F=185 \text{ mm}^2$$

2.2 Régime après avarie :

Le courant plus élevé est celui qui traverse le tronçon 3-7

Donc on éliminer S_{37} :

2.2.1 détermination des puissances :

Donc les équations :

A/D'après le loi de nœud :

Donc:

$$S_{15}-S_{52}=142+110j$$

$$S_{52}-S_{26}=-176-114j$$

$$S_{26}-S_{63}=134.1+90.45j \quad S_{63}=-166-90j$$

$$S_{97}-S_{78}=134.85+82.9j$$

$$S_{78}+S_{48}=106+54j$$

$$S_{49}+S_{48}=186+98j$$

$$S_{19}+S_{49}-S_{97}=144+112j$$

B/loi de maille :

$$S_{49.74} + S_{97.79} + S_{78.82} - S_{48.91} = 0$$

Sous forme matrice on a :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 79 & 82 & -91 & 74 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{15} \\ S_{19} \\ S_{52} \\ S_{26} \\ S_{63} \\ S_{97} \\ S_{78} \\ S_{48} \\ S_{49} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 142 + 110j \\ -176 - 114j \\ 134.1 + 90.45j \\ -166 - 90j \\ 134.85 + 82.9j \\ 106 + 54j \\ 186 + 98j \\ 144 + 112j \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} S_{15} \\ S_{19} \\ S_{52} \\ S_{26} \\ S_{63} \\ S_{97} \\ S_{78} \\ S_{48} \\ S_{49} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -65.98 - 3.55j \\ 198.85 + 150.9j \\ -207.90 - 113.55j \\ -31.9 + 0.45j \\ -166 - 90j \\ 113.60 + 67.90j \\ -21.25 - 15j \\ -21.25 - 15j \\ 58.75 + 29j \end{bmatrix}$$

2.1.2 Calculs de courants :

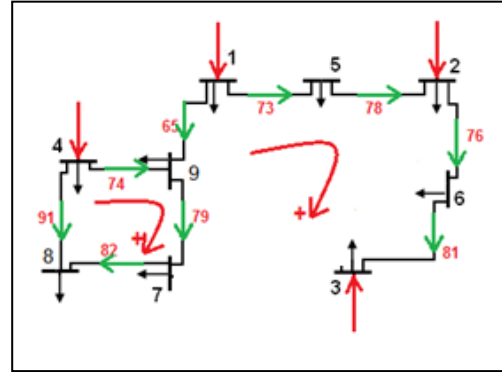


figure II. 3 le modèle de réseau étudié en régime après avarie

Tableau II. 6 Les calculs des courants en régime après avarie

ligne	S(MVA)	/S/	U(kV)	I(A)
1-5	-65.98-3.55j	66.0754	150	254.3
5-2	-207.90 – 113.55j	236.8882	150	911.8
2-6	-31.90 + 0.45j	31.9032	150	122.8
6-3	-166 – 90j	188.8280	150	726.8
9-7	113.60 + 67.90j	132.3448	150	509.4
7-8	-21.25 – 15j	26.0119	150	100.1
4-8	127.25 + 69j	144.7541	150	557.2
4-9	58.75 + 29j	65.5171	150	252.2
1-9	198.85 + 150.90j	249.6240	150	960.80
6-10	44.1+30.45j	53.59	150	206.2725
7-11	38.85+18.9j	43.2	150	166.2899

2.1.3 Vérifications des sections :

Donc $F=600 \text{ mm}^2$

2.3 Régime futur :

Dans le régime futur les valeurs de puissance on va les multiplier par $1.05 \cdot 10^9$ car augmentation de la charge de 5% chaque année et on a 10 années donc on va multiplier ces charges.

2.3.1 détermination des puissances des charges et des sources :

Tableau II. 7 les puissances des charges en régime futur

Nœud	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P_{CF} (MW)	210.98	192.36	176.85	207.87	220.28	136.61	148.92	164.44	223.39	65.15	57.39
Q_{CF} (MVAR)	130.31	111.69	130.31	155.13	170.64	93.07	99.28	83.77	173.74	44.98	27.92

La puissance apparente : $S_{cf}=P_{cf}+Q_{cf} j$

Tableau II. 8 les puissances des sources en régime futur

$$P_{nf} = P_g - P_{cf};$$

$$Q_{nf} = Q_g - Q_{cf};$$

$$S_{nf} = S_g - S_{cf};$$

source	2	3	4
P_{gf}	300	280	320
Q_{gf}	186	174	189

2.3.2 détermination des puissances :

2.3.1.1 simplification de nœud 6 et 7

Pour le nœud 6 :

$$S_{6\text{tot}}=205.01+140.299j$$

Pour le nœud 7 :

$$S_{7\text{tot}}=209.17+128.596j$$

2.1.1.2 Loi de Kirchhoff :

A/loi de nœud:

