



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Réseau électrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
BENAMOR Abdelmonaim – HAMZA Mouadh

Le :

Planification du réseau de distribution (30kV) des zones agricoles de la région de Tolga (Ourelal)

Jury :

Mme BENYAHIA Naima	MAA	Université de biskra	Président
Mme KIYYOUR Brahim	MAA	Université de biskra	Examineur
Mr MAHDAD Belkacem	Pr	Université de biskra	Rapporteur

Année universitaire : **2019 - 2020**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseau électrique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Thème

**Planification du réseau de distribution (30kV) des
zones agricoles de la région de Tolga (Ourelal)**

Présenté par :

BENAMOR Abdelmonaim
HAMZA Mouadh

Avis favorable de l'encadreur :

Pr. MAHDAD Belkacem

Avis favorable du Président du Jury :

Mr. BENYAHIA Naima

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseau électrique

Thème :

Planification du réseau de distribution (30kV) des zones agricoles de la région de Tolga (Ourelal)

Proposé et Dirigé par : Pr. MAHDAD Belkacem

RESUME

Le réseau de distribution de la région agricole de Tolga a connu ces dernière années une extension considérable due à l'augmentation de la demande énergétique. En effet plusieurs postes électriques MT/BT (30/0.4 kV) ont été mis en service, de dizaine de kilomètres de lignes ont été installées pour améliorer les performances du réseau en termes de qualité d'énergie et une meilleure continuité de service. Ce projet de fin d'étude a pour objectif principal l'analyse et l'exploitation du réseau de distribution de la région de Ourelal (30/0.4 KV) en termes de réduction des pertes de puissance et l'amélioration de profile de tension. Une base de données technique flexible sous l'environnement Matlab a été conçue en se basant sur la topologie du réseau de distribution actuel et les consignes d'exploitation récentes fournies par la Sonelgaz.

La détermination de l'état du réseau en termes de chute de tension et pertes de puissance a été achevé par utilisation de l'algorithme de NEWTON-RAPHSON. D'une part, afin d'améliorer la qualité d'énergie fournie aux clients en particulier pendant les périodes critiques, et d'autre part réduire le coût d'exploitation du aux pertes de puissances actives, deux modes de réglages ont été proposés à savoir la technique de réglage de tension au niveau du poste source et la compensation d'énergie réactive par l'utilisation des batteries de condensateurs.

Mots clés : Réseau de distribution, gestion des réseaux électriques, base de données, méthode de Newton-Raphson, zones agricole, amélioration de qualité d'énergie, réglage de tension.

En préambule de ce mémoire nous remercions Dieu Le tout puissant qui nous a aidé et nous aidera toujours, pour nous avoir donné la clarté de vision, la patience et le courage durant toutes ces longues années d'études.

Tout d'abord nous remercions très chaleureusement Monsieur Belkacem MAHDAD pour la qualité de son enseignement, ses conseils, la confiance qu'il nous a témoignée et son intérêt incontestable qu'il porte à tous les étudiants.

Nous tenons à remercier sincèrement Monsieur Hocine SAADLAH qui a affiché une totale disponibilité en toute écoute et orientations. Ainsi que monsieur Mabrouk HOUHOU pour son aide précieux.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles, nos parents, tous nos proches et amis, qui nous ont accompagnés, aidés, soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie la récolte de mon travail à celle qui m'a donné l'espoir pour réussir et qui a sacrifié
toujours pour moi et pour que je sois là : *Ma cher maman.*

À mon meilleur exemplaire qui n'a pas cessé de m'encourager et leurs conseils constants tout au
long de mes études à qui je souhaite une longue vie : *Mon cher papa.*

Je dédie mon travail

À mes chers frères Brahim et Abdelmalek.

À mes chères sœurs et leurs maris.

À ma future épouse.

À mes très chers amis qui m'encouragent.

À mon ami Abdelmonaim.

À la fin je dédie ce mémoire à gens que j'aime.

Mouadh Hamza

*Je dédie ce travail à mes parents, ma mère
et mon père, pour leurs patiences, leurs
soutiens, leurs amours et leurs
encouragements.*

*A mon cher frère Ahmed et ma petite sœur
Nermine.*

A Mon ami Mouadh.

*A toute ma famille, amis et mes
connaissances.*

Abdelmonaim Benamor.

Table des matières

Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités sur les réseaux électriques	
I.1.Introduction:	3
I.2. Définitions :	3
I.2.1. Réseau électrique :.....	3
I.2.2. Réseau de transport :.....	4
I.2.3. Réseau de répartition :	4
I.2.4. Réseau de distribution :	4
I.3. Topologies des réseaux électriques :	4
I.3.1. Réseau maillé :	4
I.3.2. Réseau bouclé :	4
I.3.3. Réseau radial :.....	5
I.3.4. Réseau arborescent :	5
I.4. Type de réseaux de distributions :.....	5
I.4.1. Réseaux de distribution à moyenne tension HTA :.....	6
I.4.2. Réseaux de distribution à basse tension BTA :	6
I.5. Structure de réseaux de distributions :.....	6
I.5.1. Structure générale d'un réseau privé de distribution :.....	6
I.5.2. Les postes de livraison HTB :	8
I.5.3. Mode d'alimentation :	8
I.5.3.1. Simple antenne :	8
I.5.3.2. Double antenne :	9
I.5.3.3. Double antenne - double jeu de barres :.....	10
I.5.4. Les postes de livraison HTA :.....	10
I.5.4.1. Les Postes de livraison HTA/BT a comptage BT :	10
I.5.4.2. Mode d'alimentation :	11
I.5.5. Structure des réseaux HTA :.....	13
I.5.5.1. Radial en simple antenne :.....	13

I.5.5.2. Radial en double antenne sans couplage :	14
I.5.5.3. Radial en double antenne avec couplage :	15
I.5.5.4. En double dérivation :	18
I.6. Protections des réseaux électriques :	19
I.6.1. Types de défauts dans un réseau électrique :	19
I.6.2. Protection des éléments du réseau :	19
I.6.3. Appareils de protection :	20
I.6.3.1. Les relais :	20
I.6.3.2. Les Disjoncteurs:	20
I.6.3.3. Les sectionneurs :	21
I.6.3.4. Transformateurs de mesure :	21
I.7. Réseaux de distribution moderne :	22
I.7.1. Structure des réseaux de distribution moderne :	23
I.7.2. Le système SCADA (supervision par acquisition des données) :	23
I.7.2.1. Supervision dans un environnement SCADA :	23
I.7.2.2. Principe de Fonctionnement du système SCADA :	24
I.7.2.3. Avantages du système SCADA :	24
I.7.3. Moyens de production distribué :	24
I.7.3.1. Photovoltaïque :	25
I.7.3.2. Eolienne :	26
I.7.3.3. Pile à combustible :	27
I.7.3.4. Micro-turbine à gaz :	28
I.7.4. Impact de la production décentralisé au niveau de la distribution :	29
I.8. Conclusion :	29
 Chapitre II: Gestion des réseaux électriques :	
II.1. Introduction :	30
II.2. L'importance de la région agricole da Tolga :	30
II.3. Statistique sur la consommation :	31
II.4. Schéma du réseau de distribution 30/0.4 KV (Ourelal) :	34
II.5. Les problèmes rencontrés par les clients de Sonelgaz :	35
II.6. Moyens de réglage :	35
II.6.1. Changeur de prises :	35
II.6.1.1. Changeur de prises hors circuit :	36

II.6.1.2. Changeur de prises en charge :	36
II.6.2 Technique de la Compensation shunt :	39
II.6.2.1. Méthodologie de la compensation shunt :	40
II.6.3. Technique de reconfiguration :	41
II.6.4. Système SCADA dans les réseaux de distributions :	42
II.6.4.1. La fonction du système SCADA dans les réseaux de distribution :	42
II.6.4.2. L'expérience de Sonelgaz avec le système SCADA :	43
II.7. Conclusion :	44
 Chapitre III: Méthodes d'analyse des réseaux électriques	
III.1. Introduction :	45
III.2. But de l'écoulement de puissance :	45
III.3. Modélisation des éléments du réseau :	46
III.3.1. Modèle de générateur :	46
III.3.2. Modèle de Transformateur :	47
III.3.3. Modèle de Ligne :	47
III.3.4. Modèle de Charge :	48
III.3.5. Modèle de l'élément shunt :	49
III.4. Analyse de l'écoulement de puissance :	50
III.5. Classification des jeux de barres :	50
III.5.1. Jeux de barres de référence :	50
III.5.2. Jeux de barres de contrôle (PV bus) :	50
III.5.3. Jeux de barres de charge (PQ bus) :	51
III.6. Matrice d'admittance nodale :	51
III.6.1. Les équations de l'écoulement de puissance :	53
III.6.2. Equations de l'écoulement de puissance dans les lignes et les pertes :	54
III.7. Les Méthodes de résolution du problème d'écoulement de puissance :	55
III.7.1. La Méthode itérative de Newton-Raphson :	55
III.7.1.1 Principe de la méthode N-R :	55
III.7.1.2. Application de la méthode de Newton-Raphson, au problème de	57
III.7.1.3. Détermination des sous matrices de la Jacobienne J :	59
III.7.1.4. Algorithme de Newton-Raphson :	61
III.7.2. La méthode itérative de Gauss-Seidel :	62
III.7.2.1. Principe de la méthode Gauss-Seidel :	62

III.7.2.2. La méthode de Gauss Seidel appliqué aux équations de l'écoulement de puissance :.....	63
III.7.2.3. L'algorithme de Gauss Seidel :	64
III.8. Comparaison entre la méthode de G-S et méthode de N-R :	65
III.8.1. Algorithmes :	65
III.8.2. Nombre des itérations :	65
III.8.3. Temps d'exécution :	65
III.8.4. Les tensions nodales :	65
III.8.5. La chute de tension :	65
III.9. Conclusion :	66
Chapitre IV: Analyse de l'exploitation du réseau de Ourelal	
IV.1. Introduction :	67
IV.2. Description de la cabine mobile 220/30 kV de Oumeche :	67
IV.3. Description de la cabine mobile 220/30 kV de Tolga :	69
IV.4. Les différentes fonctions et types des postes MT/BT :	70
IV.4.1. Fonctions des postes MT/BT :	70
IV.4.2. Différents types de postes MT/BT :	71
IV.4.2.1. Poste sur poteau :	71
IV.4.2.2. Poste bas simplifié sous capot :	71
IV.4.2.3. Postes de type urbain raccordés en souterrain :	71
IV.4.2.4. Puissance installée supérieur à 160 KVA :	72
IV.4.3. Composition d'un poste maçonné :	72
IV.4.4. Choix du transformateur :	73
IV.4.4.1. Détermination de la puissance :	73
IV.4.4.2. Choix final de la puissance du transformateur	74
IV.4.5. Choix du disjoncteur BT :	74
IV.5. Exploitation des postes MT/BT pour la région de Tolga :	75
IV.6. Analyse du réseau de Ourelal :	75
IV.6.1. Cas normal :	75
IV.6.2. Méthodologie d'élaboration de la base de données du réseau de distribution :	77
IV.6.2.1. Les caractéristiques des jeux de barres :	77
IV.6.2.2. Les caractéristiques des lignes :	83
IV.6.3. Résultats de l'écoulement de puissance :	84
IV.7. Solutions proposées permettant d'améliorer la qualité d'énergie du réseau de Ourelal :	92

IV.7.1. Réglage de tension au niveau du poste source :	92
IV.7.1.1. Le cout des pertes :	125
IV.7.1.2. Analyse des courants transités :	126
IV.7.2. Compensation de l'énergie réactive sans optimisation :	136
IV.7.3. Compensation de l'énergie réactive en coordination avec le réglage de tension aux postes sources :	137
Conclusion générale	146
Références bibliographiques	

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Indices d'agriculture de la région de Tolga.....	31
Tableau II.2 : Mesure de charge de point pendant la période d'été 2019.....	33
Tableau II.3 : Configuration du départ Mlili de l'année 2019	41
Tableau II.4 : Configuration du départ de l'année Mlili 2020	42
Tableau III.1 : Les variables associés aux différents types de jeu de barres	51
Tableau IV.1 : Type de poste selon sa fonction.....	71
Tableau IV.2 : Les caractéristiques de tous les postes du départ de Ourelal.....	67
Tableau IV.3 : caractéristiques des lignes du réseau de distribution de Ourelal	83
Tableau IV.4 : Module et l'angle de la tension (Départ de Ourelal 30 kV)	84
Tableau IV.5 : Résultats d'analyse du réseau de Ourelal	91
Tableau IV.6 : Module et l'angle de la tension (Départ Ourelal 30.5 kV)	92
Tableau IV.7 : Résultats d'analyse du réseau de Ourelal	100
Tableau IV.8 : Module et l'angle de la tension (Départ Ourelal 31 kV)	101
Tableau IV.9 : Résultats d'analyse du réseau de Ourelal	108
Tableau IV.10 : Module et l'angle de la tension (Départ Ourelal 31.5 kV)	109
Tableau IV.11 : Résultats d'analyse du réseau de Ourelal	116
Tableau IV.12 : Module et l'angle de la tension (Départ Ourelal 32 kV)	117
Tableau IV.13 : Résultats d'analyse du réseau d'Ourelal	124
Tableau IV.14 : Cout des pertes après le réglage de tension au niveau de la cabine mobile	125
Tableau IV.15 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 30KV	126
Tableau IV.16 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 30.5KV	128
Tableau IV.17 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 31KV	130
Tableau IV.18 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 31.5KV	132
Tableau IV.19 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 32KV	134
Tableau IV.20 : Résultats d'analyse (Départ Ourelal 30 kV pour des différentes batteries de condensateurs)	136

Tableau IV.21 : Module et l'angle de la tension (Départ de Ourelal 31.5 kV QC1=0.75 MVAR, QC2=1 MVAR) 137

Tableau IV.22 : Résultats d'analyse (Départ de Ourelal 31.5 kV QC1=0.75 MVAR, QC2=1 MVAR) 145

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Ensembles d'infrastructures d'un système électrique	3
Figure I.2 : Différentes topologies des réseaux électriques	5
Figure I.3 : Niveaux de tension selon la norme UTE C 15-510.....	6
Figure I.4 : Structure générale d'un réseau privé de distribution	7
Figure I.5 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB	8
Figure I.6 : Alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB.....	9
Figure I.7 : Alimentation double antenne - double jeu de barres d'un poste de livraison HTB	10
Figure I.8 : Alimentation en simple dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT	11
Figure I.9 : Alimentation en coupure d'artère d'un poste de livraison HTA à comptage BT	12
Figure I.10 : Alimentation en double dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT	13
Figure I.11 : Réseau HTA radial en simple antenne	14
Figure I.12 : Réseau HTA radial en double antenne sans couplage.....	14
Figure I.13 : Réseau HTA radial en double antenne avec couplage	15
Figure I.14 : Réseau HTA en boucle ouverte.....	16
Figure I.15 : Réseau HTA en boucle fermée	17
Figure I.16 : Réseau HTA en double dérivation	18
Figure I.17 : Structure d'un réseau électriques intelligents	23
Figure I.18 : Installation photovoltaïque autonome.....	25
Figure I.19 : Installation photovoltaïque raccordé au réseau.....	26
Figure I.20 : Parc éolien	27
Figure I.21 : Pile à combustible.....	28
Figure I.22 : Micro-turbine à gaz.....	28
Chapitre II :	
Figure II.1 : Situation géographique de la région de Tolga.....	31
Figure II.2 : Schéma du réseau de distribution 30/0.4 KV (Ourelal)	34
Figure II.3 : Changeur de prise (un pour chaque phase)	35
Figure II.4 : changeur de prise en charge	36
Figure II.5 : les différents types de sélecteur.....	37
Figure II.6 : principe de changement de prises.....	38

Figure II.7 : Température de l’huile des changeurs de prises en charge.....	39
Figure II.8 : batteries de condensateurs moyenne tension.....	40
Figure II.9 : Principe de la compensation partielle	40
Figure II.10 : Principe de la compensation globale.....	41
Figure II.11 : salle de commande de système SCADA.....	42
Figure II.12 : Interrupteur Aérien Télécommandé	43
Chapitre III :	
Figure III.1 : Les déférentes objectifs d’analyse des réseaux électriques.....	45
Figure III.2 : Modèles des générateurs	46
Figure III.3 : Modèle des transformateurs.....	47
Figure III.4 : Modèle en TT des lignes de transport	48
Figure III.5 : Modèle de charge.....	49
Figure III.6 : Modèles des éléments shunt.....	49
Figure III.7 : Réseaux à 3 nœuds	52
Figure III.8 : Représentation géométrique de la méthode de N-R	55
Figure III.9 : Organigramme simplifié de l’algorithme de Newton-Raphson.....	61
Figure III.10 : Organigramme simplifié de la méthode de GAUSS-SEIDEL.....	64
Chapitre IV :	
Figure. IV.1 : Répartition de puissance transitée dans les départs de la cabine mobile 220/30 kV Oumeche.....	67
Figure IV.2 : Variation de la charge des départs alimenté depuis la cabine mobile 220/30 kV Oumeche	68
Figure IV.3 : Répartition de puissance transitée dans les départs de la cabine mobile 220/30 kV Tolga	69
Figure IV.4 : Répartition de puissance transitée dans les départs de la cabine mobile 220/30 kV Tolga	69
Figure. IV.5 : Répartition des postes DP au jeu de barre de charge.....	76
Figure. IV.6 : Répartition des postes abonnés au jeu de barre de charge	76
Figure IV.7 : Distribution des tensions aux jeux de barres en kV	91
Figure IV.8 : Distribution des tensions aux jeux de barres (30.5 kV).....	100
Figure IV.9 : Distribution des tensions aux jeux de barres (31 kV)	108
Figure IV.10 : Distribution des tensions aux jeux de barres (31.5 kV)	116

Figure IV.11 : Distribution des tensions aux jeux de barres en cas de 32 kV	124
Figure IV.12 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 30KV	126
Figure IV.13 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 30.5KV	128
Figure IV.14 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 31KV	130
Figure IV.15 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 31.5KV	132
Figure IV.16 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 32KV	134
Figure IV.17 : Distribution des tensions aux jeux de barres (Départ Ourelal 31.5 kV QC1=0.75 MVAR, QC2=1 MVAR)	144

Liste des symboles

$P_{Gi \min}$	Puissance active minimale du générateur i
P_{Gi}	Puissance active du générateur i
$P_{Gi \max}$	Puissance active maximale du générateur i
$Q_{Gi \min}$	Puissance réactive minimale du générateur i
Q_{Gi}	Puissance réactive du générateur i
$Q_{Gi \max}$	Puissance réactive maximale du générateur i
Y_{trof}	La matrice d'admittance d'un transformateur
Y_{BUS}	La matrice d'admittance nodale
r_{ij}	Résistance longitudinale
x_{ij}	Réactance longitudinale
b_{ij}	Susceptance transversale
S_{li}	La puissance complexe de la charge
V_i	Le module de tension au jeu de barres i
δ_i	La phase de tension au jeu de barres i
P_i	Puissance active au jeu de barres i
Q_i	Puissance réactive au jeu de barres i
I_i	Le courant injecté au niveau jeu de barres i
S_{Di}	La puissance demandée au niveau jeu de barres i
S_{Gi}	La puissance générée au niveau du jeu de barre i
S_i	Puissance apparente au jeu de barres i
y_{ik}	L'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et k
V_i	La contribution shunt du courant au jeu de barres i
Y_p	L'admittance shunt au jeu de barres
I_{ki}	Le courant qui circule du nœud k vers le nœud i
P_{ik}	Puissance active au jeu de barres i et j

Q_{ik}	Puissance réactive au jeu de barres i et j
Δx^k	Une approximation de l'erreur commise sur x à l'itération (k)
x_n^0	Les solutions de n équations
[j]	La matrice jacobéenne
J_1, J_2, J_3, J_4	Les sous matrices de Jacobienne
Y_{bus}	La matrice admittance
$\Delta P ; \Delta Q$	Variation de la puissance active et réactive
P_u	La puissance utilisée
S_a	La puissance appelée
Q_G	La puissance réactive générée
P_G	La puissance active générée
P_d	La puissance active demandé
Q_d	La puissance réactive demandé
ΔP_{tot}	Les pertes active totale
ΔQ_{tot}	Les pertes réactive totale
V_{min}	Tension minimale
E_c	Energy rate
T	Times duration
C_{PLOSS}	Cout des pertes actives
P_{tloss}	Les pertes actives totales

Liste des abréviations

THT	Très haut tension
HT	Haute tension
MT	Moyenne tension
BT	Basse tension
HTA	Haute tension A
HTB	Haute tension B
NO	Normalement ouvert
NF	Normalement fermé
Dép	Départ
JDB	Jeu de barre
C.E.I	La Commission Électrotechnique internationale
TT	Transformateur de tension
TC	Transformateur de courant
SCADA	Supervision par acquisition des données
PV	Photovoltaïque
DC	Courant directe
AC	Courant alternative
PAC	Pile à combustible
DNO	Distribution Network Operators
RTE	Réseau de transport d'électricité
OLTC	Transformateur équipé d'un changeur de prises
IAT	Interrupteurs aériens télécommandés
K	Numéro d'itération
G-S	La méthode de GAUSS-SEIDEL
N-R	La méthode de newton-raphson
DP	Poste de distribution publique
L	Poste de livraison
DP/L	Poste Mixte
CLPG	Cellule de protection générale
TDP	Tableau de distribution publique
PU	Per unit

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

L'énergie électrique joue un rôle important dans le développement économique. En effet Selon la littérature économique, la croissance économique d'une région est souvent liée au niveau de consommation de l'énergie électrique.

Le développement des usages de l'électricité induit des exigences dans la qualité de l'énergie à fournir. Ces exigences sont assurées au niveau des réseaux de distribution qui ont pour objectif de distribuer l'énergie électrique avec une faible chute de tension, en réduisant les pertes de puissance et en assurant la continuité de service par la réduction de temps de coupure par an.

Le réseau de distribution de la région agricole de Tolga a connu ces dernière années une extension considérable due à l'augmentation de la demande énergétique. En effet plusieurs postes électriques MT/BT (30/0.4 kV) ont été mis en service, des dizaines de kilomètres de lignes ont été installées pour améliorer les performances du réseau en termes de qualité d'énergie et une meilleure continuité de service. Malgré ces efforts réalisés par la Sonelgaz, certaines régions souffrent encore de chute de tension et de pertes de puissances en particulier pendant la période d'été. Ce projet de fin d'étude a pour objectif principal l'analyse et l'exploitation du réseau de distribution d'Ourelal. Ce projet de fin d'étude est structuré autour de quatre chapitres.

Nous commençons dans le Chapitre I par donner une description de différents types et architectures des réseaux utilisés en pratique, les différents types de postes associés aux réseaux de distribution électriques, une brève description des éléments de protections, et on termine par donner une description des réseaux de distribution moderne.

Dans le Chapitre II, nous présentons l'importance de la région agricole de Tolga, des statistiques sur la consommation, les différents problèmes rencontrés par les clients de Sonelgaz les différents moyens de réglages des réseaux électriques, les différentes consignes d'exploitation et enfin nous terminons ce chapitre par donner une description de l'expérience de Sonelgaz avec le système SCADA.

Nous présentons dans le Chapitre III le but de l'écoulement de puissance dans l'étude et la conception des réseaux électriques, puis on expose quelques méthodes de résolution du problème de l'écoulement de puissance à savoir la méthode de GAUSS-SIEDAL et la méthode de NEWTON-RAPHSON.

Le Chapitre IV est consacré à l'analyse du départ HTA d'OURELAL afin d'améliorer la qualité d'énergie fournie aux consommateurs. Une base de données technique flexible sous l'environnement Matlab a été conçue en se basant sur la topologie du réseau de distribution actuel et les consignes d'exploitation récentes fournies par la Sonelgaz. Les résultats d'analyses du départ d'OURELAL montrent clairement l'importance de pratiquer le réglage de la tension au niveau du poste source avec la compensation de la puissance réactive. Finalement ce projet de fin d'étude se termine par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE

I

I.1.Introduction:

A notre époque, l'électricité présente une source d'énergie souple et adaptable, sans elle la vie quotidienne serait difficilement envisageable, mais la difficulté de son stockage et la croissance de la demande des clients ainsi que le taux de consommation instable exige la production de cette énergie en grande quantité et une permanence de transport et sa mise à disposition par un réseau de distribution.

I.2. Définitions :

I.2.1. Réseau électrique :

Un réseau électrique est un ensemble d'appareils ou d'ensemble d'infrastructures destinés à produire, transporté, distribué et l'utilisation de l'électricité. De cette manière nous pouvons dire que les réseaux électriques ont pour rôle d'acheminer l'énergie électrique des sites de productions vers les lieux de consommations tous en assurant un niveau de qualité conforme aux normes.

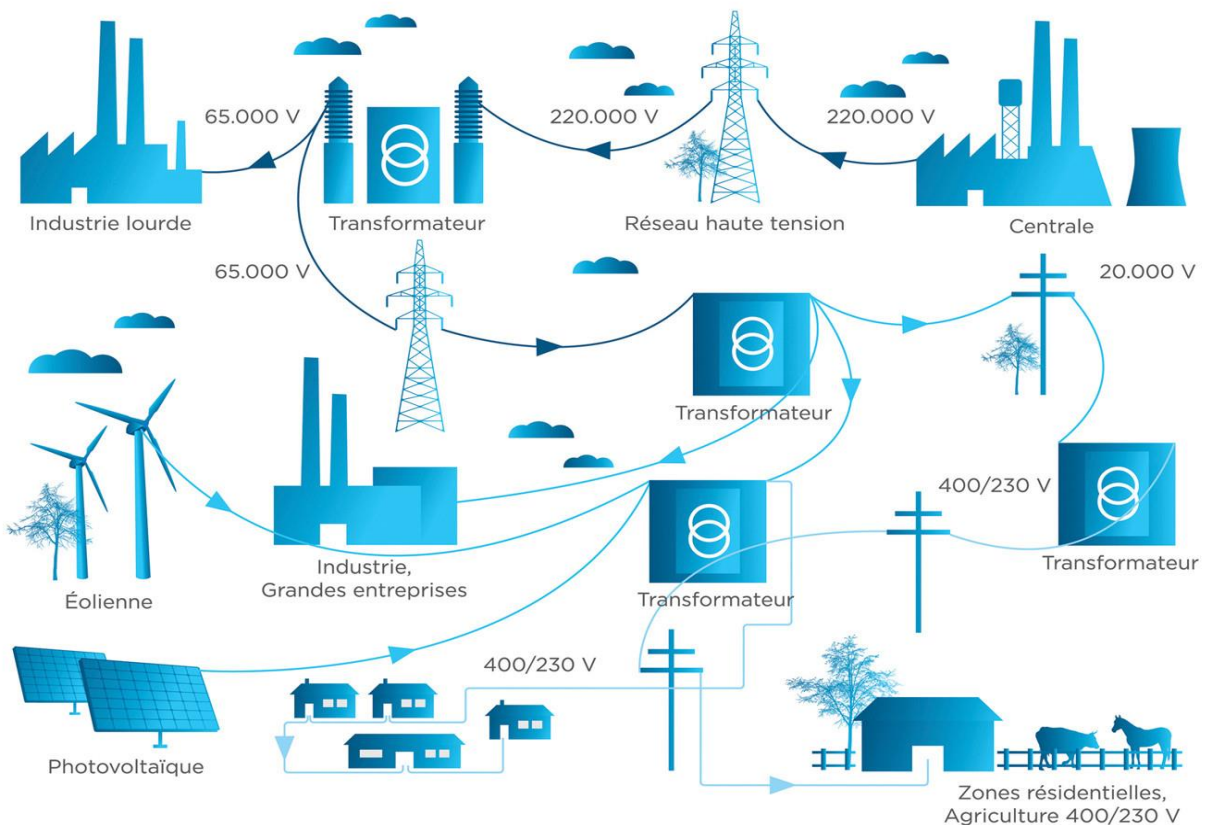


Figure I.1 : Ensembles d'infrastructures d'un système électrique.

I.2.2. Réseau de transport :

Les réseaux de transport assurent le transport de l'énergie électrique sur des grandes distances. Le transport de l'énergie électrique est fait avec des tensions très élevée afin de minimiser les pertes joules et les chutes de tension.

Les réseaux de transport sont très supervisés afin de pouvoir effectuer des contrôles de la tension, de la fréquence, la répartition des flux de puissance et des coûts de production.

I.2.3. Réseau de répartition :

Les réseaux de répartitions ont pour l'objet de répartir, au niveau régionale l'énergie issus des du réseau de transport.

Leur tension est définie selon la région, ils transitent l'énergie électrique sur des distances de quelques dizaines de kilomètres et leur structure soit en boucle fermé ou en boucle ouverte.

I.2.4. Réseau de distribution :

Les réseaux de distribution assurent la distribution de l'énergie électrique au niveau local. Ils sont constitués de deux types de réseaux : le réseau moyenne tension (HTA) avec un niveau de 10 kV et 30 kV connecté au réseau de transport, et le réseau basse tension (BT) de tension de 0.4 kV [1].

I.3. Topologies des réseaux électriques :

Les topologies différent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau fiabilité recherché, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont comme suit :

I.3.1. Réseau maillé :

Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport. Tous les centres de production sont liés entre eux par des lignes THT au niveau des postes d'interconnexion, ce qui forme un maillage. Cette structure permet une meilleure fiabilité mais nécessite une surveillance à l'échelle nationale [2].

I.3.2. Réseau bouclé :

Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT. Les postes de répartition HT ou MT alimentés à partir du réseau THT sont reliés entre eux pour former

des boucles, ceci dans le but d'augmenter la disponibilité. Cependant, il faut noter que les réseaux MT ne sont pas forcément bouclés [2].

I.3.3. Réseau radial :

C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT. Elle est composée d'une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT alimentés au départ par un poste source HT ou MT. En moyenne tension cette structure est souvent alimentée des deux côtés afin d'assurer la disponibilité [2].

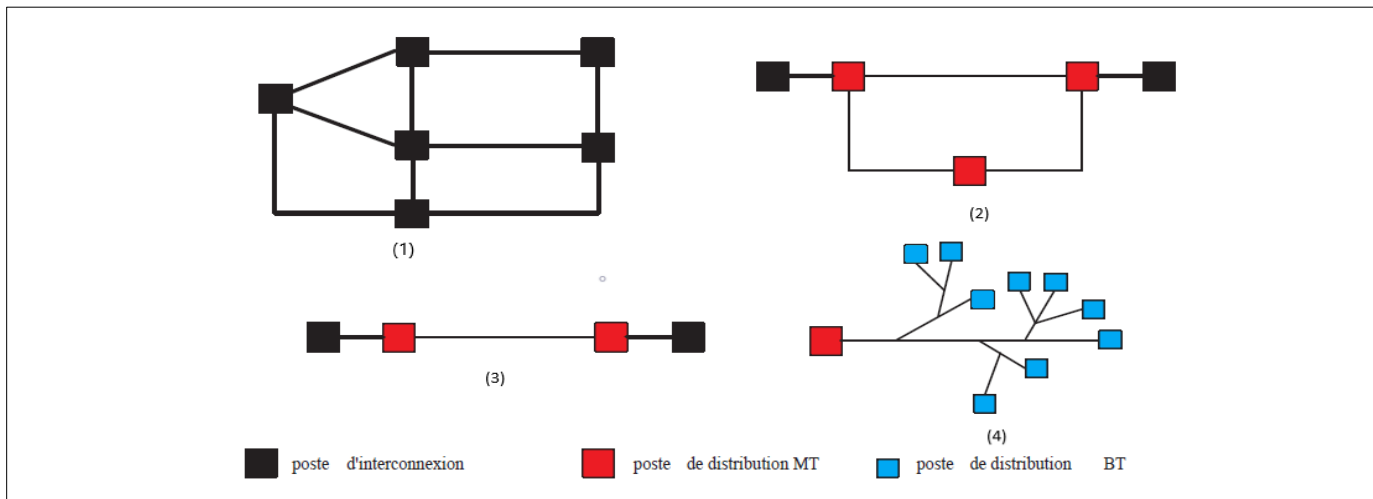


Figure I.2 : Différentes topologies des réseaux électriques : (1) Réseau maillé, (2). Réseau bouclé, (3). Réseau radial, (4). Réseau arborescent

I.3.4. Réseau arborescent :

Cette structure est très utilisée en milieu rural et quelque fois en milieu urbain où la charge n'est pas très sensible aux interruptions. Elle est constituée d'un poste de répartition qui alimente plusieurs postes de distribution (BT) grâce à des piquages à différents niveaux des lignes alimentant les postes MT/BT [2].

I.4. Type de réseaux de distributions :

La norme UTE C 18-510 définit les niveaux de tensions :

HTB → pour une tension composée supérieure à 50 KV.

HTA → pour une tension composée comprise entre 1 KV et 50 KV.

BTB → pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 KV. BTA → pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V. TBT → pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V.

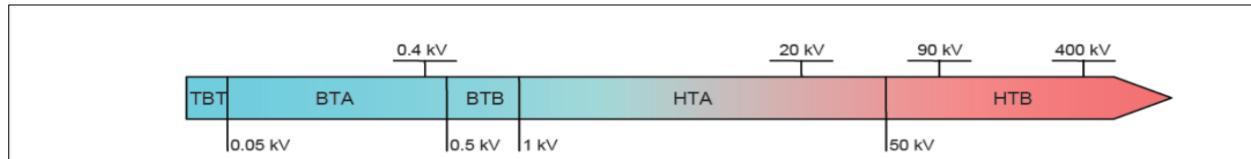


Figure I.3 : Niveaux de tension selon la norme UTE C 15-510.

I.4.1. Réseaux de distribution à moyenne tension HTA :

- 10 et 30 KV.
- Neutre à la terre Neutre à la terre par une résistance ou transformateur de point neutre.
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

I.4.2. Réseaux de distribution à basse tension BTA :

- 230 / 400 V.
- Neutre directement à la terre.
- Réseaux de type radial, maillé et bouclé ouverte.

I.5. Structure de réseaux de distributions :

I.5.1. Structure générale d'un réseau privé de distribution :

Dans le cas général avec une alimentation en HTB, un réseau privé de distribution comporte :

- Un poste de livraison HTB alimenté par une ou plusieurs sources, il est composé d'un ou plusieurs jeux de barres et de disjoncteurs de protection.
- Une source de production interne.
- Un ou plusieurs transformateurs HTB / HTA.
- Un tableau principal HTA composé d'un ou plusieurs jeux de barres.
- Un réseau de distribution interne en HTA alimentant des tableaux secondaires ou des postes HTA / BT.
- Des récepteurs HTA.
- Des transformateurs HTA / BT.
- Des tableaux et des réseaux basse tension.
- Des récepteurs basse tension.[3]

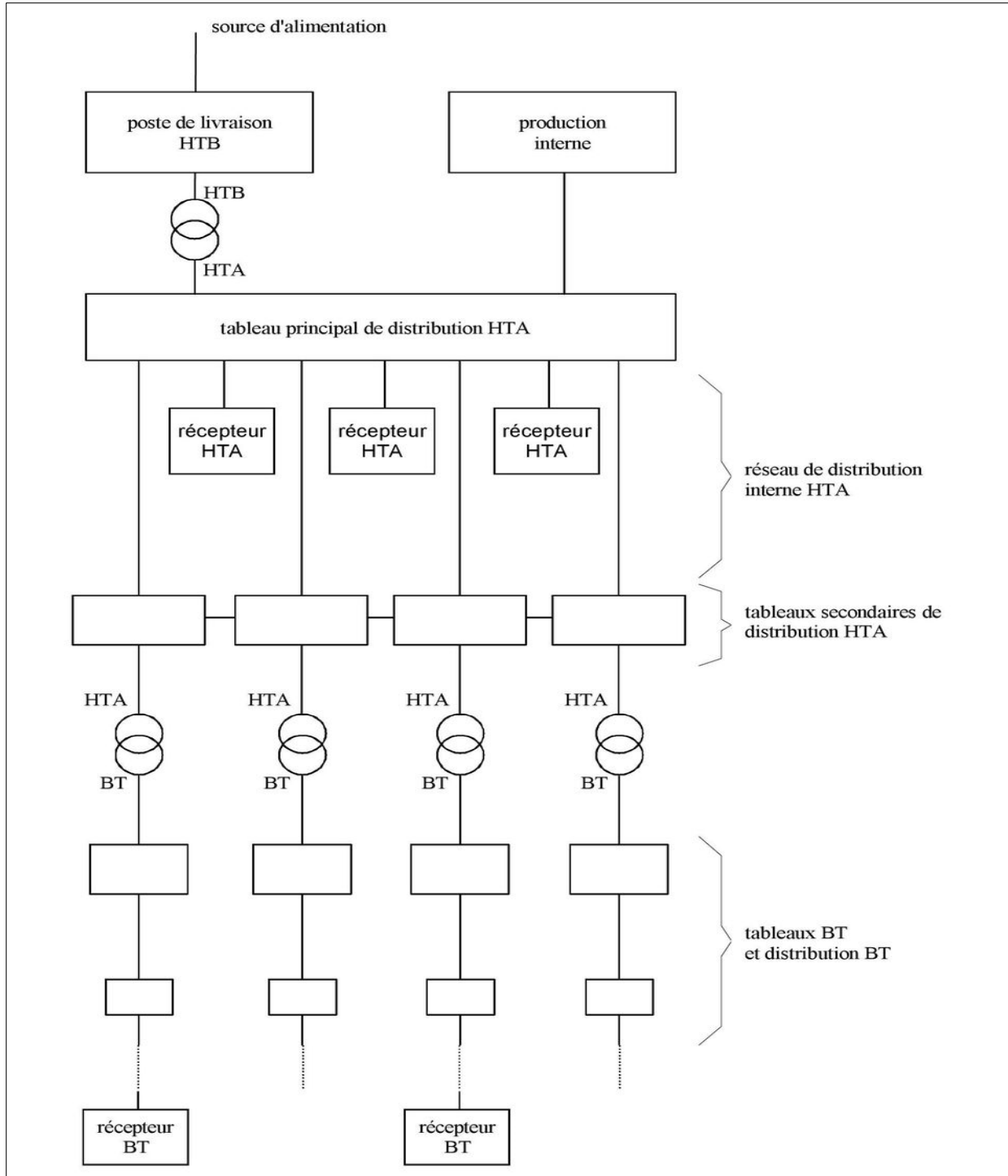


Figure I.4 : Structure générale d'un réseau privé de distribution. [3]

I.5.2. Les postes de livraison HTB :

Ils concernent généralement les puissances supérieures à 10 MVA. L'installation du poste de livraison est comprise entre :

- D'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB.
- D'autre part, la borne aval du ou des transformateurs HTB / HTA.[3]

I.5.3. Mode d'alimentation :

I.5.3.1. Simple antenne :

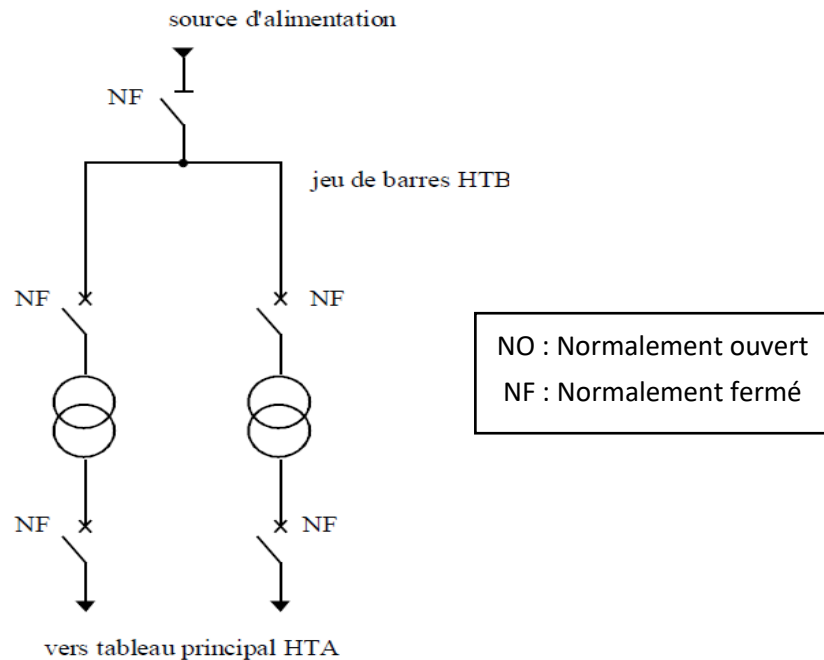


Figure I.3 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB. [3]

- **Mode d'exploitation :**

Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés. Les transformateurs sont donc alimentés par une seule source.

I.5.3.2. Double antenne :

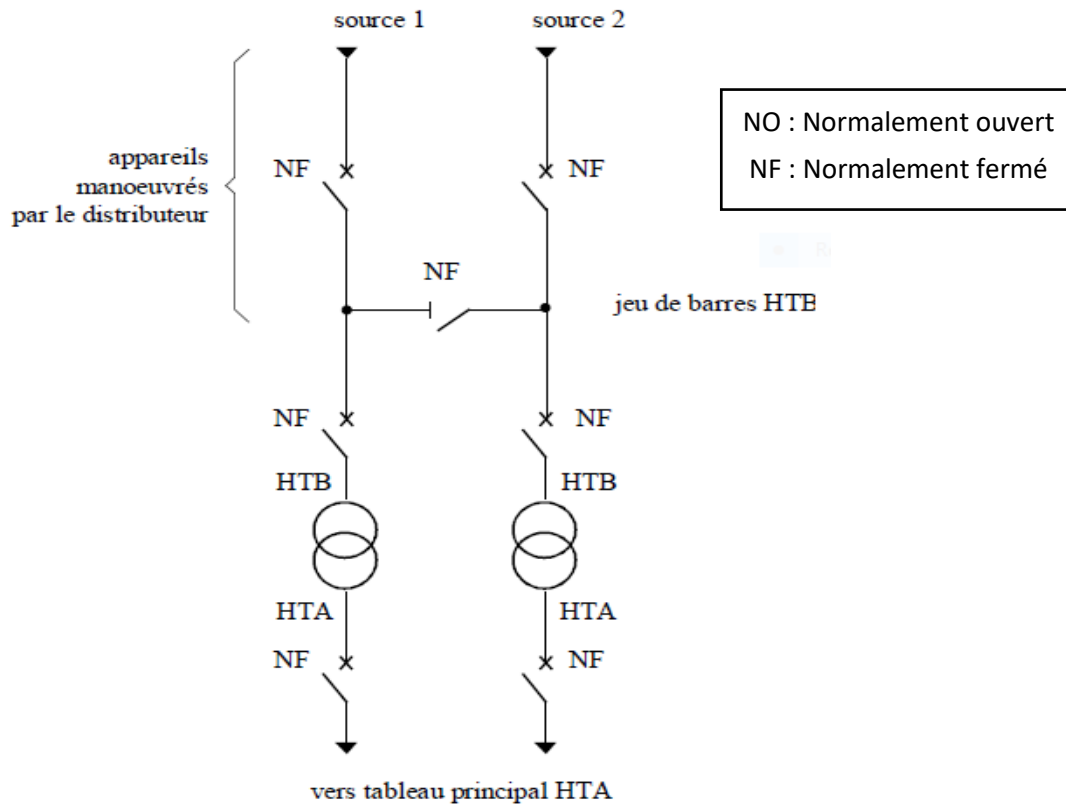


Figure I.4 : Alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB. [3]

- **Mode d'exploitation :**

- Normal : Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le Sectionneur de couplage.

Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément.

- Perturbé : En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.[3]

I.5.3.3. Double antenne - double jeu de barres :

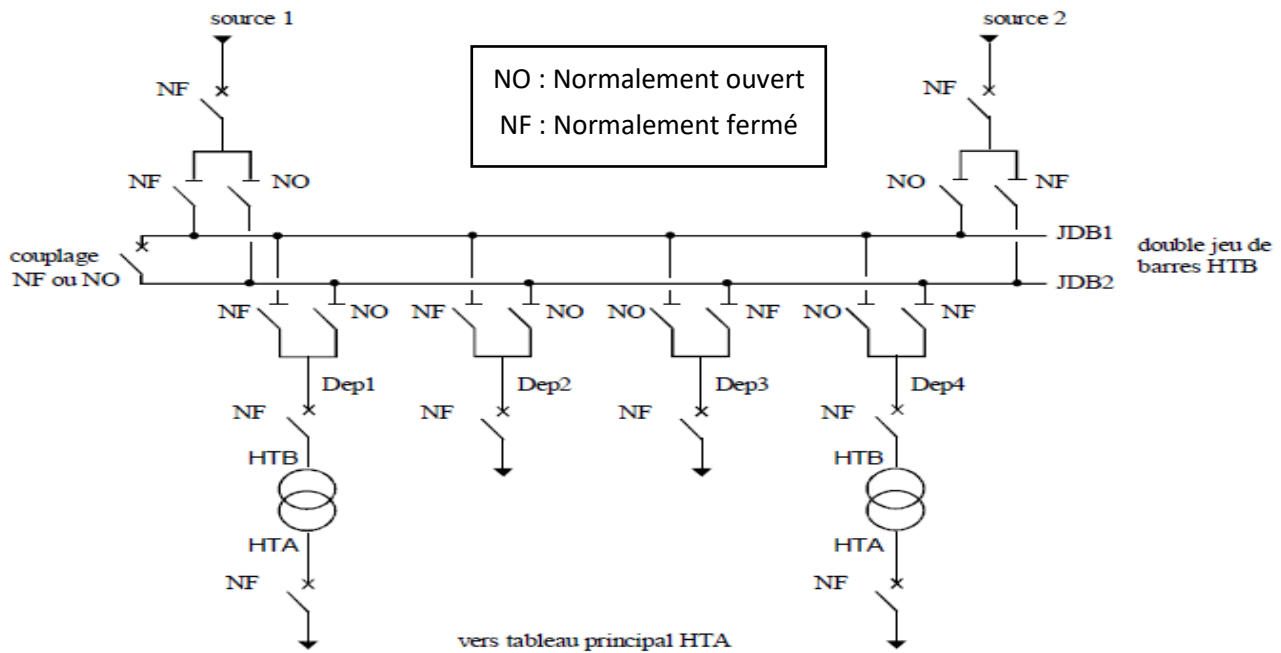


Figure I.5 : Alimentation double antenne - double jeu de barres d'un poste de livraison HTB. [3]

- **Mode d'exploitation :**

- Normal : La source 1 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB1 et les départs Dep1 et Dep2. La source

- 2 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB2 et les départs Dep3 et Dep4. Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.

- Perturbé : En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation. En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et l'autre jeu de barres alimente la totalité des départs.[3]

I.5.4. Les postes de livraison HTA :

I.5.4.1. Les Postes de livraison HTA/BT a comptage BT :

Ils concernent généralement les puissances comprises entre 250 kVA et 10 MVA. [3]

I.5.4.2. Mode d'alimentation :

- **simple dérivation:**

Ce type de poste est utilisé en général pour la distribution publique HTA en lignes aériennes, il comporte une seule source d'alimentation possible par le distributeur. [3]

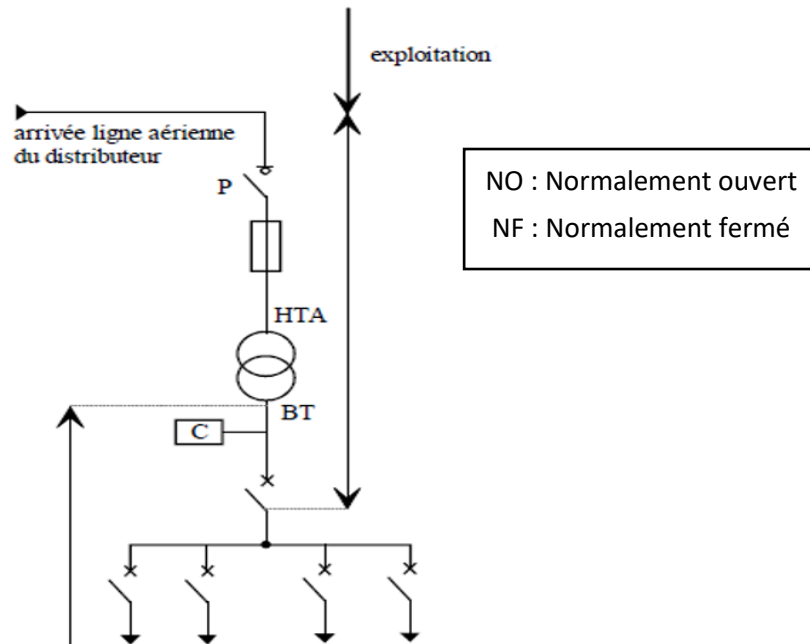


Figure I.6 : Alimentation en simple dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT. [3]

- **Coupure d'artère:**

Ce type de poste est utilisé pour la distribution publique HTA urbaine en réseaux souterrains, il permet à l'utilisateur de bénéficier d'une source d'alimentation fiable à partir de deux postes sources ou 2 départs HTA, ce qui limite les interruptions pour travaux ou en cas de panne. [3]

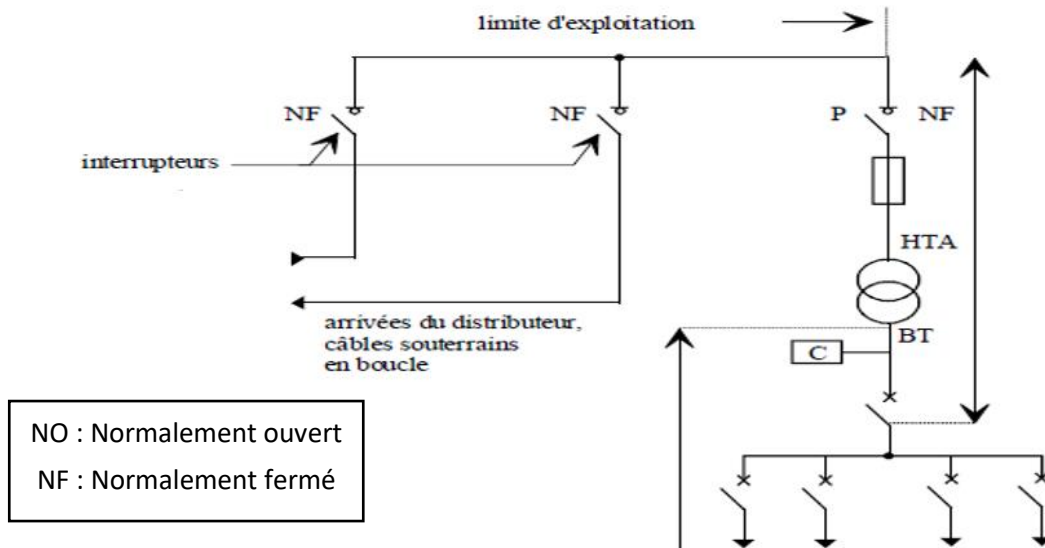


Figure I.7 : Alimentation en coupure d'artère d'un poste de livraison HTA à comptage BT. [3]

- **double dérivation:**

Lorsque le réseau public HTA comporte deux câbles souterrains distincts en parallèle, le poste peut être alimenté par l'une ou l'autre de ces deux dérivations. La permutation d'une alimentation sur l'autre s'effectue lors de la disparition de la tension sur le câble alimentant le poste. Elle est réalisée soit automatiquement, soit manuellement. Ce schéma, très coûteux pour le distributeur, est utilisé lorsque les exigences de disponibilité sont importantes (le surcoût est généralement payé par l'utilisateur).[3]

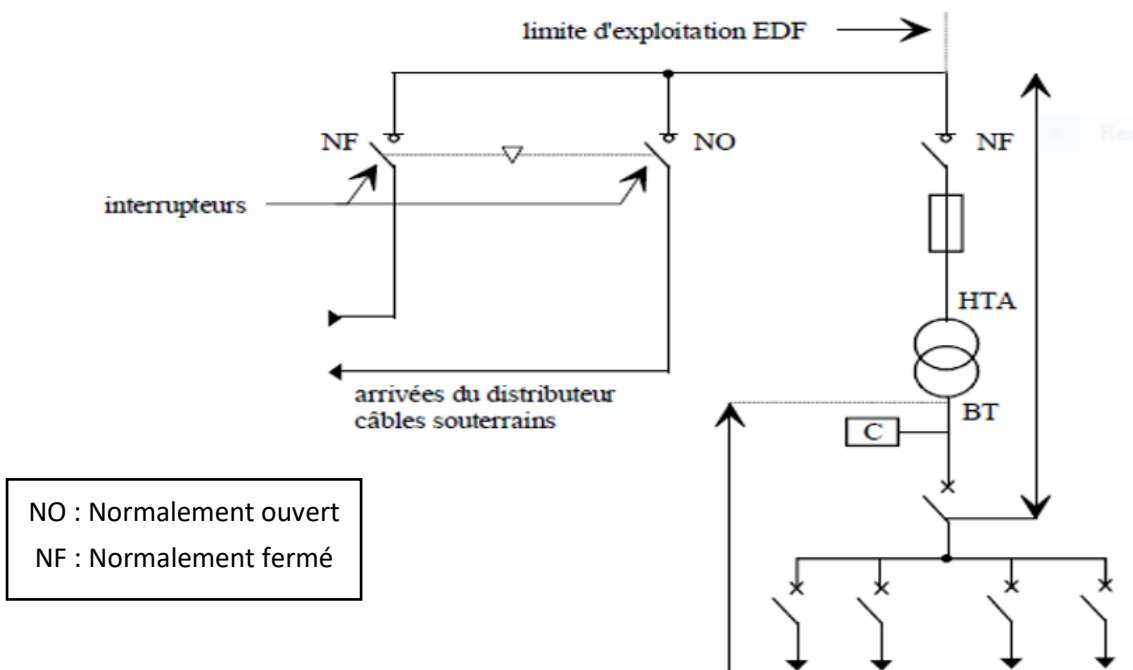


Figure I.8 : Alimentation en double dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT. [3]

I.5.5. Structure des réseaux HTA :

Nous allons identifier les principales structures de réseaux HTA permettant d'alimenter les tableaux secondaires et les transformateurs HTA / BT. La complexité de la structure diffère suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré. [3]

I.5.5.1. Radial en simple antenne :

Les tableaux 1 et 2 et les transformateurs sont alimentés par une seule source, il n'y a pas de solution de dépannage. Cette structure est préconisée lorsque les exigences de disponibilité sont faibles, elle est souvent retenue pour les réseaux de cimenterie.[3]

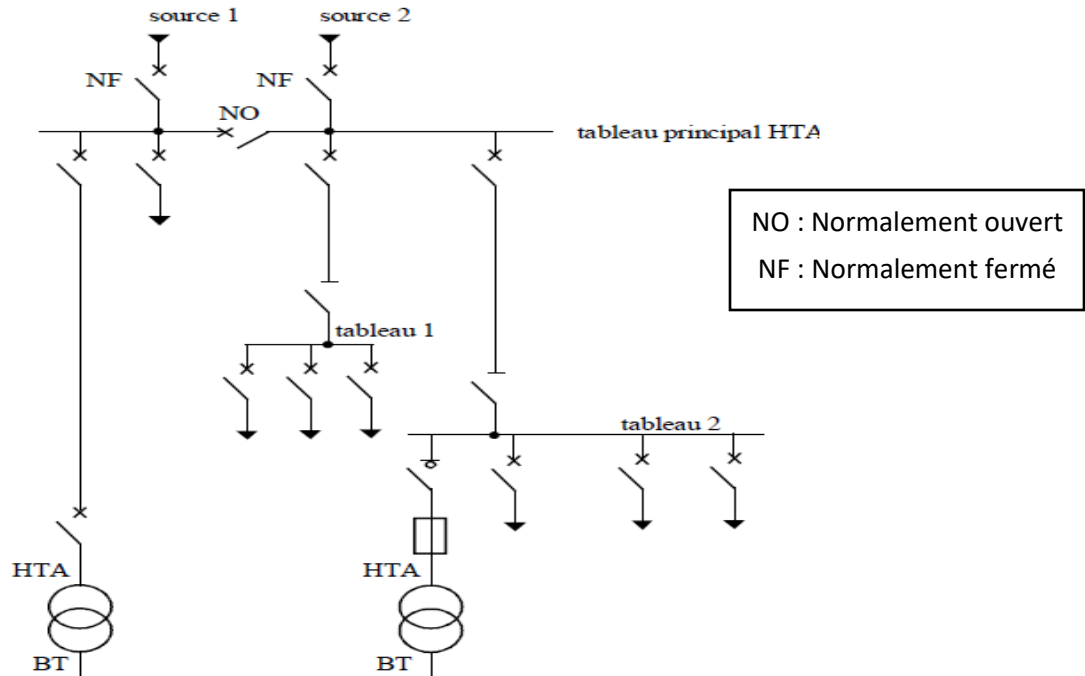


Figure I.9 : Réseau HTA radial en simple antenne. [3]

I.5.5.2. Radial en double antenne sans couplage :

Les tableaux 1 et 2 sont alimentés par 2 sources sans couplage, l'une en secours de l'autre la disponibilité est bonne, l'absence de couplage des sources pour les tableaux 1 et 2 entraîne une exploitation moins souple.[3]

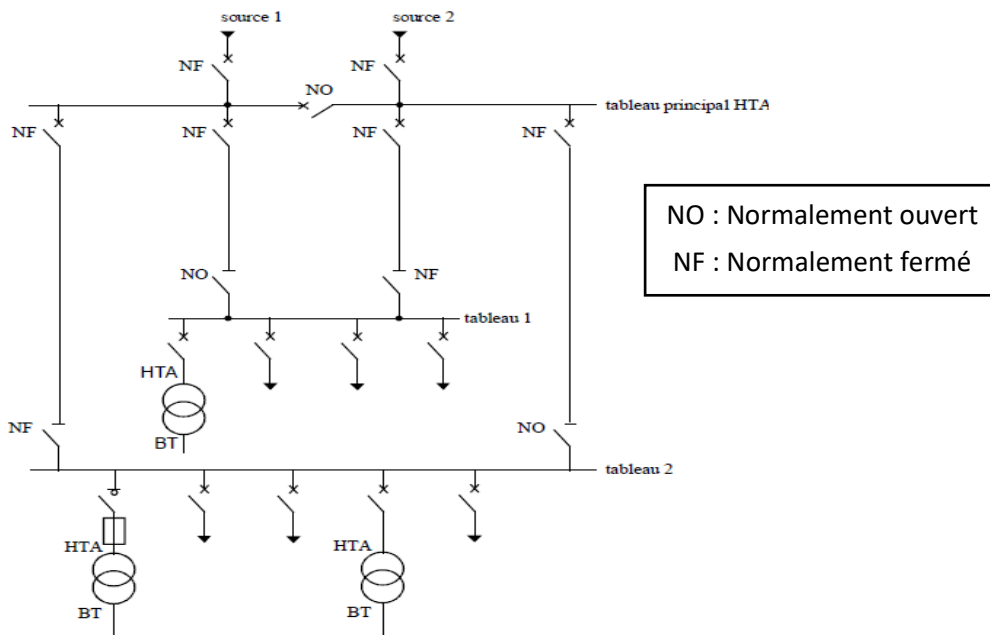


Figure I.10 : Réseau HTA radial en double antenne sans couplage. [3]

I.5.5.3. Radial en double antenne avec couplage :

Les tableaux 1 et 2 sont alimentés par 2 sources avec couplage. En fonctionnement normal, les disjoncteurs de couplage sont ouverts. Chaque demi jeu de barres peut être dépanné et être alimenté par l'une ou l'autre des sources cette structure est préconisée lorsqu'une bonne disponibilité est demandée.[3]

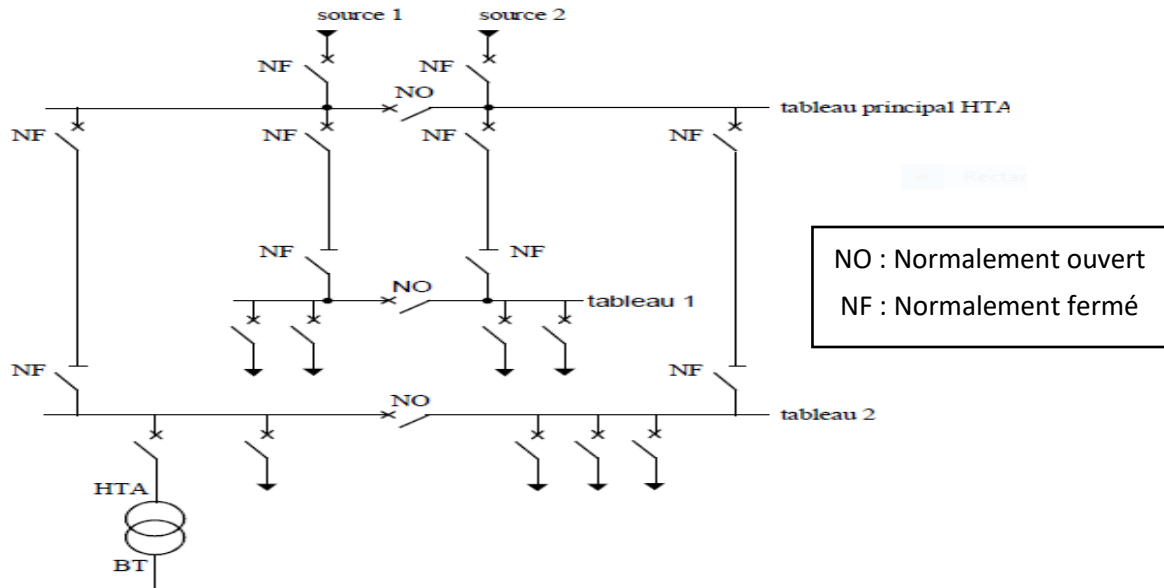


Figure I.11 : Réseau HTA radial en double antenne avec couplage. [3]

- **Boucle ouverte :**

- Les têtes de boucle en A et B sont équipées de disjoncteurs.
- Les appareils de coupure des tableaux 1, 2 et 3 sont des interrupteurs.
- En fonctionnement normal, la boucle est **ouverte** (sur la figure, elle est ouverte au niveau du tableau 2).

- Les tableaux peuvent être alimentés par l'une ou l'autre des sources.
- Un défaut sur un câble ou la perte d'une source est pallié par une reconfiguration de la Boucle.

- Cette reconfiguration engendre une coupure d'alimentation de quelques secondes si un automatisme de reconfiguration de boucle est installé. La coupure est d'au moins plusieurs minutes ou dizaines de minutes si la reconfiguration de boucle est effectuée manuellement par le personnel d'exploitation.[3]

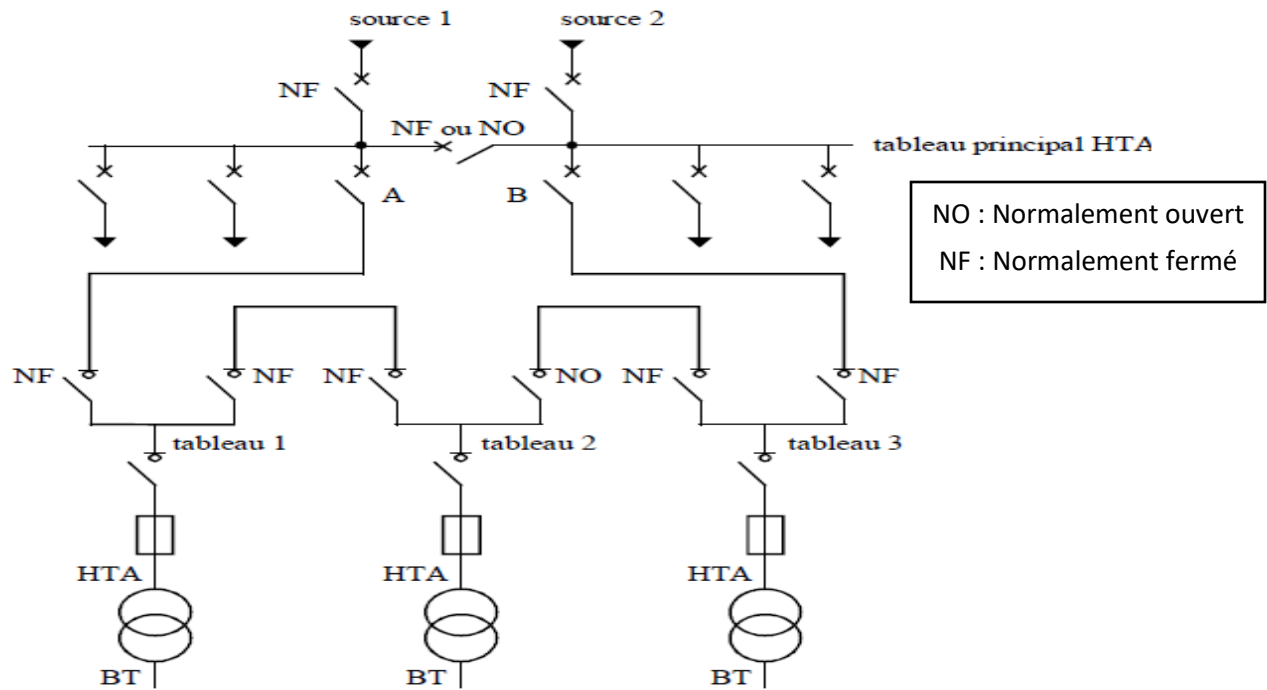


Figure I.12 : Réseau HTA en boucle ouverte. [3]

- **Boucle fermée :**

- Tous les appareils de coupure de la boucle sont des disjoncteurs.
- En fonctionnement normal, la boucle est **fermée**.
- Le système de protection permet d'éviter les coupures d'alimentation lors d'un défaut
- Cette solution est plus performante que le cas de la boucle ouverte car elle évite les coupures d'alimentation. Par contre, elle est plus onéreuse car elle nécessite des disjoncteurs dans chaque tableau et un système de protection plus élaboré.[3]

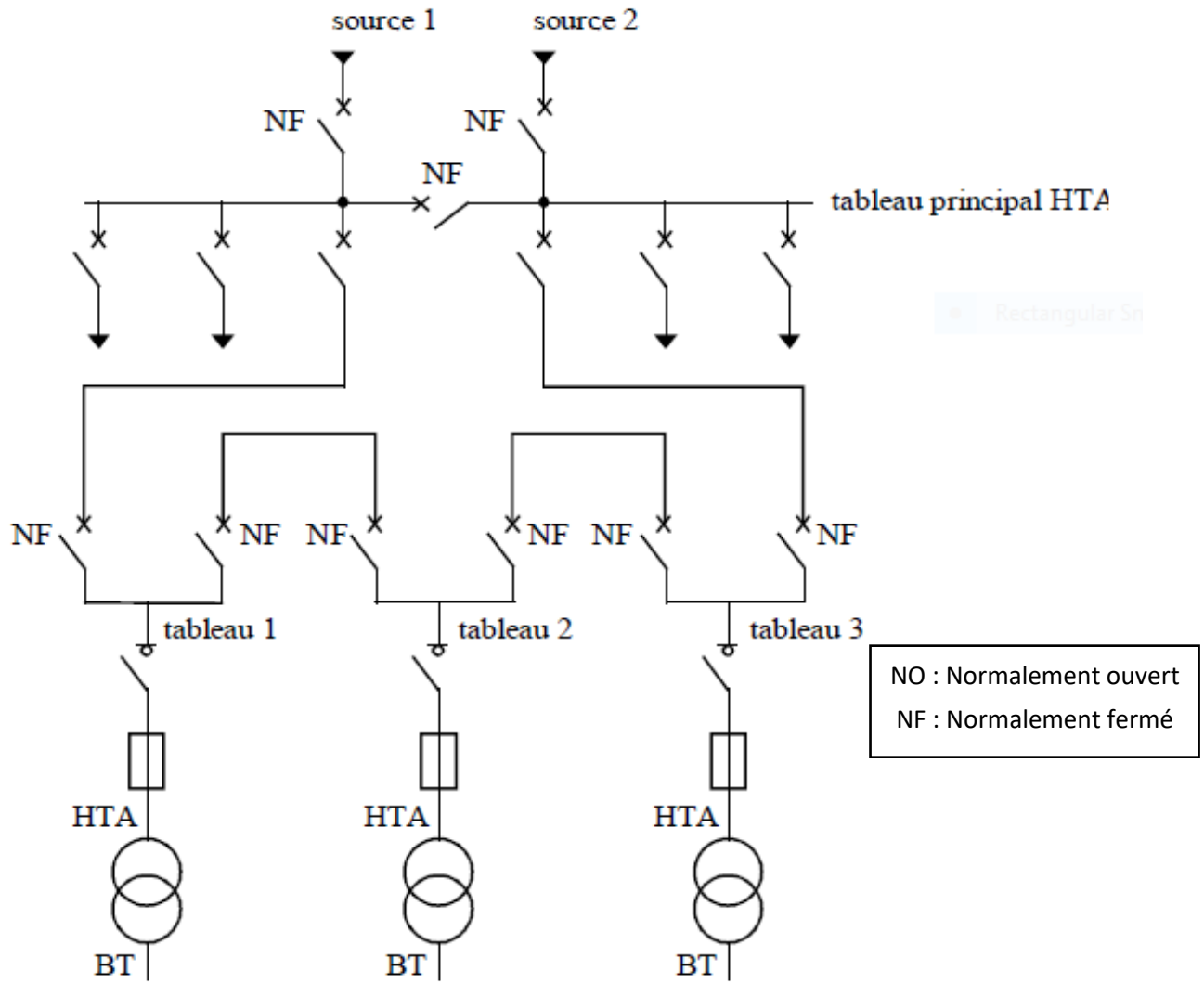


Figure I.13 : Réseau HTA en boucle fermée. [3]

I.5.5.4. En double dérivation :

Les tableaux 1, 2 et 3 peuvent être dépannés et être alimentés par l'une ou l'autre des sources indépendamment. Cette structure est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures limitées et nécessitant une très bonne disponibilité.[3]

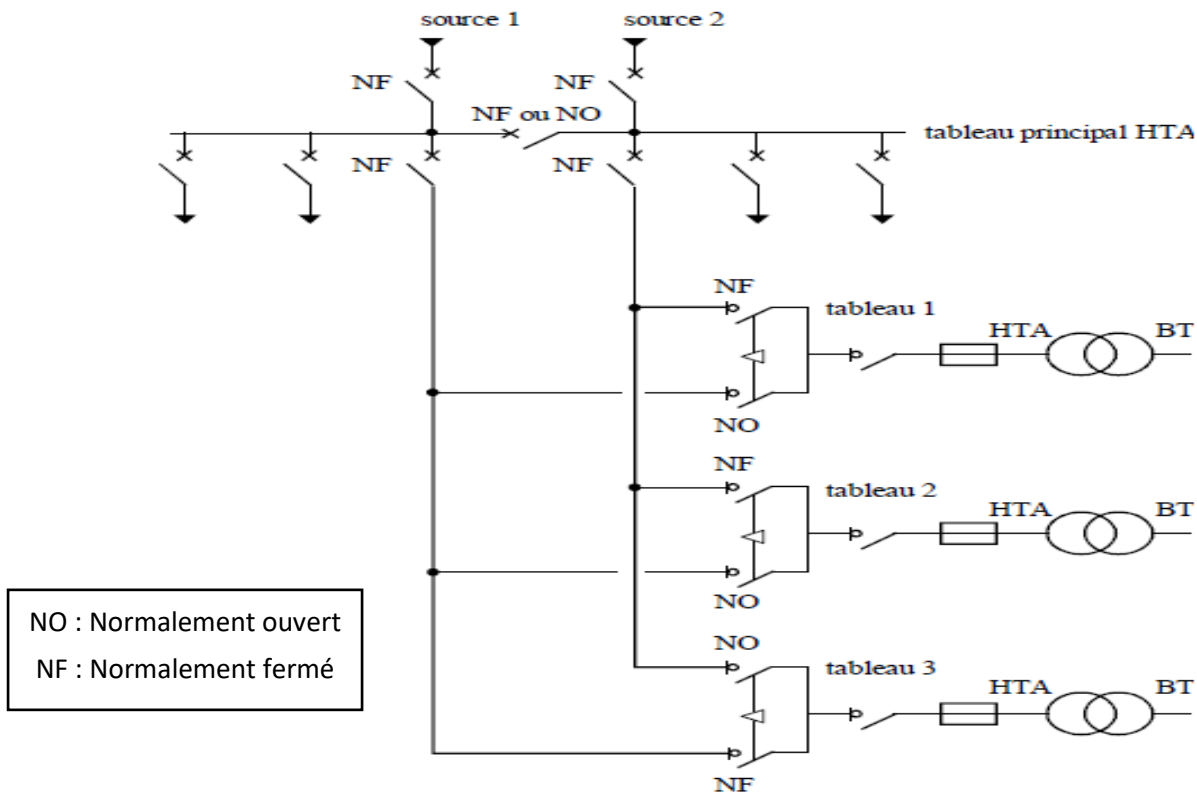


Figure I.14 : Réseau HTA en double dérivation. [3]

I.6. Protections des réseaux électriques :

La protection des réseaux électriques est composée d'un ensemble des équipements électriques, électroniques et électromécaniques qui sont conçus dans le but d'assurer l'alimentation en énergie électrique des sites industriels ou ferroviaires, et éviter la destruction accidentelle d'équipement coûteux. Les composants essentiels qu'il faut protéger dans un réseau électrique sont les générateurs, les transformateurs, les lignes, les jeux de barres, et les charges. La protection dédiée à un de ces composants peut être différente et spécifique.

I.6.1. Types de défauts dans un réseau électrique :

- **Court-circuit** : dû à des perturbations atmosphériques (foudre, tempêtes...), défauts d'isolement, les agressions mécaniques et externes... etc.
- **Surcharges** : Ils provoquent des chutes de tension importantes dans les réseaux et accélère le vieillissement des équipements, leurs origines sont les courts-circuits, les reports de charge, les pointes de consommation, l'enclenchement des grandes charges...etc.
- **Surtensions** : Il existe deux classes des surtensions, les surtensions par décharges électriques atmosphériques et les surtensions de commutation.
- **Déséquilibres** : Ils sont généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases. Ils apparaissent surtout dans les réseaux de distribution et donnent naissance à la composante inverse du courant, cette composante provoque :
 - Des chutes de tension supplémentaires ;
 - Des pertes de puissance ;
 - Des échauffements.
- **Oscillations** : Les oscillations de la tension et du courant sont dues aux variations plus ou moins rapides de la charge qui agit directement sur la vitesse de rotation (fréquence) des machines de production de l'énergie électrique. Elles sont liées directement à la mécanique des machines électriques, c'est la raison pour laquelle on les appelle phénomènes transitoires électromécaniques.

I.6.2. Protection des éléments du réseau :

Pour un fonctionnement fiable et sûr du réseau électrique, des protections sont nécessaires aux différents niveaux ;

- Protection des générateurs contre les défauts électriques (surtensions, pertes d'excitations, Échauffements) et mécanique (vibrations, distorsions du rotor) ;

- Protection des jeux de barres contre les défauts à la terre et les surintensités ;
- Protection des transformateurs contre les surcharges, les courts-circuits et les défauts à la

Terre.

- Protection des lignes contre les déséquilibres et les courts-circuits entre phases et à la terre.
- Protection des condensateurs contre les surcharges, les courts-circuits, les défauts à la terre et les surtensions.[4]

I.6.3. Appareils de protection :

I.6.3.1. Les relais :

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations (signaux) à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température, ...etc.) et les transmettent à un ordre binaire (fermeture ou ouverture d'un circuit de commande) lorsque ces informations reçues atteignent les valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées à l'avance. Donc le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que le court-circuit, variation de tension. ...etc.

Un relais de protection détecte l'existence de conditions anormales par la surveillance continue, et détermine quels disjoncteurs à ouvrir et alimente les circuits de déclenchement. Les relais de protection électrique sont classés en 4 types :

- Les relais électromécaniques.
- Les relais statiques.
- Les relais thermiques.
- Les relais numériques.

I.6.3.2. Les Disjoncteurs:

Le disjoncteur, dont la fonction principale est la protection, assure également la fonction commande, et suivant son type d'installation le sectionnement (débranchable). Les disjoncteurs HTA sont presque toujours montés dans une cellule HTA, et selon la définition de la Commission Électrotechnique internationale (C.E.I), un disjoncteur à HTA est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège) à la fois :

- Dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique.
- Dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit.[5]

I.6.3.3. Les sectionneurs :

Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion, Il est utilisé pour isoler de façon sûre et visible un appareil ou un circuit électrique donné. Il assure en position (ouvert) une coupure visible dans l'aire située entre deux conducteurs lors des travaux d'entretien en toute sécurité sur la zone mise hors tension. En position (fermé), il assure la liaison entre deux conducteurs situés sur un même plan horizontal ou les plans superposés et permet donc le passage du courant nominal. Le sectionneur doit résister aux courants de courts circuits.

I.6.3.4. Transformateurs de mesure :

Les transformateurs de mesure doivent transmettre une information (un signal électrique) avec une précision garantie et assurer l'isolement entre le circuit primaire et le circuit secondaire (circuit de mesure). Cette isolation doit supporter la tension et la surtension du réseau ainsi que les courants de défauts. Les transformateurs de mesure (réducteurs de mesure) sont principalement des transformateurs de tension (TT) et des transformateurs de courant (TC). Ils sont destinés à ramener les tensions et les courants sur les circuits principaux à des valeurs plus faibles et faciles à :

- Mesurer et afficher.
- Utiliser pour des installations de comptage, pour calcul des puissances P et Q ...etc.
- Utiliser pour alimenter des circuits de protections électriques ou des régulateurs.

- **Transformateurs de courant (TC) :**

Les courants dans le réseau électrique sont souvent trop importants pour traverser directement les appareils de mesure. Les transformateurs d'intensité (transformateurs de courant) permettent de ramener ces courants forts à des valeurs acceptables pour la plupart des appareils, généralement 1 à 5 ampères. La fonction de ces transformateurs est de fournir au secondaire un courant proportionnel au courant primaire mesuré. Son utilisation concerne autant la mesure que la protection. Le rapport de transformation du TC s'exprime par : $m = \frac{I_1}{I_2}$

- **Transformateurs de tension (TP) :**

La fonction d'un transformateur de tension est de fournir à son secondaire une tension image de celle qui lui est appliquée au primaire. L'utilisation concerne autant la mesure que la protection. Les transformateurs de tension (TT) sont constitués de deux enroulements, primaire et secondaire, couplés par un circuit magnétique ; les raccordements peuvent se faire entre phases ou entre phase et neutre (neutre à la terre). Le rapport de transformation de TT est : $m = \frac{v_2}{v_1}$. [6].

I.7. Réseaux de distribution moderne :

Les réseaux électriques modernes sont conçus comme des réseaux intelligents portent des nouvelles solutions pour la distribution de l'énergie électrique en changeant les réseaux de distribution traditionnel qui sont conçus comme un élément passif en un élément actif.

Un réseau électrique intelligent comprend des sources de production centralisé et des sources de production distribuée produite essentiellement par des sources d'énergie renouvelables, un centre de traitement d'informations dédié au contrôle de processus et à collecter les informations en temps réel depuis des sites distants. De cette manière nous pouvons dire que le réseau électrique intelligent est un flux de puissance multidirectionnel contrôlable.

Les réseaux intelligents peuvent être caractérisés comme suit :

- Interactif avec les consommateurs et le marché.
- Il est adaptable et évolutif aux changements des situations.
- Il est optimisé afin de faire un meilleur usage des ressources disponibles.
- Proactif plutôt que réactif, pour prévenir les situations critiques.
- Sûre et fiable. [7]

I.7.1. Structure des réseaux de distribution moderne :

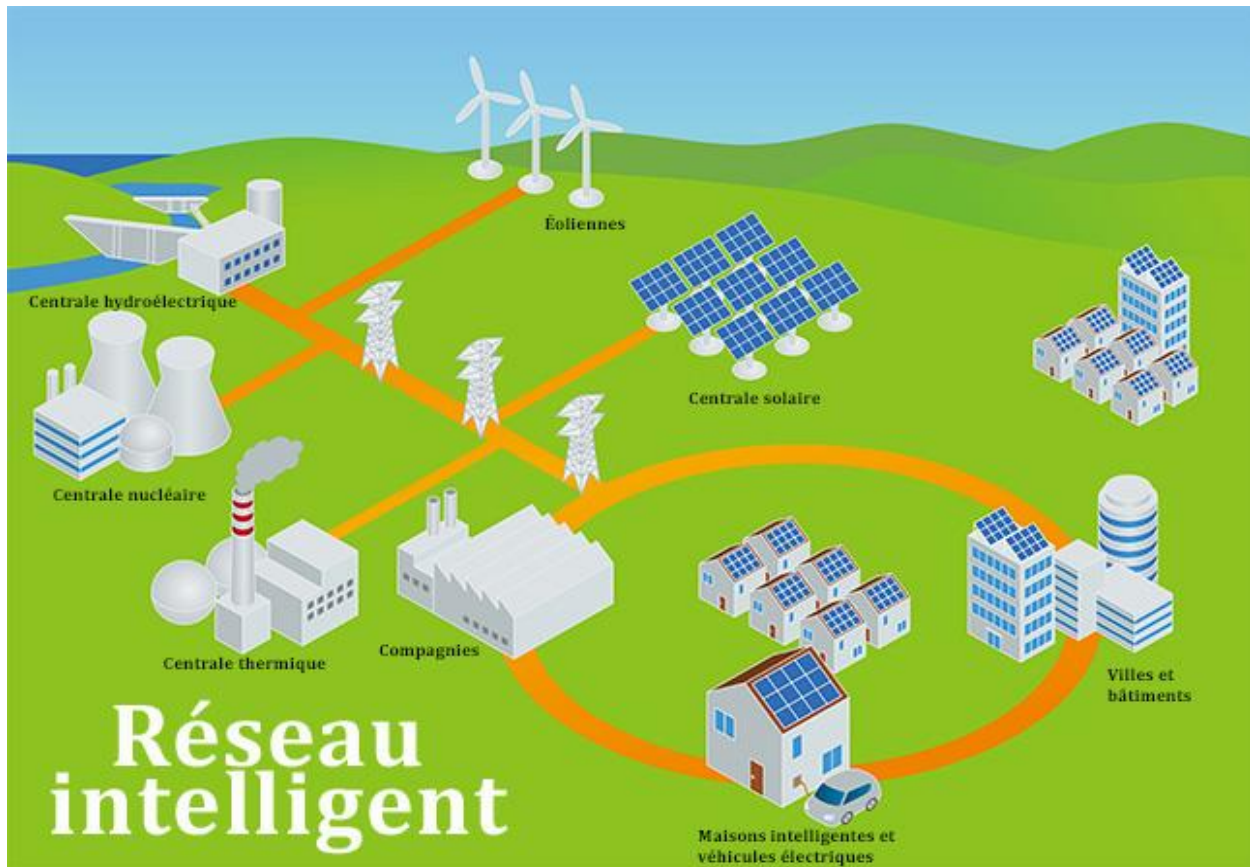


Figure I.15 : Structure d'un réseau électriques intelligents.

I.7.2. Le système SCADA (supervision par acquisition des données) :

SCADA est un acronyme qui signifie le contrôle et la supervision par acquisition de données (en anglais : Supervisory Control And Data Acquisition). L'environnement SCADA collecte des données de divers appareils d'une quelconque installation, puis transmet ces données à un ordinateur central, que ce soit proche ou éloigné, qui contrôle et supervise l'installation. Ce dernier est subordonné par d'autres postes d'opérateurs.

I.7.2.1. Supervision dans un environnement SCADA :

Le système SCADA fonctionne par l'acquisition de données provenant de l'installation. Ces dernières sont affichées sur une interface graphique sous un langage très proche du langage humain. Les opérations sont exécutées en temps réel, ainsi les systèmes SCADA donnent aux opérateurs le maximum d'information pour une meilleure décision. Il permet un très haut niveau de sécurité, pour le personnel et pour l'installation et permet aussi la réduction des coûts des opérations.

I.7.2.2. Principe de Fonctionnement du système SCADA :

Les éléments hardware assurent la collection des informations qui sont à disposition du calculateur sur lequel est implanté le logiciel de supervision. Le calculateur traite ces données et en donne une représentation graphique réactualisée périodiquement. Le système SCADA enregistre les événements dans des fichiers ou envoie vers une imprimante, mail..., ainsi le système surveille les conditions de fonctionnement anormal et génère des alarmes.

I.7.2.3. Avantages du système SCADA :

Parmi les avantages du SCADA, on retrouve :

- Le suivi de près du système ; voire l'état du fonctionnement du procédé dans des écrans même s'il se situe dans une zone lointaine.

- L'action d'une alarme lorsqu'une faute se produit et visualise même la position où se situe la faute et l'élément défectueux, ce qui facilite la tâche du diagnostique et de l'intervention de l'opérateur.

- Donne plusieurs informations sur le système ainsi aide l'opérateur à prendre la bonne décision, et ne pas se tromper dans son intervention.

- Diminue les tâches du personnel en les regroupant dans une salle de commande.

- Élimination ou réduction du nombre de visites aux sites éloignés. Avec une interface

Graphique, on peut suivre l'état de l'installation à chaque instant, ainsi on n'aura pas besoin de faire des visites de contrôle.[8]

I.7.3. Moyens de production distribué :

La Production Distribuée est définie, comme toute source d'énergie raccordée au réseau de transport, de répartition ou distribution et qui fait partie des énergies non conventionnelles (éolienne, solaire, piles à combustible entre autres) ou conventionnelles de petite puissance < 200MW (micro-turbines à gaz, cogénération).[6]

I.7.3.1. Photovoltaïque :

- **Installations autonomes**

Les installations autonomes sont des installations non raccordées au réseau, composées de panneaux PV et dont le système de stockage garantit une énergie électrique même en cas de faible éclairage ou d'obscurité. Etant donné que le courant fourni par le générateur PV est du courant DC, si l'installation de l'utilisateur requiert du courant AC, un onduleur est nécessaire. Ces installations sont avantageuses d'un point de vue technique et financier si le réseau électrique n'est pas présent ou s'il n'est pas facile d'accès, car elles peuvent remplacer des ensembles moteur-générateur. Par ailleurs, dans une configuration autonome, le champ PV est surdimensionné de sorte que, pendant les heures d'ensoleillement, l'alimentation de charge ainsi que la recharge des batteries de stockage puissent être garanties avec une certaine marge de sécurité en tenant compte des jours de faible ensoleillement. [9]

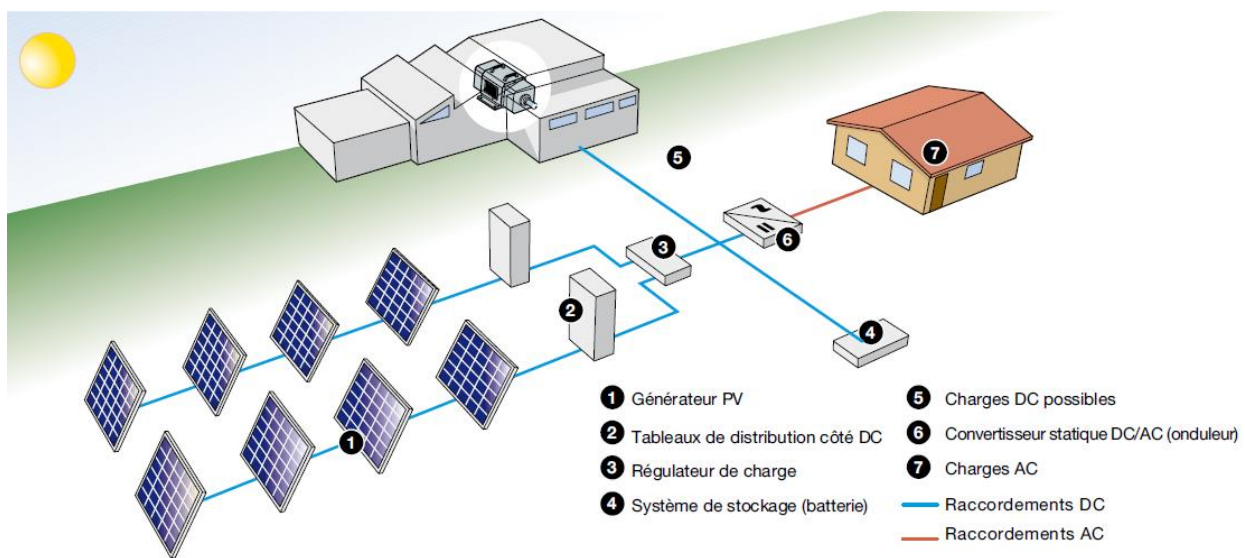


Figure I.16 : Installation photovoltaïque autonome. [9]

- **Installations raccordées au réseau :**

Les installations raccordées en permanence au réseau utilisent l'énergie du réseau lorsque le générateur PV n'est pas en mesure de produire l'énergie nécessaire pour satisfaire les besoins du consommateur. En revanche, si le système PV produit un excédent d'énergie électrique, celui-ci est mis sur le réseau, qui agit par conséquent comme un grand accumulateur : les systèmes raccordés au réseau n'ont donc pas besoin de batterie d'accumulateur.

Ces installations offrent l'avantage de fournir une génération répartie et non centralisée : en effet, la valeur de l'énergie produite près de la zone de consommation est supérieure à celle de l'énergie produite dans les grandes centrales traditionnelles, car les pertes par transmission sont limitées et les dépenses liées au transport et aux systèmes électriques de répartition sont réduites. En outre, la production d'énergie lors des heures d'ensoleillement permet de réduire le recours au réseau pendant la journée, autrement dit lorsque la demande est supérieure. [9]

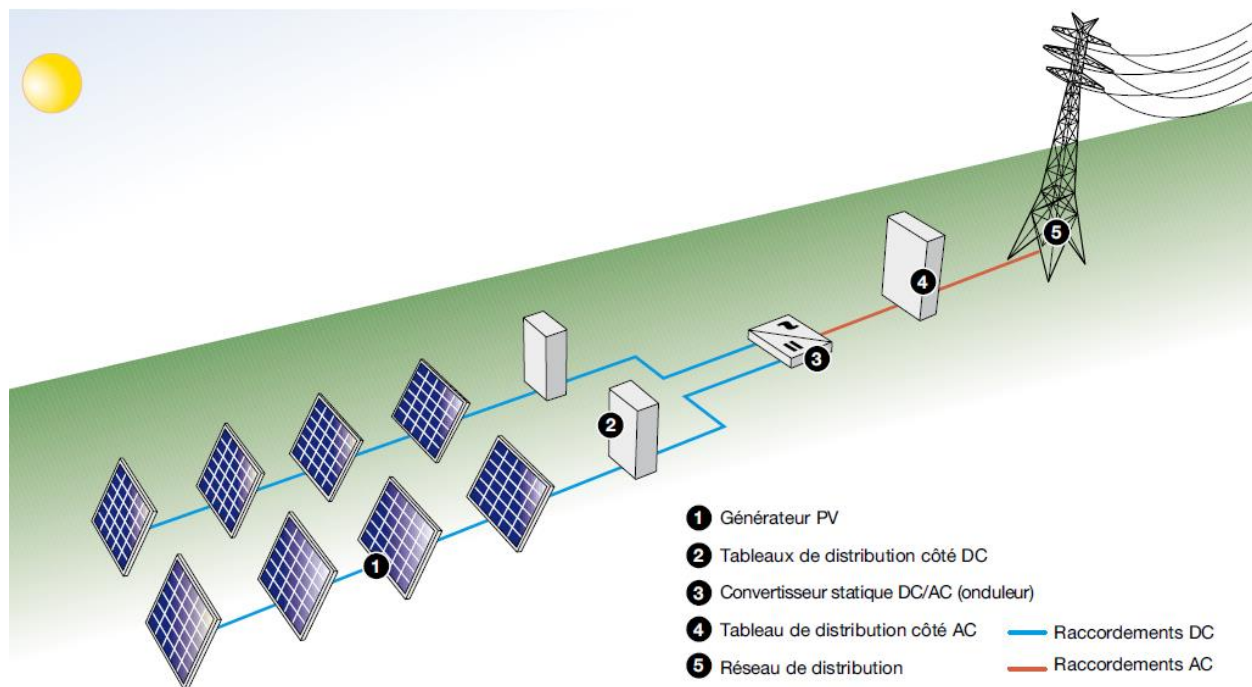


Figure I.17 : Installation photovoltaïque autonome. [9]

I.7.3.2. Eolienne :

Une éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie du vent en énergie électrique, elle est composée de trois composants essentiels le rotor, la nacelle et la tour. Quand le vent se lève, l'automate située à l'arrière de la nacelle commande un mécanisme d'orientation afin de placer l'éolienne face au vent. Les trois pales sont mises en mouvement par la force du vent. Elles entraînent l'axe lent, le multiplicateur, l'arbre rapide, et la génératrice. Lorsque le vent est suffisant (4 m/s soit 14.5 km/h), l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor tourne alors à sa vitesse nominale aux environs de 30 tr/min et la génératrice à 1500 tr/min. Ces vitesses de rotation vont rester constantes tout au long de la période de production. La génératrice délivre alors un

courant électrique alternatif et une tension de 690V et dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent. Lorsque le vent dépasse 90 km/h, les pales cessent à tourner pour des raisons de sécurité. [10]

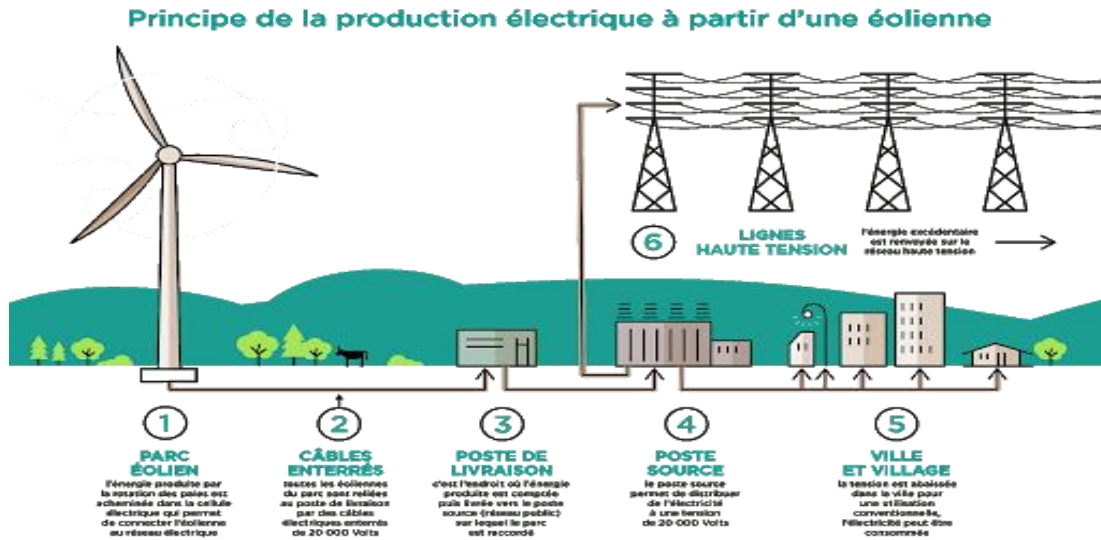


Figure I.18 : Parc éolien. [10]

I.7.3.3. Pile à combustible :

Une PAC est un convertisseur d'énergie chimique en énergie électrique et thermique. La réaction mise en œuvre est une réaction électrochimique entre l'hydrogène H₂ (carburant) et l'oxygène O₂ (comburant) avec production simultanée d'eau, d'électricité et de chaleur selon la réaction globale de synthèse de l'eau :



Contrairement aux piles traditionnelles ou aux batteries, l'énergie n'est donc pas stockée dans le volume fini de la pile lui-même mais dans des réservoirs de gaz qui peuvent alimenter la PAC de manière continue. Le flux d'énergie délivré par la PAC découle de la circulation du gaz combustible (H₂) et du gaz oxydant (O₂).

La mise en œuvre de cette réaction s'effectue au travers de deux demi-réactions l'une à l'anode correspondant à l'oxydation de l'hydrogène et l'autre à la cathode avec la réduction de l'oxygène produisant de l'eau. [11]

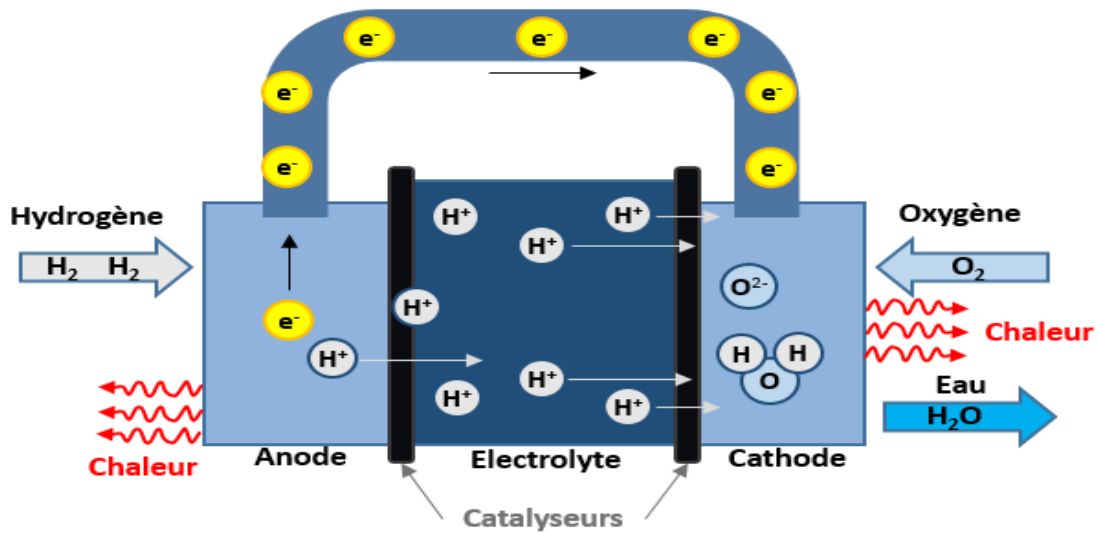


Figure I.19 : Pile à combustible.[11]

I.7.3.4. Micro-turbine à gaz :

Dans la micro turbine, une roue de turbine entraîne une roue de compresseur montée sur la même ligne d'arbre. Le compresseur introduit de l'air dans la chambre de combustion dans laquelle le combustible est injecté en continu. Le flux de gaz chaud se détend dans la turbine. Une part importante de l'énergie thermique se transforme ainsi en énergie mécanique qui entraîne le compresseur et la charge. Dans les centrales électriques classiques, la charge est un générateur à deux ou quatre pôles entraînés par l'intermédiaire d'un engrenage démultiplicateur. La vitesse de rotation du générateur est fixe car synchronisée à la fréquence d'un réseau électrique. [12]

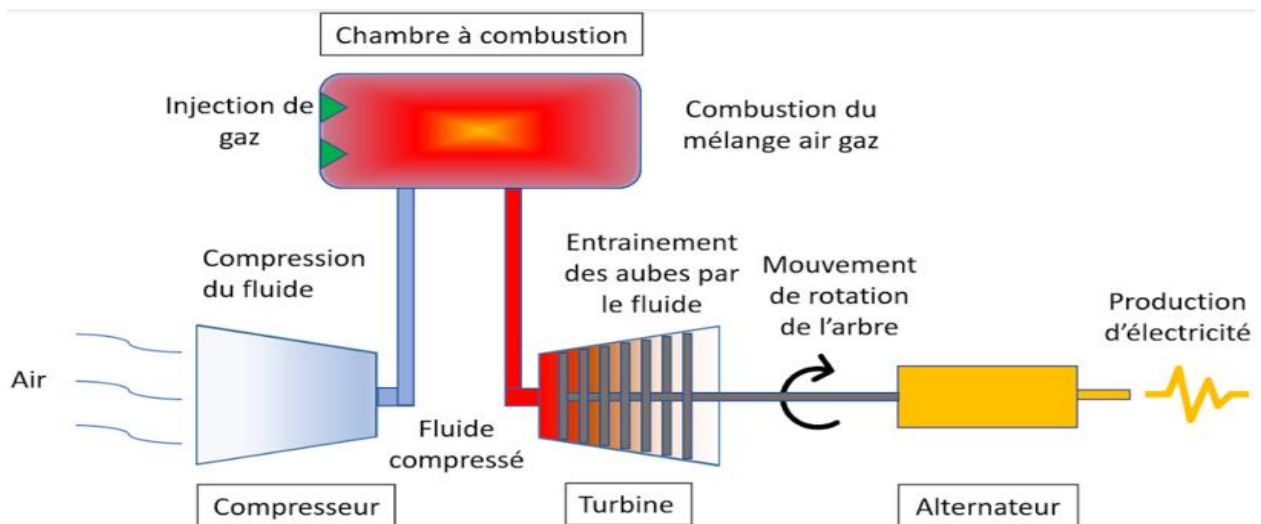


Figure I.20 : Micro-turbine à gaz. [12]

I.7.4. Impact de la production décentralisé au niveau de la distribution :

- Impacts sur le plan de protection, dimensionnement des seuils des protections, sélectivité entre protections et possibilité d'une mauvaise opération, déclenchements intempestifs, aveuglement des protections.
- Impacts sur le sens traditionnel d'écoulement de l'énergie, le système électrique a été dimensionné pour un flux de puissance du système de transport vers le système de distribution dans une dynamique *top-down*. Ainsi, il est possible que l'énergie soit injectée à partir du système de distribution dans le système de répartition et de transport. Ceci implique un besoin de bidirectionnalité dans l'équipement mis en jeu.
- Impacts sur le profil de la tension à cause des injections ou demandes d'énergie.
- Impacts sur la planification du réseau, son contrôle et son exploitation. Ceci implique une nouvelle observabilité des réseaux de distribution car ils ont été conçus comme un élément passif. Avec la production décentralisée, ces réseaux deviennent actifs. La production décentralisée devrait être, dans l'idéal, contrôlable par les compagnies électriques et les opérateurs de la distribution (DNO, *Distribution Network Operators*), ce qui signifie une augmentation des données à acquérir par le système SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).[7]

I.8. Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté dans la première partie les différentes topologies et architectures des réseaux électriques, les type des défauts et les appareils de protection utilisé dans les réseaux électriques. Nous avons mis l'accent plus particulièrement sur le réseau électrique à tension moyenne et ses différentes architectures et mode d'alimentation des postes qui lui sont associés.

Dans la deuxième partie on a présenté la structure et les caractéristiques des réseaux de distributions modernes (intelligent), qui sont capable d'intégrer des moyens de production distribué grâce aux logiciels de supervision, et l'impact de ce type de production sur les réseaux de distribution.

Pour ce qui est de ce qui va suivre nous allons entamer le 2^{ème} chapitre qui va s'intituler gestion des réseaux de distribution.

CHAPITRE

II

II.1. Introduction :

Suite à des décisions politiques et économiques liées principalement à l'amélioration du secteur agricole dans la région de Tolga, la demande d'énergie électrique a augmenté ces dernières années.

L'importance économique de cette région au niveau nationale exige une gestion sûre et efficace en mettant en œuvre plusieurs techniques et ressources humaines et financière pour garantir une bonne qualité d'énergie.

La direction de distribution de Biskra a lancée plusieurs projets d'extension du réseau, installations des postes 30/0.4 kV et création des nouveaux départs. Elle a également adapté des nouvelles techniques permettant de gérer le réseau de cette région afin de satisfaire sa demande en électricité.

II.2. L'importance de la région agricole da Tolga :

La wilaya de Biskra est l'une des principales wilayas dans le domaine d'agriculture. Son climat favorable, ses richesses en eaux souterrains et son sols arables lui ont conféré des atouts qui la positionne à l'avant-garde en termes de diversité des produits agricoles.

La superficie agricole totale estimée est de 1,652,751 hectares, ce qui présente environ 77% de la superficie totale de l'État. La superficie propice à la culture est estimée à 185473 hectares, soit 11% de la superficie cultivée, dont 98478 hectares sont des terres irriguées, et elle représente 53,10% de la superficie agricole favorable à l'agriculture.

L'agriculture au niveau de la wilaya de Biskra repose principalement sur l'agriculture des palmiers, qui sont concentrés au niveau de région de Sidi Okba, Tolga, Foghala et Ourelal. Quant aux autres régions elles sont spécialisées dans les fruits et les légumes.

La région de Tolga située dans la wilaya de Biskra au nord-est de l'Algérie est considérée comme une région agricole excellente, cette région est spécialisée dans l'agriculture des palmiers de qualité supérieure, elle possède une superficie agricole totale de 54 370 hectares, une superficie agricole utile de 4 198 ha.



Figure II.1 : Situation géographique de la région de Tolga.

Superficie de la commune	121 340 ha
Superficie agricole totale	54 370 ha
Superficie agricole utile	4 198 ha
Nombre de palmiers	300 000

Tableau II.1 : Indices d'agriculture de la région de Tolga.

II.3. Statistique sur la consommation :

Le réseau de la région de Tolga est alimenté depuis 3 cabines mobile (cabine mobile 220/30 Tolga, cabine mobile 220/30 Elghrouss, cabine mobile 220/30 Oumeche) et 2 postes sources (poste source 60/30 Tolga, poste source 60/30 Elghrouss).

Départ 30 kV	Charge de pointe (MVA)
	2019
Cabine mobile 220/30 KV Tolga	
KHNIZANE	3.77
FOUGHALA NORD	9.921
ORELLAL	12.85
ZAATCHA	10.42
Totale	36.961
Cabine mobile 60/30 KV Elghrouss	
MAHROUM	7.8
Totale	7.8
Cabine mobile 220/30 Oumeche	
BISKRA	6.22
OUMECHE	7.63
MLILI	7.68
SASCO	3.08
Totale	24.61
Poste source 60/30 Tolga	
Transformateur 01	
MAGTOUFA	8.18
FOUGHALA	10.7
STADE	7.5
Transformateur 02	
EMIB	9.08
LICHANA	10.14
S/ROUAG	3.16
ADE	7.6
Transformateur 03	
ELGHROUS	7.15

TOLGA/VILLE	7.4
BAB AZZOUZ	9.5
Totale	80.41
Poste source 60/30 KV Elghrouss	
Transformateur 01	
AMRI	5.1
ELGHROUS NORD	1.73
LIQUA	8.26
Transformateur 02	
ZARGA	6.13
ELBOR	6.08
MARMOUTHA	9.65
GHEMAIG	8.97
Totale	45.89
Totale de la région de Tolga	195.671

Tableau II.2 : Mesure de charge de point pendant la période d'été 2019.

- Interprétation :

Le tableau II.2 récapitule les mesures de charge des heures de pointes pendant la période d'été.

D'après les mesures obtenues on remarque que les sources les plus chargées sont la cabine mobile 220/30 KV Tolga et la cabine mobile 220/30 KV Oumeche, elles délivrent respectivement une puissance de 36.961 MVA (92.4 %) et 24.61 (61.525%).

La cabine mobile 220/30 KV Tolga fonctionne à 92.4% de sa capacité (risque de saturation).

On remarque que les autres sources (poste source Tolga, poste source Elghrouss, Cabine mobile Elghrouss) sont moins chargées est présente une réserve d'énergie qui peut être délivré en cas de l'accroissement de la demande.

II.5. Les problèmes rencontrés par les clients de Sonelgaz :

La croissance de la demande d'énergie électrique ces dernière année à causer la réduction de niveau qualité d'énergie délivrée.

La Sonelgaz a investi dans toutes ces filiales (production, transport et distribution).au niveau du réseau de distribution plusieurs postes source et postes MT/BT ont été mis en service afin d'améliorer la qualité d'énergie délivrer.

Malgré tous ces efforts certaines régions souffrent encore de chute de tension et de pertes, en particulier pendant la période d'été.

II.6. Moyens de réglage :

Le réglage au niveau des réseaux de distribution est une tâche importante dans la gestion des réseaux électriques. L'importance de cette tâche est due aux exigences de qualité demandées par les clients ces dernières années.

Il existe plusieurs moyens de réglages au niveau des réseaux de distribution, parmi ces techniques on trouve : transformateur équipé d'un changeur de prises (OLTC), la compensation, le systèmes SCADA.

II.6.1. Changeur de prises :

D'après la désignation RTE, le régleur en charge est un appareil permettant de rajouter ou de retrancher des spires à l'enroulement principal du transformateur.

L'objectif d'un changeur de prise est de maintenir la tension stable en le rapport de transformation des transformateurs de puissance présents dans le réseau et de réduire la tension dans le démarrage des moteurs. [13]



Figure II.3 : Changeur de prises (un pour chaque phase). [13]

Les changeurs de prises sont catégorisés en deux groupes :

- Changeur de prises en charge.
- Changeur de prises hors circuit.

II.6.1.1. Changeur de prises hors circuit :

Le changeur de prises hors circuit est un élément purement mécanique qui permet de modifier l'impédance d'un enroulement du transformateur.

Dans un changeur de prises hors circuit le changement de prises se fait soit de manière manuelle grâce à un mécanisme d'entraînement.

Le principe d'un changeur de prises hors circuit est de changer les prises placées près de la surface de l'huile dans la cuve en déplaçons manuellement le conducteur faisant la liaison en le dévissant et en le revissant sur la nouvelle prise.[14]

II.6.1.2. Changeur de prises en charge :

Le changeur de prises en charge est un élément qui permet la régulation de la tension ou déphasage en faisant varier le transformateur rapport sous charge sans interruption.



Figure II.4 : changeur de prises en charge. [15]

- **Principe de fonctionnement :**

Le principe de fonctionnement d'un changeur de prises en charge est de changer le rapport de transformation en augmentant ou diminuant l'impédance de l'enroulement primaire ou du secondaire d'un transformateur.

Le changeur de prises en charge est constitué principalement de deux parties : le sélecteur qui est le dispositif destiné à être parcouru par le courant, et le commutateur qui a donc la fonction d'établir ou de couper le courant.

Le sélecteur : sert à sélectionner la prise par laquelle va circuler le courant en régime permanent.

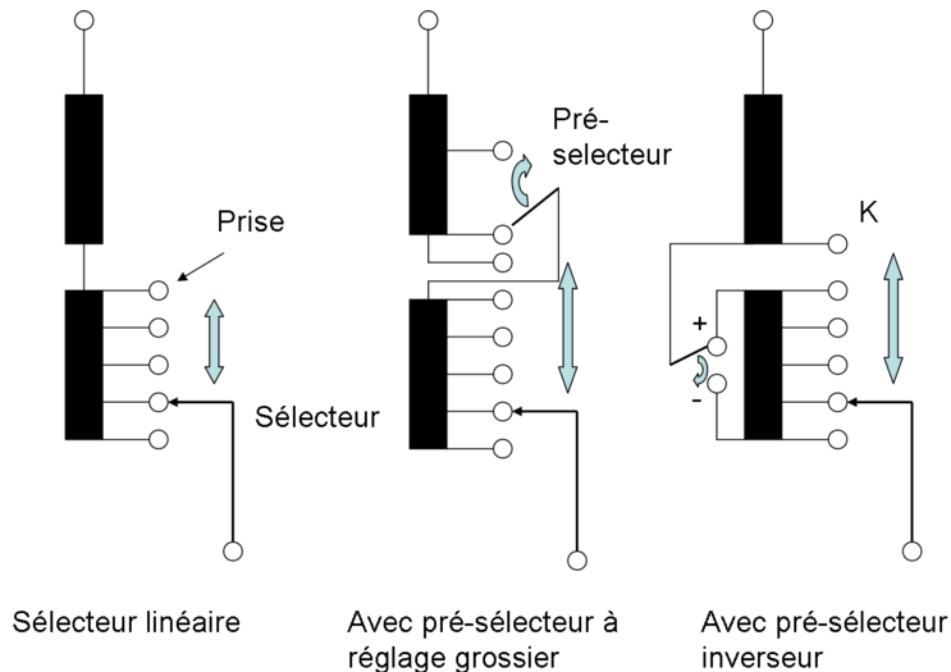


Figure II.5 : les différents types de sélecteur. [15]

Le commutateur : le changement de prises nécessite le passage par un état où 2 prises sont simultanément fermées. Cet état crée un pont qui sert à transférer la charge de première prise à la prise désirer sans interruption ou changement notable du courant.

Durant le changement de prise le courant circulant doit être limiter pour éviter d'endommager les bobines, pour cela deux bobines sont placées afin de réduire ce courant. [15]

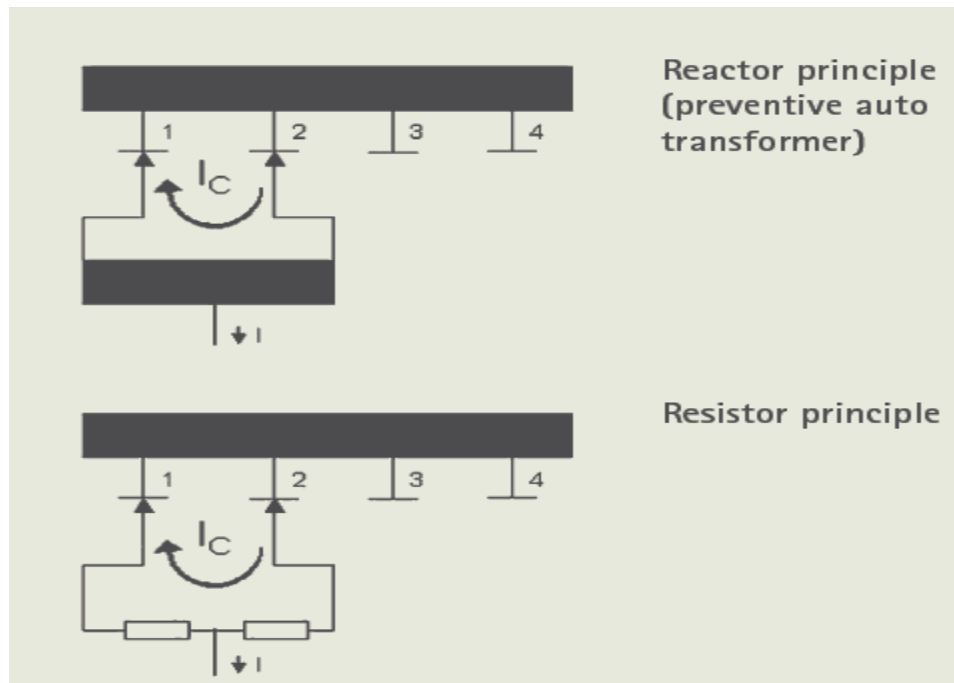


Figure II.6 : principe de changement de prises. [15]

- **Résistances de passage :**

Les résistances de passage se composent de fils spiralés, enroulés autour de supports isolants et sont situées au-dessus des contacts du commutateur. De conception robuste, elles peuvent supporter un nombre illimité de manœuvres. [16]

- **Fiabilité :**

La durée de vie prévue des contacts fixes et mobiles du commutateur est fonction du courant traversant assigner, comme l'indiquent les diagrammes ci-dessous. Elle a été établie à partir des essais de type portant sur 50 000 manœuvres à une intensité correspondant au courant traversant assigné maximal.

La durée de vie mécanique est établie à partir d'un essai d'endurance démontrant que l'usure mécanique est négligeable et que le changeur de prises est toujours en bon état après un million de manœuvres.[16]

- **Température de l'huile :**

La température de l'huile qui entoure le changeur de prises en charge doit se situer entre -40 et +105 °C en service normal, comme l'illustré à la figure ci-dessous.[16]

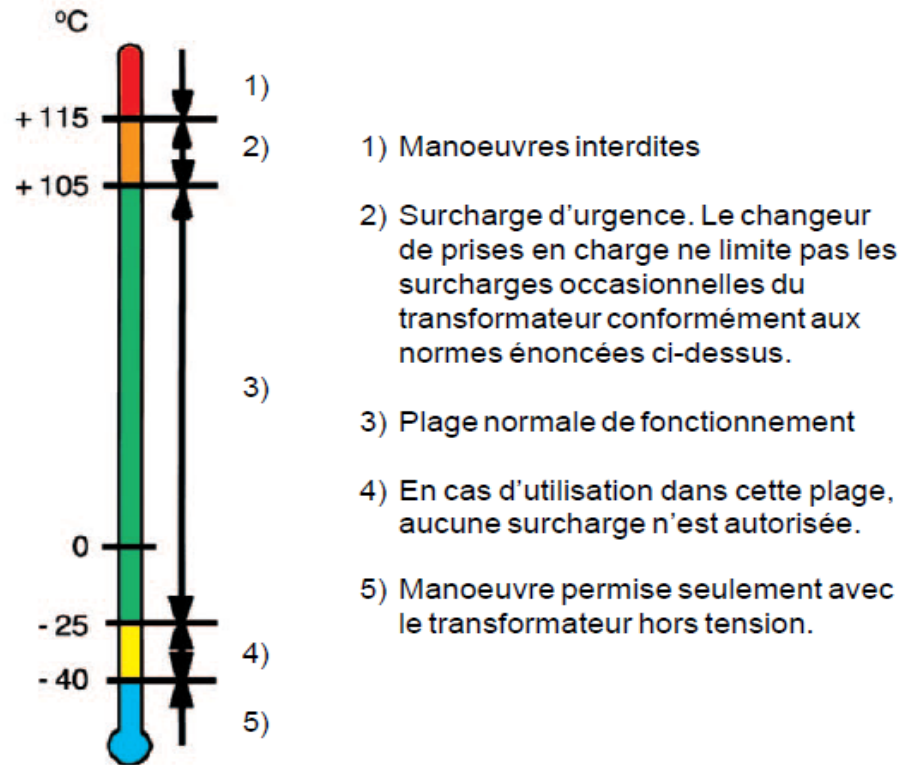


Figure II.7 : Température de l'huile des changeurs de prises en charge. [16]

II.6.2 Technique de la Compensation shunt :

La compensation shunt consiste à fournir l'énergie réactive capacitive au système au point ou le système de compensation est raccordé afin de maintenir un niveau de tension acceptable.

La compensation shunt présente plusieurs avantages tels que :

- Le courant transiter est réduit.
- La durée de vie des équipements est augmentée due à l'amélioration de tension.
- Prévenir la surcharge des transformateurs et les équipements électriques.
- Réduire les pertes de ligne et de transformateurs ce qui augmente la réserve d'énergie. [17]



Figure II.8 : batteries de condensateurs moyenne tension. [17]

II.6.2.1. Méthodologie de la compensation shunt :

- **Compensation individuelle :**

C'est la compensation au niveau des appareils des récepteurs, il est considéré comme une solution technique optimale pour réduire directement la consommation de l'énergie réactive. Ce type de compensation est idéal lorsque la puissance du récepteur est importante par rapport à la puissance souscrite. Car il introduit l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée.

- **Compensation partielle :** Il s'agit d'un système de compensation installée au départ de chaque installation. Ce type de compensation permet de soulager les lignes alimentant les différentes installations.

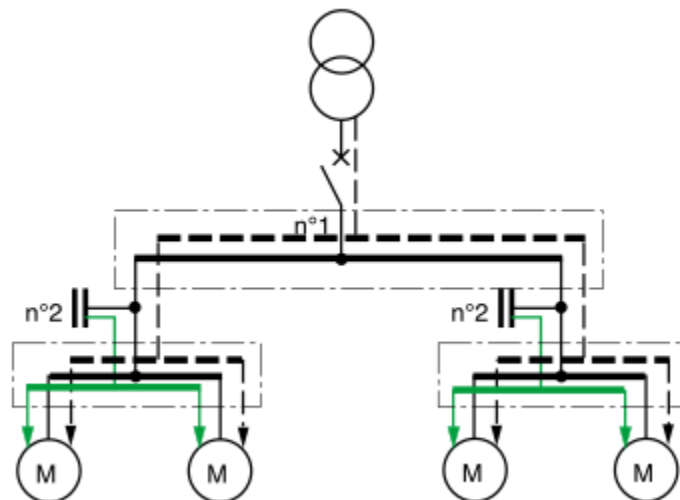


Figure II.9 : Principe de la compensation partielle.

- **Compensation globale :**

Système de compensation connecté à l'entrée générale d'une installation. Ce type de compensation permet de réduire la facturation et soulager le poste de transformation.

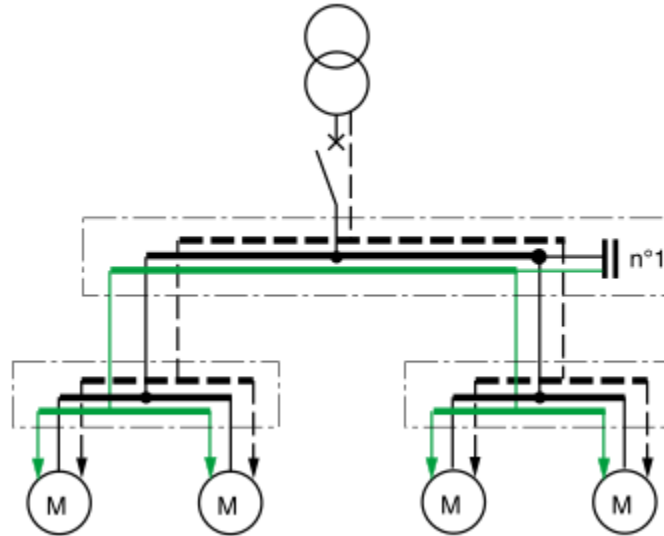


Figure II.10 : Principe de la compensation globale.

II.6.3. Technique de reconfiguration :

La technique de reconfiguration est une technique largement utilisé par les exploitants des réseaux électriques, le principe de cette technique est de changer les points ouverts d'un départ et alimenter cette partie d'un autre départ pour soulager le poste alimentant ce départ et diminuer le transit de courant.

- **Exemple (départ de Mlili) :**

- La configuration du départ de Mlili de l'année 2019 possède des points ouverts comme se suit :

Points ouverts	Poste 1345
	Interrupteur J535
	Interrupteur J775
	Poste 81
	Poste 1254
	J5437
	J5438
	J5436

	J5193
	Poste 1410
	Poste 542

Tableau II.3 : Configuration du départ Mlili de l'année 2019.

- La configuration du départ de Mlili de l'année 2020 possède des points ouverts comme se suit :

Points ouverts	J5438
	J5303
	J775
	J535

Tableau II.4 : Configuration du départ de l'année Mlili 2020.

II.6.4. Système SCADA dans les réseaux de distributions :

II.6.4.1. La fonction du système SCADA dans les réseaux de distribution :

Le rôle principal du systèmes SCADA dans les réseaux électriques de distribution est de collecter les informations et agir sur les disjoncteurs des départs ou les interrupteurs aériens télécommandés pour changer la configuration du réseau ou couper/réalimenter les clients en cas de défaut qui nécessite une intervention.



Figure II. 11 : salle de commande de système SCADA.

II.6.4.2. L'expérience de Sonelgaz avec le système SCADA :

Le système SCADA a été mis en service dans la willaya de Biskra en 2014. Ce système assure la surveillance du réseau, préserver de tout acte de malveillance ou vol et permet aux agents de la Sonelgaz d'intervenir très rapidement dès lors qu'une panne électrique est localisée en temps réel. [18]

L'inconvénient majeur de ce système est que la configuration du réseau change tout le temps et le changement de la position des interrupteurs aériens télécommandés (IAT) peut entraîner leur sortie de la zone de couverture de signal de commande, ce qui rend ce système inefficace dans certains scénarios.

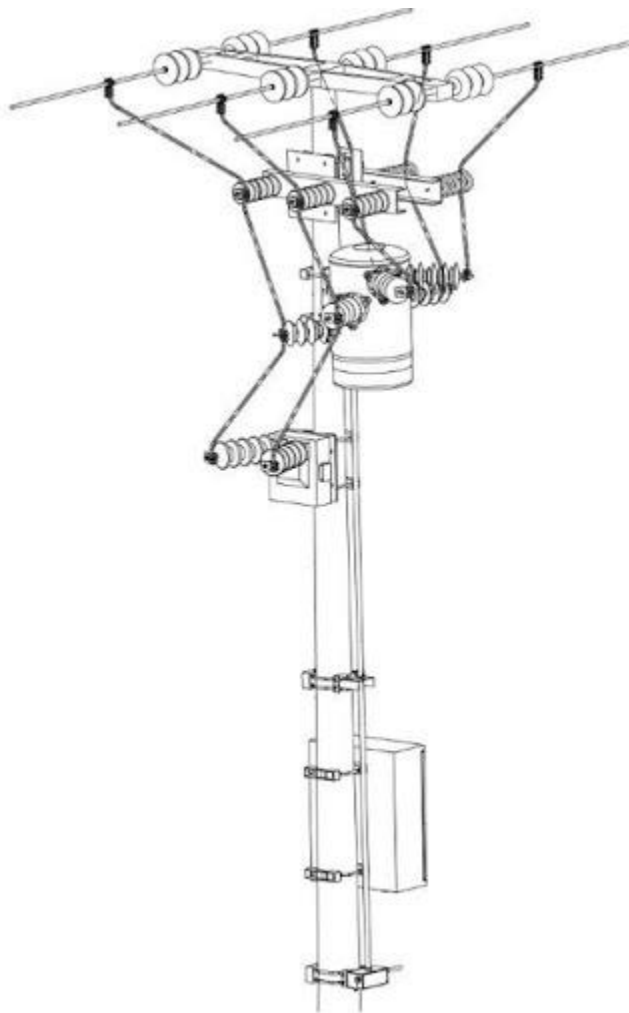


Figure II.12 : Interrupteur Aérien Télécommandé.

II.7. Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté dans la première partie l'importance de la zone agricole de la région de Tolga, les statistiques de charge de l'année 2019 et les différents problèmes rencontrés par les clients de Sonelgaz.

Dans la deuxième partie on a présenté les différentes techniques utilisées pour la gestion des réseaux, ces techniques sont considérées comme des moyens viable permettant d'améliorer la qualité d'énergie délivré.

Pour ce qui est de ce qui va suivre nous allons entamer le 3^{ème} chapitre qui va s'intituler méthodes d'analyses des réseaux électriques.

CHAPITRE

III

III.1. Introduction :

De nos jours, les problèmes liés à l'exploitation des réseaux électriques préoccupent considérablement les exploitants. L'analyse de l'écoulement de puissance permet aux exploitants de déterminer l'état du réseau électrique et par la suite de prendre des décisions basées sur l'état actuel du réseau ce qui assure une exploitation sûre et efficace du réseau électrique.

L'analyse de l'état du réseau nécessite d'adapter des méthodes mathématiques permettant de résoudre d'une manière itérative les équations non-linéaires de l'écoulement de puissance. Parmi ces méthodes nous citons la méthode de Newton-Raphson et la méthode de Gauss-Seidel.

Ce présent chapitre est dédié à exposer une brève modélisation des éléments de base du réseau électrique et une formulation mathématique des méthodes itératives adaptées à résoudre les problèmes de l'écoulement de puissance.

III.2. But de l'écoulement de puissance :

L'étude de l'écoulement de puissance ou de flux de puissance est une étape essentielle pour l'étude et la conception des réseaux électriques. Cette étude est nécessaire pour la planification, de l'échange de puissance entre les centres de production et le centre de consommation. Elle est aussi essentielle pour l'évaluation de la stabilité transitoire, stabilité dynamique et l'estimation de l'état du réseau ainsi que la prise de mesure adéquate à d'éventuels imprévus. La planification d'une future extension pourrait se baser sur l'étude de l'écoulement de puissance dans ce réseau [19].