Alors :

$$S_{15}-S_{52}=220.28+170.64j$$

$$S_{52}-S_{26}=-107.64-74.31j$$

$$S_{26}-S_{63}=205.01+140.299j$$

$$S_{63}-S_{37}=-103.15-43.69j$$

$$S_{97}+S_{37}-S_{78}=209.17+128.596i$$

$$S_{78}+S_{48}=164.44+83.77j$$

$$S_{49}+S_{48}=96.61+15.26j$$

$$S_{19}+S_{49}-S_{97}=223.39+173.74j$$

B/loi de maille :

$$S_{15}.l_{15}+S_{52}.l_{52}+S_{26}.l_{26}+S_{63}.l_{63}+S_{37}.l_{37}-S_{97}.l_{97}-S_{19}.l_{19}=0$$

$$S_{49}.l_{49}+S_{97}.l_{97}+S_{78}.l_{78}-S_{48}.l_{48}=0$$

Alors :

$$S_{15}.73+S_{52}.78+S_{26}.76+S_{63}.81+S_{37}.102-S_{97}.79-S_{19}.65=0$$

$$S_{49}.74+S_{97}.79+S_{78}.82-S_{48}.91=0$$

Sous forme matrice on a :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 73 & -65 & 78 & 76 & 81 & 102 & -79 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 79 & 82 & -91 & 74 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{15} \\ S_{19} \\ S_{52} \\ S_{26} \\ S_{63} \\ S_{37} \\ S_{97} \\ S_{78} \\ S_{48} \\ S_{49} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 220.28 + 170.64j \\ -107.64 - 74.31j \\ 205.01 + 140.299j \\ -103.15 - 43.69j \\ 209.17 + 128.596 \\ 164.44 + 83.77j \\ 96.61 + 15.26j \\ 223.39 + 173.74j \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} S_{15} \\ S_{19} \\ S_{52} \\ S_{26} \\ S_{63} \\ S_{37} \\ S_{97} \\ S_{78} \\ S_{48} \\ S_{49} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 280.49 + 221.45j \\ 434.4 + 342.33j \\ 60.21 + 50.81j \\ 167.85 + 125.12j \\ -37.16 - 15.18j \\ 65.99 + 28.51j \\ 169.78 + 114.76j \\ 26.60 + 14.68j \\ 13.784 + 69.09j \\ -41.23 - 53.83j \end{bmatrix}$$

2.3.3 Calcul des courants :

On a essayé de calculer le courant avec tension 150 kV mais en remarque il y'aura de problèmes de tronçons 1-5 ;2-6 ;9-7 ;1-9 donc en réalise le réseau avec une tension 220 kV Au lieu de 150 kV

Tableau II. 9 Calcul des courants

ligne	S(MVA)	/S/	U(kV)	I(A)
1-5	280.49 + 221.45j	357.3720	220	937.9
5-2	60.21 + 50.81j	78.7839	220	206.8
2-6	167.85 + 125.12j	209.3529	220	549.4
6-3	-37.16 - 15.18j	40.1410	220	105.3
7-3	65.99 + 28.51j	71.8853	220	188.7
9-7	169.78 + 114.76j	204.9271	220	537.8
7-8	26.60 + 14.68j	30.3819	220	79.7
4-8	137.84 + 69.09j	154.1859	220	404.6
4-9	65.99 + 28.51j	71.8853	220	188.7
1-9	434.40 + 342.33j	553.0761	220	1351.4
6-10	68.41+47.24j	83.1357	220	218.2
7-11	60.27+29.32j	67.0234	220	175.9

On remarque après le calcul avec de tension 220 kV il reste le problèmes sur les tronçons 1-5 et 1-9 la solution proposés est : Dédoublment des lignes 1-5 et 9-1

2.3.4 le choix de sections :

$F=300 \text{ mm}^2$ et $I_{\text{adm}}=690 \text{ A}$

2.3.5 vérification de régime après avarie avec une tension ($U=220 \text{ kV}$)