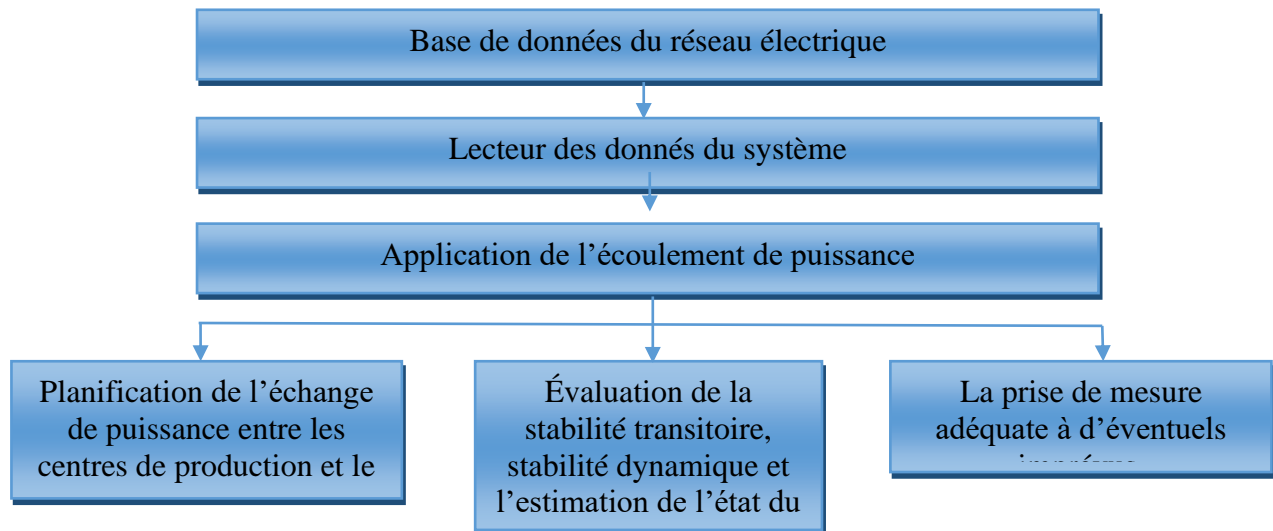


Figure III.1 : Les différents objectifs d'analyse des réseaux électriques.

III.3. Modélisation des éléments du réseau :

Un réseau de transport ou de distribution électrique contient un ensemble de composants qu'on doit modéliser afin d'établir les équations qui gouvernent le système électrique. Dans les sections qui suivent, on va exposer quelques modèles algébriques de base relatifs aux composants du réseau qui sont nécessaires pour le calcul de l'écoulement de puissance.[20]

III.3.1. Modèle de générateur :

Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants. La puissance active délivrée par le générateur est réglée à travers le contrôle de la turbine, qui doit être dans les limites de la capacité du système turbine – générateur. La tension est liée principalement à l'injection de la puissance réactive au jeu de barres de production, et comme le générateur doit fonctionner dans les limites de sa courbe de capacité réactive, il n'est pas possible de régler la tension en dehors de certaines limites admissibles.

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad (\text{III. 1})$$

$$Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi \max} \quad (\text{III. 2})$$

La figure (a) illustre le symbole utilisé pour représenter les générateurs. La figure(b) représente un schéma symbolique correspondant au jeu de barres de contrôle (PV). [20]

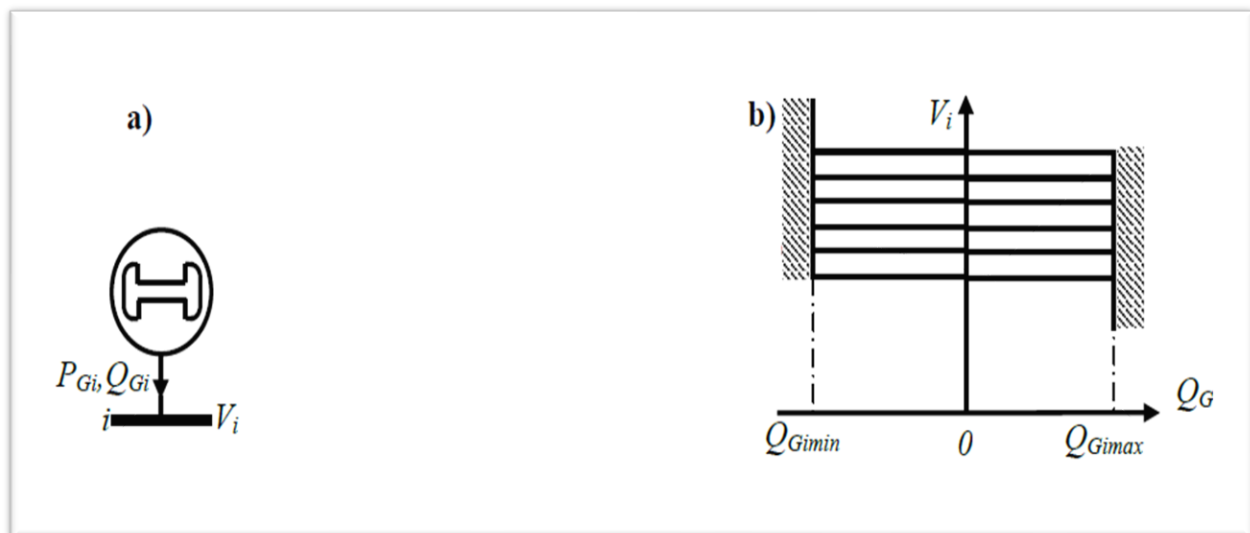


Figure III.2: Modèles des générateurs : a) symbole, b) modèle PV classique. [20]

III.3.2. Modèle de Transformateur :

Un transformateur de l'énergie électrique est représenté par un quadripôle en π non symétrique. Les grandeurs associées sont le rapport de transformation a et l'impédance de fuite. Les rapports a_{ij} sont inclus dans les éléments de la matrice admittance, c'est-à-dire que les susceptances de la matrice admittance B_{ij} sont vues comme des fonctions de rapports de transformation a . [20]

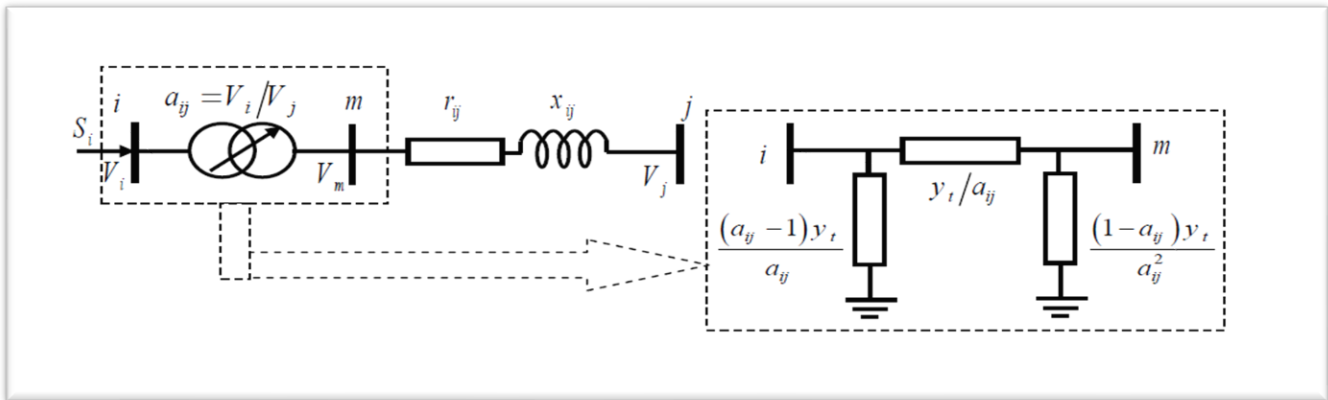


Figure III.3 : Modèle des transformateurs. [20]

La matrice d'admittance d'un transformateur inséré entre un nœud i et un nœud k s'écrit :

$$Y_{\text{trof}} = \begin{pmatrix} y_{ij} \frac{1}{a_{ij}^2} & -y_{ij} \frac{1}{a} \\ -y_{ij} \frac{1}{a} & y_{ij} \end{pmatrix} \quad (\text{III. 3})$$

III.3.3. Modèle de Ligne :

Généralement la ligne de transport est modélisée par un schéma équivalent en π qui se compose d'une impédance série (résistance R en série avec une réactance inductive X), et une admittance shunt qui consiste en une susceptance capacitive B (due à l'effet capacitif de la ligne avec la terre) en parallèle avec une conductance d'isolation G . [20]

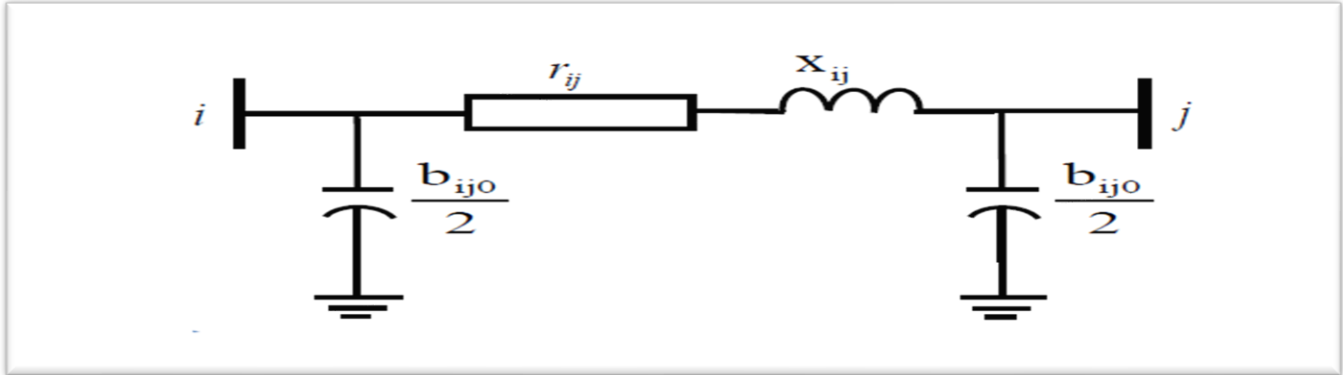


Figure III.4 : Modèle en TT des lignes de transport. [20]

La matrice d'admittance nodale d'une ligne reliant un nœud i à un nœud k est donné par :

$$Y_{BUS} = \begin{pmatrix} Y_{ij} + \frac{Y_{ij0}}{2} & -Y_{ij} \\ -Y_{ij} & Y_{ij} + \frac{Y_{ij0}}{2} \end{pmatrix} \quad (\text{III. 4})$$

Où l'admittance longitudinale Y_{ij} vaut :

$$Y_{ij} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} = g_{ij} + jb_{ij} \quad (\text{III. 5})$$

L'admittance transversale correspondant aux effets capacitifs s'écrit :

$$Y_{ij0} = jb_{ij0} \quad (\text{III. 6})$$

Avec :

r_{ij} : Résistance longitudinale.

x_{ij} : Réactance longitudinale.

b_{ij} : Susceptance transversale.

III.3.4. Modèle de Charge :

Les charges représentent les consommateurs connectés au réseau. Elles correspondent à des injections négatives aux nœuds. Les charges sont modélisées par des puissances constantes indépendantes de la tension nodale :

$$S_{li} = P_{li} + jQ_{li} \quad (\text{III.7})$$

Où S_{li} est la puissance complexe de la charge, P_{li} la puissance active et Q_{li} la puissance réactive. La puissance réactive Q_{li} peut être positive ou négative selon que la charge est de nature inductive respectivement capacitive. [20]

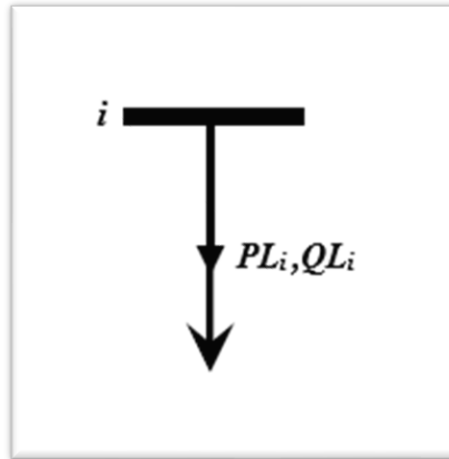


Figure III.5 : Modèle de charge. [20]

III.3.5. Modèle de l'élément shunt :

Dans la plupart des cas, les éléments shunt sont des dispositifs destinés à la compensation de l'énergie réactive et la tenue de la tension, Chaque élément connecté au réseau sera modélisé, suivant le cas, par une admittance équivalente y de la forme :

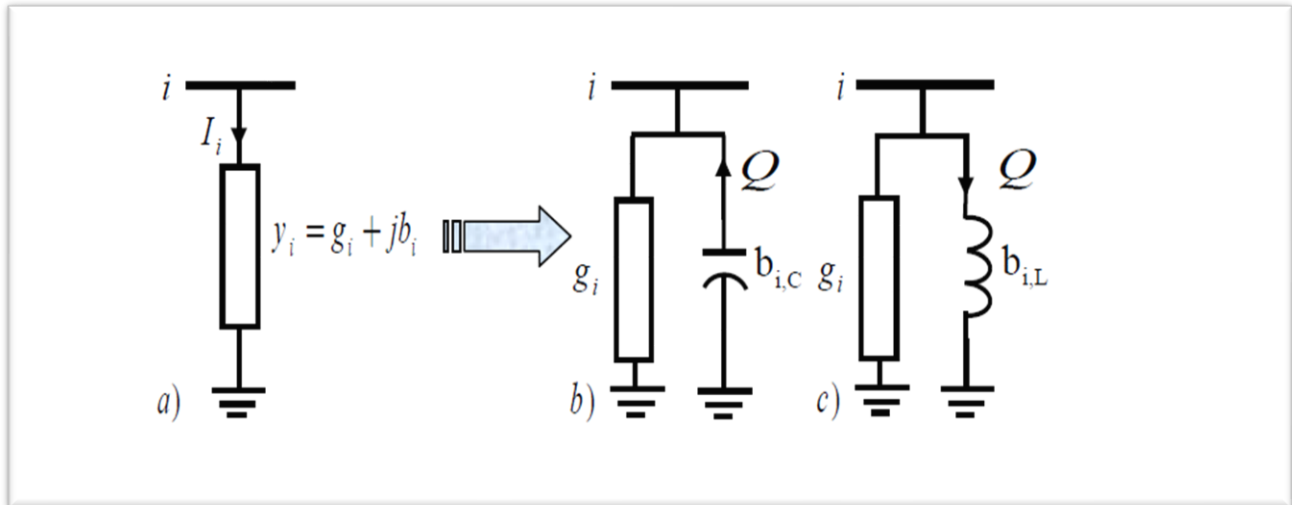


Figure III.6 : Modèles des éléments shunt : a) symbole, b) élément inductif, c) élément capacitif. [20]

Le symbole général représentant un élément shunt est donné à la figure (a) La susceptance b_{i0} peut être inductive ou capacitive. Dans le premier cas, l'élément consomme de la puissance réactive figure (b), alors qu'il en fournit au système dans le second figure (c).[20]

III.4. Analyse de l'écoulement de puissance :

L'étude de l'écoulement de puissance est une étape primordiale de toute analyse sérieuse d'un réseau électrique. En effet, elle nous permet de calculer les grandeurs d'un réseau en régime permanent équilibré à savoir les modules et phases des tensions en tout point du réseau. A partir de ces dernières, on peut calculer les courants dans les lignes de transport, les puissances actives et réactives transitées et les pertes de puissances provoquées lors du transport d'énergie électrique. Cette analyse est très importante pour les études, la planification et l'exploitation d'un réseau électrique.[21]

III.5. Classification des jeux de barres :

Il existe quatre grandeurs fondamentales associées à chaque jeu de barres du réseau, à savoir le module de tension, la phase de tension, la puissance active injectée et la puissance réactive injectée. Pour chaque jeu de barres, deux variables doivent être spécifiées au préalable et les deux autres sont à calculer. Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les jeux de barres du système sont classés en trois catégories.

III.5.1. Jeux de barres de référence :

Le jeu de barre de référence est choisi parmi ceux où un générateur est connecté. Le rôle de ce jeu de barre est de fournir la puissance supplémentaire nécessaire pour compenser les pertes de transmission, car celles-ci ne sont pas connues d'avance. En plus, ce jeu de barre sert de référence pour les phases des tensions. Par convention, ce jeu de barre est identifié par le jeu de barre N°1, dont le module et la phase de tension sont toujours spécifiés ($V_1 = 1$ pu et $\delta_1 = 0^\circ$). Par conséquent, les puissances P_1 et Q_1 sont inconnues, du fait que P_{G1} et Q_{G1} ne sont pas spécifiées d'avance.[21].

III.5.2. Jeux de barres de contrôle (PV bus) :

Chaque jeu de barre du système dont le module de tension est maintenu constant est considéré comme un jeu de barre à tension contrôlée ou jeu de barre générateur. Ce type de jeux de barres est connecté avec un générateur. Au niveau de ce jeu de barre, P_i et V_i sont des grandeurs spécifiées (connues). Donc, Q_i n'est pas connue à l'avance étant donné que Q_{Gi} est inconnue. Il en est de même pour δ_i . [21].

III.5.3. Jeux de barres de charge (PQ bus) :

Tous les jeux de barres du réseau dont l'injection des puissances actives et réactives est donnée, sont considérés comme des jeux de barres de charge. Pour ce type de nœud, les puissances active P_i et Q_i réactive sont connues et la procédure de l'écoulement de puissance donne les valeurs de V_i et δ_i auparavant inconnues. Le tableau III.1. Donne les variables connues et inconnues pour chaque type de jeu de barre.[21]

Type du jeu de barre	Variables connues	Variables inconnus
Charge (P, Q)	P et Q	$ V , \delta$
Control (P, V)	P, $ V $	δ et Q
Reference (slack/swing bus)	$ V , \delta$	P et Q

Tableau III.1 : Les variables associés aux différents types des jeux de barres.

III.6. Matrice d'admittance nodale :

Les équations de l'écoulement de puissance utilisant la formulation des admittances nodales pour un réseau à trois nœuds, sont d'abord développées, puis elles sont généralisées pour un système à nœuds. [21]

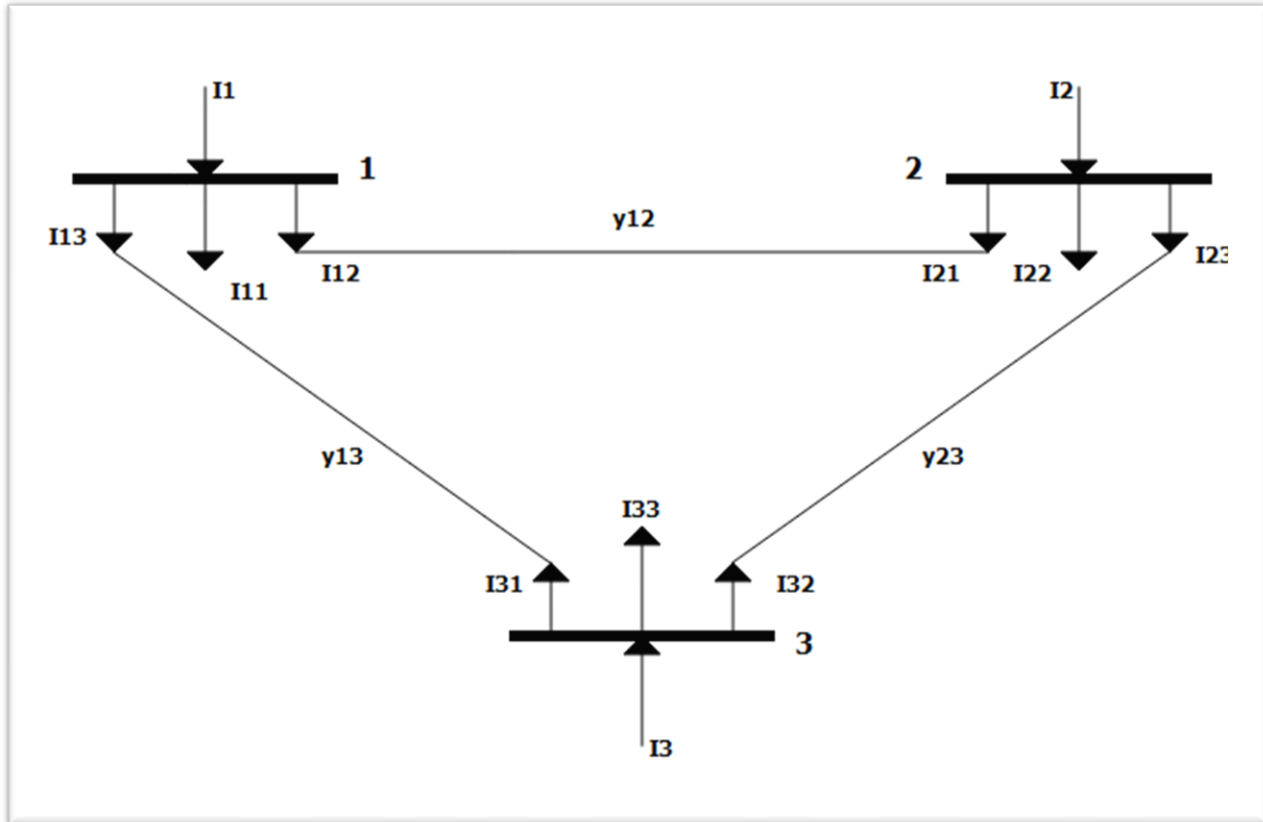


Figure III.7 : Réseaux à 3 nœuds.

$$I_1 = I_{11} + I_{12} + I_{13} \quad (\text{III. 8})$$

$$I_1 = V_1 Y_{11} + (V_1 - V_2) Y_{12} + (V_1 - V_3) Y_{13} \quad (\text{III. 9})$$

$$I_1 = V_1 (Y_{11} + Y_{12} + Y_{13}) - V_2 Y_{12} - V_3 Y_{13} \quad (\text{III. 10})$$

En posant :

$$Y_{11} = Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} \quad (\text{III. 11})$$

$$Y_{12} = -y_{12} \quad (\text{III. 12})$$

$$Y_{13} = -y_{13} \quad (\text{III. 13})$$

On aura l'expression du courant ci-dessous :

$$I_1 = V_1 Y_{11} + V_2 Y_{12} + V_3 Y_{13} \quad (\text{III. 14})$$

De la même manière, on trouve les équations des courants nodaux pour les autres nœuds.

$$I_2 = V_1 Y_{21} + V_2 Y_{22} + V_3 Y_{23} \quad (\text{III. 15})$$

$$I_3 = V_1 Y_{31} + V_2 Y_{32} + V_3 Y_{33} \quad (\text{III. 16})$$

Ces équations peuvent être écrites sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (\text{III. 17})$$

Le courant injecté au jeu de barres i peut se mettre sous la forme :

$$I_i = \sum_{m=1}^3 Y_{im} \cdot V_m \quad (\text{III. 18})$$

Cette dernière équation, qui traite un système à trois nœuds, peut être généralisée pour un système à n nœuds :

$$I_i = \sum_{m=1}^n Y_{im} \cdot V_m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{III. 19})$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (\text{III. 20})$$

III.6.1. Les équations de l'écoulement de puissance :

Le bilan de puissance électrique d'un jeu de barre i d'un réseau électrique de n jeux de barres est égal à la différence entre la puissance générée et S_{Gi} la puissance demandée S_{Di} au niveau du même jeu de barres. [21]

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = (P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \quad (\text{III. 21})$$

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \cdot I_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{III. 22})$$

Le courant I_i peut se mettre sous la forme suivante :

$$I_i = \sum_{m=1}^n |Y_{im}| |V_m| \angle (O_{im} + \delta_m) \quad (\text{III. 23})$$

En remplaçant l'expression du courant, l'équation (20) peut d'écrire :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i - \sum_{m=1}^n |Y_{im}| |V_m| \angle (O_{im} + \delta_m) \quad (\text{III. 24})$$

En séparant la partie réelle et la partie imaginaire de l'équation (24) on aura les équations (25) et (26) des puissances actives et réactives au jeu de barres :

$$P_i = \sum_{m=1}^n |V_i| |V_m| |Y_{im}| \cos(O_{im} - \delta_i + \delta_m) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{III. 25})$$

$$Q_i = - \sum_{m=1}^n |V_i| |V_m| |Y_{im}| \sin(O_{im} - \delta_i + \delta_m) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{III. 26})$$

III.6.2. Equations de l'écoulement de puissance dans les lignes et les pertes :

La détermination des valeurs des puissances réparties dans les lignes de transport est indispensable afin de localiser les lignes électriques surchargées et de calculer la valeur des pertes de puissance. Le courant circulant entre les deux jeux de barres i et k est considéré positif lorsqu'il est dirigé de i vers k et son expression est la suivante :

$$I_{ik} = y_{ik}(V_i - V_k) + V_i Y_p \quad (\text{III. 27})$$

y_{ik} : L'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et k.

$V_i Y_p$: La contribution shunt du courant au jeu de barres i.

Y_p : L'admittance shunt au jeu de barres.

De la même manière, le courant qui circule du nœud k vers le nœud i est donné par :

$$I_{ki} = y_{ki}(V_k - V_i) + V_k Y_p \quad (\text{III. 28})$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* I_{ik} \quad (\text{III. 29})$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* (V_i - V_k) y_{ik} + V_i^* V_i Y_p \quad (\text{III. 30})$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_k^* (V_k - V_i) y_{ik} + V_k^* V_k Y_p \quad (\text{III. 31})$$

La valeur des pertes de puissance dans la ligne entre les deux jeux de barres i et k est la somme algébrique de répartition des puissances déterminées à partir des équations (30) et (31) [21].

III.7. Les Méthodes de résolution du problème d'écoulement de puissance :

Dans ce chapitre ; on présente quelques méthodes de calcul à savoir la méthode de Gauss Seidel et la méthode de Newton-Raphson. [22].

III.7.1. La Méthode itérative de Newton-Raphson :

III.7.1.1 Principe de la méthode N-R :

Elle est basée sur la détermination de la tangente à la courbe $f(x)$ en chaque point $(x^k, f(x^k))$. L'interconnexion de cette tangente avec l'axe des x fournit le point x^{k+1} (Δx^k étant une approximation de l'erreur commise sur x à l'itération (k)). [23]

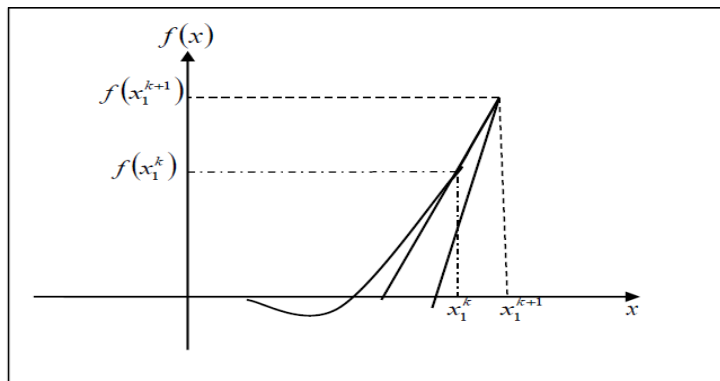


Figure III.8 : Représentation géométrique de la méthode de N-R. [23]

Soit la fonction $f(x)=0$ de dimension n , tel que

$$F(x) = \begin{pmatrix} f_1(x) \\ \vdots \\ f_n(x) \end{pmatrix} \quad x^{(0)} = \begin{pmatrix} x_1^0 \\ \vdots \\ x_n^0 \end{pmatrix} \quad (\text{III. 32})$$

On estime que $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ sont les solutions de ces n équations. L'exposant (0) indique que ces valeurs sont des estimations initiales.

On désigne par $\Delta x_1^0, \Delta x_2^0, \dots, \Delta x_n^0$ les valeurs à ajouter à $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ pour trouver la solution correcte.

Lorsqu'on développe toutes les fonctions en série de Taylor au voisinage du point d'estimation initiale on aura :

$$f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_k = f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) + \Delta x_1^0 \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)_{x_1^0} + \dots + \Delta x_n^0 \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right)_{x_n^0} \quad (\text{III. 33})$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

Δx_k Représente la correction à ajouter à x_k^0 pour se rapprocher de la solution correcte.

Considérons maintenant un système d'équations non-linéaires, à n variables :

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_2 \\ \dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_n \end{cases} \quad (\text{III. 34})$$

Le système (33), peut être écrit sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} y_1 - f_1(x_1^0, \dots, x_n^0) \\ \dots \\ y_n - f_n(x_1^0, \dots, x_n^0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{x_1^0} & \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{x_2^0} & \dots & \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_{x_n^0} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \right|_{x_1^0} & \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \right|_{x_2^0} & \dots & \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \right|_{x_n^0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_1^0 \\ \dots \\ \Delta x_n^0 \end{bmatrix} \quad (\text{III. 35})$$

Ou encore :

$$[\Delta U]^0 = [j]^0 \cdot [\Delta X]^0 \quad (\text{III. 36})$$

$[j]$ est la matrice jacobéenne du système (34).

D'où l'on tire

$$[\Delta X]^0 = ([j]^0)^{-1} \cdot [\Delta U]^0 \quad (\text{III. 37})$$

La première solution approchée du processus itératif est calculée par

$$[X]^1 = [X]^0 + [\Delta X]^0 \quad (\text{III. 38})$$

Généralement, pour une itération (k), On a :

$$[X]^k = [X]^{k-1} + [\Delta X]^{k-1} \quad (\text{III. 39})$$

III.7.1.2. Application de la méthode de Newton-Raphson, au problème de l'écoulement de puissance :

Mathématiquement, le problème de l'écoulement de puissance peut être réduit à un ensemble d'équations non-linéaires où le module et l'angle des tensions aux niveaux des jeux de barres sont les variables. Dans la forme la plus compacte, le nombre d'équations vaut approximativement deux fois le nombre de jeux de barres. Les non-linéarités peuvent être approximativement classées sous une forme quadratique. La technique de N-R basée sur le calcul du gradient et de la relaxation qui est utilisée comme méthode de solution pour ces systèmes d'équations.

Le problème peut être résolu en utilisant soit les coordonnées rectangulaires soit les coordonnées polaires. Il est préférable d'utiliser la forme polaire pour faire apparaître les différentes grandeurs qui caractérisent le réseau électrique.

D'après la forme générale d'équations de la puissance au J.d.B :

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) = F_{ip} \\ Q_i &= \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) = F_{iq} \end{aligned} \right\} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (\text{III. 40})$$

Où $i=1$ c'est le J.d.B de référence.

n : Nombre de J.d.B.

i : Numéro de J.d.B.

Après développement de F_{ip} et F_{iq} en série de TAYLOR autour de la première approximation :

$$\left. \begin{aligned} P_i &= F_{ip}^0 + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial \delta_2} \right)^{(0)} \Delta \delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial \delta_n} \right)^{(0)} \Delta \delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial |V_2|} \right)^{(0)} \Delta V_2^{(0)} \\ Q_i &= F_{iq}^0 + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial \delta_2} \right)^{(0)} \Delta \delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial \delta_n} \right)^{(0)} \Delta \delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial |V_2|} \right)^{(0)} \Delta V_2^{(0)} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III. 41})$$

Avec F_{ip}^0 et F_{iq}^0 sont des fonctions de tension et de phase :

A partir de la relation de $\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$

Avec :

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_i^{(0)} &= P_i - F_{ip}^{(0)} \\ \Delta Q_i^{(0)} &= Q_i - F_{iq}^{(0)} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III. 42})$$

A partir Les deux systèmes d'équations :

$$\begin{cases} S_{ik}^* = P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* \cdot I_{ik} \\ S_{ik}^* = P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* \cdot I_{ik} = V_i^* (V_i - V_k) y_{ik} + V_i^* \cdot V_i \cdot \frac{y'_{ik}}{2} \end{cases} \quad (\text{III. 43})$$

Ces équations donner :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \Delta P_n^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \Delta Q_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{2p}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial F_{2p}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{2p}}{|V_2|} & \dots & \frac{\partial F_{2p}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{np}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial F_{np}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{np}}{|V_2|} & \dots & \frac{\partial F_{np}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{2q}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial F_{2q}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{2q}}{|V_2|} & \dots & \frac{\partial F_{2q}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{nq}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial F_{nq}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{nq}}{|V_2|} & \dots & \frac{\partial F_{nq}}{|V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \Delta \delta_n^{(0)} \\ \Delta V_2^{(0)} \\ \Delta V_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (\text{III. 44})$$

Donc on peut écrire le système comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}] \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta V^{(0)} \end{bmatrix} \longleftrightarrow \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta V^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} \quad (\text{III. 45})$$

On rappelle que :

$$\Delta \delta_i^{(k)} = \delta_i^{(k-1)} - \delta_i^{(k)} \quad i \neq 1(\text{réf}), i \neq 2(\text{cont}) \quad (\text{III. 46})$$

$$\Delta |V_i|^{(k)} = |V_i|^{(k+1)} |V_i|^{(k)} \quad (\text{III. 47})$$

L'adaptation de (45) avec (46) donne :

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \longleftrightarrow \begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} + [J^{(k)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \quad (\text{III. 48})$$

D'une manière générale :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (\text{III. 49})$$

J_1, J_2, J_3, J_4 Sont les sous matrice de Jacobienne. [6]

III.7.1.3. Détermination des sous matrices de la Jacobienne J :

A partir du système d'équations (41) on peut déterminer les éléments de J :

- **Sous matrice J1 :**

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i||V_j||y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}); \quad i \neq j \quad (\text{III. 50})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, i \neq j}^n |V_i||V_j||y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}); \quad i = j \quad (\text{III. 51})$$

- **Sous matrice J2 :**

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |V_j||y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}); \quad i \neq j \quad (\text{III. 52})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||y_{ij}| \cos(\gamma_{ij}) + \sum_{j=1, i \neq j}^n |V_j||y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}); \quad i = j \quad (\text{III. 53})$$

- **Sous matrice J3 :**

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = |V_i||V_j||y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}); \quad i \neq j \quad (\text{III. 54})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, i \neq j}^n |V_i||V_j||y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}); \quad i = j \quad (\text{III. 55})$$

- **Sous matrice J4 :**

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_j||y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}); \quad i \neq j \quad (\text{III. 56})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -\sum_{j=1, i \neq j}^n |V_j||y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) - 2|V_i||y_{ij}| \sin(\gamma_{ij}); \quad i = j \quad (\text{III. 57})$$

On peut résumer les étapes de calcul comme suit :

- **Étape (1)** : formulation de la matrice admittance (Y_{bus}).
- **Étape (2)** : on estime les valeurs initiales $|V_i|^{(0)}$ et $\delta_i^{(0)}$ pour les J.d.B de charge

Et $\delta_i^{(0)}$ pour les J.d.B de contrôle.

- **Étape (3)** : on calcul P, Q qui nous donnent ΔP , ΔQ .
- **Étape (4)** : formulation de la matrice jacobéenne.
- **Étape (5)** : on trouve l'inverse de jacobéenne.
- **Étape (6)** : on calcule

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (\text{III. 58})$$

On obtient :

$$\delta_i^{(1)} = \delta_i^{(0)} + \Delta \delta_i^{(0)} \quad (\text{III. 59})$$

$$|V_i|^{(1)} = |V_i|^{(0)} + \Delta |V_i|^{(0)} \quad (\text{III. 60})$$

- **Étape (7)** : Le processus se répète jusqu'à ce que la tolérance suivante se vérifie $\max(\Delta P, \Delta Q) \leq \varepsilon$.

- **Étape (8)** : on prend les résultats obtenus tel que les puissances actives et réactives à Générer par le jeu de barre de référence et les puissances à travers les lignes. [6]

➤ **Remarques:**

- Si les écarts de la puissance réactive au niveau des jeux de barres de génération ne sont Pas donnés, les lignes et les colonnes correspondant à ces jeux de barres doivent être éliminées.

- Si la puissance réactive générée au niveau d'un jeu de barre de génération dépasse sa Limite inférieure ou supérieure, ce jeu de barre sera considéré comme un jeu de barre de charge avec $Q_g = Q_{\min}$ ou $Q_g = Q_{\max}$ et le module de la tension (V) devient une inconnue à calculer. [6].

III.7.1.4. Algorithme de Newton-Raphson :

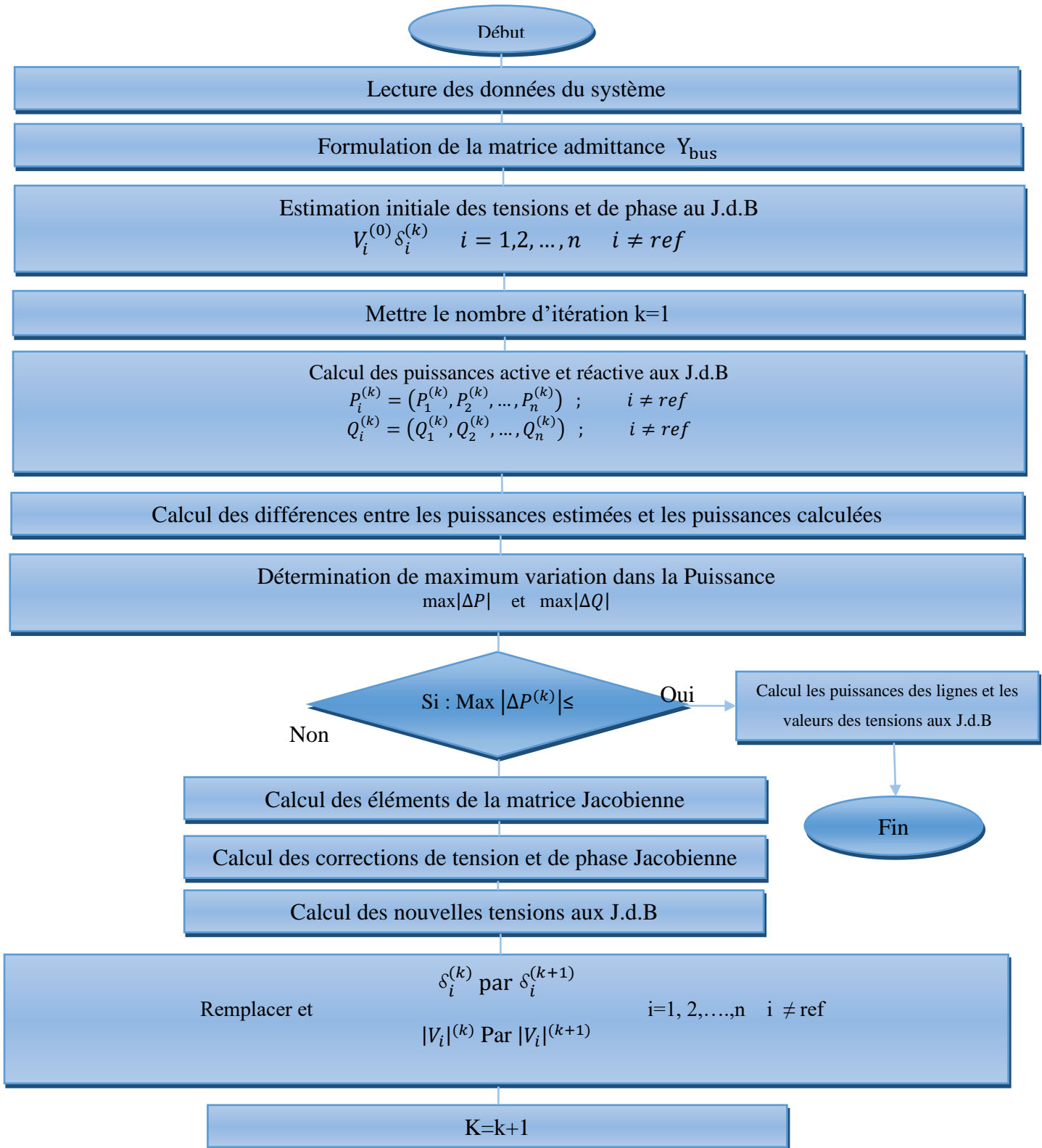


Figure III.9 : Organigramme simplifié de l'algorithme de Newton-Raphson.

III.7.2. La méthode itérative de Gauss-Seidel :

La méthode de GAUSS-SEIDEL est l'une de plus simples méthodes itératives utilisées pour la résolution du problème de l'écoulement de puissance pour résoudre un ensemble très large d'équations algébriques non linéaires. [23]

III.7.2.1. Principe de la méthode Gauss-Seidel : [23]

Soit à résoudre la fonction : $F(x)=0$

Cette méthode est basée sur le changement de l'équation : $F(x)=0$ à la forme $g(x)=0$.

Pour une fonction $F(x)=0$, il est toujours possible de trouver une fonction $g(x)=0$, tel que $X=g(x)$;($g(x)$ n'est pas unique).