Tableau II. 10 vérification de régime après avarie avec une $U = 220 \text{ kV}$

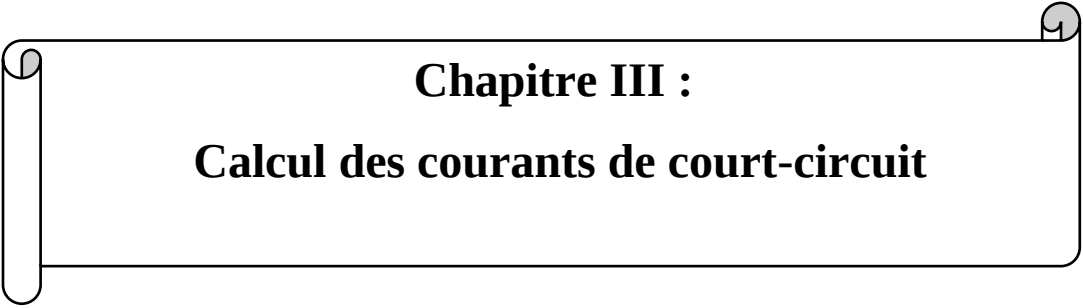
ligne	S(MVA)	/S/	U(kV)	I(A)
1-5	-65.98-3.55j	66.0754	220	173.4030/2
5-2	-207.90 – 113.55j	236.8882	220	621.6703
2-6	-31.90 + 0.45j	31.9032	220	83.7242
6-3	-166 – 90j	188.8280	220	495.5450
9-7	113.60 + 67.90j	132.3448	220	347.3150
7-8	-21.25 – 15j	26.0119	220	68.2635
4-8	127.25 + 69j	144.7541	220	379.8810
4-9	58.75 + 29j	65.5171	220	171.9378
1-9	198.85 + 150.90j	249.6240	220	655.0931/2
6-10	44.1+30.45j	53.59	220	140.6373
7-11	38.85+18.9j	43.2	220	113.3706

On remarque tous les courants sont inférieurs à $I_{\text{adm}}=690 \text{ A}$

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons déterminé le load flow dans 3 régimes (normal, après avarié, futur) et à partir les résultats de derniers nous permettant un choix préalable de la tension de réseau .ainsi que choisi les sections à partir la comparaison entre les courants calculé et le courants d'admissible .Nous avons établi la conclusion suivante.

- Tension du réseau : 220 kV.
- Dédoublment des lignes 1-5 et 9-1.
- Section des conducteurs : 300mm².

A decorative horizontal box with a scroll-like appearance. It has a light gray background and a dark gray border. The left side features a vertical scroll edge, and the right side has a small circular scroll end. The text is centered within the box.

Chapitre III :

Calcul des courants de court-circuit

Introduction :

Le I_{cc} à prendre en compte dans la conception et l'exploitation d'un réseau électrique. Lorsqu'un défaut, tel qu'un court-circuit monophasé, biphasé ou triphasé, survient sur une installation, il engendre une circulation de courants intenses susceptibles de provoquer des dommages aux équipements et de compromettre la stabilité du système.

Le calcul du courant de court-circuit permet de déterminer les niveaux de courant maximaux pouvant apparaître en cas de défaut. Ces informations sont essentielles pour :

- le dimensionnement des équipements et la protection

3.1 Les types de courant de court-circuit :

Il existe, cinq types de court-circuit :

3.1.1 court-circuit phase-terre (court-circuit monophasé) :

un contact non intentionnel s'établit entre une phase et la terre ou le neutre, entraînant un courant excessif. Un court-circuit dégrade des matériels électriques et est maîtrisé par une protection appropriée : disjoncteur, fusible.[7]

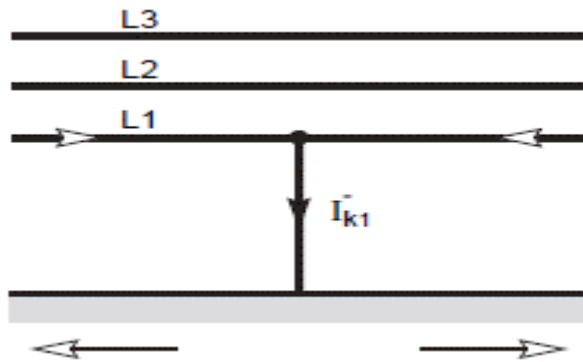


figure III. 1 le court-circuit phase-terre[11]

3.1.2 Le court-circuit phase-phase (PP):

Il peut être assimilé à un contact direct entre deux phases au potentiel le plus élevé comme s'il s'agissait d'une phase unique, entraînant alors la délivrance d'un fort courant, ce qui provoque de fortes surintensités qui peuvent occasionner de sérieux dommages à l'installation, notamment lorsque la protection ne coupe pas suffisamment rapidement. [7]

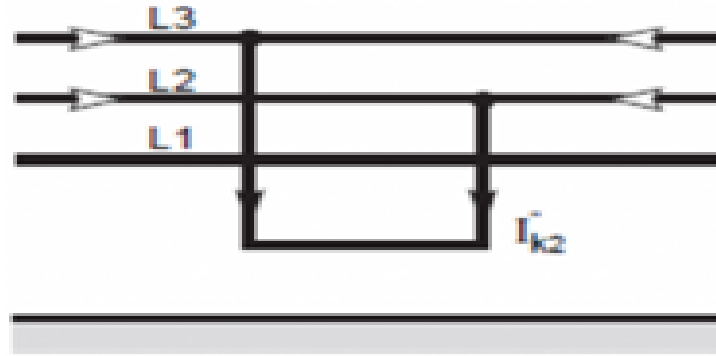


figure III. 2 Le court-circuit phase-phase [12]

3.1.3 Le court-circuit phase-phase-terre (PPT):

Un court-circuit biphasé-terre apparaît typiquement lorsqu'on commence par un défaut entre deux phases qui se transforme rapidement en défaut biphasé-terre. Le court-circuit biphasé-terre est un court-circuit conduisant à un fort courant susceptible de détériorer les installations électriques si la protection ne réagit pas, dans un délai suffisamment court.[7]

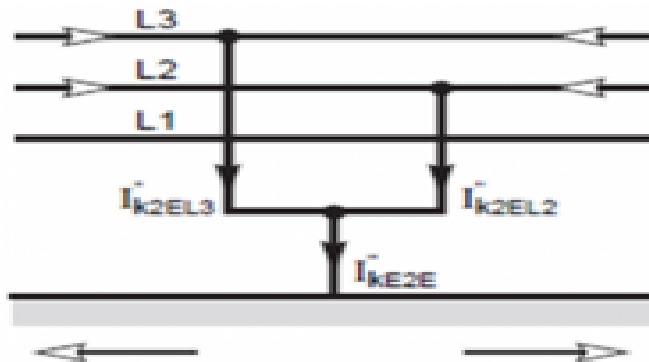


figure III. 3 Le court-circuit phase-phase-terre[12]

3.1.4 Le court-circuit triphasé (PPP):

Un court-circuit triphasé (PPP), ou court-circuit total, se produit lorsque les trois phases d'un réseau triphasé sont reliées entre elles. Un courant de court-circuit peut s'afficher dès lors comme très élevé. Bien que cette anomalie soit rare (environ 5 % des cas), elle peut causer des dommages lourds aux installations électriques [9]

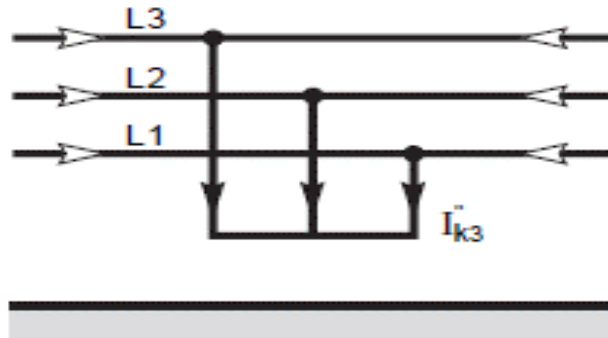


figure III. 4 Le court-circuit triphasé [8]

3.2 Effets du courant de court-circuit :

3.2.1 L'effet électrodynamique :

Les conducteurs, jeux de barres, disjoncteurs ou autres équipements pourront subir, du fait du passage d'un courant de court-circuit, d'importantes forces électrodynamiques susceptibles de générer déformations ou dommages.

Pour pallier cette influence, il convient, Permettre, d'un côté, le respect d'une distance suffisante entre les éléments conducteurs et, de l'autre, la maîtrise du courant de court-circuit lorsque cela s'avère nécessaire par l'ilotage des réseaux, et enfin, de bien arrimer les conducteurs à l'aide de dispositifs appropriés afin de les déplacer moins facilement.

3.2.2 L'effet thermique :

Les pertes joule des conducteurs sont la principale cause du sur-échauffement de tout appareil électrique.

Cependant, plus la section des conducteurs est élevée, plus ils peuvent supporter cette chaleur. d'un autre côté, il est important de limiter la valeur d'un courant de court-circuit ainsi que son temps d'application. [7]

3.2.3 L'arc électrique :

L'arc électrique se forme par ionisation l'air entre deux points conducteurs sous tension, qui une fois créé est soutenu par la source de courant.

L'arc peut entraîner la fusion des isolants, Causer des dommages aux conducteurs et engendrer des interférences électromagnétiques [9]

Pour la protection , on utilise des dispositifs appropriés comme les éclateurs et parafoudres qui détournent ou limitent l'arc électrique.

3.2.4 Courants de terre :

Dans un système alimenté à trois phases dissymétriques, on ne peut plus dire qu'il existe une somme nulle des trois courants ; la différence l'utilise comme retour, comme dans le cas des court-circuit dissymétriques (PT et PPT). [9]

Les courants de fuite vers la terre peuvent provoquer des écarts de potentiel dangereux, compromettant la sécurité des personnes et les dispositifs ..

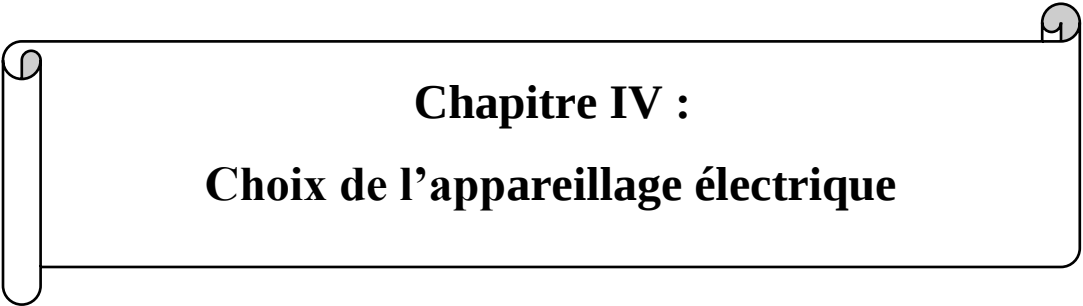
3.3 Calcul des courants de court-circuit (C.C.C):