On estime une valeur initiale X^0

$$\begin{cases} X^1 = g(X^0) \\ X^2 = g(X^1) \\ \vdots \\ X^{K+1} = g(X^K) \end{cases} \quad (\text{III. 61})$$

Où :

K : numéro d'itération

Le processus itératif se termine si la différence entre deux valeurs successives vérifie le test de convergence :

$$|X^{K+1} - X^K| \leq \varepsilon \quad (\text{III. 62})$$

Pour un système de n équations :

$$\begin{aligned} f_1(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0 \\ f_2(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0 \\ f_n(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0 \end{aligned} \quad (\text{III. 63})$$

Pour trouver l'algorithme de Gauss-Seidel on a besoin de reformer la fonction $F(x)=0$ a la forme itérative $x=g(x)$.

$$\begin{cases} X^1 = g(X^0) \\ X^2 = g(X^1) \\ \vdots \\ X^{K+1} = g(X^K) \end{cases} \quad (\text{III. 64})$$

A la fin de chaque itération on fait le test de convergence :

$$|X^{K+1} - X^K| \leq \varepsilon \quad (\text{III. 65})$$

III.7.2.2. La méthode de Gauss Seidel appliqué aux équations de l'écoulement de puissance :

La méthode de GAUSS-SEIDEL est l'une des plus simples méthodes itératives utilisées pour la résolution du problème de l'écoulement de puissance ou généralement pour la résolution d'un ensemble très large d'équations algébriques non linéaires. [24]

Les solutions recherchées sont déduites de la résolution de l'équation nodale suivante :

$$I_i = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n = \sum_{m=1}^n Y_{im}V_m \quad (\text{III. 66})$$

En général, on calcule le vecteur V qui satisfait le système non linéaire et qui est donné par :

$$V_i^{k+1} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{(V_i^*)^k} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n Y_{im}V_m^{(k)} \right] \quad (\text{III. 67})$$

Pour les expressions des puissances actives et réactives, elles sont calculées à partir des deux expressions ci-après respectivement :

$$P_i^{1+k} = \Re \left[(V_i^*)^k \left[V_i^{(k)} Y_{ii} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n Y_{im} V_m^{(k)} \right] \right] \quad (\text{III. 68})$$

$$Q_i^{1+k} = -\Im \left[(V_i^*)^k \left[V_i^{(k)} Y_{ii} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n Y_{im} V_m^{(k)} \right] \right] \quad (\text{III. 69})$$

La convergence du système est atteinte lors que la condition suivante est satisfaite :

$$\text{Max}|V^{k+1} - V^k| \leq \varepsilon \quad (\text{III. 70})$$

Dans le cas pratique, la condition d'arrêt est choisie par rapport aux puissances actives et réactives :

$$\text{Max}|P^{k+1} - P^k| \leq \varepsilon \quad (\text{III. 71})$$

$$\text{Max}|Q^{k+1} - Q^k| \leq \varepsilon \quad (\text{III. 72})$$

III.7.2.3. L'algorithme de Gauss Seidel :

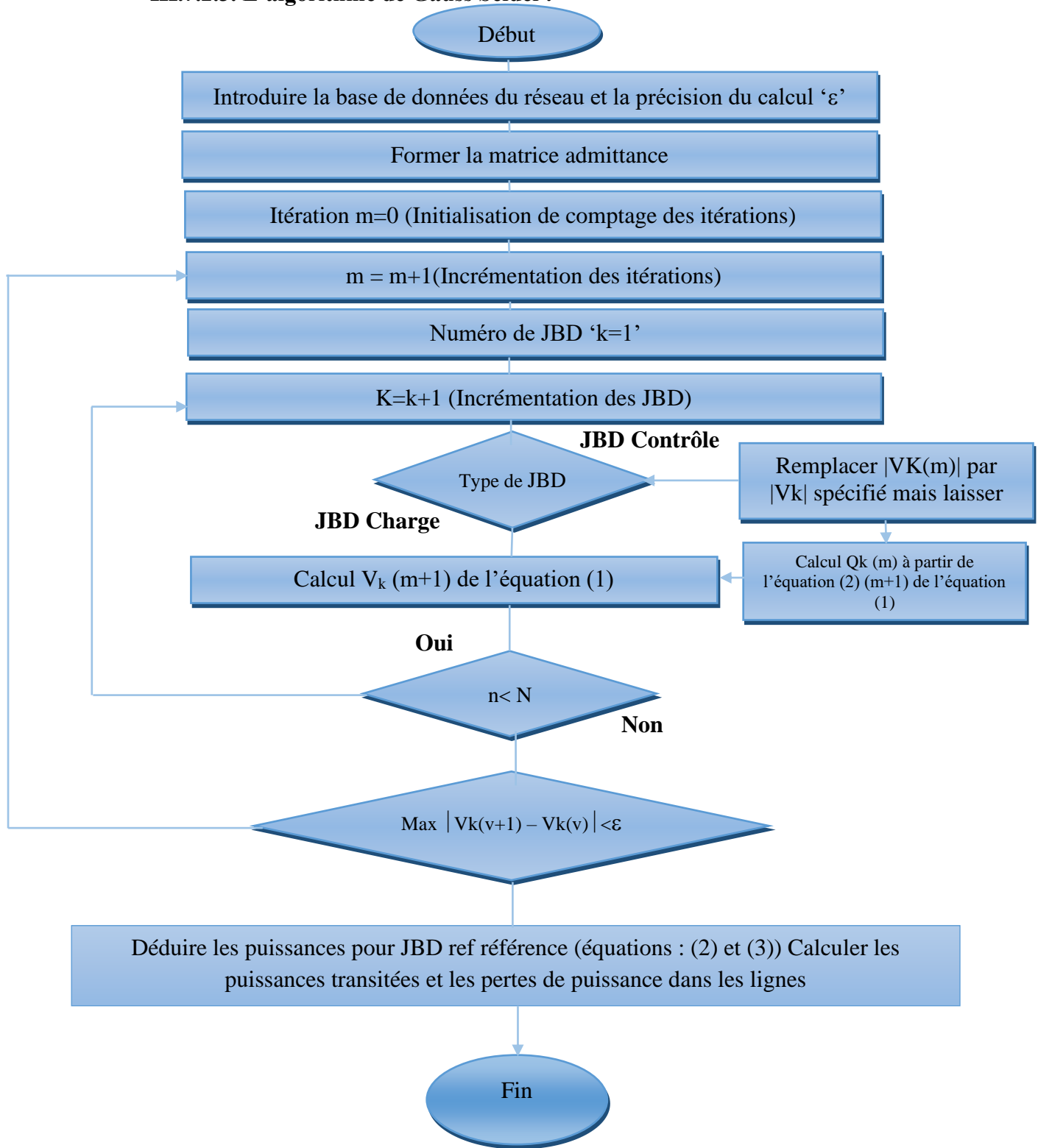


Figure III.10 : Organigramme simplifié de la méthode de GAUSS-SEIDEL.

III.8. Comparaison entre la méthode de G-S et méthode de N-R :

III.8.1. Algorithmes :

L'organigramme de N-R est un peu longue que celle de GS, mais lors de programmation de la méthode N-R on a évité l'utilisation des valeurs récentes au lieu des valeurs initiales, au contraire de la méthode de G-S qui se repousse sur cette aidée, donc le temps effectué en traitement des données par la méthode N-R est assez court de nous convaincre que N-R plus efficace que G-S malgré l'algorithme est longue.

III.8.2. Nombre des itérations :

Le nombre des itérations effectuées par la méthode de N-R est légèrement inférieur à celui effectuées par la méthode G-S.

III.8.3. Temps d'exécution :

Pour la même erreur la méthode de G-S prend afin d'achever le processus un temps remarquable assez grand que celui effectué par la méthode de N-R.

Les deux méthodes nous donnent le même résultat voulu. On a déjà noté que l'efficacité c'est-à-dire la précision de la méthode de N-R apparaît aux systèmes à grandes dimensions.

III.8.4. Les tensions nodales :

Quant aux tensions nodales on voit que la méthode de N-R donne les valeurs des tensions avec des chiffres exactes, car l'erreur effectuée par la méthode N-R est très petite devant l'erreur effectuée par la méthode G-S.

III.8.5. La chute de tension :

Selon les normes la chute de tension ne doit pas dépasser les 10% (réseau de transport) de la valeur nominale de la tension nominale de réseau. Le réseau de distribution ne doit pas dépasser les 6% de la tension nominale de réseau.

La formule utilisée pour calculer la chute de tension est en fonction de la tension nodale et les paramètres des lignes constituant notre réseau, ainsi que les puissances (active et réactive).

Donc par la méthode de N-R on peut avoir des valeurs de chutes de tensions plus précises que la méthode de G-S. [22]

III.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, Nous avons présenté dans la première partie le but de l'écoulement de puissance et une brève Modélisation des éléments de base des réseaux électriques.

Dans la deuxième partie, on a présenté les différentes méthodes mathématiques itératives utilisées pour l'analyse des réseaux électriques à savoir la méthode de Newton-Raphson, et la méthode de Gauss-Seidel.

Pour ce qui est de ce qui va suivre nous allons entamer le 4^{ème} chapitre qui sera consacré à adapter et appliqué la méthode de Newton-Raphson pour l'analyse du réseau 30 KV de la région de Ourelal et d'améliorer la qualité d'énergie délivré.

CHAPITRE

IV

IV.1. Introduction :

L'analyse des réseaux électriques est une tâche importante, elle permet de déterminer l'état d'un réseau électrique et par la suite de localiser les problèmes de ce réseau.

Cette partie est consacrée à l'analyse du départ de OURALAL afin d'améliorer la qualité d'énergie fournie aux consommateurs.

Nous avons choisi ce départ comme échantillon de travail car il offre une grande énergie aux consommateurs de type agricole et il est parmi les départs les plus chargé pendant la période d'été.

IV.2. Description de la cabine mobile 220/30 kV de Oumeche :

La cabine mobile 220/30 kV localisée à Oumeche, est constituée d'un transformateur de puissance 40 MVA. Cette cabine assure l'alimentation des départs suivants : Départ Sasco, Départ Mlili, Départ Oumeche, Départ Biskra.

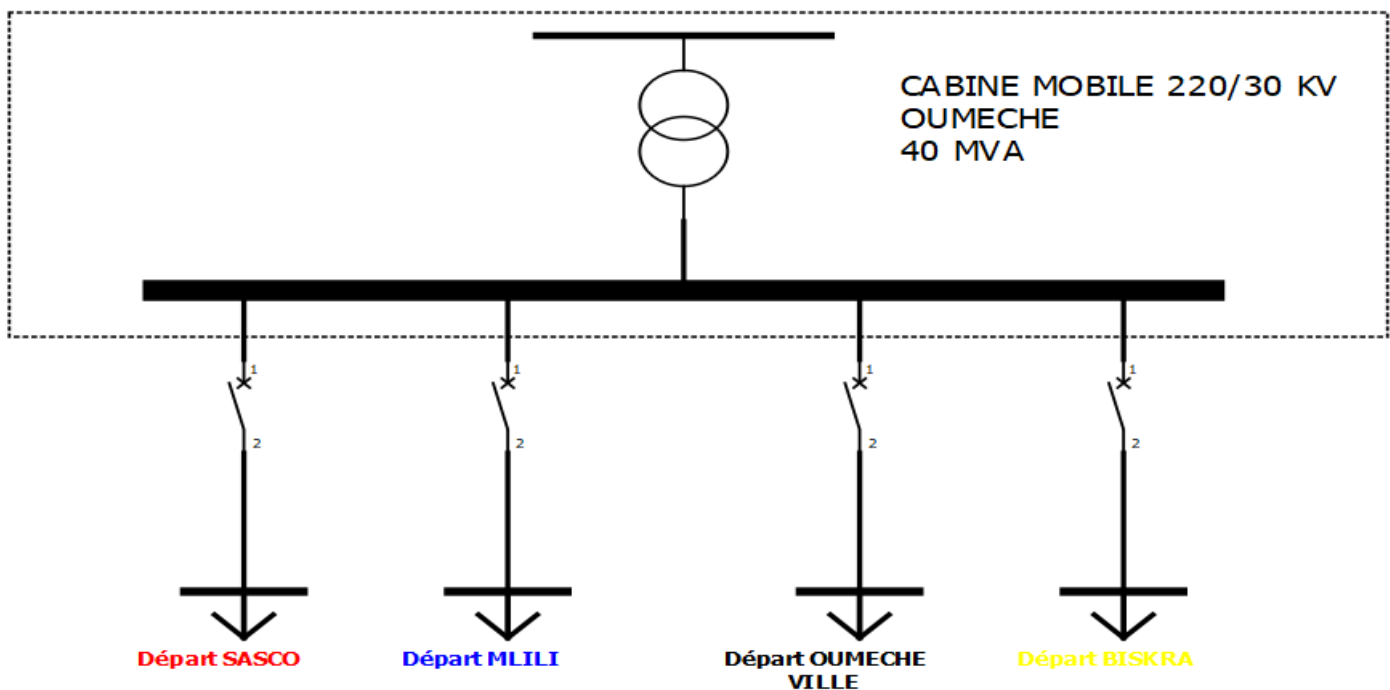


Figure. IV.1 : Répartition de puissance transmise dans les départs de la cabine mobile 220/30 kV Oumeche.

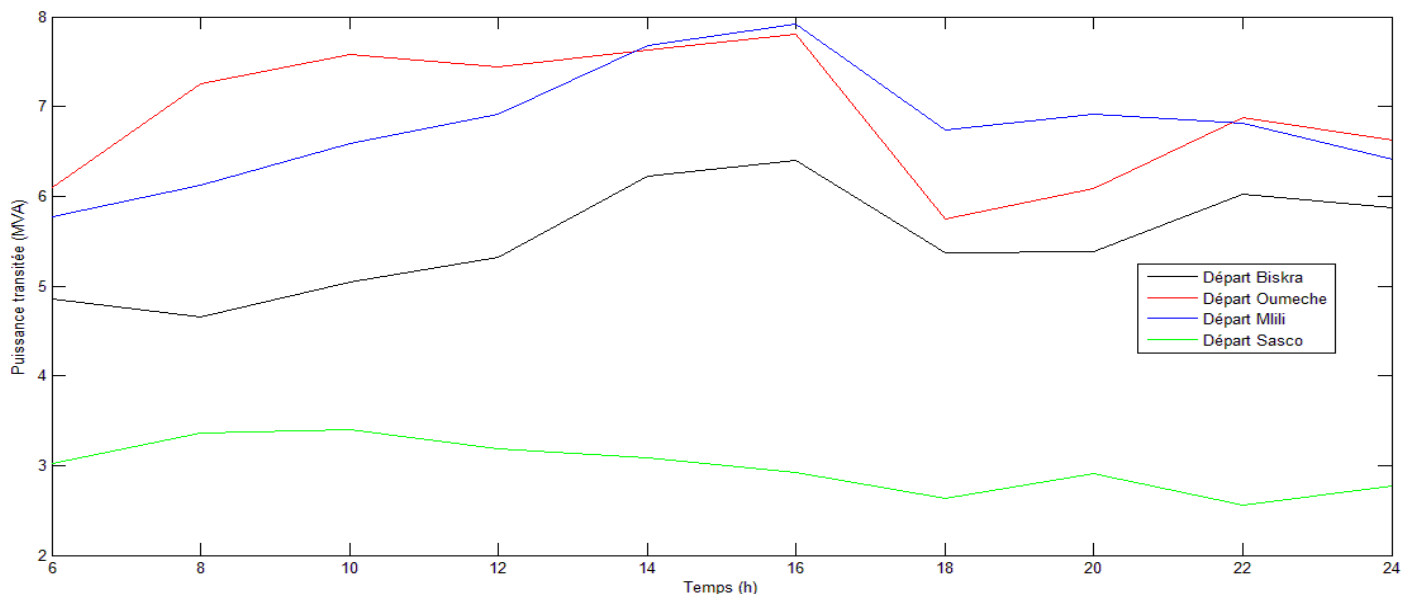


Figure IV.2 : Variation de la charge des départs alimenté depuis la cabine mobile 220/30 kV Oumeche.

- Interprétation :

La figure IV.2 représente la variation de la charge des départs Biskra, Oumeche, Mlili et Sasco mesurée pendant le 31 juillet 2019.

D'après cette figure on constate que le départ d'Oumeche et le départ de Mlili sont les départs les plus chargés et le départ de Sasco est le moins chargé.

On remarque que la charge mesurée des départs de Biskra, Mlili et Oumeche pendant la période du matin est dans sa valeur minimale, 5 MVA pour le départ de Biskra, 6.75 MVA pour le départ d'Oumeche et 5.25 pour le départ de Mlili (valeur moyenne). À midi la charge des 3 départs augmente d'une manière rapide et elle atteint sa valeur maximale pendant la période d'après-midi 6.3972 MVA pour le départ de Biskra, 7.8067 MVA pour le départ d'Oumeche, 7.9151 MVA pour le départ de Mlili, et c'est dû à la nature climatique chaude de la région pendant la période d'été. À 16h00 la charge des 3 départs commence à diminuer et atteint une valeur moyenne de 5.5 MVA pour le départ de Biskra, 6.25 pour le départ d'Oumeche, 6.75 pour le départ de Mlili.

Pour le départ de Sasco on remarque que la charge (3MVA) reste constante pendant toute la période de la journée et c'est dû à la nature de la charge alimentée à partir de ce départ (usine) où la production est maintenue 24/24.

IV.3. Description de la cabine mobile 220/30 kV de Tolga :

La cabine mobile 220/30 kV localisé à Tolga, est constituée d'un transformateur de puissance 40 MVA. Cette cabine mobile assure l'alimentation des départs suivants : Départ Khenizene, Départ Ourelal, Départ Foughala, Départ Zaatcha.

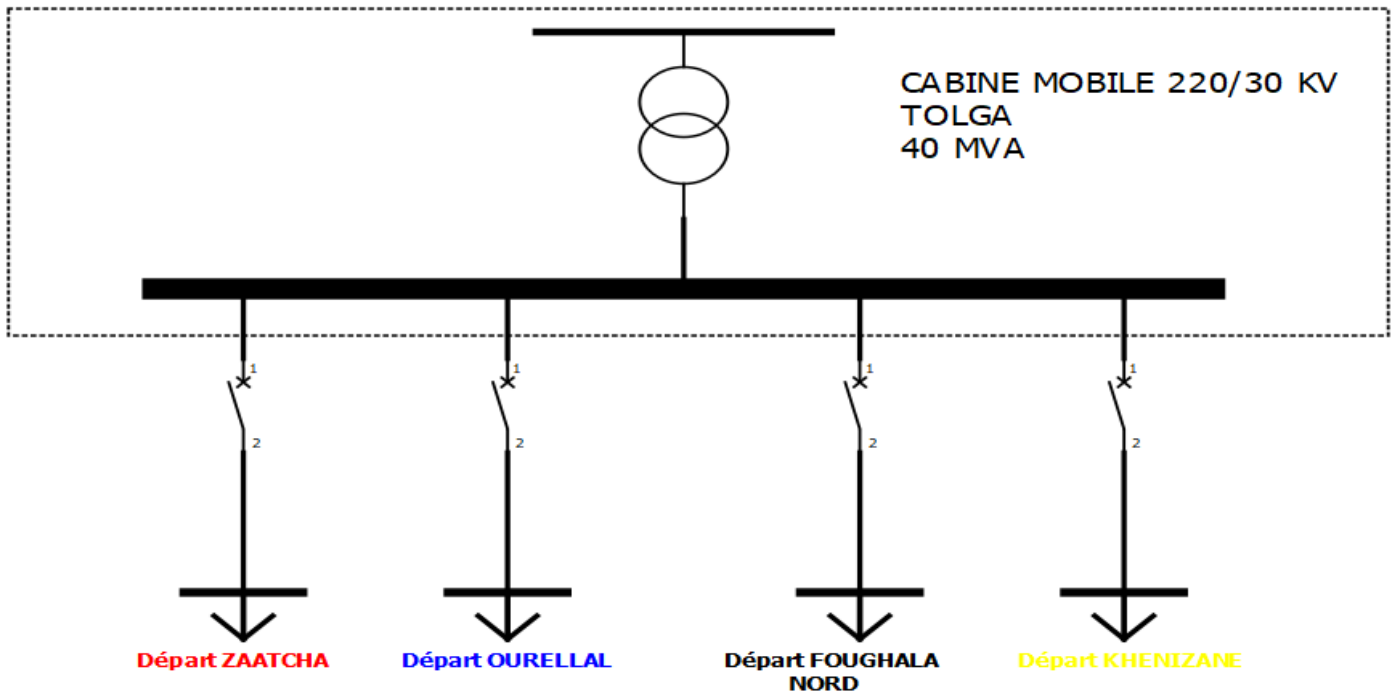


Figure IV.3 : Répartition de puissance transitée dans les départs de la cabine mobile 220/30 kV Tolga.

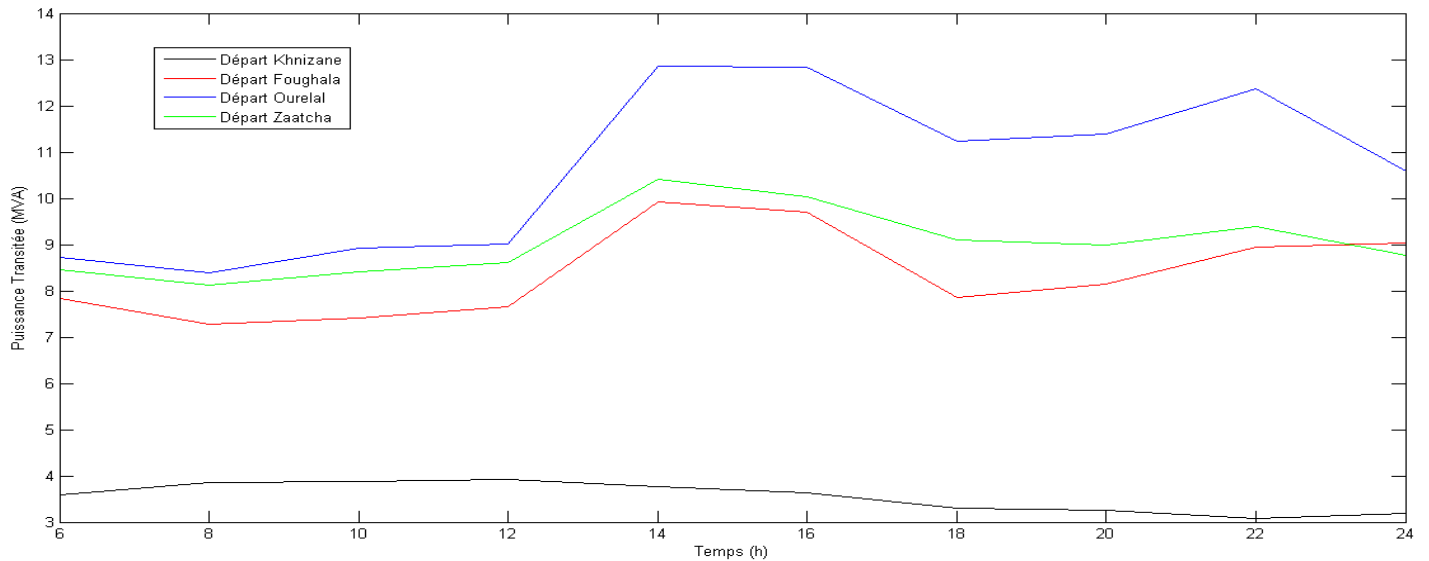


Figure IV.4 : Répartition de puissance transitée dans les départs de la cabine mobile 220/30 kV Tolga.

- **Interprétation :**

La figure IV.4 représente la variation de la charge des départs de Foughala, Ourelal, Zaatcha et de Khnizene mesurée pendant le 31 juillet 2019.

D'après cette figure on constate que le départ de Ourelal est le départ le plus chargé et le départ de Khnizene est le moins chargé.

On remarque que la charge mesurée des départs de Foughala, Ourelal et Zaatcha pendant la période du matin est dans sa valeur minimale de 7.5 MVA pour le départ de Foughala, 8.6 MVA pour le départ de Ourelal et 8.5 MVA pour le départ de Zaatcha (valeur moyenne). À midi la charge des 3 départs augmente exponentiellement et elle atteint sa valeur maximale 9.9212 MVA pour le départ de Foughala, 12.8587 MVA pour le départ de Ourelal, 10.42 MVA pour le départ de Zaatcha pendant la période d'après-midi et c'est dû à la nature climatique chaude de la région pendant la période d'été. À 16h00 la charge des 3 départs commence à diminuer et atteint une valeur moyenne de 8.5 MVA pour le départ de Foughala, 12 MVA pour le départ de Ourelal, 9 MVA pour le départ de Zaatcha.

Pour le départ de Khnizene on remarque que la charge reste constante pendant toute la période de la journée 3.5 MVA.

IV.4. Les différentes fonctions et types des postes MT/BT :

IV.4.1. Fonctions des postes MT/BT :

Les transformateurs de distribution MT/BT sont généralement abaisseurs, ils permettent d'alimenter des installations basse tension à partir d'un réseau moyen tension.

- Poste « DP » de distribution publique :

Ce type de poste est destiné à alimenter plusieurs abonnés, l'énergie est délivrée en basse tension (BT). Il est placé soit dans un bâtiment, soit sur support.

- Poste de livraison « L » ou Abonné :

Ce type de poste est destiné à alimenter un seul utilisateur ; l'énergie est délivrée en moyenne tension (MT) ou basse tension. Il est placé soit dans un bâtiment, soit sur un support.

- Poste Mixte « DP/L » :

Ce type de poste est destiné à alimenter plusieurs abonnés et un seul abonné c'est à dire Dans le même bâtiment on trouve une installation DP et une installation abonnée (client). Les frais d'investissement sont supportés par les parties.

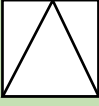




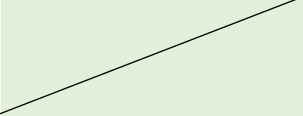
	Poste DP	Poste AB	Poste Mixte
Poste Maçonné			
Poste ACC			

Tableau IV.1 : Types de postes selon sa fonction.

IV.4.2. Différents types de postes MT/BT :

IV.4.2.1. Poste sur poteau :

Ce type de poste est le plus simple, il est utilisé dans les réseaux aériens, ce type de poste est constitué d'un transformateur sur poteau et un disjoncteur basse tension.

Ce type de poste est peu coûteux et sa conception est simple. Les puissances normalisées du transformateur sont : 63 – 100 -160. [25]

IV.4.2.2. Poste bas simplifié sous capot :

Généralement préfabriqué, raccordé exclusivement sur des réseaux aériens HTA, ce type de poste (relativement simplifié et compact, 3 m² et 1,50 m de hauteur), permet de délivrer des puissances (160 ; 250 ; 400 kVA) supérieures à celles du poste sur poteau, dans des conditions encore économiques. [25]

La liaison avec le réseau HTA s'effectue par descente aéro-souterraine en câble sec sans organe de coupure, le raccordement au transformateur étant réalisé par prise embrochable. L'énergie BT peut être répartie par un ensemble comportant un organe de coupure et jusqu'à quatre départs protégés par fusibles. Ce type de poste remplace les conceptions plus anciennes en maçonnerie traditionnelle (cabines basses), coûteuses et aujourd'hui abandonnées.

IV.4.2.3. Postes de type urbain raccordés en souterrain :

Suivant les contraintes d'environnement rencontrées, diverses solutions sont utilisées pour l'enveloppe du poste : enterrée dans le domaine public, local en immeuble, cabine en maçonnerie traditionnelle ou préfabriquée manœuvrable soit de l'extérieur, soit de l'intérieur. Du fait des structures de réseau HTA en coupure d'artère ou en double dérivation, ils comportent un appareillage HTA composé en général de deux arrivées MT (MT₁, MT₂) avec cellules interrupteurs en technique protégée, et une cellule de protection du transformateur avec fusible et

éventuellement un interrupteur. Le poste est prévu en général pour un seul transformateur, mais dans certains cas, il peut y en avoir plusieurs pour faire face à des charges ponctuelles importantes. Les puissances normalisées de transformateur sont : 250, 400, 630 et 1 000 kVA.

En basse tension, la répartition de l'énergie se fait par l'intermédiaire d'un tableau BT comportant, en aval d'un disjoncteur ou d'un interrupteur, quatre ou huit départs protégés par fusibles. Les transformateurs installés dans ces différents postes sont équipés de trois prises de réglage de la tension BT à vide (0 %, $\pm 2,5$ %). [25]

IV.4.2.4. Puissance installée supérieur à 160 KVA :

- Réseau aérien « cabine haute »
- Réseau souterrain « cabine basse ».

Les postes HTA/BT raccordés à un réseau souterrain seront maçonnés jusqu'à une puissance de 630 KVA. Il peut être adjoint un deuxième transformateur pour augmenter la puissance mise à disposition.[25]

IV.4.3. Composition d'un poste maçonné :

Un poste maçonné est constitué de :

- Cellules moyennes tension 36 KV ou 24 KV : type IM
- Détecteur de défaut pour réseaux MT souterrains
- Disjoncteur BT.
- Transformateur abaisseur
- Cellule Transformateur.
- Matériel de Sécurité.
- Boite de déflecteur.
- Boite d'extrémité extérieure et intérieure unipolaire ou tripolaire
- Câble Sec (Câble MT).
- Câble BT.
- Cosses.
- Fusibles de rechange.[26]

IV.4.4. Choix du transformateur :

IV.4.4.1. Détermination de la puissance :

La méthode d'estimation de la puissance optimale du transformateur peut être plus ou moins compliquée. On procède en général de la manière suivante :

- On établit un bilan des puissances pour déterminer la puissance appelée (ou absorbée) sur le réseau. On

Calcule successivement :

- La puissance installée **Pi** (somme des puissances actives en kW des récepteurs de L'installation).
- La puissance utilisée **Pu** (partie de la puissance Pi en kW réellement utilisée) en tenant compte :
- Des coefficients d'utilisation maximale des récepteurs (car ils ne sont pas en général utilisés à pleine puissance).
- Des coefficients de simultanéité par groupes de récepteurs (car ils ne fonctionnent pas en général tous

ensemble).

- La puissance appelée **Sa** correspondant a **Pu** (car la puissance assignée des transformateurs est une

puissance apparente en KVA alors que **Pu** est en kW) en tenant compte :

- Des facteurs de puissance.
- Des rendements.[26]

$$Sa(KVA) = \Sigma [Pi(KW) \times Ku \times Ks] / (\eta \times \cos \Phi)$$

IV.4.4.2. Choix final de la puissance du transformateur

- On choisira en principe le transformateur de puissance apparente S (KVA) supérieure à S_a déterminé précédemment. Néanmoins, il faut prendre en compte pour ce choix les éléments suivants :
- Sécurité de fonctionnement : si l'installation ne comprenait qu'un seul transformateur, il serait prudent de

sur calibrer le transformateur de l'ordre de 25 %.

- Influence de la température : conformément à la CEI 76, la méthode de calcul précédente n'est valable

que lorsque la température ambiante ne dépasse pas 30 °C en moyenne journalière et 20 °C en moyenne annuelle avec un maximum de 40 °C (au-delà il faut déclasser le transformateur).

- Facteur de puissance : il doit être ramené, côté entrée réseau, à 0,89 pour éviter les pénalités appliquées

par le distributeur d'énergie : S (KVA) = P (KW)/0,89.

- Il faut noter que la puissance déterminée pour le transformateur s'exprime en KVA (puissance apparente)

alors que la puissance souscrite auprès du distributeur d'énergie s'exprime en kW (puissance active).[26]

IV.4.5. Choix du disjoncteur BT :

Le rôle principal d'un disjoncteur est de protéger l'installation électrique contre les conditions anormales de fonctionnement ; les surcharges et les courts-circuits, il est conçu pour ouvrir un circuit automatiquement dès que le courant qui le traverse dépasse une valeur prédéterminée. Pour assurer efficacement cette fonction, le déclencheur du disjoncteur doit prendre en compte l'évolution des récepteurs. Le disjoncteur basse tension peut être fixe, débouchable, CLPG (cellule de protection générale) disjoncteur débouchable, ou TDP (tableau de distribution publique). Le choix du disjoncteur BT se fera à partir du courant basse tension débité par le transformateur MT/BT, et qui est calculé comme suit :

$$I_{disj} = \frac{S_{transformateur}}{\sqrt{3} \times U}$$

IV.5. Exploitation des postes MT/BT pour la région de Tolga :

La région de Tolga est considérée comme une région agricole excellente au niveau national ou le nombre des investissements de type agricole sont importants, ce qui implique la mise en disposition des postes abonnée par Sonelgaz afin d'alimenté ces investissements en électricité.

Selon les statistiques de charge mesurée pendant l'été et les prévisions de Sonelgaz, les postes les plus chargés pendant la période d'été sont les postes DP qui peuvent atteindre 80% de la puissance installée du poste et cela est dû à des raisons climatiques qui caractérisent la région pendant la période d'été. Par contre la charge des postes de type abonné peut être considérée comme constante au cours de la saison agricole ou la puissance ne dépasse pas les 50% de la puissance installée du poste.

IV.6. Analyse du réseau de Ourelal :

IV.6.1. Cas normal :

Il faut noter que les charges des différents postes (30/0.4Kv) ont été mesurées pendant la période critique de l'été.

Le départ 30KV de Ourelal est alimenté depuis la cabine mobile 220/30 kV de Tolga. Il alimente 110 postes 30/0.4 KV de distribution publique et 36 postes 30/0.4 KV de livraison. Le nombre de branches est de 287 lignes, la majorité du réseau de Ourelal est aérien, la puissance active maximale demandée est de 10.244 MW, la puissance réactive maximale demandée est de 6.348 MVAR.

Le départ de Ourelal possède des points d'ouverture avec :

- J55387 Tolga ville.
- J5466 Oumeche.
- J5801 Lichana.
- POSTE 1023.

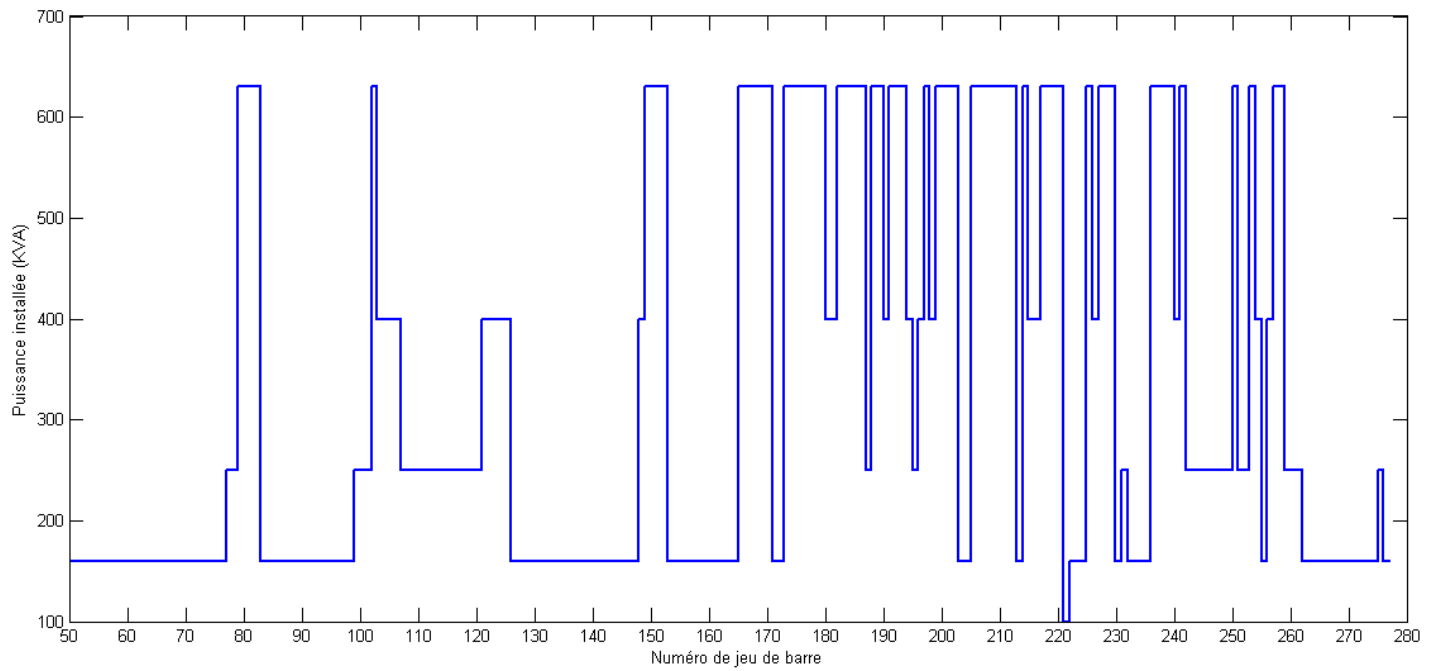


Figure. IV.5 : Répartition des postes DP au jeu de barre de charge.

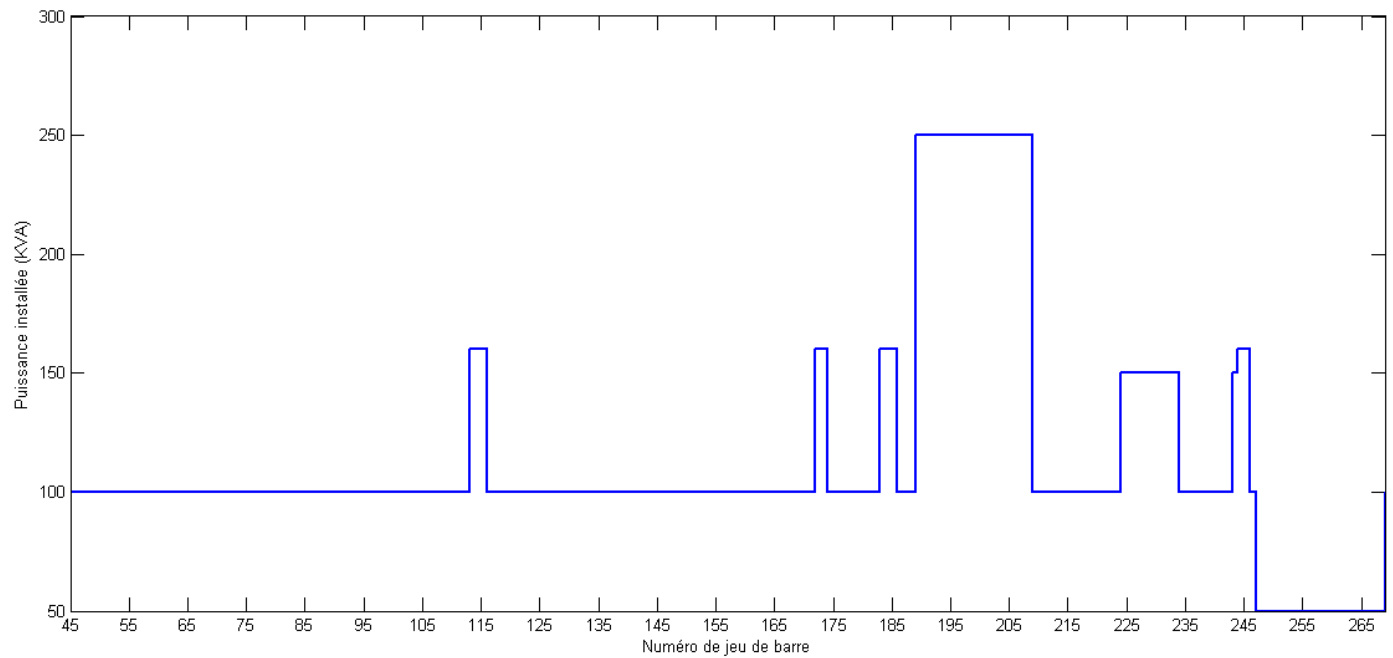


Figure. IV.6 : Répartition des postes abonnés au jeu de barre de charge.

IV.6.2. Méthodologie d'élaboration de la base de données du réseau de distribution :

La réalisation d'une base de données flexible est une tâche principale pour la gestion et la planification optimale des réseaux électriques. Lors du stage pratique au sein de division d'exploitation des réseaux de distribution on a constaté l'absence d'une base de données flexible relative à chaque départ et que l'accès aux informations se fait d'une manière classique.

L'objectif de cette première tâche est d'élaborer une base de données flexible adaptée au format d'analyse sous l'environnement de MATLAB, cela va permettre de traiter et mettre à jour la base de données d'une manière rapide afin de garantir une gestion sûre, rapide et efficace des réseaux électriques.

IV.6.2.1. Les caractéristiques des jeux de barres :

Numéro de jeu de barre	code	type	Puissance installée
1			0
2			0
3			0
4			0
5			0
6			0
7			0
8			0
9			0
10			0
11			0
12			0
13			0
14			0
15			0
16			0
17			0
18			0
19			0
20			0
21			0
22			0
23			0
24			0
25			0
26			0
27			0
28			0
29			0

30			0
31			0
32			0
33			0
34			0
35			0
36			0
37			0
38			0
39			0
40			0
41			0
42			0
43			0
44			0
45	419	AB	100
46			0
47			0
48	351	AB	100
49			0
50	1461	DP	160
51	1459	DP	160
52	730	AB	100
53	1460	DP	160
54			0
55			0
56			0
57	355	AB	100
58			0
59			0
60	1458	DP	160
61			0
62	1457	DP	160
63			0
64			0
65	1455	DP	160
66	1456		0
67			0
68	1454	DP	160
69			0
70	946	AB	100
71			0
72	1453	DP	160
73			0
74	1452	DP	160
75			0

76			0
77	41	DP	250
78			0
79	1216	DP	630
80	935	DP	630
81			0
82	1115	DP	630
83	913	DP	160
84			0
85			0
86			0
87			0
88	1256	DP	160
89			0
90	1255	DP	160
91			0
92	1257	DP	160
93		DP	160
94	1258	DP	160
95	1259	DP	160
96	1260	DP	160
97			0
98			0
99	1036	DP	250
100			0
101	518	DP	250
102	1059	DP	630
103	1092	DP	400
104	519	AB	100
105			0
106	318	AB	100
107	517	DP	250
108	243		0
109	657	AB	100
110			0
111			0
112	1352	AB	100
113	1225	AB	160
114			0
115			0
116	994	AB	100
117			0
118	654	AB	100
119			0
120			0
121	981	DP	400

122	1063	DP	400
123			0
124			0
125			0
126	1291	DP	160
127			0
128	1292	DP	160
129			0
130	1293	DP	160
131	1296	DP	160
132	1294	DP	160
133	1295	DP	160
134			0
135	1535	DP	160
136			0
137	1140	AB	100
138			0
139	1536	DP	160
140			0
141	1070	AB	100
142			0
143	315	AB	100
144			0
145	441	AB	100
146			0
147			0
148	951	DP	400
149	1163	DP	630
150	1616	DP	630
151			0
152			0
153	1250	DP	160
154			0
155	1020	DP	160
156			0
157			0
158	748	DP	160
159			0
160	371	AB	100
161	989		0
162			0
163	1021	DP	160
164	1462	AB	100
165	128	DP	630
166			0
167			0

168			0
169	286	AB	100
170			0
171	840	DP	160
172	896	AB	160
173	405	DP	630
174	1224	AB	100
175	1331	DP	630
176	1116	DP	630
177	1190	DP	630
178	542	MX	630
179	652	DP	630
180	864	DP	400
181	930	DP	400
182	1425	DP	630
183	1564	AB	160
184	1369	DP	630
185	1368	DP	630
186	1205	AB	100
187	1272	MX	250
188	1715	DP	630
189	352	AB	250
190	1061	DP	400
191	1553	DP	630
192	1554	DP	630
193	450	AB	250
194	855	DP	400
195	854	DP	250
196	853	DP	400
197	1071	DP	630
198	1548	DP	400
199	1060	DP	630
200	897	AB	250
201			0
202			0
203	607	DP	160
204			0
205	608	DP	630
206			0
207			0
208			0
209	639	AB	100
210	464	AB	100
211			0
212			0
213	838	DP	160

214	417	DP	630
215	1101	DP	400
216			0
217	53	DP	630
218	233	AB	100
219			0
220			0
221	411	DP	100
222	14	DP	160
223	839	DP	160
224	468	AB	150
225	606	DP	630
226	1137	DP	400
227	1136	DP	630
228	1043	DP	630
229			0
230	1040	DP	160
231	698	DP	250
232	806	DP	160
233			0
234	776	AB	100
235			0
236	101	DP	630
237	1318	DP	630
238	107	DP	630
239	108	DP	630
240	1471	DP	400
241	103	DP	630
242	848	DP	250
243	440	AB	150
244	805	AB	160
245			0
246	469	AB	100
247	859	AB	50
248	99	DP	250
249			0
250	370	MX	630
251	100	DP	250
252			0
253	1082	DP	630
254	661	DP	400
255	1367	MX	160
256	1088	DP	400
257	1117	DP	630
258	1023	MX	630
259	1051	DP	250

260			0
261			0
262	1244	DP	160
263	1245	DP	160
264	1246	DP	160
265			0
266	102	DP	160
267			0
268	1247	DP	160
269	300	AB	100
270			0
271			0
272	866	DP	160
273			0
274	884	DP	160
275	1002	DP	250
276	855	DP	160
277	883	DP	160

Tableau IV.2 : Les caractéristiques de tous les postes du départ de Ourelal.