Tableau III. 1 Calcul de ICC

nœuds	icc
1	2934.1
2	2151.5
3	2162.8
4	2122.4
5	3185.1
6	7607.5
7	9966.5
8	3908.5
9	6387.5
10	4646.9
11	4806.8

Conclusion :

L'analyse des courants de court-circuit est opérationnelle pour garantir la sécurité et la fiabilité d'un réseau électrique. On utilise MATLAB pour déterminer des courants critiques. Ces résultats sont précieux pour le dimensionnement des protections, permettant une action rapide adaptée limitant les risques humains et matériels.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical bar on the left and a horizontal bar at the top, both featuring rounded ends and a slight shadow effect.

Chapitre IV :

Choix de l'appareillage électrique

4.1 Introduction :

Le choix de l'appareillage électrique est une étape essentielle dans la conception et la réalisation de tout système électrique. Cela implique la sélection judicieuse des composants du système dans son ensemble. Dans ce chapitre, nous examinerons en détail les différents aspects liés au choix de l'appareillage électrique.

4.2 Les transformateurs de puissance:

4.2.1 Définition :

les transformateurs jouent un rôle essentiel dans le transport d'énergie. Selon la définition de la Commission Électrotechnique Internationale, il s'agit d'"appareils statiques composés d'au moins deux enroulements, qui, par le principe d'induction électromagnétique, convertissent un système de tension et de courant alternatif en un autre, mais de même fréquence.

4.2.2 Choix des transformateurs :

- Le choix de la tension primaire (220kV)
- la tension secondaire (115kv)

D'où la puissance est : $S_{tr} = S_{ch} / (2 \times 0,7)$.

4.2.3 La vérification du choix des transformateurs :

En cas de panne d'un transformateur :

- L'autre doit prendre toute la charge pendant 5h
- Condition : $S_{ch} \times 1.4 < S_{tr} \text{ normalisée}$

[5] [6]

Tous ces transformateurs sont 220 kV / 115 Kv

Tableau IV. 1 Choix et vérification des transformateurs

JB	S charge(MVA)	Str calculée (MVA)	Str normalisée(MVA)	Scharge * 1,4	vérification
1	69,46221995	49,61587139	120	97,24710793	Strnormalisée > Sch*1,4
2	111,0180166	79,29858325	180	155,4252232	Strnormalisée > Sch*1,4
3	164,0121947	117,1515676	240	229,6170726	Strnormalisée > Sch*1,4
4	255,6986664	184,7847617	360	357,978133	Strnormalisée > Sch*1,4
5	153,0522787	109,3230562	240	214,2731902	Strnormalisée > Sch*1,4
6	161,0124219	115,0088728	240	225,4173907	Strnormalisée > Sch*1,4
7	89,02246907	63,58747791	150	124,6314567	Strnormalisée > Sch*1,4
8	131,2440475	93,7457482	240	183,7416665	Strnormalisée > Sch*1,4
9	118,0042372	84,28874087	180	165,2059321	Strnormalisée > Sch*1,4
10	118,0042372	84,28874087	180	165,2059321	Strnormalisée > Sch*1,4
11	111,0180166	79,29858325	180	155,4252232	Strnormalisée > Sch*1,4
12	167,1077497	119,3626783	240	233,9508496	Strnormalisée > Sch*1,4
13	89,02246907	63,58747791	150	124,6314567	Strnormalisée > Sch*1,4

4.3 Les Disjoncteurs

4.3.1 Définition :

D'après la définition formulée par la CEI, un disjoncteur haute tension a pour fonction de fermer, maintenir et couper des courants sous la tension nominale qui lui est attribuée..

4.3.2 Choix et vérification des disjoncteurs

Le choix de disjoncteur Jb01 :

On prend le type **BBY-35-2** :

$$U_{nd} = 220 \text{ kV} = U_n$$

$$I_{nd} = 2000 \text{ A} > I_{n \text{ max}} = 549 \text{ A}$$

$$I_{d\text{éc}} = 40 \text{ KA} > I_{cc} = 19.7 \text{ KA}$$

$$I_{chocD} = 100 \text{ KA} > I_{choc} = 47 \text{ kA}$$

$$I_T^2 \cdot t_T = 48 \times 10^8 (\text{A}^2 \cdot \text{s}) > B = 0.52 \times 10^8 (\text{A}^2 \cdot \text{s})$$

Donc, le choix du disjoncteur est bon.

Tableau IV. 2 Choix des disjoncteurs

JB	ICC(kA)	Ichoc	B*10 ⁸	Type DSJ
1	19.7	47002,1514	0,5221146	BBY-35-2
2	10.8	25912,6068	0,1586911	BMK-35-2
3	10.5	25004,3989	0,14776215	BMK-35-2
4	10.3	24674,576	0,14388972	BMK-35-2
5	10.6	25214,7207	0,15025838	BMK-35-2
6	8,14	19447,6002	0,08938454	BMK-35-1
7	7,69	18384,0409	0,07987527	BMK-35-2
8	6,79	16228,242	0,06224054	BMK-35-1
9	8,91	21302,2565	0,10724612	BMK-35-2
10	8,35	19947,8316	0,09404198	BMK-35-2
11	8,64	20659,3408	0,10087029	BMK-35-2
12	8,85	21156,4652	0,10578317	BMK-35-2
13	9,97	23818,9485	0,13408356	BMK-35-2

4.4 Les sectionneurs :

Ces dispositifs, principalement utilisés à des fins de sécurité, permettent d'isoler une machine, un groupe de circuits ou une portion de ligne du reste du réseau. Ils garantissent ainsi un accès sécurisé aux installations pour le personnel d'intervention. Leur rôle est d'ouvrir ou de fermer un circuit lorsqu'il n'est pas sous charge [7] .

4.4.1 Choix et vérification des sectionneurs :

on choisit le sectionneur de type GW avec les caractéristiques suivantes :[8]

$$U_{ns} = 220 \text{ KV} = U_n \quad ; \quad I_{ns} = 2000 \text{ A} > I_{\text{max}} = 549.62 \text{ A}$$

$$I_{choc_s} = 125 \text{ KA} > I_{choc} = 45.93 \text{ kA}$$

$$I_T^2 \cdot t_T = (31.5 \times 10^3) \times 3 = 2.97 \times 10^9 > B = 0.49 \times (A^2 \cdot S)$$

4.5 Les jeux de barres :

4.5.1 Définition :

Il s'agit de conducteurs collecteurs, appelés jeux de barres, sur lesquels viennent se raccorder les lignes électriques ainsi que les transformateurs du réseau.

4.5.2 Choix et vérification des jeux de barres :

on choisit un tube Aluminium comme le montre dans le tableau des valeurs des courants admissible .

Caractéristique du tube :

D (mm)	d (mm)	I _{ad} (A)
20	17	345

4.5.3 Vérification selon le courant admissible :

Pour l'aluminium $t_{adm} = 70^\circ\text{C}$

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U} = 417,31 \text{ A} ; \text{ Chaque transformateur débite : } \frac{I_{\max}}{2} = 208,655 \text{ A}$$

Donc la condition est vérifiée : $\frac{I_{\max}}{2} = 208,655 \text{ A} < I_{adm} = 345 \text{ A}$.

4.5.4 Vérification selon la tenue thermique :

en utilisant la formule $i^2 t = k^2 s^2$, où :

$k = 91 \text{ as}^{0.5}/\text{mm}^2$ pour les barres d'aluminium rigides (température maximale : 200°C)

S = section transversale de la barre en mm^2 .

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = 87.13 [\text{mm}^2] \quad I_{cc_{\max}} = 19,7 \text{ KA (le cas le plus defavorable)}$$

I _{cc} max	I _{cc} ² *t	k ² * s ²
19700	5,21 ^{^7}	6,28*10 ⁷

$I^2 t > K^2 S^2$ Donc, la tenue thermique est vérifiée pour tous les jeux de barres .

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé le choix de l'appareillage électrique, en mettant l'accent sur une sélection appropriée des équipements électrique ; Ce choix repose sur les exigences en matière grandeur électrique. Il s'appuie à la fois sur les normes en vigueur .

Chapitre V :
Le calcul des tensions

Chapitre V : Le calcul des tensions

Introduction :

Le fonctionnement du RE peuvent être résumées par les équations des flux de puissance (EFPs).

Le fonctionnement normal du réseau (99% des cas) nécessite une fréquence fixe et des tensions aux niveaux des jeu-de-barres dans leurs intervalles de tolérance. Cela est obtenu par la réalisation à tout moment de la contrainte d'égalité :

« Somme des puissances produites = Somme des puissances consommées »

Cela étant tout en respectant aussi des contraintes d'inégalité, exemple : les puissances générées par les centrales comprises dans un intervalle bien précis $P_{Gimin} \leq P_{Gi} \leq P_{Gimax}$; $Q_{Gimin} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gimax}$; les limites thermiques et statiques des conducteurs de phase doivent être évitées. Comme il faut aussi assurer l'état de fonctionnement du RE dans la stabilité par un minimum de réserve de puissance produite pour pouvoir répondre à toute urgence ou perturbation.

Dans le cas d'une instabilité, augmentation brusque de la charge par exemple, tant que les contraintes d'égalité et d'inégalité restent vérifiées, le RE fonctionnera normalement pendant une certaine durée de temps où il faut agir pour le contrôler et le ramener à son état de fonctionnement normal.