IV.6.2.2. Les caractéristiques des lignes :

Catégories des lignes	Section (mm)	Résistance linéique	Réactance linéique
Aérien type 1	93.3	0.357	0.35
Aérien type 2	54.6	0.603	0.35
Aérien type 3	34.4	0.958	0.35
Souterrain type 1	120	0.284	0.35
Souterrain type 2	70	0.3	0.35

Tableau IV.3 : caractéristiques des lignes du réseau de distribution de Ourelal.

IV.6.3. Résultats de l'écoulement de puissance :

Numéro de jeu de barre	Tension (Pu)	Tension (kV)	Angle (degree)
1	1	30	0
2	0.9996	29.988	-0.0001
3	0.9853	29.5601	-0.003
4	0.9255	27.7644	-0.0158
5	0.8947	26.8403	-0.0231
6	0.8897	26.691	-0.0243
7	0.8894	26.6806	-0.0244
8	0.8887	26.6603	-0.0245
9	0.8856	26.5684	-0.0253
10	0.8852	26.556	-0.0254
11	0.8782	26.347	-0.0271
12	0.8712	26.1362	-0.0289
13	0.8704	26.1109	-0.0292
14	0.8694	26.0831	-0.0294
15	0.8691	26.072	-0.0295
16	0.8687	26.0615	-0.0295
17	0.8663	25.9885	-0.0294
18	0.8624	25.8714	-0.0293
19	0.8619	25.8568	-0.0293
20	0.8617	25.8509	-0.0292
21	0.8609	25.8266	-0.0292
22	0.8607	25.8198	-0.0292
23	0.8597	25.7905	-0.029
24	0.8548	25.6428	-0.0278
25	0.8536	25.6067	-0.0275
26	0.853	25.5896	-0.0274
27	0.8523	25.5684	-0.0272
28	0.8516	25.5481	-0.027
29	0.8506	25.5176	-0.0268
30	0.8496	25.487	-0.0265
31	0.8494	25.4816	-0.0265
32	0.8493	25.4777	-0.0265
33	0.8491	25.4738	-0.0264
34	0.8491	25.4728	-0.0264
35	0.8489	25.4678	-0.0264

36	0.8488	25.4654	-0.0264
37	0.8487	25.4617	-0.0265
38	0.8481	25.4434	-0.0263
39	0.8479	25.4364	-0.0263
40	0.8477	25.4306	-0.0262
41	0.8474	25.4212	-0.0262
42	0.8472	25.417	-0.0261
43	0.8472	25.417	-0.0261
44	0.9853	29.56	-0.003
45	0.9853	29.56	-0.003
46	0.9255	27.7644	-0.0158
47	0.9255	27.7635	-0.0158
48	0.9254	27.7633	-0.0158
49	0.9254	27.7615	-0.0158
50	0.9254	27.7614	-0.0158
51	0.8947	26.8396	-0.023
52	0.8897	26.6909	-0.0243
53	0.8894	26.6806	-0.0244
54	0.8887	26.6602	-0.0245
55	0.8887	26.6602	-0.0245
56	0.8887	26.6599	-0.0245
57	0.8887	26.6599	-0.0245
58	0.8841	26.5219	-0.0249
59	0.8835	26.5059	-0.0248
60	0.8841	26.5218	-0.0249
61	0.8828	26.4838	-0.0246
62	0.8835	26.5057	-0.0248
63	0.8826	26.4786	-0.0246
64	0.8811	26.4318	-0.0242
65	0.8826	26.4778	-0.0246
66	0.8826	26.4786	-0.0246
67	0.8807	26.4197	-0.0241
68	0.881	26.4306	-0.0242
69	0.8805	26.4152	-0.0241
70	0.8807	26.4197	-0.0241
71	0.8794	26.3807	-0.0238
72	0.8805	26.415	-0.0241
73	0.8787	26.3611	-0.0237
74	0.8794	26.3806	-0.0238

75	0.8769	26.3069	-0.0233
76	0.8764	26.2915	-0.0231
77	0.8769	26.3068	-0.0233
78	0.8761	26.2828	-0.0231
79	0.8763	26.2885	-0.0232
80	0.8762	26.287	-0.0232
81	0.8761	26.2824	-0.0231
82	0.8761	26.2818	-0.0231
83	0.8761	26.2824	-0.0231
84	0.876	26.2787	-0.0231
85	0.8759	26.2771	-0.0231
86	0.8759	26.278	-0.0231
87	0.8759	26.278	-0.0231
88	0.8759	26.2779	-0.0231
89	0.8759	26.278	-0.0231
90	0.8759	26.2779	-0.0231
91	0.8757	26.2696	-0.023
92	0.8759	26.2771	-0.0231
93	0.8756	26.2683	-0.023
94	0.8757	26.2695	-0.023
95	0.8756	26.268	-0.023
96	0.8755	26.2664	-0.023
97	0.8786	26.3569	-0.0237
98	0.8785	26.3551	-0.0236
99	0.8786	26.3567	-0.0236
100	0.8785	26.3536	-0.0236
101	0.8785	26.355	-0.0236
102	0.8783	26.3505	-0.0237
103	0.8783	26.3477	-0.0237
104	0.8782	26.3472	-0.0237
105	0.8782	26.3472	-0.0237
106	0.8782	26.3471	-0.0237
107	0.8782	26.3469	-0.0237
108	0.8852	26.556	-0.0254
109	0.8712	26.1362	-0.0289
110	0.8703	26.1104	-0.0292
111	0.8703	26.1103	-0.0292
112	0.8703	26.1102	-0.0291
113	0.8703	26.1103	-0.0292

114	0.8694	26.0821	-0.0294
115	0.8694	26.0819	-0.0294
116	0.8694	26.0819	-0.0294
117	0.8683	26.0489	-0.0297
118	0.8683	26.0488	-0.0297
119	0.8672	26.0166	-0.0294
120	0.8671	26.0133	-0.0294
121	0.8671	26.012	-0.0294
122	0.8671	26.0117	-0.0294
123	0.8666	25.9981	-0.0293
124	0.866	25.979	-0.0291
125	0.8659	25.9763	-0.0291
126	0.866	25.9789	-0.0291
127	0.8658	25.9733	-0.0291
128	0.8659	25.9763	-0.0291
129	0.8657	25.9711	-0.0291
130	0.8658	25.9732	-0.0291
131	0.8657	25.9718	-0.0291
132	0.8657	25.971	-0.0291
133	0.8657	25.9701	-0.0291
134	0.8661	25.9834	-0.0292
135	0.8661	25.9833	-0.0292
136	0.8656	25.9672	-0.029
137	0.8656	25.9672	-0.029
138	0.8651	25.9543	-0.0289
139	0.8651	25.9535	-0.0289
140	0.8648	25.944	-0.0289
141	0.8648	25.944	-0.0289
142	0.8646	25.9382	-0.0289
143	0.8646	25.9382	-0.0289
144	0.8645	25.9357	-0.0289
145	0.8645	25.9355	-0.0289
146	0.8643	25.9289	-0.029
147	0.8639	25.9171	-0.0289
148	0.8639	25.9169	-0.0289
149	0.8639	25.9162	-0.0289
150	0.8639	25.9158	-0.0289
151	0.8643	25.9289	-0.029
152	0.8638	25.9152	-0.0289

153	0.8638	25.915	-0.0289
154	0.8638	25.9149	-0.0289
155	0.8638	25.9149	-0.0289
156	0.8638	25.9144	-0.0289
157	0.8638	25.9133	-0.0289
158	0.8638	25.9127	-0.0289
159	0.8638	25.9133	-0.0289
160	0.8638	25.9132	-0.0289
161	0.8638	25.9133	-0.0289
162	0.8638	25.9141	-0.0289
163	0.8638	25.9139	-0.0289
164	0.8687	26.0614	-0.0295
165	0.8663	25.9884	-0.0294
166	0.8623	25.8691	-0.0293
167	0.8618	25.8539	-0.0291
168	0.8617	25.8498	-0.0291
169	0.8618	25.8538	-0.0291
170	0.8614	25.8428	-0.029
171	0.8617	25.8496	-0.0291
172	0.8614	25.8428	-0.029
173	0.8612	25.8366	-0.0291
174	0.8611	25.8328	-0.0292
175	0.8607	25.8208	-0.0293
176	0.8605	25.8138	-0.0294
177	0.8602	25.8072	-0.0295
178	0.8602	25.8057	-0.0295
179	0.862	25.8594	-0.0294
180	0.8617	25.8496	-0.0295
181	0.8615	25.8459	-0.0296
182	0.861	25.8299	-0.0298
183	0.8608	25.8234	-0.0299
184	0.86	25.8011	-0.0302
185	0.8599	25.796	-0.0302
186	0.8597	25.7923	-0.0303
187	0.8592	25.7771	-0.0305
188	0.8545	25.6344	-0.0324
189	0.8541	25.6236	-0.0325
190	0.8539	25.616	-0.0326
191	0.8536	25.6092	-0.0327

192	0.8535	25.6053	-0.0328
193	0.8533	25.5992	-0.0329
194	0.8531	25.5938	-0.0329
195	0.853	25.5906	-0.033
196	0.8529	25.5877	-0.033
197	0.8528	25.5842	-0.0331
198	0.8526	25.5772	-0.0332
199	0.8525	25.5753	-0.0332
200	0.8524	25.5732	-0.0332
201	0.8524	25.5729	-0.0332
202	0.8524	25.5726	-0.0332
203	0.8524	25.5728	-0.0332
204	0.8523	25.5698	-0.0332
205	0.8523	25.5697	-0.0332
206	0.8619	25.8568	-0.0293
207	0.8619	25.8567	-0.0293
208	0.8619	25.8567	-0.0293
209	0.8619	25.8566	-0.0292
210	0.8619	25.8567	-0.0293
211	0.8617	25.8504	-0.0292
212	0.8616	25.8494	-0.0292
213	0.8617	25.8504	-0.0292
214	0.8616	25.8489	-0.0292
215	0.8616	25.8487	-0.0292
216	0.8609	25.8264	-0.0292
217	0.8609	25.8264	-0.0292
218	0.8609	25.8266	-0.0292
219	0.8606	25.8188	-0.0292
220	0.8606	25.818	-0.0292
221	0.8606	25.8185	-0.0292
222	0.8606	25.8176	-0.0292
223	0.8606	25.818	-0.0292
224	0.8597	25.7896	-0.029
225	0.8596	25.7876	-0.029
226	0.8595	25.7838	-0.0291
227	0.8594	25.7809	-0.0291
228	0.8593	25.7796	-0.0291
229	0.8547	25.6423	-0.0278
230	0.8547	25.6423	-0.0278

231	0.8547	25.6419	-0.0278
232	0.8535	25.6063	-0.0275
233	0.8521	25.5644	-0.0272
234	0.8521	25.5644	-0.0272
235	0.8521	25.5629	-0.0271
236	0.8521	25.562	-0.0272
237	0.8518	25.5535	-0.0273
238	0.8517	25.5512	-0.0273
239	0.8517	25.5497	-0.0273
240	0.8516	25.5477	-0.0274
241	0.8515	25.5463	-0.0274
242	0.8523	25.5682	-0.0272
243	0.853	25.5896	-0.0274
244	0.8523	25.5681	-0.0272
245	0.8496	25.487	-0.0265
246	0.8496	25.4868	-0.0265
247	0.8496	25.487	-0.0265
248	0.8494	25.4814	-0.0265
249	0.8493	25.4776	-0.0265
250	0.8493	25.4776	-0.0265
251	0.8489	25.4676	-0.0264
252	0.8491	25.4721	-0.0264
253	0.8491	25.4717	-0.0264
254	0.8481	25.4425	-0.0263
255	0.848	25.4391	-0.0264
256	0.8478	25.4352	-0.0264
257	0.8477	25.4317	-0.0265
258	0.8477	25.4297	-0.0265
259	0.8479	25.4364	-0.0263
260	0.8477	25.43	-0.0262
261	0.8476	25.427	-0.0262
262	0.8477	25.43	-0.0262
263	0.8476	25.427	-0.0262
264	0.8476	25.4267	-0.0262
265	0.8476	25.4288	-0.0262
266	0.8476	25.4285	-0.0262
267	0.8474	25.4211	-0.0261
268	0.8474	25.4211	-0.0261
269	0.8474	25.4211	-0.0261

270	0.8472	25.4148	-0.0261
271	0.847	25.4113	-0.0261
272	0.8471	25.4131	-0.0261
273	0.847	25.4108	-0.0261
274	0.847	25.4113	-0.0261
275	0.8469	25.4066	-0.026
276	0.847	25.4106	-0.0261
277	0.8687	26.0613	-0.0295

Tableau IV.4 : Module et l'angle de la tension (Départ de Ourelal 30 kV).

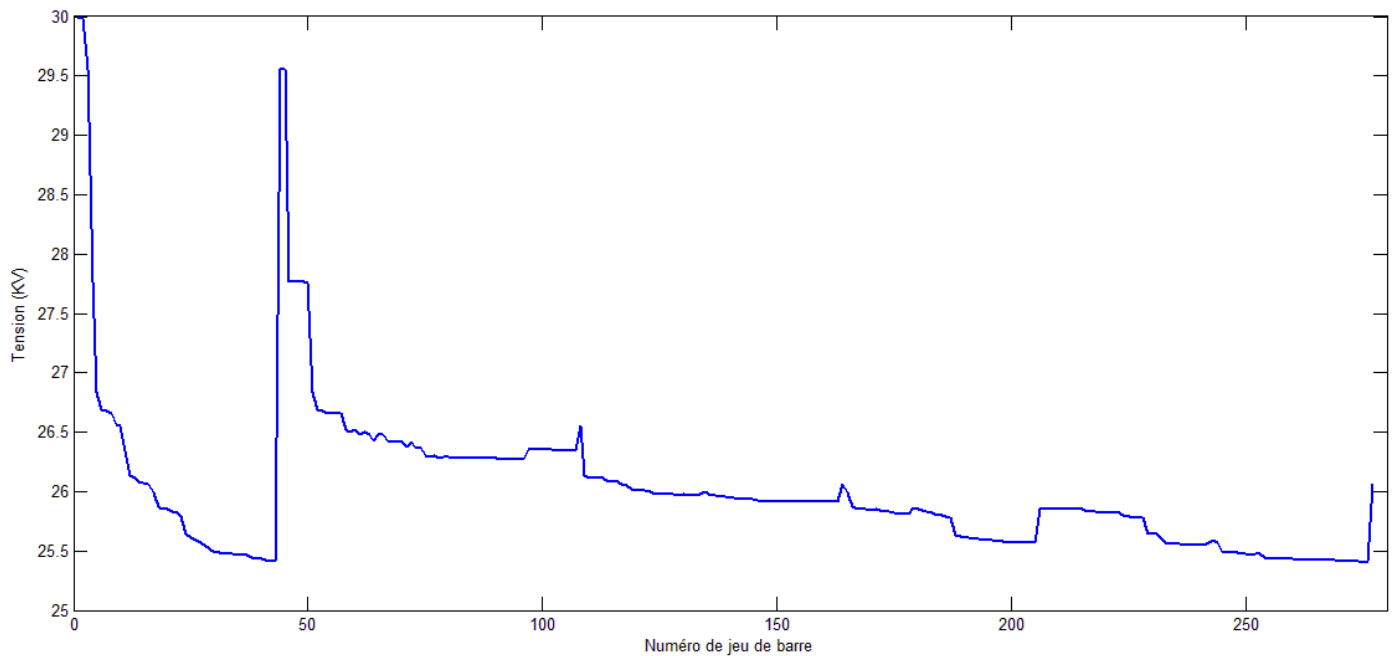


Figure IV.7 : Distribution des tensions aux jeux de barres en kV.

Cas normal 30 kV	
PG (MW)	11.692
QG (MVAR)	7.710
Pd (MW)	10.244
Qd (MVAR)	6.348
ΔP_{tot} (MW)	1.447
ΔQ_{tot} (MVAR)	1.362
Vmin (kV)	25.4066
Jeux de barre critique	275

Tableau IV.5 : Résultats d'analyse du réseau de Ourelal.

- Interprétation :

D'après les résultats obtenus, nous constatons que l'exploitation actuel du réseau de Ourelal engendre des pertes active et réactive qui peuvent atteindre pendant les heures de pic d'été une valeur de 1.447 MW et 1.362 MVAR, nous remarquons aussi que les clients alimentés depuis le jeu de barre 17 jusqu' au jeu de barre 43 et depuis le jeu de barre 172 jusqu'au jeu de barre 276 souffrent d'une chute de tension importante, c'est-à-dire que ces clients basse tension ont une mauvaise qualité d'énergie.

IV.7. Solutions proposées permettant d'améliorer la qualité d'énergie du réseau de Ourelal :

D'après les résultats obtenus de l'analyse de l'état du réseau de Ourelal en régime normal on a remarqué que certains clients souffrent d'une mauvaise qualité d'énergie.

Cette partie est consacré à proposer et tester des solutions permettant d'améliorer la qualité d'énergie fournie aux consommateurs.

Parmi les solutions pratiques utilisé par les experts chargés de l'exploitation des réseaux de distribution pour réduire les chutes de tensions et atténuer les pertes actives dans les lignes, la compensation de l'énergie réactive et le réglage de la tension au niveau du poste source.

IV.7.1. Réglage de tension au niveau du poste source :

• **Cas de tension 30.5 kV :**

Numéro de jeu de barre	Tension (P.u)	Tension (kV)	Angle (degree)
1	1.0166	30.4980	0
2	1.0162	30.4863	-0.0001
3	1.0023	30.0680	-0.0029
4	0.9438	28.3130	-0.0152
5	0.9137	27.4096	-0.0222
6	0.9088	27.2637	-0.0234
7	0.9085	27.2536	-0.0234
8	0.9078	27.2337	-0.0236
9	0.9048	27.1439	-0.0243
10	0.9044	27.1318	-0.0244
11	0.8976	26.9275	-0.0261
12	0.8907	26.7215	-0.0278
13	0.8899	26.6967	-0.028

14	0.889	26.6696	-0.0283
15	0.8886	26.6588	-0.0283
16	0.8883	26.6484	-0.0283
17	0.8859	26.5771	-0.0283
18	0.8821	26.4627	-0.0281
19	0.8816	26.4485	-0.0281
20	0.8814	26.4426	-0.0281
21	0.8806	26.4190	-0.0281
22	0.8804	26.4123	-0.0281
23	0.8795	26.3836	-0.0279
24	0.8746	26.2393	-0.0267
25	0.8735	26.2041	-0.0265
26	0.8729	26.1873	-0.0263
27	0.8722	26.1666	-0.0262
28	0.8716	26.1468	-0.026
29	0.8706	26.1170	-0.0258
30	0.8696	26.0872	-0.0255
31	0.8694	26.0819	-0.0255
32	0.8693	26.0780	-0.0255
33	0.8691	26.0743	-0.0254
34	0.8691	26.0733	-0.0254
35	0.8689	26.0684	-0.0254
36	0.8689	26.0660	-0.0254
37	0.8687	26.0624	-0.0255
38	0.8682	26.0446	-0.0253
39	0.8679	26.0377	-0.0253
40	0.8677	26.0320	-0.0252
41	0.8674	26.0229	-0.0252
42	0.8673	26.0187	-0.0251
43	0.8673	26.0187	-0.0251
44	1.0023	30.0680	-0.0029
45	1.0023	30.0679	-0.0029
46	0.9438	28.3129	-0.0152
47	0.9437	28.3121	-0.0152
48	0.9437	28.3119	-0.0152
49	0.9437	28.3101	-0.0152
50	0.9437	28.3100	-0.0152
51	0.9136	27.4090	-0.0222
52	0.9088	27.2637	-0.0234

53	0.9085	27.2536	-0.0234
54	0.9078	27.2336	-0.0236
55	0.9078	27.2336	-0.0236
56	0.9078	27.2333	-0.0236
57	0.9078	27.2333	-0.0236
58	0.9033	27.0984	-0.024
59	0.9028	27.0827	-0.0239
60	0.9033	27.0983	-0.024
61	0.902	27.0611	-0.0237
62	0.9028	27.0826	-0.0239
63	0.9019	27.0560	-0.0237
64	0.9003	27.0103	-0.0233
65	0.9018	27.0553	-0.0237
66	0.9019	27.0560	-0.0237
67	0.8999	26.9984	-0.0232
68	0.9003	27.0090	-0.0233
69	0.8998	26.9940	-0.0232
70	0.8999	26.9984	-0.0232
71	0.8987	26.9602	-0.0229
72	0.8998	26.9938	-0.0232
73	0.898	26.9410	-0.0228
74	0.8987	26.9602	-0.0229
75	0.8963	26.8880	-0.0224
76	0.8958	26.8730	-0.0223
77	0.8963	26.8880	-0.0224
78	0.8955	26.8644	-0.0222
79	0.8957	26.8701	-0.0223
80	0.8956	26.8686	-0.0223
81	0.8955	26.8641	-0.0222
82	0.8954	26.8635	-0.0222
83	0.8955	26.8641	-0.0222
84	0.8953	26.8604	-0.0222
85	0.8953	26.8589	-0.0222
86	0.8953	26.8597	-0.0222
87	0.8953	26.8597	-0.0222
88	0.8953	26.8597	-0.0222
89	0.8953	26.8597	-0.0222
90	0.8953	26.8597	-0.0222
91	0.8951	26.8515	-0.0222

92	0.8953	26.8589	-0.0222
93	0.895	26.8503	-0.0222
94	0.895	26.8515	-0.0222
95	0.895	26.8500	-0.0222
96	0.8949	26.8484	-0.0222
97	0.8979	26.9369	-0.0228
98	0.8978	26.9352	-0.0227
99	0.8979	26.9368	-0.0228
100	0.8978	26.9337	-0.0227
101	0.8978	26.9351	-0.0227
102	0.8977	26.9307	-0.0228
103	0.8976	26.9279	-0.0228
104	0.8976	26.9275	-0.0228
105	0.8976	26.9274	-0.0228
106	0.8976	26.9274	-0.0228
107	0.8976	26.9272	-0.0228
108	0.9044	27.1318	-0.0244
109	0.8907	26.7215	-0.0278
110	0.8899	26.6963	-0.028
111	0.8899	26.6962	-0.028
112	0.8899	26.6961	-0.028
113	0.8899	26.6962	-0.028
114	0.889	26.6686	-0.0283
115	0.8889	26.6684	-0.0283
116	0.8889	26.6684	-0.0283
117	0.8879	26.6361	-0.0285
118	0.8879	26.6361	-0.0285
119	0.8868	26.6046	-0.0283
120	0.8867	26.6014	-0.0283
121	0.8867	26.6001	-0.0283
122	0.8867	26.5998	-0.0283
123	0.8862	26.5864	-0.0282
124	0.8856	26.5678	-0.028
125	0.8855	26.5652	-0.028
126	0.8856	26.5677	-0.028
127	0.8854	26.5622	-0.028
128	0.8855	26.5651	-0.028
129	0.8853	26.5600	-0.0279
130	0.8854	26.5621	-0.028

131	0.8854	26.5607	-0.028
132	0.8853	26.5600	-0.0279
133	0.8853	26.5591	-0.0279
134	0.8857	26.5721	-0.028
135	0.8857	26.5720	-0.028
136	0.8852	26.5562	-0.0279
137	0.8852	26.5562	-0.0279
138	0.8848	26.5436	-0.0278
139	0.8848	26.5429	-0.0278
140	0.8845	26.5336	-0.0277
141	0.8845	26.5336	-0.0277
142	0.8843	26.5279	-0.0278
143	0.8843	26.5279	-0.0278
144	0.8842	26.5254	-0.0278
145	0.8842	26.5253	-0.0278
146	0.884	26.5188	-0.0279
147	0.8836	26.5073	-0.0278
148	0.8836	26.5070	-0.0278
149	0.8835	26.5064	-0.0278
150	0.8835	26.5061	-0.0278
151	0.884	26.5188	-0.0279
152	0.8835	26.5054	-0.0278
153	0.8835	26.5052	-0.0278
154	0.8835	26.5051	-0.0278
155	0.8835	26.5051	-0.0278
156	0.8835	26.5046	-0.0278
157	0.8835	26.5036	-0.0278
158	0.8834	26.5030	-0.0278
159	0.8835	26.5035	-0.0278
160	0.8834	26.5035	-0.0278
161	0.8835	26.5035	-0.0278
162	0.8835	26.5043	-0.0278
163	0.8835	26.5041	-0.0278
164	0.8883	26.6484	-0.0283
165	0.8859	26.5771	-0.0283
166	0.882	26.4604	-0.0281
167	0.8815	26.4455	-0.028
168	0.8814	26.4416	-0.028
169	0.8815	26.4455	-0.028

170	0.8812	26.4347	-0.0279
171	0.8814	26.4414	-0.028
172	0.8812	26.4347	-0.0279
173	0.881	26.4287	-0.028
174	0.8808	26.4250	-0.028
175	0.8804	26.4132	-0.0282
176	0.8802	26.4064	-0.0283
177	0.88	26.4000	-0.0284
178	0.8799	26.3984	-0.0284
179	0.8817	26.4509	-0.0282
180	0.8814	26.4413	-0.0284
181	0.8813	26.4378	-0.0284
182	0.8807	26.4222	-0.0286
183	0.8805	26.4158	-0.0287
184	0.8798	26.3940	-0.029
185	0.8796	26.3890	-0.0291
186	0.8795	26.3854	-0.0291
187	0.879	26.3705	-0.0293
188	0.8744	26.2311	-0.0311
189	0.874	26.2205	-0.0313
190	0.8738	26.2131	-0.0314
191	0.8736	26.2065	-0.0315
192	0.8734	26.2027	-0.0315
193	0.8732	26.1967	-0.0316
194	0.873	26.1914	-0.0317
195	0.8729	26.1883	-0.0317
196	0.8729	26.1855	-0.0317
197	0.8727	26.1821	-0.0318
198	0.8725	26.1753	-0.0319
199	0.8724	26.1733	-0.0319
200	0.8724	26.1713	-0.0319
201	0.8724	26.1710	-0.0319
202	0.8724	26.1707	-0.0319
203	0.8724	26.1709	-0.0319
204	0.8723	26.1680	-0.0319
205	0.8723	26.1678	-0.0319
206	0.8816	26.4484	-0.0281
207	0.8816	26.4483	-0.0281
208	0.8816	26.4483	-0.0281

209	0.8816	26.4483	-0.0281
210	0.8816	26.4483	-0.0281
211	0.8814	26.4422	-0.0281
212	0.8814	26.4412	-0.0281
213	0.8814	26.4421	-0.0281
214	0.8814	26.4407	-0.0281
215	0.8814	26.4405	-0.0281
216	0.8806	26.4187	-0.0281
217	0.8806	26.4187	-0.0281
218	0.8806	26.4189	-0.0281
219	0.8804	26.4113	-0.0281
220	0.8804	26.4105	-0.0281
221	0.8804	26.4110	-0.0281
222	0.8803	26.4102	-0.0281
223	0.8804	26.4105	-0.0281
224	0.8794	26.3828	-0.0279
225	0.8794	26.3808	-0.0279
226	0.8792	26.3771	-0.0279
227	0.8791	26.3742	-0.028
228	0.8791	26.3729	-0.028
229	0.8746	26.2388	-0.0267
230	0.8746	26.2388	-0.0267
231	0.8746	26.2384	-0.0267
232	0.8735	26.2037	-0.0265
233	0.8721	26.1628	-0.0261
234	0.8721	26.1628	-0.0261
235	0.872	26.1612	-0.0261
236	0.872	26.1604	-0.0261
237	0.8717	26.1521	-0.0262
238	0.8717	26.1499	-0.0263
239	0.8716	26.1484	-0.0263
240	0.8715	26.1465	-0.0263
241	0.8715	26.1450	-0.0263
242	0.8722	26.1664	-0.0262
243	0.8729	26.1873	-0.0263
244	0.8722	26.1664	-0.0262
245	0.8696	26.0872	-0.0255
246	0.8696	26.0870	-0.0255
247	0.8696	26.0872	-0.0255

248	0.8694	26.0817	-0.0255
249	0.8693	26.0779	-0.0255
250	0.8693	26.0779	-0.0255
251	0.8689	26.0682	-0.0254
252	0.8691	26.0726	-0.0254
253	0.8691	26.0722	-0.0254
254	0.8681	26.0436	-0.0253
255	0.868	26.0403	-0.0254
256	0.8679	26.0365	-0.0254
257	0.8678	26.0331	-0.0255
258	0.8677	26.0312	-0.0255
259	0.8679	26.0377	-0.0253
260	0.8677	26.0315	-0.0252
261	0.8676	26.0286	-0.0252
262	0.8677	26.0314	-0.0252
263	0.8676	26.0285	-0.0252
264	0.8676	26.0282	-0.0252
265	0.8677	26.0303	-0.0252
266	0.8677	26.0300	-0.0252
267	0.8674	26.0228	-0.0252
268	0.8674	26.0227	-0.0252
269	0.8674	26.0227	-0.0252
270	0.8672	26.0166	-0.0251
271	0.8671	26.0132	-0.0251
272	0.8672	26.0150	-0.0251
273	0.8671	26.0127	-0.0251
274	0.8671	26.0132	-0.0251
275	0.867	26.0086	-0.025
276	0.8671	26.0125	-0.0251
277	0.8883	26.6483	-0.0283

Tableau IV.6 : Module et l'angle de la tension (Départ Ourelal 30.5 kV).

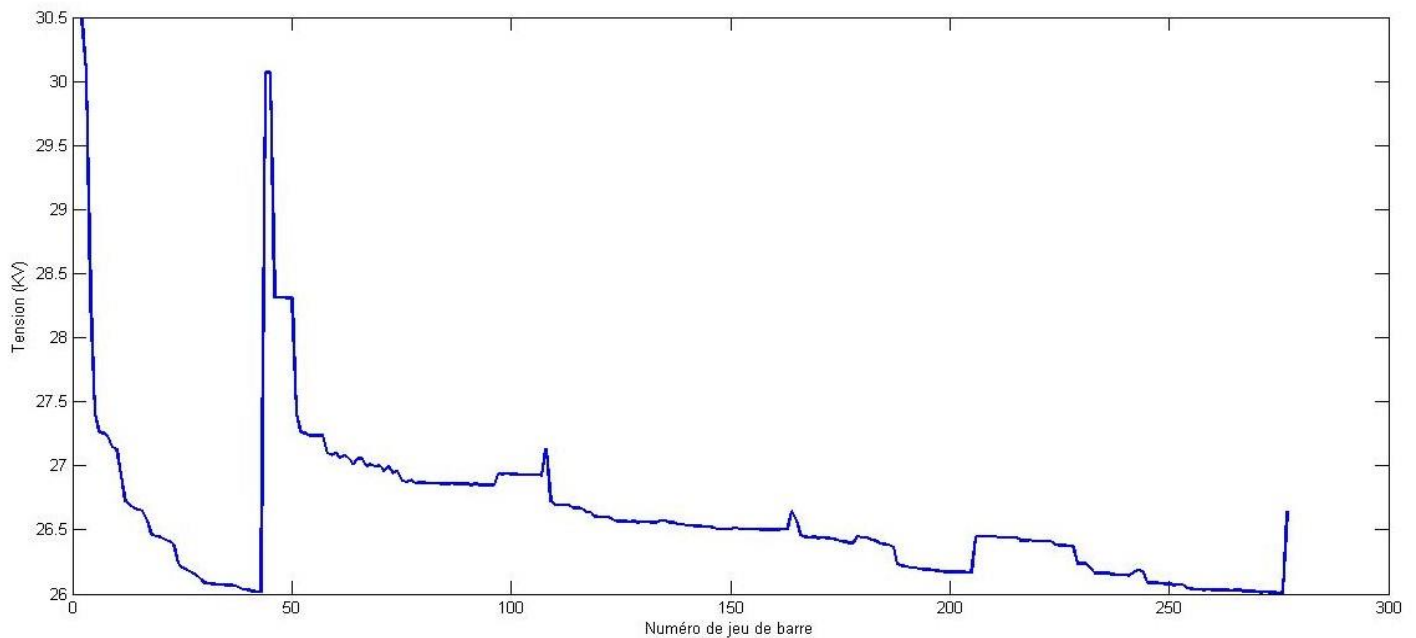


Figure IV.8 : Distribution des tensions aux jeux de barres (30.5 kV).

Cas normal 30.5 kV	
PG (MW)	11.627
QG (MVAR)	7.649
Pd (MW)	10.244
Qd (MVAR)	6.348
ΔP_{tot} (MW)	1.3831
ΔQ_{tot} (MVAR)	1.301
Vmin (kV)	26.01
Jeux de barre critique	275

Tableau IV.7 : Résultats d'analyse du réseau de Ourelal.

- Cas de tension 31 kV :

Numéro de jeu de barre	Tension (Pu)	Tension (kV)	Angle (degree)
1	1.0333	30.999	0
2	1.0329	30.9875	-0.0001
3	1.0193	30.5785	-0.0028
4	0.9621	28.8621	-0.0147
5	0.9326	27.9787	-0.0214
6	0.9279	27.8359	-0.0225
7	0.9275	27.8261	-0.0226
8	0.9269	27.8066	-0.0227
9	0.924	27.7188	-0.0234
10	0.9236	27.707	-0.0235
11	0.9169	27.5072	-0.0251
12	0.9102	27.3057	-0.0268
13	0.9094	27.2815	-0.027
14	0.9085	27.255	-0.0272
15	0.9081	27.2444	-0.0273
16	0.9078	27.2343	-0.0273
17	0.9055	27.1646	-0.0272
18	0.9018	27.0526	-0.0271
19	0.9013	27.0387	-0.0271
20	0.9011	27.033	-0.027
21	0.9003	27.0099	-0.027
22	0.9001	27.0033	-0.027
23	0.8992	26.9753	-0.0268
24	0.8945	26.8343	-0.0257
25	0.8933	26.7998	-0.0255
26	0.8928	26.7835	-0.0253
27	0.8921	26.7632	-0.0252
28	0.8915	26.7439	-0.025
29	0.8905	26.7147	-0.0248
30	0.8895	26.6855	-0.0246
31	0.8893	26.6803	-0.0245
32	0.8892	26.6766	-0.0245
33	0.8891	26.6729	-0.0245
34	0.8891	26.672	-0.0245

35	0.8889	26.6672	-0.0244
36	0.8888	26.6649	-0.0245
37	0.8887	26.6614	-0.0245
38	0.8881	26.6439	-0.0244
39	0.8879	26.6372	-0.0243
40	0.8877	26.6316	-0.0243
41	0.8874	26.6227	-0.0242
42	0.8873	26.6187	-0.0242
43	0.8873	26.6187	-0.0242
44	1.0193	30.5785	-0.0028
45	1.0193	30.5784	-0.0028
46	0.9621	28.8621	-0.0147
47	0.962	28.8613	-0.0147
48	0.962	28.8611	-0.0147
49	0.962	28.8594	-0.0147
50	0.962	28.8592	-0.0147
51	0.9326	27.9781	-0.0214
52	0.9279	27.8359	-0.0225
53	0.9275	27.826	-0.0226
54	0.9269	27.8065	-0.0227
55	0.9269	27.8065	-0.0227
56	0.9269	27.8062	-0.0227
57	0.9269	27.8062	-0.0227
58	0.9225	27.6742	-0.0231
59	0.922	27.6589	-0.023
60	0.9225	27.6742	-0.0231
61	0.9213	27.6377	-0.0228
62	0.922	27.6588	-0.023
63	0.9211	27.6328	-0.0228
64	0.9196	27.588	-0.0225
65	0.9211	27.632	-0.0228
66	0.9211	27.6328	-0.0228
67	0.9192	27.5764	-0.0224
68	0.9196	27.5868	-0.0224
69	0.9191	27.572	-0.0223
70	0.9192	27.5764	-0.0224
71	0.918	27.539	-0.0221
72	0.9191	27.5718	-0.0223
73	0.9173	27.5202	-0.022

74	0.918	27.5389	-0.0221
75	0.9156	27.4683	-0.0216
76	0.9151	27.4536	-0.0214
77	0.9156	27.4683	-0.0216
78	0.9148	27.4452	-0.0214
79	0.915	27.4507	-0.0215
80	0.915	27.4493	-0.0215
81	0.9148	27.4449	-0.0214
82	0.9148	27.4443	-0.0214
83	0.9148	27.4449	-0.0214
84	0.9147	27.4413	-0.0214
85	0.9147	27.4398	-0.0214
86	0.9147	27.4406	-0.0214
87	0.9147	27.4406	-0.0214
88	0.9147	27.4406	-0.0214
89	0.9147	27.4406	-0.0214
90	0.9147	27.4406	-0.0214
91	0.9144	27.4326	-0.0214
92	0.9147	27.4398	-0.0214
93	0.9144	27.4314	-0.0214
94	0.9144	27.4326	-0.0214
95	0.9144	27.4311	-0.0214
96	0.9143	27.4296	-0.0213
97	0.9172	27.5162	-0.0219
98	0.9171	27.5145	-0.0219
99	0.9172	27.5161	-0.0219
100	0.9171	27.513	-0.0219
101	0.9171	27.5144	-0.0219
102	0.917	27.5101	-0.0219
103	0.9169	27.5074	-0.022
104	0.9169	27.5069	-0.022
105	0.9169	27.5069	-0.022
106	0.9169	27.5069	-0.022
107	0.9169	27.5067	-0.022
108	0.9236	27.707	-0.0235
109	0.9102	27.3057	-0.0268
110	0.9094	27.281	-0.027
111	0.9094	27.281	-0.027
112	0.9094	27.2809	-0.027

113	0.9094	27.281	-0.027
114	0.9085	27.254	-0.0272
115	0.9085	27.2538	-0.0272
116	0.9085	27.2538	-0.0272
117	0.9074	27.2222	-0.0275
118	0.9074	27.2222	-0.0275
119	0.9064	27.1913	-0.0272
120	0.9063	27.1882	-0.0272
121	0.9062	27.187	-0.0272
122	0.9062	27.1866	-0.0272
123	0.9058	27.1736	-0.0271
124	0.9052	27.1553	-0.0269
125	0.9051	27.1528	-0.0269
126	0.9052	27.1553	-0.0269
127	0.905	27.1499	-0.0269
128	0.9051	27.1528	-0.0269
129	0.9049	27.1478	-0.0269
130	0.905	27.1498	-0.0269
131	0.9049	27.1484	-0.0269
132	0.9049	27.1478	-0.0269
133	0.9049	27.1469	-0.0269
134	0.9053	27.1596	-0.027
135	0.9053	27.1595	-0.027
136	0.9048	27.1441	-0.0269
137	0.9048	27.144	-0.0269
138	0.9044	27.1317	-0.0268
139	0.9044	27.131	-0.0268
140	0.9041	27.1219	-0.0267
141	0.9041	27.1219	-0.0267
142	0.9039	27.1163	-0.0267
143	0.9039	27.1163	-0.0267
144	0.9038	27.1139	-0.0268
145	0.9038	27.1138	-0.0268
146	0.9036	27.1075	-0.0268
147	0.9032	27.0962	-0.0267
148	0.9032	27.0959	-0.0267
149	0.9032	27.0953	-0.0267
150	0.9032	27.095	-0.0267
151	0.9036	27.1075	-0.0268

152	0.9031	27.0944	-0.0267
153	0.9031	27.0942	-0.0267
154	0.9031	27.0941	-0.0267
155	0.9031	27.094	-0.0267
156	0.9031	27.0936	-0.0268
157	0.9031	27.0925	-0.0267
158	0.9031	27.092	-0.0267
159	0.9031	27.0925	-0.0267
160	0.9031	27.0924	-0.0267
161	0.9031	27.0925	-0.0267
162	0.9031	27.0933	-0.0268
163	0.9031	27.0931	-0.0268
164	0.9078	27.2343	-0.0273
165	0.9055	27.1645	-0.0272
166	0.9017	27.0504	-0.0271
167	0.9012	27.0359	-0.0269
168	0.9011	27.032	-0.0269
169	0.9012	27.0359	-0.0269
170	0.9008	27.0253	-0.0269
171	0.9011	27.0318	-0.0269
172	0.9008	27.0253	-0.0269
173	0.9006	27.0194	-0.0269
174	0.9005	27.0158	-0.027
175	0.9001	27.0043	-0.0271
176	0.8999	26.9976	-0.0272
177	0.8997	26.9913	-0.0273
178	0.8997	26.9898	-0.0273
179	0.9014	27.0412	-0.0272
180	0.9011	27.0318	-0.0273
181	0.9009	27.0283	-0.0273
182	0.9004	27.013	-0.0275
183	0.9002	27.0068	-0.0276
184	0.8995	26.9855	-0.0279
185	0.8994	26.9806	-0.0279
186	0.8992	26.9771	-0.028
187	0.8988	26.9625	-0.0282
188	0.8942	26.8262	-0.0299
189	0.8939	26.8159	-0.0301
190	0.8936	26.8086	-0.0302

191	0.8934	26.8022	-0.0302
192	0.8933	26.7984	-0.0303
193	0.8931	26.7925	-0.0304
194	0.8929	26.7874	-0.0304
195	0.8928	26.7844	-0.0305
196	0.8927	26.7816	-0.0305
197	0.8926	26.7783	-0.0306
198	0.8924	26.7716	-0.0306
199	0.8923	26.7697	-0.0307
200	0.8923	26.7677	-0.0307
201	0.8922	26.7675	-0.0307
202	0.8922	26.7671	-0.0307
203	0.8922	26.7673	-0.0307
204	0.8922	26.7645	-0.0307
205	0.8921	26.7644	-0.0307
206	0.9013	27.0387	-0.0271
207	0.9013	27.0386	-0.0271
208	0.9013	27.0386	-0.0271
209	0.9013	27.0386	-0.0271
210	0.9013	27.0386	-0.0271
211	0.9011	27.0326	-0.027
212	0.9011	27.0317	-0.027
213	0.9011	27.0325	-0.027
214	0.901	27.0312	-0.027
215	0.901	27.031	-0.027
216	0.9003	27.0097	-0.027
217	0.9003	27.0096	-0.027
218	0.9003	27.0098	-0.027
219	0.9001	27.0024	-0.027
220	0.9001	27.0017	-0.027
221	0.9001	27.0021	-0.027
222	0.9	27.0013	-0.027
223	0.9001	27.0016	-0.027
224	0.8992	26.9745	-0.0268
225	0.8991	26.9726	-0.0268
226	0.899	26.969	-0.0269
227	0.8989	26.9662	-0.0269
228	0.8988	26.9649	-0.0269
229	0.8945	26.8338	-0.0257

230	0.8945	26.8338	-0.0257
231	0.8944	26.8334	-0.0257
232	0.8933	26.7995	-0.0255
233	0.892	26.7594	-0.0251
234	0.892	26.7594	-0.0251
235	0.8919	26.7579	-0.0251
236	0.8919	26.7571	-0.0251
237	0.8916	26.749	-0.0253
238	0.8916	26.7468	-0.0253
239	0.8915	26.7454	-0.0253
240	0.8914	26.7435	-0.0253
241	0.8914	26.7421	-0.0253
242	0.8921	26.763	-0.0252
243	0.8928	26.7835	-0.0253
244	0.8921	26.763	-0.0252
245	0.8895	26.6855	-0.0246
246	0.8895	26.6853	-0.0246
247	0.8895	26.6855	-0.0246
248	0.8893	26.6802	-0.0245
249	0.8892	26.6765	-0.0245
250	0.8892	26.6765	-0.0245
251	0.8889	26.667	-0.0244
252	0.889	26.6713	-0.0245
253	0.889	26.6709	-0.0245
254	0.8881	26.643	-0.0244
255	0.888	26.6397	-0.0244
256	0.8879	26.636	-0.0245
257	0.8878	26.6327	-0.0245
258	0.8877	26.6308	-0.0246
259	0.8879	26.6372	-0.0243
260	0.8877	26.6311	-0.0243
261	0.8876	26.6283	-0.0243
262	0.8877	26.631	-0.0243
263	0.8876	26.6282	-0.0243
264	0.8876	26.6279	-0.0243
265	0.8877	26.6299	-0.0243
266	0.8877	26.6296	-0.0243
267	0.8874	26.6226	-0.0242
268	0.8874	26.6225	-0.0242

269	0.8874	26.6226	-0.0242
270	0.8872	26.6166	-0.0242
271	0.8871	26.6132	-0.0242
272	0.8872	26.615	-0.0242
273	0.8871	26.6128	-0.0241
274	0.8871	26.6132	-0.0242
275	0.887	26.6088	-0.0241
276	0.8871	26.6126	-0.0241
277	0.9078	27.2341	-0.0273

Tableau IV.8 : Module et l'angle de la tension (Départ Ourelal 31 kV).

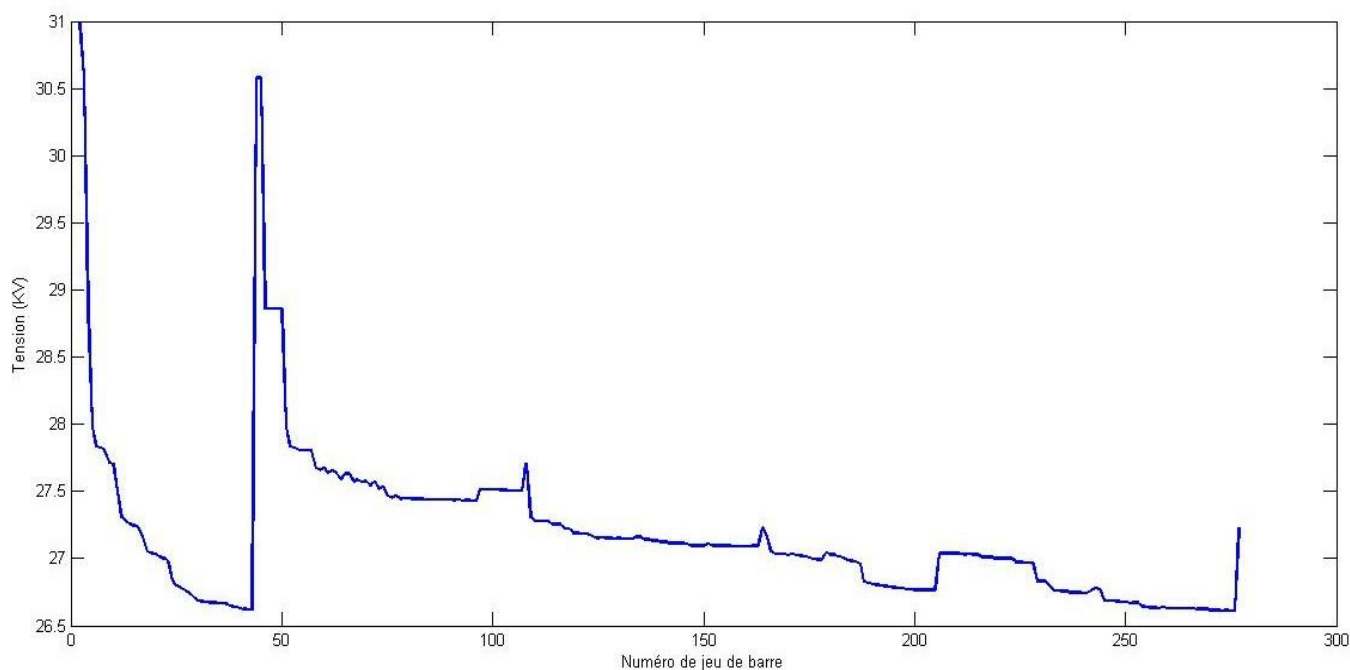


Figure IV.9 : Distribution des tensions aux jeux de barres (31 kV).

Cas normal 30.5 kV	
PG (MW)	11.567
QG (MVAR)	7.593
Pd (MW)	10.244
Qd (MVAR)	6.348
ΔP_{tot} (MW)	1.3231
ΔQ_{tot} (MVAR)	1.245
Vmin (kV)	26.61
Jeux de barre critique	275

Tableau IV.9 : Résultats d'analyse du réseau de Ourelal.

- Cas de tension 31.5 kV :

Numéro de jeu de barre	Tension (Pu)	Tension (V)	Angle (degree)
1	1.05	31.5	0
2	1.0496	31.4888	-0.0001
3	1.0363	31.0886	-0.0027
4	0.9803	29.4089	-0.0141
5	0.9515	28.5443	-0.0206
6	0.9468	28.4046	-0.0217
7	0.9465	28.3949	-0.0218
8	0.9459	28.3759	-0.0219
9	0.943	28.29	-0.0226
10	0.9426	28.2784	-0.0227
11	0.9361	28.0829	-0.0242
12	0.9295	27.8858	-0.0258
13	0.9287	27.862	-0.026
14	0.9279	27.8361	-0.0262
15	0.9275	27.8257	-0.0263
16	0.9272	27.8158	-0.0263
17	0.9249	27.7476	-0.0262
18	0.9213	27.6381	-0.0261
19	0.9208	27.6245	-0.0261
20	0.9206	27.6189	-0.026
21	0.9199	27.5963	-0.026
22	0.9197	27.5899	-0.026
23	0.9187	27.5625	-0.0258
24	0.9141	27.4245	-0.0248
25	0.913	27.3908	-0.0245
26	0.9125	27.3748	-0.0244
27	0.9118	27.355	-0.0243
28	0.9112	27.3361	-0.0241
29	0.9103	27.3075	-0.0239
30	0.9093	27.279	-0.0237
31	0.9091	27.2739	-0.0236
32	0.909	27.2703	-0.0236
33	0.9089	27.2667	-0.0236
34	0.9089	27.2657	-0.0236

35	0.9087	27.261	-0.0236
36	0.9086	27.2588	-0.0236
37	0.9085	27.2553	-0.0236
38	0.9079	27.2383	-0.0235
39	0.9077	27.2317	-0.0235
40	0.9075	27.2262	-0.0234
41	0.9073	27.2175	-0.0233
42	0.9071	27.2136	-0.0233
43	0.9071	27.2136	-0.0233
44	1.0363	31.0885	-0.0027
45	1.0363	31.0885	-0.0027
46	0.9803	29.4089	-0.0141
47	0.9803	29.4081	-0.0141
48	0.9803	29.4079	-0.0141
49	0.9802	29.4062	-0.0141
50	0.9802	29.406	-0.0141
51	0.9515	28.5437	-0.0206
52	0.9468	28.4046	-0.0217
53	0.9465	28.3949	-0.0218
54	0.9459	28.3758	-0.0219
55	0.9459	28.3758	-0.0219
56	0.9459	28.3755	-0.0219
57	0.9459	28.3755	-0.0219
58	0.9415	28.2463	-0.0223
59	0.941	28.2313	-0.0222
60	0.9415	28.2463	-0.0223
61	0.9404	28.2106	-0.022
62	0.941	28.2312	-0.0222
63	0.9402	28.2057	-0.022
64	0.9387	28.1618	-0.0216
65	0.9402	28.205	-0.022
66	0.9402	28.2057	-0.022
67	0.9383	28.1505	-0.0216
68	0.9387	28.1607	-0.0216
69	0.9382	28.1462	-0.0215
70	0.9383	28.1505	-0.0216
71	0.9371	28.1139	-0.0213
72	0.9382	28.146	-0.0215
73	0.9365	28.0955	-0.0212

74	0.9371	28.1138	-0.0213
75	0.9348	28.0446	-0.0208
76	0.9343	28.0302	-0.0207
77	0.9348	28.0446	-0.0208
78	0.9341	28.022	-0.0206
79	0.9342	28.0274	-0.0207
80	0.9342	28.026	-0.0207
81	0.9341	28.0217	-0.0206
82	0.934	28.0211	-0.0206
83	0.9341	28.0217	-0.0206
84	0.9339	28.0182	-0.0206
85	0.9339	28.0167	-0.0207
86	0.9339	28.0175	-0.0206
87	0.9339	28.0175	-0.0206
88	0.9339	28.0175	-0.0206
89	0.9339	28.0175	-0.0206
90	0.9339	28.0175	-0.0206
91	0.9337	28.0096	-0.0206
92	0.9339	28.0167	-0.0207
93	0.9336	28.0085	-0.0206
94	0.9337	28.0096	-0.0206
95	0.9336	28.0082	-0.0206
96	0.9336	28.0067	-0.0206
97	0.9364	28.0915	-0.0211
98	0.9363	28.0898	-0.0211
99	0.9364	28.0914	-0.0211
100	0.9363	28.0884	-0.0211
101	0.9363	28.0898	-0.0211
102	0.9362	28.0855	-0.0211
103	0.9361	28.0829	-0.0212
104	0.9361	28.0824	-0.0212
105	0.9361	28.0824	-0.0212
106	0.9361	28.0824	-0.0212
107	0.9361	28.0822	-0.0212
108	0.9426	28.2784	-0.0227
109	0.9295	27.8858	-0.0258
110	0.9287	27.8616	-0.026
111	0.9287	27.8616	-0.026
112	0.9287	27.8614	-0.026

113	0.9287	27.8615	-0.026
114	0.9278	27.8351	-0.0262
115	0.9278	27.835	-0.0262
116	0.9278	27.8349	-0.0262
117	0.9268	27.8041	-0.0264
118	0.9268	27.804	-0.0264
119	0.9258	27.7738	-0.0262
120	0.9257	27.7707	-0.0262
121	0.9257	27.7695	-0.0262
122	0.9256	27.7692	-0.0262
123	0.9252	27.7564	-0.0261
124	0.9246	27.7386	-0.026
125	0.9245	27.7361	-0.0259
126	0.9246	27.7385	-0.026
127	0.9244	27.7332	-0.0259
128	0.9245	27.7361	-0.0259
129	0.9244	27.7312	-0.0259
130	0.9244	27.7332	-0.0259
131	0.9244	27.7318	-0.0259
132	0.9244	27.7311	-0.0259
133	0.9243	27.7303	-0.0259
134	0.9248	27.7427	-0.026
135	0.9248	27.7426	-0.026
136	0.9243	27.7275	-0.0259
137	0.9243	27.7275	-0.0259
138	0.9238	27.7154	-0.0258
139	0.9238	27.7148	-0.0258
140	0.9235	27.7058	-0.0257
141	0.9235	27.7058	-0.0257
142	0.9233	27.7004	-0.0258
143	0.9233	27.7004	-0.0258
144	0.9233	27.698	-0.0258
145	0.9233	27.6978	-0.0258
146	0.9231	27.6917	-0.0258
147	0.9227	27.6806	-0.0257
148	0.9227	27.6804	-0.0257
149	0.9227	27.6798	-0.0257
150	0.9226	27.6795	-0.0258
151	0.9231	27.6917	-0.0258

152	0.9226	27.6789	-0.0258
153	0.9226	27.6787	-0.0258
154	0.9226	27.6786	-0.0258
155	0.9226	27.6785	-0.0258
156	0.9226	27.6781	-0.0258
157	0.9226	27.6771	-0.0258
158	0.9226	27.6765	-0.0258
159	0.9226	27.677	-0.0258
160	0.9226	27.677	-0.0258
161	0.9226	27.677	-0.0258
162	0.9226	27.6778	-0.0258
163	0.9226	27.6776	-0.0258
164	0.9272	27.8158	-0.0263
165	0.9249	27.7476	-0.0262
166	0.9212	27.6359	-0.0261
167	0.9207	27.6217	-0.0259
168	0.9206	27.6179	-0.0259
169	0.9207	27.6217	-0.0259
170	0.9204	27.6114	-0.0259
171	0.9206	27.6178	-0.0259
172	0.9204	27.6113	-0.0259
173	0.9202	27.6055	-0.0259
174	0.9201	27.602	-0.026
175	0.9197	27.5908	-0.0261
176	0.9195	27.5842	-0.0262
177	0.9193	27.5781	-0.0263
178	0.9192	27.5766	-0.0263
179	0.9209	27.6269	-0.0262
180	0.9206	27.6177	-0.0263
181	0.9205	27.6143	-0.0263
182	0.92	27.5994	-0.0265
183	0.9198	27.5933	-0.0266
184	0.9191	27.5724	-0.0268
185	0.9189	27.5676	-0.0269
186	0.9188	27.5642	-0.027
187	0.9183	27.5499	-0.0271
188	0.9139	27.4166	-0.0288
189	0.9135	27.4064	-0.0289
190	0.9133	27.3993	-0.029

191	0.9131	27.3931	-0.0291
192	0.913	27.3894	-0.0292
193	0.9128	27.3836	-0.0292
194	0.9126	27.3786	-0.0293
195	0.9125	27.3757	-0.0293
196	0.9124	27.3729	-0.0294
197	0.9123	27.3697	-0.0294
198	0.9121	27.3631	-0.0295
199	0.912	27.3613	-0.0295
200	0.912	27.3593	-0.0295
201	0.912	27.3591	-0.0295
202	0.912	27.3588	-0.0295
203	0.912	27.359	-0.0295
204	0.9119	27.3562	-0.0295
205	0.9119	27.3561	-0.0295
206	0.9208	27.6245	-0.0261
207	0.9208	27.6244	-0.0261
208	0.9208	27.6244	-0.0261
209	0.9208	27.6243	-0.0261
210	0.9208	27.6244	-0.0261
211	0.9206	27.6185	-0.026
212	0.9206	27.6176	-0.026
213	0.9206	27.6184	-0.026
214	0.9206	27.6171	-0.026
215	0.9206	27.6169	-0.026
216	0.9199	27.5961	-0.026
217	0.9199	27.596	-0.026
218	0.9199	27.5962	-0.026
219	0.9196	27.5889	-0.026
220	0.9196	27.5882	-0.026
221	0.9196	27.5886	-0.026
222	0.9196	27.5879	-0.026
223	0.9196	27.5882	-0.026
224	0.9187	27.5617	-0.0258
225	0.9187	27.5598	-0.0258
226	0.9185	27.5562	-0.0259
227	0.9184	27.5535	-0.0259
228	0.9184	27.5523	-0.0259
229	0.9141	27.424	-0.0248

230	0.9141	27.424	-0.0248
231	0.9141	27.4237	-0.0248
232	0.913	27.3904	-0.0245
233	0.9117	27.3513	-0.0242
234	0.9117	27.3513	-0.0242
235	0.9117	27.3498	-0.0242
236	0.9116	27.349	-0.0242
237	0.9114	27.3411	-0.0243
238	0.9113	27.3389	-0.0244
239	0.9113	27.3375	-0.0244
240	0.9112	27.3357	-0.0244
241	0.9111	27.3343	-0.0244
242	0.9118	27.3548	-0.0243
243	0.9125	27.3748	-0.0244
244	0.9118	27.3547	-0.0243
245	0.9093	27.279	-0.0237
246	0.9093	27.2788	-0.0237
247	0.9093	27.279	-0.0237
248	0.9091	27.2737	-0.0236
249	0.909	27.2702	-0.0236
250	0.909	27.2701	-0.0236
251	0.9087	27.2608	-0.0236
252	0.9088	27.265	-0.0236
253	0.9088	27.2647	-0.0236
254	0.9079	27.2374	-0.0235
255	0.9078	27.2342	-0.0236
256	0.9077	27.2305	-0.0236
257	0.9076	27.2273	-0.0236
258	0.9075	27.2254	-0.0237
259	0.9077	27.2317	-0.0235
260	0.9075	27.2258	-0.0234
261	0.9074	27.223	-0.0234
262	0.9075	27.2257	-0.0234
263	0.9074	27.2229	-0.0234
264	0.9074	27.2226	-0.0234
265	0.9075	27.2246	-0.0234
266	0.9075	27.2243	-0.0234
267	0.9072	27.2174	-0.0233
268	0.9072	27.2174	-0.0233

269	0.9072	27.2174	-0.0233
270	0.9071	27.2116	-0.0233
271	0.9069	27.2083	-0.0233
272	0.907	27.21	-0.0233
273	0.9069	27.2078	-0.0233
274	0.9069	27.2082	-0.0233
275	0.9068	27.2039	-0.0232
276	0.9069	27.2076	-0.0233
277	0.9272	27.8157	-0.0263

Tableau IV.10 : Module et l'angle de la tension (Départ Ourelal 31.5 kV).

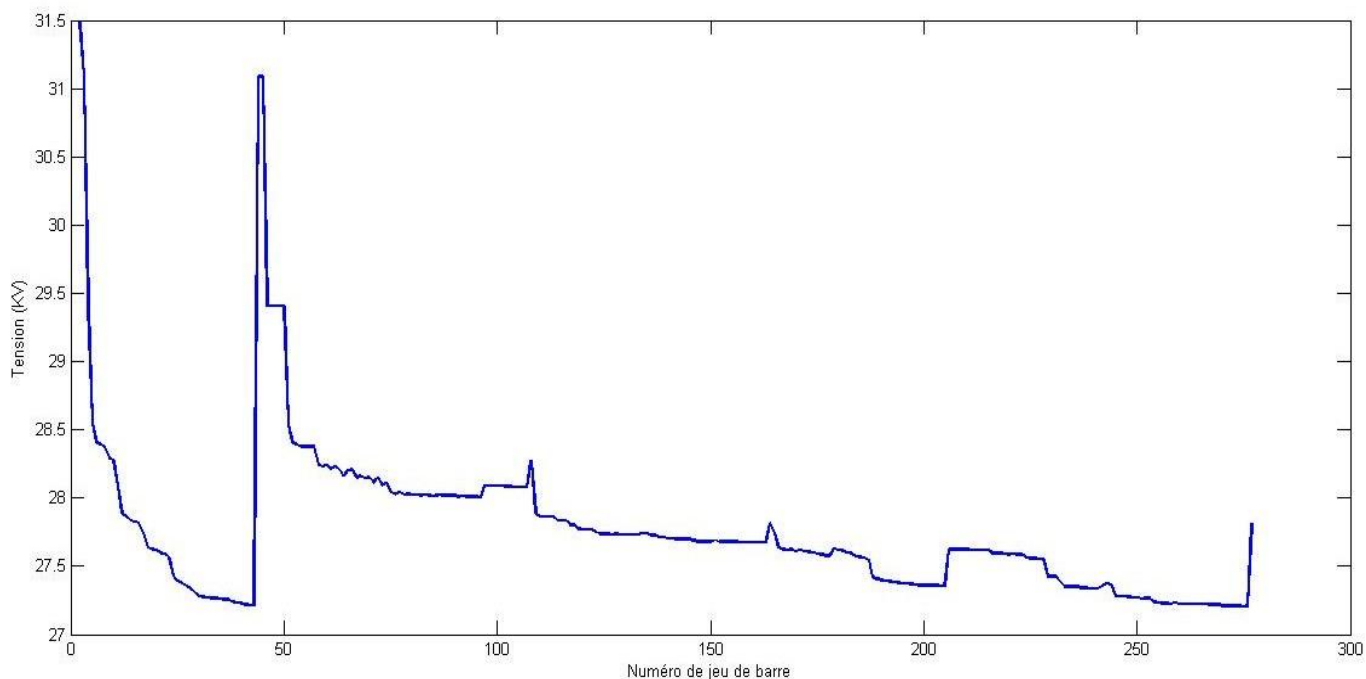


Figure IV.10 : Distribution des tensions aux jeux de barres (31.5 kV).

Cas normal 30.5 kV	
PG (MW)	11.511
QG (MVAR)	7.541
Pd (MW)	10.244
Qd (MVAR)	6.348
ΔP_{tot} (MW)	1.2673
ΔQ_{tot} (MVAR)	1.192
Vmin (kV)	27.204
Jeux de barre critique	275

Tableau IV.11 : Résultats d'analyse du réseau de Ourelal.

- Cas de tension 32 kV :

Numéro de jeu de barre	Tension (Pu)	Tension (V)	Angle (degree)
1	1.0666	31.998	0
2	1.0662	31.987	-0.0001
3	1.0532	31.5951	-0.0026
4	0.9983	29.9502	-0.0137
5	0.9701	29.1034	-0.0199
6	0.9656	28.9666	-0.0209
7	0.9652	28.9572	-0.021
8	0.9646	28.9385	-0.0211
9	0.9618	28.8543	-0.0218
10	0.9614	28.843	-0.0219
11	0.9551	28.6515	-0.0233
12	0.9486	28.4585	-0.0249
13	0.9478	28.4353	-0.025
14	0.947	28.4099	-0.0252
15	0.9467	28.3997	-0.0253
16	0.9463	28.39	-0.0253
17	0.9441	28.3232	-0.0252
18	0.9405	28.216	-0.0251
19	0.9401	28.2027	-0.0251
20	0.9399	28.1972	-0.0251
21	0.9392	28.175	-0.0251
22	0.939	28.1688	-0.0251
23	0.9381	28.1419	-0.0249
24	0.9336	28.0068	-0.0239
25	0.9325	27.9739	-0.0237
26	0.9319	27.9582	-0.0235
27	0.9313	27.9388	-0.0234
28	0.9307	27.9203	-0.0233
29	0.9297	27.8924	-0.023
30	0.9288	27.8644	-0.0228
31	0.9286	27.8595	-0.0228
32	0.9285	27.8559	-0.0228
33	0.9284	27.8524	-0.0228
34	0.9284	27.8514	-0.0228

35	0.9282	27.8468	-0.0227
36	0.9282	27.8446	-0.0228
37	0.928	27.8413	-0.0228
38	0.9275	27.8246	-0.0227
39	0.9273	27.8182	-0.0226
40	0.9271	27.8128	-0.0226
41	0.9268	27.8042	-0.0225
42	0.9267	27.8004	-0.0225
43	0.9267	27.8004	-0.0225
44	1.0532	31.595	-0.0026
45	1.0532	31.595	-0.0026
46	0.9983	29.9501	-0.0137
47	0.9983	29.9494	-0.0137
48	0.9983	29.9492	-0.0137
49	0.9983	29.9475	-0.0137
50	0.9982	29.9474	-0.0137
51	0.9701	29.1029	-0.0199
52	0.9656	28.9666	-0.0209
53	0.9652	28.9571	-0.021
54	0.9646	28.9384	-0.0211
55	0.9646	28.9384	-0.0211
56	0.9646	28.9381	-0.0211
57	0.9646	28.9381	-0.0211
58	0.9604	28.8116	-0.0215
59	0.9599	28.7968	-0.0214
60	0.9604	28.8115	-0.0215
61	0.9592	28.7765	-0.0212
62	0.9599	28.7967	-0.0214
63	0.9591	28.7717	-0.0212
64	0.9576	28.7287	-0.0209
65	0.959	28.771	-0.0212
66	0.9591	28.7717	-0.0212
67	0.9573	28.7176	-0.0208
68	0.9576	28.7276	-0.0209
69	0.9571	28.7135	-0.0208
70	0.9573	28.7176	-0.0208
71	0.9561	28.6817	-0.0205
72	0.9571	28.7133	-0.0208
73	0.9555	28.6637	-0.0204

74	0.9561	28.6817	-0.0205
75	0.9538	28.6139	-0.0201
76	0.9533	28.5997	-0.02
77	0.9538	28.6138	-0.0201
78	0.9531	28.5917	-0.0199
79	0.9532	28.597	-0.02
80	0.9532	28.5956	-0.02
81	0.953	28.5914	-0.0199
82	0.953	28.5908	-0.0199
83	0.953	28.5914	-0.0199
84	0.9529	28.588	-0.0199
85	0.9529	28.5865	-0.0199
86	0.9529	28.5873	-0.0199
87	0.9529	28.5873	-0.0199
88	0.9529	28.5873	-0.0199
89	0.9529	28.5873	-0.0199
90	0.9529	28.5873	-0.0199
91	0.9527	28.5796	-0.0199
92	0.9529	28.5865	-0.0199
93	0.9526	28.5784	-0.0199
94	0.9527	28.5796	-0.0199
95	0.9526	28.5782	-0.0199
96	0.9526	28.5767	-0.0199
97	0.9553	28.6598	-0.0204
98	0.9553	28.6582	-0.0204
99	0.9553	28.6597	-0.0204
100	0.9552	28.6568	-0.0204
101	0.9553	28.6581	-0.0204
102	0.9551	28.654	-0.0204
103	0.955	28.6514	-0.0204
104	0.955	28.6509	-0.0204
105	0.955	28.6509	-0.0204
106	0.955	28.6509	-0.0204
107	0.955	28.6507	-0.0204
108	0.9614	28.843	-0.0219
109	0.9486	28.4585	-0.0249
110	0.9478	28.4348	-0.025
111	0.9478	28.4348	-0.025
112	0.9478	28.4347	-0.025

113	0.9478	28.4348	-0.025
114	0.947	28.4089	-0.0252
115	0.947	28.4088	-0.0252
116	0.947	28.4087	-0.0252
117	0.9459	28.3785	-0.0255
118	0.9459	28.3784	-0.0255
119	0.945	28.3488	-0.0253
120	0.9449	28.3458	-0.0252
121	0.9448	28.3447	-0.0253
122	0.9448	28.3443	-0.0253
123	0.9444	28.3318	-0.0251
124	0.9438	28.3143	-0.025
125	0.9437	28.3119	-0.025
126	0.9438	28.3143	-0.025
127	0.9436	28.3091	-0.025
128	0.9437	28.3119	-0.025
129	0.9436	28.3071	-0.025
130	0.9436	28.309	-0.025
131	0.9436	28.3077	-0.025
132	0.9436	28.307	-0.025
133	0.9435	28.3062	-0.025
134	0.9439	28.3184	-0.025
135	0.9439	28.3183	-0.025
136	0.9434	28.3035	-0.0249
137	0.9434	28.3035	-0.0249
138	0.9431	28.2917	-0.0249
139	0.943	28.291	-0.0249
140	0.9427	28.2822	-0.0248
141	0.9427	28.2822	-0.0248
142	0.9426	28.2769	-0.0248
143	0.9426	28.2769	-0.0248
144	0.9425	28.2746	-0.0248
145	0.9425	28.2744	-0.0248
146	0.9423	28.2684	-0.0249
147	0.9419	28.2576	-0.0248
148	0.9419	28.2574	-0.0248
149	0.9419	28.2567	-0.0248
150	0.9419	28.2564	-0.0248
151	0.9423	28.2684	-0.0249

152	0.9419	28.2558	-0.0248
153	0.9419	28.2557	-0.0248
154	0.9419	28.2556	-0.0248
155	0.9419	28.2555	-0.0248
156	0.9418	28.2551	-0.0248
157	0.9418	28.2541	-0.0248
158	0.9418	28.2536	-0.0248
159	0.9418	28.2541	-0.0248
160	0.9418	28.254	-0.0248
161	0.9418	28.2541	-0.0248
162	0.9418	28.2548	-0.0248
163	0.9418	28.2546	-0.0248
164	0.9463	28.39	-0.0253
165	0.9441	28.3232	-0.0252
166	0.9405	28.2139	-0.0251
167	0.94	28.1999	-0.025
168	0.9399	28.1962	-0.025
169	0.94	28.1999	-0.025
170	0.9397	28.1898	-0.0249
171	0.9399	28.1961	-0.025
172	0.9397	28.1898	-0.0249
173	0.9395	28.1841	-0.025
174	0.9394	28.1807	-0.0251
175	0.939	28.1696	-0.0252
176	0.9388	28.1632	-0.0253
177	0.9386	28.1572	-0.0253
178	0.9385	28.1558	-0.0254
179	0.9402	28.205	-0.0252
180	0.9399	28.196	-0.0253
181	0.9398	28.1927	-0.0254
182	0.9393	28.178	-0.0256
183	0.9391	28.1721	-0.0256
184	0.9384	28.1517	-0.0259
185	0.9382	28.147	-0.0259
186	0.9381	28.1436	-0.026
187	0.9377	28.1297	-0.0261
188	0.9333	27.9991	-0.0278
189	0.933	27.9892	-0.0279
190	0.9327	27.9822	-0.028

191	0.9325	27.976	-0.028
192	0.9324	27.9725	-0.0281
193	0.9322	27.9668	-0.0282
194	0.9321	27.9619	-0.0282
195	0.932	27.959	-0.0283
196	0.9319	27.9564	-0.0283
197	0.9318	27.9531	-0.0283
198	0.9316	27.9468	-0.0284
199	0.9315	27.9449	-0.0284
200	0.9314	27.943	-0.0285
201	0.9314	27.9428	-0.0285
202	0.9314	27.9425	-0.0285
203	0.9314	27.9427	-0.0285
204	0.9313	27.94	-0.0284
205	0.9313	27.9398	-0.0284
206	0.9401	28.2026	-0.0251
207	0.9401	28.2026	-0.0251
208	0.9401	28.2026	-0.0251
209	0.9401	28.2025	-0.0251
210	0.9401	28.2025	-0.0251
211	0.9399	28.1968	-0.0251
212	0.9399	28.1959	-0.0251
213	0.9399	28.1967	-0.0251
214	0.9398	28.1954	-0.0251
215	0.9398	28.1952	-0.0251
216	0.9392	28.1748	-0.0251
217	0.9392	28.1748	-0.0251
218	0.9392	28.175	-0.0251
219	0.9389	28.1679	-0.0251
220	0.9389	28.1672	-0.0251
221	0.9389	28.1675	-0.0251
222	0.9389	28.1668	-0.0251
223	0.9389	28.1671	-0.0251
224	0.938	28.1412	-0.0249
225	0.938	28.1393	-0.0249
226	0.9379	28.1358	-0.025
227	0.9378	28.1331	-0.025
228	0.9377	28.1319	-0.025
229	0.9335	28.0064	-0.0239

230	0.9335	28.0064	-0.0239
231	0.9335	28.006	-0.0239
232	0.9325	27.9735	-0.0237
233	0.9312	27.9352	-0.0234
234	0.9312	27.9352	-0.0234
235	0.9311	27.9337	-0.0234
236	0.9311	27.9329	-0.0234
237	0.9308	27.9252	-0.0235
238	0.9308	27.9231	-0.0235
239	0.9307	27.9217	-0.0235
240	0.9307	27.9199	-0.0235
241	0.9306	27.9186	-0.0235
242	0.9313	27.9386	-0.0234
243	0.9319	27.9582	-0.0235
244	0.9313	27.9386	-0.0234
245	0.9288	27.8644	-0.0228
246	0.9288	27.8642	-0.0228
247	0.9288	27.8644	-0.0228
248	0.9286	27.8593	-0.0228
249	0.9285	27.8558	-0.0228
250	0.9285	27.8558	-0.0228
251	0.9282	27.8466	-0.0227
252	0.9284	27.8508	-0.0228
253	0.9283	27.8504	-0.0228
254	0.9275	27.8237	-0.0227
255	0.9274	27.8206	-0.0227
256	0.9272	27.817	-0.0228
257	0.9271	27.8138	-0.0228
258	0.9271	27.812	-0.0228
259	0.9273	27.8181	-0.0226
260	0.9271	27.8123	-0.0226
261	0.927	27.8096	-0.0226
262	0.9271	27.8122	-0.0226
263	0.927	27.8095	-0.0226
264	0.927	27.8092	-0.0226
265	0.927	27.8112	-0.0226
266	0.927	27.8109	-0.0226
267	0.9268	27.8041	-0.0225
268	0.9268	27.8041	-0.0225

269	0.9268	27.8041	-0.0225
270	0.9266	27.7984	-0.0225
271	0.9265	27.7952	-0.0225
272	0.9266	27.7969	-0.0225
273	0.9265	27.7948	-0.0224
274	0.9265	27.7951	-0.0225
275	0.9264	27.7909	-0.0224
276	0.9265	27.7946	-0.0224
277	0.9463	28.3899	-0.0253

Tableau IV.12 : Module et l'angle de la tension (Départ Ourelal 32 kV).

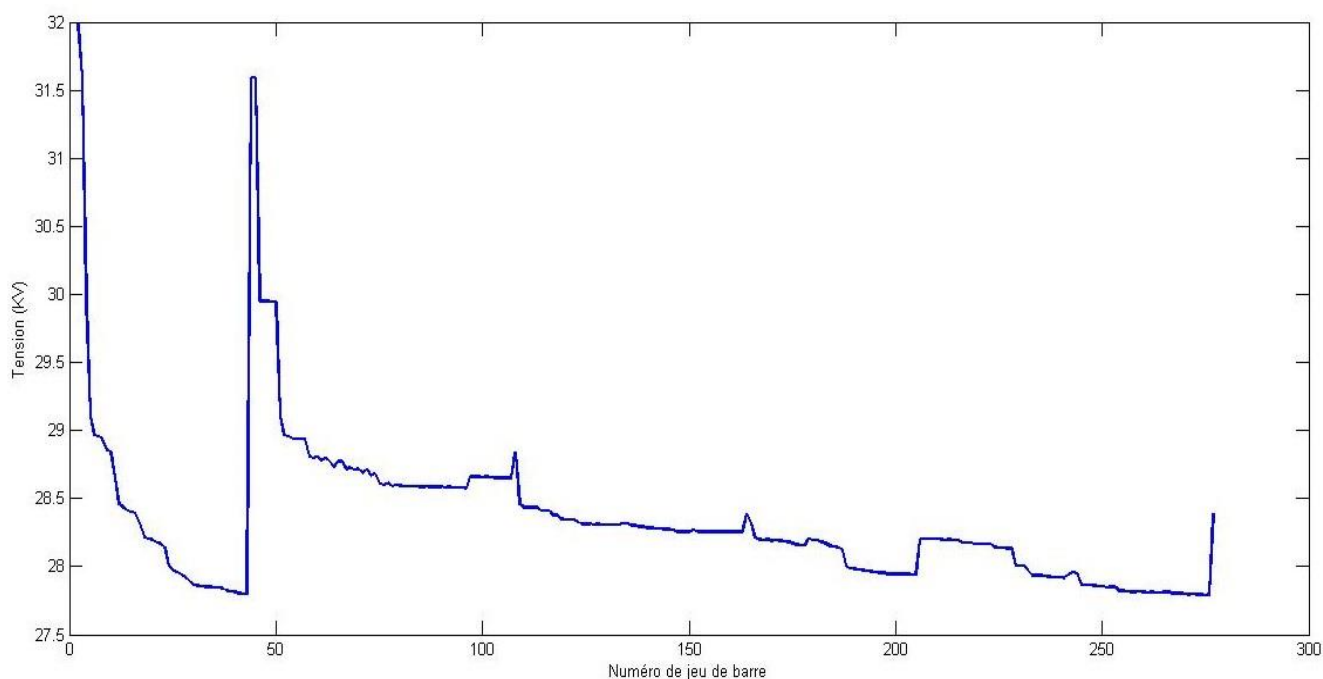


Figure IV.11 : Distribution des tensions aux jeux de barres en cas de 32 kV.

Cas normal 30.5 kV	
PG (MW)	11.46
QG (MVAR)	7.492
Pd (MW)	10.244
Qd (MVAR)	6.348
ΔP_{tot} (MW)	1.216
ΔQ_{tot} (MVAR)	1.144
Vmin (kV)	27.792
Jeux de barre critique	275

Tableau IV.13 : Résultats d'analyse du réseau d'Ourelal.

- **Interprétation :**

Le transformateur de la cabine mobile de Tolga est équipé d'un régulateur de tension qui permet de régler la tension à la sortie du poste de 30 KV à une valeur maximale de 32 KV. Ce moyen de réglage est une technique largement utilisé par les exploitants de Sonelgaz pour réduire les chutes de tension afin d'améliorer la qualité d'énergie fournie aux consommateurs éloignés de la cabine mobile de Tolga.

D'après les résultats récapitulés dans les tableaux IV.8 IV.10 IV.12 on remarque que l'augmentation de la tension au niveau de sortie de la cabine mobile de Tolga à améliorer la qualité tension au niveau des jeux de barres de charges éloignés, une réduction des pertes actives et réactives dans ligne ce qui permet d'augmenter la réserve de la cabine mobile.

Cette technique a des conséquences indésirables aux niveaux des jeux de barres près de la cabine mobile. On remarque après l'augmentation de la tension au niveau de sortie de la cabine mobile qu'une surtension survienne au niveau des jeux de barres qui sont près de la cabine mobile.

IV.7.1.1. Le cout des pertes :

La réduction des pertes actives engendre la réduction du cout de cette dernière. Cette réduction peut être calculer suivant l'expression suivante :

$$C_{PLOSS} = P_{tloss} \cdot (E_c \cdot T) \$$$

$$E_c = \text{Energy rate } (\$/\text{kWh})$$

$$T = \text{Time duration } (h)$$

$$\text{where } E_c = 0.06 \cdot \frac{\$}{\text{kWh}}, T = 8760 h$$

Le tableau IV.14 démontre la différence de réduction du cout des pertes active pendant la durée d'une année après le réglage de la tension au niveau de la cabine mobile Tolga.

Tension (KV)	30	30.5	31	30.5	32
Pertes active (MW)	1.447	1.3831	1.3231	1.2673	1.216
Le cout \$	760543.2	726904.8	695368.8	665935.2	639129.6
Pourcentage De réduction		5%	9%	13%	16%

Tableau IV.14 : Cout des pertes après le réglage de tension au niveau de la cabine mobile.

IV.7.1.2. Analyse des courants transités :

- **Cas 30 kV :**

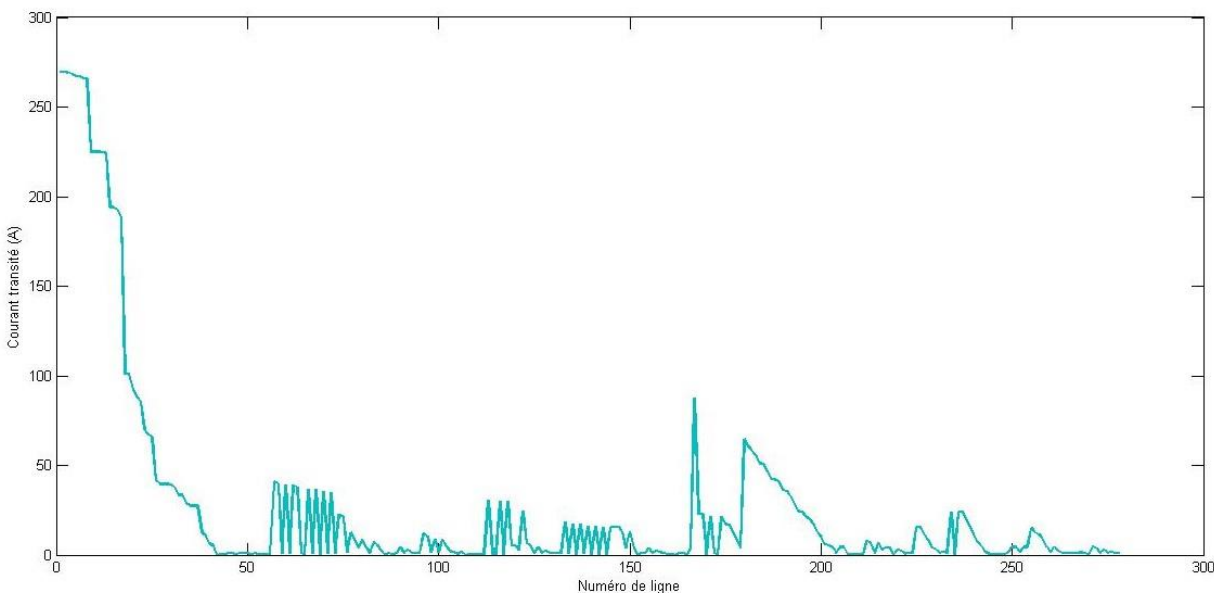


Figure IV.12 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 30 kV.