5.1 Calcul des tensions au nœuds :

Tableau V. 1 calcul des tension au nœuds

JB	U(kV)	/U/ (kV)
1	220.00 + 0.0000j	220
2	224.79 + 8.54j	224.95
3	220.97 + 6.75j	221.07
4	217.07 + 2.20j	217.08
5	211.71 - 4.40j	211.75
6	213.77 - 0.83j	213.77
7	203.37 - 12.37j	203.74
8	203.23 - 13.36j	203.67
9	207.13 - 8.58j	207.31
10	211.85 - 2.55j	211.86
11	201.74 - 14.36j	202.26

5.2 calcul des chutes de tension :

Tableau V. 2 calcul des chutes de tension

JB	/U/ (kV)	$\Delta U(\%)$
1	220	0
2	224.95	-2.25
3	221.07	-0.49
4	217.08	1.33
5	211.75	3.75
6	213.77	2.83
7	203.74	7.39
8	203.67	7.42
9	207.31	5.77
10	211.86	3.70
11	202.26	8.07

Toutes les chutes de tension sont acceptables $< 10\%$. Mais celles aux niveaux des JB7, JB8 et JB11 sont jugées élevées. On va essayer de les diminuer

5.3 Les Type de compensation :

5.3.1 Compensation capacitive :

Fournit de la puissance réactive positive comme les batteries de condensateurs

5.3.2 compensation inductif :

Absorbe de la puissance réactive négative ($Q < 0$). Comme Réactances shunt : Les réactances shunt se présentent sous forme de bobines inductives et sont raccordées en parallèle au réseau afin de compenser la puissance réactive capacitive à absorber. [10]

5.3.3 Compensation Série :

L'ajout d'une impédance en série sur les lignes de transmission, notamment à travers des condensateurs ou des réactances série, permet d'ajuster les caractéristiques de la ligne afin d'améliorer sa capacité de transfert de puissance.[10]

5.3.4 Compensation Shunt :

En parallèle avec les lignes de transmission, elle est utilisée pour ajuster la puissance réactive au niveau local. On a les Batteries de condensateurs shunt Injectent . [10]

5.4 le réglage de tension :

Dans notre cas on va faire un réglage de tension pour le réseau électrique

Réglage par augmentation des courants d'excitation des alternateurs des sources. D'où augmentation des tensions produites par les sources.

5.4.1 Augmentation de la tension de la source 1 de 220kV à 225kV :

Tableau V. 3 Augmentation de la tension de la source 1

JB	/U/ (kV) Un=220 kV	$\Delta U(\%)$	U (kV) Un=225 kV	/U/ (kV)	$\Delta U(\%)$
1	220	0	225.00 + 0j	225.0000	régulier
2	224.95	-2.25	229.83 + 8.53j	229.9882	régulier
3	221.07	-0.49	226.03 + 0.06.74j	226.1305	régulier
4	217.08	1.33	222.11 + 2.18j	222.1207	régulier
5	211.75	3.75	216.73 - 4.41j	216.7749	régulier
6	213.77	2.83	218.82 - 0.85j	218.8217	régulier
7	203.74	7.39	208.42 - 12.38j	208.7874	5.1 %
8	203.67	7.42	208.29 - 13.37j	208.7187	5.1 %
9	207.30	5.77	212.16 - 8.59j	212.3338	régulier
10	211.87	3.70	216.91 - 2.56j	216.9251	régulier
11	202.25	8.07	206.79 - 14.37j	207.2887	5.78 %

5.4.2 Production de la puissance réactive aux bornes de la charges 11 (40%) sans augmentation de U(1):

Tableau V. 4 Production Q sans augmentation de U(1)

JB	U (kV)	$\Delta U(\%)$
1	220.00 + 0j	régulier
2	225.30 + 8.42j	régulier
3	221.99 + 6.50j	régulier
4	217.97 + 1.97j	régulier
5	211.95 - 4.46j	régulier
6	214.53 - 1.02j	régulier
7	204.73 - 12.71	6.76%
8	204.38 - 13.65	6.89%
9	207.84 - 8.76j	régulier
10	212.61 - 2.74j	régulier
11	203.54 - 14.80j	7.432%

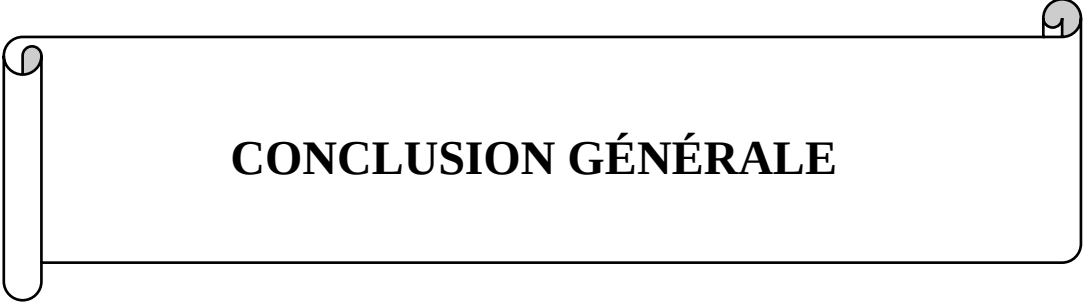
5.4.3 Production de la puissance réactive aux bornes de la charges 11 (40%) avec augmentation de U(1):

Tableau V. 5 Production Q avec augmentation de U(1)

JB	U (kV)	$\Delta U(\%)$
1	225.00 + 0j	régulier
2	230.34 + 8.40j	régulier
3	227.05 + 6.48j	régulier
4	223.02 + 1.96j	régulier
5	216.98 - 4.47j	régulier
6	219.58 - 1.04j	régulier
7	209.78 - 12.72j	4.47%
8	209.43 - 13.66j	4.6%
9	212.87 - 8.77j	régulier
10	217.66 - 2.75j	régulier
11	208.59 - 14.82j	4.95%

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons calculé les tensions au nœud après ΔU et en essayer la diminuer a partir différents méthodes.



CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale :

Le RE, permet de transporter l'énergie depuis les centres de production jusqu'aux utilisateurs finaux. Sa conception doit équilibrer impératifs techniques (construction, fonctionnement aux différents niveaux de tension) et contraintes économiques, car le choix du réseau influe directement sur le coût de l'électricité.

Pour garantir la stabilité globale du système, il est essentiel de détecter et d'isoler rapidement tout élément défectueux (ligne, transformateur, générateur), afin de limiter les perturbations et préserver le bon fonctionnement du réseau. Ce rôle est assuré par les systèmes de protection et de sécurité, indispensables à la continuité de service.

Dans le 1^{er} chapitre de ce travail, nous avons exposés la présentation de système électro-énergétique.

Dans le deuxième chapitre de ce travail, nous avons réalisé l'étude de la répartition des puissances (Load Flow) en analysant trois régimes de fonctionnement :

1. Régime normal,
2. Régime après avarie (suite à l'exclusion d'une ligne critique),
3. Régime futur

Pour cette analyse, nous avons retenu une tension de réseau de **220 kV** ainsi que des conducteurs de section **300 mm²**.

Dans le 3^{ème} chapitre, nous avons calculs Le Icc de nœuds .

Dans le 4^{ème} chapitre nous avons une Choix justifié des de l'appareillage électrique selon normes CEI et catalogues fabricants.

Dans le 5^{ème} chapitre nous avons calculé les tensions aux nœud et déterminer les chutes de tensions

Enfin, Les résultats ont montré que le bon dimensionnement des équipements .

Référence/Bibliographie:

- [1] MENACEUR Nouréddine.ZERAOULIA Mouhamed<<[Etudie et protéger les réseaux électriques de transport](#)>>mémoire de master (2018/2019) université badji mokhtar annaba.
- [2] Sari Loubna.Diabi Chaima<<[Etude d'un réseau de transport d'énergie à haute tension 90 KV](#)>>memoire de master(2017) université badji mokhtar annaba.
- [3] Bellamouchi Abdelhai.Bekkouche Moussa.Bekkouche ELhadi<<[Conception et simulation de lignes électriques à haute tension](#)>>Mémoire de fin d'étude MASTER ACADEMIQUE(2020/2021)Université Hamma Lakhdar. El Oued
- [4]Maslhi Aicha .Ahcene Djaballah Chahrazed<<[Etude de la Protection des réseaux électriques](#)>>memoire de master (2019/2020)
- [5] Westinghouse - Transformer
« <https://www.westinghouselvmv.com/downloads/September2021/Westinghouse%20-%20Transformer.pdf> »>>
- [6] Daelim belefic <https://daelim-electric.com/fr/transformateur-de-360-mva/>
- [7] HOUABES Mourad << [matériel N°2 Part 1](#) >> , Course Electrical Grids Analysis .
- [8] <https://www.trace-software.com/wp-content/uploads/2024/08/Image1.png>
- [9] benoît de METZ-NOBALT, Frédéric DUMAS, Christophe POULAIN « Calcul des courants de court-circuit» Cahier Technique Schneider Electric n° 158.
- [10] [Techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/problematiques-communes-des-reseaux-electriques-ingenierie-42267210/condensateurs-de-puissance-d4710/systemes-de-compensation-d4710niv10007.html](https://techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/problematiques-communes-des-reseaux-electriques-ingenierie-42267210/condensateurs-de-puissance-d4710/systemes-de-compensation-d4710niv10007.html)
- [11] <https://www.trace-software.com/wp-content/uploads/2024/08/Image3.png>
- [12]<https://www.trace-software.com/wp-content/uploads/2024/08/Image2-1024x386-1-768x290.png>