Ligne	Courant active	Courant Réactive	Ligne	Courant active	Courant Réactive
1	2	225.006192	2	1	148.3787
2	3	225.006192	3	2	148.3787
3	4	224.889217	4	3	148.3060
4	5	223.925556	5	4	147.6877
5	6	223.060678	6	5	147.1234
6	7	222.932873	7	6	147.0402
7	8	222.063589	8	7	146.4714
8	9	221.935656	9	8	146.3881
9	10	187.604852	10	9	123.9789
10	11	187.604852	11	10	123.9789
11	12	187.604852	12	11	123.9789
12	13	187.474732	13	12	123.8934
13	14	187.133973	14	13	123.6689
14	15	161.823631	15	14	106.9458
15	16	161.823631	16	15	106.9458

16	17	160.806233	106.2731	17	16	160.806233	106.2731
17	18	157.302767	103.9564	18	17	157.302767	103.9564
18	19	84.365977	55.553644	19	18	84.365977	55.553644
19	20	84.102978	55.380645	20	19	84.102978	55.380645
20	21	77.449894	50.982957	21	20	77.449894	50.982957
21	22	73.792354	48.565802	22	21	73.792354	48.565802
22	23	71.441714	47.011660	23	22	71.441714	47.011660
23	24	58.405530	38.397466	24	23	58.405530	38.397466
24	25	56.091830	36.873566	25	24	56.091830	36.873566
25	26	55.187941	36.278041	26	25	55.187941	36.278041
26	27	34.749071	22.824890	27	26	34.749071	22.824890
27	28	33.117931	21.752713	28	27	33.117931	21.752713
28	29	33.117931	21.752713	29	28	33.117931	21.752713
29	30	33.117931	21.752713	30	29	33.117931	21.752713
30	31	32.917493	21.620493	31	30	32.917493	21.620493
31	32	31.496142	20.687539	32	31	31.496142	20.687539
32	33	27.915486	18.334938	33	32	27.915486	18.334938
33	34	27.915486	18.334938	34	33	27.915486	18.334938
34	35	24.333953	15.981877	35	34	24.333953	15.981877
35	36	22.911744	15.048553	36	35	22.911744	15.048553
36	37	22.911744	15.048553	37	36	22.911744	15.048553
37	38	22.911744	15.048553	38	37	22.911744	15.048553
38	39	10.274371	6.745978	39	38	10.274371	6.745978
39	40	8.850305	5.811679	40	39	8.850305	5.811679
40	41	5.206286	3.417599	41	40	5.206286	3.417599
41	42	4.160973	2.731399	42	41	4.160973	2.731399
42	43	0.000000	0.000000	43	42	0.000000	0.000000

Tableau IV.15 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 30 kV.

• Cas 30.5 kV :

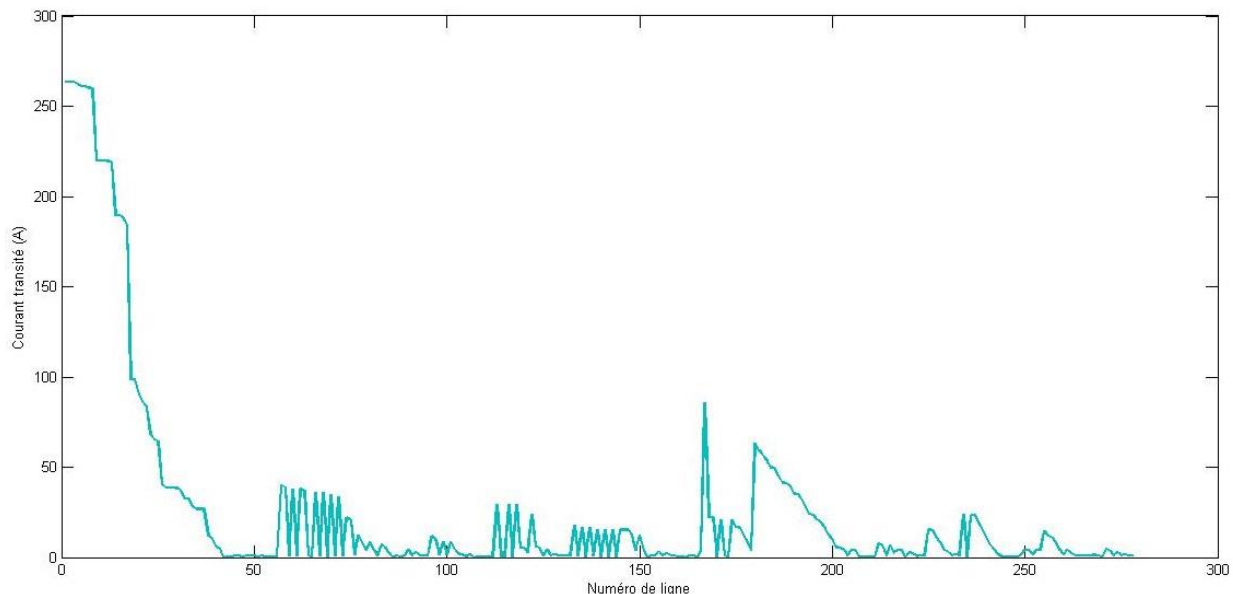


Figure IV.13 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 30.5 kV.

Ligne	Courant active	Courant Réactive	Ligne	Courant active	Courant Réactive		
1	2	220.11342	144.809765	2	1	220.11342	144.809765
2	3	220.11342	144.809765	3	2	220.11342	144.809765
3	4	219.99841	144.738391	4	3	219.99841	144.738391
4	5	219.05308	144.132543	5	4	219.05308	144.132543
5	6	218.20569	143.580685	6	5	218.20569	143.580685
6	7	218.08050	143.499385	7	6	218.08050	143.499385
7	8	217.22898	142.943303	8	7	217.22898	142.943303
8	9	217.10367	142.861882	9	8	217.10367	142.861882
9	10	183.494332	120.965872	10	9	183.494332	120.965872
10	11	183.49433	120.96587	11	10	183.49433	120.96587
11	12	183.49433	120.96587	12	11	183.49433	120.96587
12	13	183.36696	120.88235	13	12	183.36696	120.88235
13	14	183.03344	120.66314	14	13	183.03344	120.66314
14	15	158.26691	104.33922	15	14	158.26691	104.33922
15	16	158.26691	104.33922	16	15	158.26691	104.33922
16	17	157.27117	103.68244	17	16	157.27117	103.68244

17	18	153.84273	101.42097	18	17	153.84273	101.42097
18	19	82.497431	54.198998	19	18	82.497431	54.198998
19	20	82.240124	54.030159	20	19	82.240124	54.030159
20	21	75.731101	49.738247	21	20	75.731101	49.738247
21	22	72.152902	47.379320	22	21	72.152902	47.379320
22	23	69.853288	45.862636	23	22	69.853288	45.862636
23	24	57.100905	37.456512	24	23	57.100905	37.456512
24	25	54.838225	35.969667	25	24	54.838225	35.969667
25	26	53.954331	35.388647	26	25	53.954331	35.388647
26	27	33.969636	22.264266	27	26	33.969636	22.264266
27	28	32.374704	21.218257	28	27	32.374704	21.218257
28	29	32.374704	21.218257	29	28	32.374704	21.218257
29	30	32.374704	21.218257	30	29	32.374704	21.218257
30	31	32.178747	21.089276	31	30	32.178747	21.089276
31	32	30.789193	20.179190	32	31	30.789193	20.179190
32	33	27.288663	17.884263	33	32	27.288663	17.884263
33	34	27.288663	17.884263	34	33	27.288663	17.884263
34	35	23.787316	15.588908	35	34	23.787316	15.588908
35	36	22.396960	14.678478	36	35	22.396960	14.678478
36	37	22.396960	14.678478	37	36	22.396960	14.678478
37	38	22.396960	14.678478	38	37	22.396960	14.678478
38	39	10.043342	6.580070	39	38	10.043342	6.580070
39	40	8.651255	5.668733	40	39	8.651255	5.668733
40	41	5.089124	3.333510	41	40	5.089124	3.333510
41	42	4.067315	2.664187	42	41	4.067315	2.664187
42	43	0.000000	0.000000	43	42	0.000000	0.000000

Tableau IV.16 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 30.5 kV.

• Cas 31 kV :

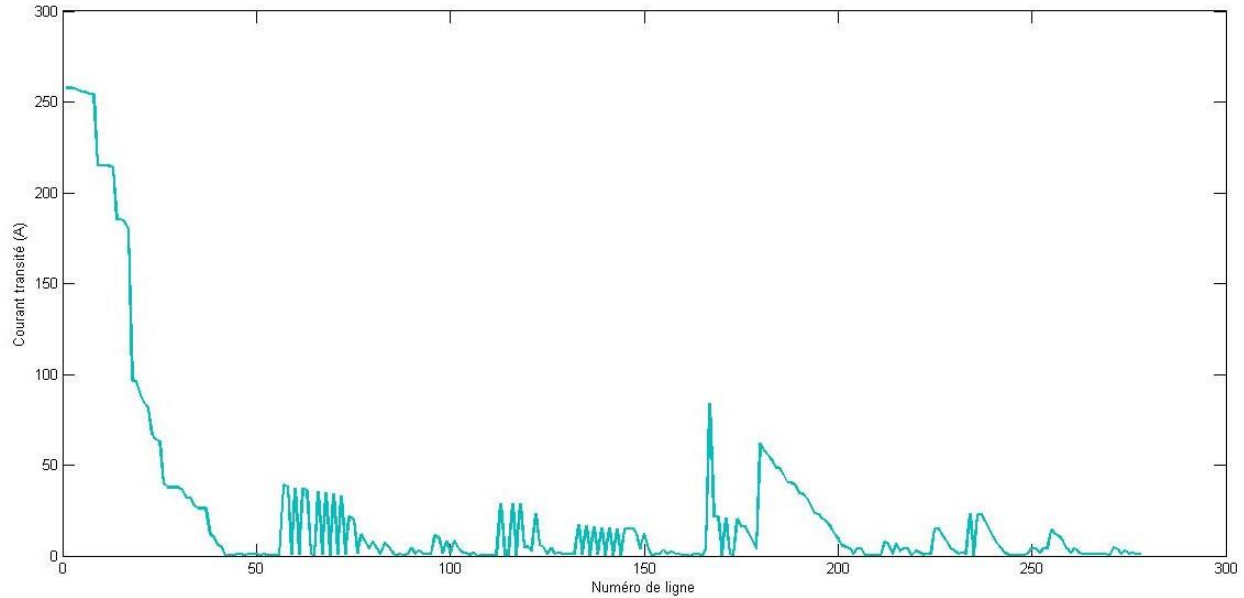


Figure IV. 14 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 31 kV.

Ligne	Courant active	Courant Réactive	Ligne	Courant active	Courant Réactive		
1	2	215.437912	141.417868	2	1	215.437912	141.417868
2	3	215.437912	141.417868	3	2	215.437912	141.417868
3	4	215.324820	141.347697	4	3	215.324820	141.347697
4	5	214.397159	140.753879	5	4	214.397159	140.753879
5	6	213.566565	140.213924	6	5	213.566565	140.213924
6	7	213.443876	140.134402	7	6	213.443876	140.134402
7	8	212.609402	139.590484	8	7	212.609402	139.590484
8	9	212.486600	139.510848	9	8	212.486600	139.510848
9	10	179.568306	118.104113	10	9	179.568306	118.104113
10	11	179.568306	118.104113	11	10	179.568306	118.104113
11	12	179.568306	118.104113	12	11	179.568306	118.104113
12	13	179.443581	118.022513	13	12	179.443581	118.022513
13	14	179.116975	117.808347	14	13	179.116975	117.808347
14	15	154.870544	101.863995	15	14	154.870544	101.863995
15	16	154.870544	101.863995	16	15	154.870544	101.863995
16	17	153.895536	101.222391	17	16	153.895536	101.222391

17	18	150.538863	99.013420	18	17	150.538863	99.013420
18	19	80.714077	52.912712	19	18	80.714077	52.912712
19	20	80.462211	52.747828	20	19	80.462211	52.747828
20	21	74.090895	48.556448	21	20	74.090895	48.556448
21	22	70.588528	46.252858	22	21	70.588528	46.252858
22	23	68.337680	44.771771	23	22	68.337680	44.771771
23	24	55.856481	36.563348	24	23	55.856481	36.563348
24	25	53.642511	35.111694	25	24	53.642511	35.111694
25	26	52.777702	34.544449	26	25	52.777702	34.544449
26	27	33.226381	21.732200	27	26	33.226381	21.732200
27	28	31.666001	20.711038	28	27	31.666001	20.711038
28	29	31.666001	20.711038	29	28	31.666001	20.711038
29	30	31.666001	20.711038	30	29	31.666001	20.711038
30	31	31.474318	20.585131	31	30	31.474318	20.585131
31	32	30.115091	19.696752	32	31	30.115091	19.696752
32	33	26.690980	17.456568	33	32	26.690980	17.456568
33	34	26.690980	17.456568	34	33	26.690980	17.456568
34	35	23.266105	15.215985	35	34	23.266105	15.215985
35	36	21.906129	14.327284	36	35	21.906129	14.327284
36	37	21.906129	14.327284	37	36	21.906129	14.327284
37	38	21.906129	14.327284	38	37	21.906129	14.327284
38	39	9.823075	6.422627	39	38	9.823075	6.422627
39	40	8.461480	5.533082	40	39	8.461480	5.533082
40	41	4.977425	3.253714	41	40	4.977425	3.253714
41	42	3.978027	2.600406	42	41	3.978027	2.600406
42	43	0.000000	0.000000	43	42	0.000000	0.000000

Tableau IV.17 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 31 kV.

• Cas 31.5 kV :

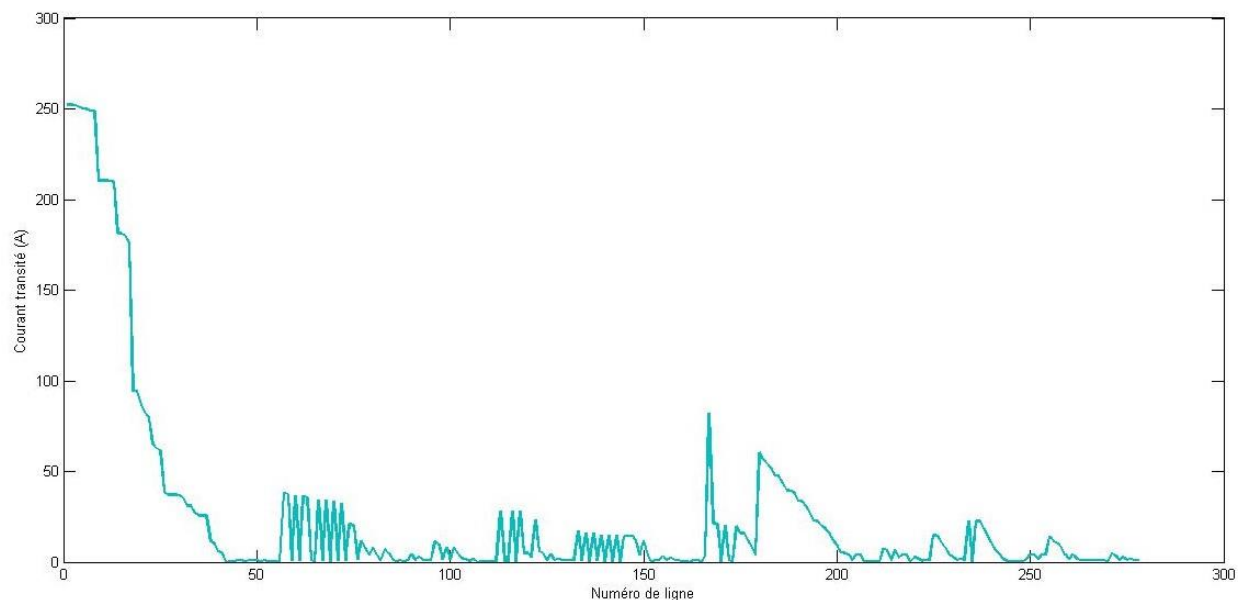


Figure IV.15 : Courant transité dans les lignes en cas de tension 31.5 kV.

Ligne	Courant active	Courant Réactive	Ligne	Courant active	Courant Réactive		
1	2	210.988979	138.207064	2	1	210.988979	138.207064
2	3	210.988979	138.207064	3	2	210.988979	138.207064
3	4	210.877736	138.138053	4	3	210.877736	138.138053
4	5	209.967028	137.555742	5	4	209.967028	137.555742
5	6	209.152487	137.027113	6	5	209.152487	137.027113
6	7	209.032190	136.949281	7	6	209.032190	136.949281
7	8	208.213999	136.416929	8	7	208.213999	136.416929
8	9	208.093597	136.338990	9	8	208.093597	136.338990
9	10	175.834283	115.396811	10	9	175.834283	115.396811
10	11	175.834283	115.396811	11	10	175.834283	115.396811
11	12	175.834283	115.396811	12	11	175.834283	115.396811
12	13	175.712074	115.317029	13	12	175.712074	115.317029
13	14	175.392064	115.107645	14	13	175.392064	115.107645
14	15	151.640913	99.522781	15	14	151.640913	99.522781
15	16	151.640913	99.522781	16	15	151.640913	99.522781
16	17	150.685656	98.895556	17	16	150.685656	98.895556

17	18	147.397341	96.736313	18	17	147.397341	96.736313
18	19	79.019106	51.696127	19	18	79.019106	51.696127
19	20	78.772420	51.534985	20	19	78.772420	51.534985
20	21	72.532174	47.438775	21	20	72.532174	47.438775
21	22	69.101977	45.187564	22	21	69.101977	45.187564
22	23	66.897538	43.740170	23	22	66.897538	43.740170
23	24	54.674367	35.718850	24	23	54.674367	35.718850
24	25	52.506706	34.300487	25	24	52.506706	34.300487
25	26	51.660038	33.746270	26	25	51.660038	33.746270
26	27	32.520529	21.229201	27	26	32.520529	21.229201
27	28	30.992985	20.231537	28	27	30.992985	20.231537
28	29	30.992985	20.231537	29	28	30.992985	20.231537
29	30	30.992985	20.231537	30	29	30.992985	20.231537
30	31	30.805361	20.108537	31	30	30.805361	20.108537
31	32	29.474939	19.240681	32	31	29.474939	19.240681
32	33	26.123413	17.052256	33	32	26.123413	17.052256
33	34	26.123413	17.052256	34	33	26.123413	17.052256
34	35	22.771172	14.863458	35	34	22.771172	14.863458
35	36	21.440047	13.995302	36	35	21.440047	13.995302
36	37	21.440047	13.995302	37	36	21.440047	13.995302
37	38	21.440047	13.995302	38	37	21.440047	13.995302
38	39	9.613925	6.273798	39	38	9.613925	6.273798
39	40	8.281285	5.404852	40	39	8.281285	5.404852
40	41	4.871370	3.178285	41	40	4.871370	3.178285
41	42	3.893251	2.540117	42	41	3.893251	2.540117
42	43	0.000000	0.000000	43	42	0.000000	0.000000

Tableau IV.18 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 31.5 kV.

• Cas 32 kV :

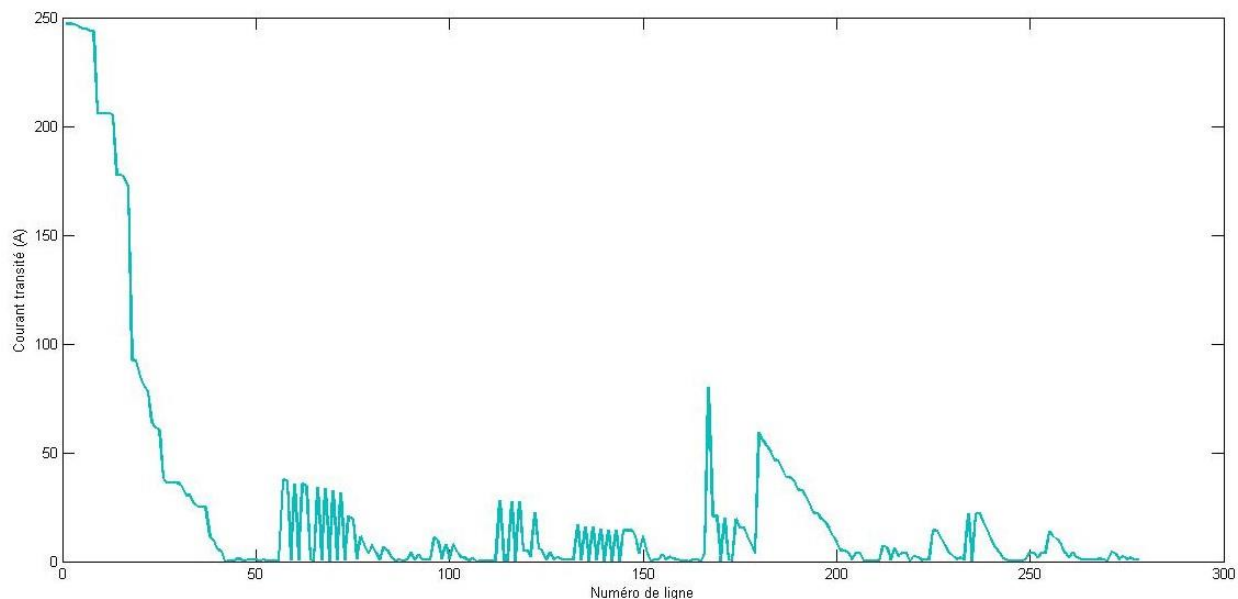


Figure IV.16: Courant transité dans les lignes en cas de tension 32 kV.

Ligne	Courant active	Courant Réactive	Ligne	Courant active	Courant Réactive
1	206.773047	135.179340	2	206.773047	135.179340
2	206.773047	135.179340	3	206.773047	135.179340
3	206.663581	135.111445	4	206.663581	135.111445
4	205.769061	134.540088	5	205.769061	134.540088
5	204.969795	134.022192	6	204.969795	134.022192
6	204.851775	133.945960	7	204.851775	133.945960
7	204.049069	133.424559	8	204.049069	133.424559
8	203.930948	133.348227	9	203.930948	133.348227
9	172.297354	112.845348	10	172.297354	112.845348
10	172.297354	112.845348	11	172.297354	112.845348
11	172.297354	112.845348	12	172.297354	112.845348
12	172.177532	112.767283	13	172.177532	112.767283
13	171.863782	112.562413	14	171.863782	112.562413
14	148.582310	97.316700	15	148.582310	97.316700
15	148.582310	97.316700	16	148.582310	97.316700
16	147.645793	96.703046	17	147.645793	96.703046

17	18	144.422314	94.590723	18	17	144.422314	94.590723
18	19	77.414624	50.549810	19	18	77.414624	50.549810
19	20	77.172847	50.392199	20	19	77.172847	50.392199
20	21	71.056840	46.385733	21	20	71.056840	46.385733
21	22	67.695043	44.183913	22	21	67.695043	44.183913
22	23	65.534588	42.768287	23	22	65.534588	42.768287
23	24	53.555919	34.923363	24	23	53.555919	34.923363
24	25	51.432105	33.536374	25	24	51.432105	33.536374
25	26	50.602611	32.994435	26	25	50.602611	32.994435
26	27	31.852856	20.755459	27	26	31.852856	20.755459
27	28	30.356390	19.779934	28	27	30.356390	19.779934
28	29	30.356390	19.779934	29	28	30.356390	19.779934
29	30	30.356390	19.779934	30	29	30.356390	19.779934
30	31	30.172608	19.659673	31	30	30.172608	19.659673
31	32	28.869436	18.811149	32	31	28.869436	18.811149
32	33	25.586579	16.671478	33	32	25.586579	16.671478
33	34	25.586579	16.671478	34	33	25.586579	16.671478
34	35	22.303050	14.531457	35	34	22.303050	14.531457
35	36	20.999220	13.682652	36	35	20.999220	13.682652
36	37	20.999220	13.682652	37	36	20.999220	13.682652
37	38	20.999220	13.682652	38	37	20.999220	13.682652
38	39	9.416117	6.133637	39	38	9.416117	6.133637
39	40	8.110865	5.284092	40	39	8.110865	5.284092
40	41	4.771070	3.107252	41	40	4.771070	3.107252
41	42	3.813077	2.483341	42	41	3.813077	2.483341
42	43	0.000000	0.000000	43	42	0.000000	0.000000

Tableau IV.19 : Courant transité dans la ligne principale en cas de tension 32 kV.

- Interprétation :

Les tableaux IV.15, IV.16, IV.17, IV.18, IV.19 représentent les courants actifs et réactives transités dans la ligne principale du départ de Ourelal pour des différentes valeurs de tension.

On remarque que l'augmentation de la tension au niveau de sortie de la cabine mobile fait diminuer le courant transité dans les lignes. L'augmentation de tension signifie moins de courant active et réactive nécessaire. La réduction du courant réactive engendre une diminution des pertes réactive et par conséquent améliore la qualité tension dans le réseau électrique.

IV.7.2. Compensation de l'énergie réactive sans optimisation :

Cette technique consiste à installer des batteries de condensateurs aux jeux de barres sensibles afin de d'améliorer les tensions aux jeux de barres les plus critiques.

Les batteries de condensateurs sont installées au jeu de barres 18 et 40.

Jb N1	Qc1	Qc2	Qc3	
Taille de la batterie (p.u)	0.0025	0.005	0.01	
Δp	1.41	1.373	1.306	
Vmin (p.u)	0.8493	0.8517	0.8565	
Vmin (kV)	25.4790	25.5510	25.6950	
Jb N°2	Qc1	Qc2	Qc3	
Taille de la batterie (p.u)	0.0025	0.005	0.01	
Δp	1.405	1.365	1.294	
Vmin (p.u)	0.85	0.8531	0.8592	
Vmin (kV)	25.5	25.5930	25.7760	
Jb N1-N2	Qc1	Qc2	Qc3	Qc4
Taille de la batterie (p.u)	0.0025	0.005	0.0075	0.0025
	0.0025	0.0025	0.0025	0.0075
Δp	1.368	1.334	1.301	1.295
Vmin (p.u)	0.8524	0.8548	0.8572	0.8585
Vmin (kV)	25.5720	25.6440	25.7160	25.7550

Tableau IV.20 : Résultats d'analyse (Départ Ourelal 30 kV pour des différentes batteries de condensateurs).

IV.7.3. Compensation de l'énergie réactive en coordination avec le réglage de tension aux postes sources :

Cette technique consiste à installer des batteries de condensateurs aux jeux de barres sensibles en coordination avec le réglage de tension au niveau des postes source afin d'améliorer les tensions aux jeux de barres les plus critiques et éviter les surtensions au niveau des postes 30/0.4 kV proches du poste source.

Numéro de jeu de barre	Tension (p.u)	Tension (kV)	Angle (Degree)
1	1.05	31.5	0
2	1.0497	31.4902	-0.0001
3	1.0378	31.1348	-0.0039
4	0.9882	29.6463	-0.0205
5	0.9628	28.8825	-0.0298
6	0.9586	28.7593	-0.0314
7	0.9584	28.7508	-0.0315
8	0.9578	28.734	-0.0317
9	0.9553	28.6583	-0.0327
10	0.9549	28.6483	-0.0328
11	0.9493	28.4799	-0.0351
12	0.9437	28.3102	-0.0375
13	0.943	28.2897	-0.0378
14	0.9422	28.2674	-0.0381
15	0.942	28.2587	-0.0382
16	0.9417	28.25	-0.0383
17	0.9397	28.1898	-0.0386
18	0.9364	28.0934	-0.0392
19	0.9361	28.0815	-0.0393
20	0.9359	28.0766	-0.0393
21	0.9352	28.0571	-0.0395
22	0.9351	28.0516	-0.0395
23	0.9342	28.0272	-0.0396
24	0.9302	27.9071	-0.0401
25	0.9293	27.8779	-0.0402
26	0.9288	27.8641	-0.0403
27	0.9283	27.8483	-0.0405
28	0.9278	27.8335	-0.0407
29	0.927	27.8111	-0.041

30	0.9263	27.7887	-0.0414
31	0.9262	27.7847	-0.0415
32	0.9261	27.7819	-0.0415
33	0.926	27.7792	-0.0416
34	0.926	27.7787	-0.0416
35	0.9258	27.7754	-0.0417
36	0.9258	27.7747	-0.0417
37	0.9258	27.7736	-0.0418
38	0.9254	27.7617	-0.0422
39	0.9253	27.7594	-0.0426
40	0.9253	27.7581	-0.0429
41	0.925	27.7495	-0.0429
42	0.9249	27.7457	-0.0428
43	0.9249	27.7457	-0.0428
44	1.0378	31.1347	-0.0039
45	1.0378	31.1347	-0.0039
46	0.9882	29.6462	-0.0205
47	0.9882	29.6455	-0.0205
48	0.9882	29.6452	-0.0205
49	0.9881	29.6436	-0.0205
50	0.9881	29.6434	-0.0205
51	0.9627	28.8819	-0.0298
52	0.9586	28.7593	-0.0314
53	0.9584	28.7508	-0.0315
54	0.9578	28.7339	-0.0317
55	0.9578	28.7339	-0.0317
56	0.9578	28.7336	-0.0317
57	0.9578	28.7336	-0.0317
58	0.9538	28.6152	-0.0323
59	0.9533	28.6004	-0.0322
60	0.9538	28.6151	-0.0323
61	0.9527	28.5799	-0.0321
62	0.9533	28.6002	-0.0322
63	0.9525	28.5751	-0.0321
64	0.9511	28.5318	-0.0317
65	0.9525	28.5744	-0.032
66	0.9525	28.5751	-0.0321
67	0.9507	28.5206	-0.0317
68	0.951	28.5306	-0.0317

69	0.9505	28.5164	-0.0316
70	0.9507	28.5206	-0.0317
71	0.9495	28.4845	-0.0314
72	0.9505	28.5162	-0.0316
73	0.9489	28.4663	-0.0313
74	0.9495	28.4844	-0.0314
75	0.9472	28.4161	-0.0309
76	0.9467	28.4019	-0.0308
77	0.9472	28.4161	-0.0309
78	0.9465	28.3938	-0.0307
79	0.9466	28.3992	-0.0308
80	0.9466	28.3978	-0.0308
81	0.9465	28.3935	-0.0307
82	0.9464	28.3929	-0.0308
83	0.9465	28.3935	-0.0307
84	0.9463	28.39	-0.0308
85	0.9463	28.3886	-0.0308
86	0.9463	28.3894	-0.0308
87	0.9463	28.3894	-0.0308
88	0.9463	28.3894	-0.0308
89	0.9463	28.3894	-0.0308
90	0.9463	28.3894	-0.0308
91	0.9461	28.3816	-0.0307
92	0.9463	28.3886	-0.0308
93	0.946	28.3805	-0.0307
94	0.9461	28.3816	-0.0307
95	0.946	28.3802	-0.0307
96	0.946	28.3787	-0.0307
97	0.9487	28.4624	-0.0312
98	0.9487	28.4608	-0.0312
99	0.9487	28.4623	-0.0312
100	0.9486	28.4594	-0.0312
101	0.9487	28.4607	-0.0312
102	0.9486	28.4565	-0.0313
103	0.9485	28.4539	-0.0313
104	0.9484	28.4535	-0.0313
105	0.9484	28.4534	-0.0313
106	0.9484	28.4534	-0.0313
107	0.9484	28.4532	-0.0313

108	0.9549	28.6483	-0.0328
109	0.9437	28.3101	-0.0375
110	0.943	28.2893	-0.0378
111	0.943	28.2893	-0.0378
112	0.943	28.2891	-0.0378
113	0.943	28.2892	-0.0378
114	0.9422	28.2665	-0.0381
115	0.9422	28.2663	-0.0381
116	0.9422	28.2663	-0.0381
117	0.9412	28.2359	-0.0384
118	0.9412	28.2358	-0.0384
119	0.9402	28.2061	-0.0381
120	0.9401	28.2031	-0.0381
121	0.9401	28.2019	-0.0381
122	0.9401	28.2015	-0.0381
123	0.9396	28.189	-0.038
124	0.939	28.1714	-0.0379
125	0.939	28.169	-0.0379
126	0.939	28.1713	-0.0379
127	0.9389	28.1661	-0.0378
128	0.939	28.1689	-0.0379
129	0.9388	28.1641	-0.0378
130	0.9389	28.1661	-0.0378
131	0.9388	28.1647	-0.0378
132	0.9388	28.1641	-0.0378
133	0.9388	28.1632	-0.0378
134	0.9392	28.1755	-0.0379
135	0.9392	28.1754	-0.0379
136	0.9387	28.1605	-0.0378
137	0.9387	28.1605	-0.0378
138	0.9383	28.1486	-0.0377
139	0.9383	28.1479	-0.0377
140	0.938	28.1391	-0.0377
141	0.938	28.1391	-0.0377
142	0.9378	28.1338	-0.0377
143	0.9378	28.1338	-0.0377
144	0.9377	28.1315	-0.0377
145	0.9377	28.1313	-0.0377
146	0.9375	28.1252	-0.0378

147	0.9371	28.1143	-0.0377
148	0.9371	28.1141	-0.0377
149	0.9371	28.1135	-0.0377
150	0.9371	28.1132	-0.0377
151	0.9375	28.1252	-0.0378
152	0.9371	28.1126	-0.0377
153	0.9371	28.1124	-0.0377
154	0.9371	28.1123	-0.0377
155	0.9371	28.1123	-0.0377
156	0.9371	28.1119	-0.0377
157	0.937	28.1109	-0.0377
158	0.937	28.1103	-0.0377
159	0.937	28.1108	-0.0377
160	0.937	28.1108	-0.0377
161	0.937	28.1108	-0.0377
162	0.9371	28.1116	-0.0377
163	0.937	28.1114	-0.0377
164	0.9417	28.25	-0.0383
165	0.9397	28.1897	-0.0386
166	0.9364	28.0913	-0.0392
167	0.9359	28.0772	-0.0391
168	0.9358	28.0735	-0.0391
169	0.9359	28.0772	-0.0391
170	0.9356	28.0671	-0.039
171	0.9358	28.0734	-0.0391
172	0.9356	28.067	-0.039
173	0.9354	28.0614	-0.0391
174	0.9353	28.0579	-0.0391
175	0.9349	28.0468	-0.0393
176	0.9347	28.0404	-0.0394
177	0.9345	28.0343	-0.0394
178	0.9344	28.0329	-0.0394
179	0.9361	28.0823	-0.0393
180	0.9358	28.0733	-0.0394
181	0.9357	28.07	-0.0395
182	0.9352	28.0553	-0.0396
183	0.935	28.0493	-0.0397
184	0.9343	28.0288	-0.04
185	0.9341	28.0241	-0.04

186	0.934	28.0207	-0.0401
187	0.9336	28.0067	-0.0402
188	0.9292	27.8755	-0.0419
189	0.9289	27.8656	-0.042
190	0.9286	27.8586	-0.0421
191	0.9284	27.8524	-0.0422
192	0.9283	27.8488	-0.0422
193	0.9281	27.8431	-0.0423
194	0.9279	27.8382	-0.0423
195	0.9278	27.8353	-0.0424
196	0.9278	27.8326	-0.0424
197	0.9276	27.8294	-0.0424
198	0.9274	27.823	-0.0425
199	0.9274	27.8211	-0.0425
200	0.9273	27.8192	-0.0426
201	0.9273	27.819	-0.0426
202	0.9273	27.8186	-0.0426
203	0.9273	27.8189	-0.0426
204	0.9272	27.8161	-0.0426
205	0.9272	27.816	-0.0426
206	0.936	28.0815	-0.0393
207	0.936	28.0814	-0.0393
208	0.936	28.0814	-0.0393
209	0.936	28.0813	-0.0393
210	0.936	28.0814	-0.0393
211	0.9359	28.0762	-0.0393
212	0.9358	28.0753	-0.0393
213	0.9359	28.0762	-0.0393
214	0.9358	28.0749	-0.0393
215	0.9358	28.0746	-0.0393
216	0.9352	28.0569	-0.0395
217	0.9352	28.0569	-0.0395
218	0.9352	28.0571	-0.0395
219	0.935	28.0507	-0.0395
220	0.935	28.05	-0.0395
221	0.935	28.0504	-0.0395
222	0.935	28.0497	-0.0395
223	0.935	28.05	-0.0395
224	0.9342	28.0264	-0.0396

225	0.9342	28.0245	-0.0396
226	0.934	28.0211	-0.0396
227	0.9339	28.0184	-0.0397
228	0.9339	28.0172	-0.0397
229	0.9302	27.9066	-0.04
230	0.9302	27.9066	-0.04
231	0.9302	27.9063	-0.04
232	0.9293	27.8776	-0.0402
233	0.928	27.841	-0.0401
234	0.928	27.841	-0.0401
235	0.928	27.8395	-0.0401
236	0.928	27.8387	-0.0401
237	0.9277	27.831	-0.0402
238	0.9276	27.8289	-0.0402
239	0.9276	27.8275	-0.0402
240	0.9275	27.8257	-0.0402
241	0.9275	27.8243	-0.0403
242	0.9283	27.8482	-0.0405
243	0.9288	27.8641	-0.0403
244	0.9283	27.8481	-0.0405
245	0.9263	27.7887	-0.0414
246	0.9263	27.7885	-0.0414
247	0.9263	27.7887	-0.0414
248	0.9262	27.7845	-0.0414
249	0.9261	27.7818	-0.0415
250	0.9261	27.7818	-0.0415
251	0.9258	27.7752	-0.0417
252	0.9259	27.778	-0.0416
253	0.9259	27.7777	-0.0416
254	0.9254	27.7609	-0.0422
255	0.9253	27.7577	-0.0423
256	0.9251	27.7541	-0.0423
257	0.925	27.7509	-0.0423
258	0.925	27.7491	-0.0424
259	0.9253	27.7594	-0.0426
260	0.9253	27.7576	-0.0429
261	0.9252	27.7549	-0.0429
262	0.9253	27.7575	-0.0429
263	0.9252	27.7548	-0.0429

264	0.9252	27.7545	-0.0429
265	0.9252	27.7565	-0.0429
266	0.9252	27.7562	-0.0429
267	0.925	27.7494	-0.0429
268	0.925	27.7494	-0.0429
269	0.925	27.7494	-0.0429
270	0.9248	27.7437	-0.0428
271	0.9247	27.7405	-0.0428
272	0.9247	27.7421	-0.0428
273	0.9247	27.74	-0.0428
274	0.9247	27.7404	-0.0428
275	0.9245	27.7362	-0.0428
276	0.9247	27.7399	-0.0428
277	0.9417	28.2498	-0.0383

Tableau IV.21 : Module et l'angle de la tension (Départ de Ourelal 31.5 kV QC1=0.75 MVAR, QC2=1 MVAR).

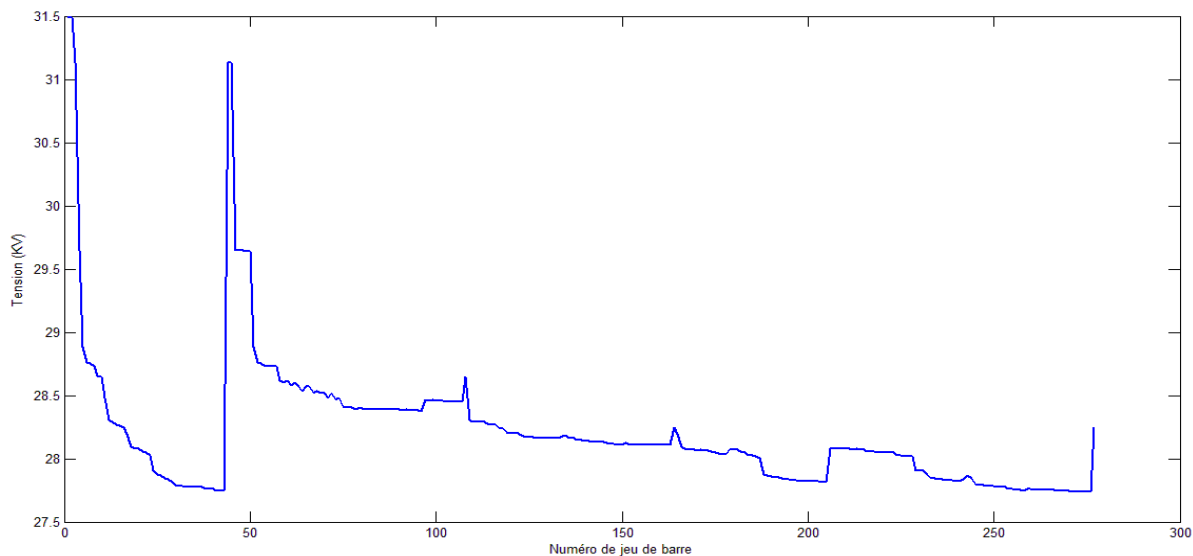


Figure IV.17 : Distribution des tensions aux jeux de barres (Départ Ourelal 31.5 kV QC1=0.75 MVAR, QC2=1 MVAR).

Tension (kV)	31.5 kV
PG (MW)	11.567
QG (MVAR)	7.593
Pd (MW)	10.244
Qd (MVAR)	6.348
ΔP_{tot} (MW)	1.061
ΔQ_{tot} (MVAR)	0.999
Vmin (kV)	27.735

Tableau IV.22 : Résultats d'analyse (Départ de Ourelal 31.5 kV QC1=0.75 MVAR, QC2=1 MVAR).

- **Interprétation :**

D'après les résultats obtenus on remarque que la tension (31.5 KV) appliquée au niveau de la cabine mobile permet d'améliorer le profile de tension aux jeux de barres proches du poste source et l'installation des batteries de condensateurs au niveau des jeux barre qui alimentent des charges importantes (JB 18 ($Q_c=0.75$ MVAR) et JB 40 ($Q_c=1$ MVAR)) permettent d'améliorer le profile de tension dans cette partie du réseau de Ourelal. D'autre part, on remarque que la combinaison entre ces deux techniques entraine une diminution considérable au niveau des pertes active et réactive.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Dans le contexte de l'exploitation des réseaux électriques de distribution, nous avons orienté nos travaux vers l'analyse de l'état du réseau de distribution de la région d'Ourelal et l'amélioration de qualité d'énergie délivré en termes de profile de tension et pertes totales.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les différentes topologies et architectures des réseaux électriques, les type des défauts et les appareils de protection utilisés dans les réseaux électriques, la structure et les caractéristiques des réseaux de distributions modernes. Nous avons mis l'accent plus particulièrement sur le réseau électrique à tension moyenne et ses différentes architectures et modes d'alimentation des postes qui lui sont associés.

La présentation de l'importance de la région de Tolga dans le domaine agricole, les différents problèmes rencontrés par les clients de Sonelgaz et les différentes techniques de gestion du réseau électrique tels que les prises de réglage, la compensation de l'énergie réactive et le système SCADA ont fait l'objet du deuxième chapitre.

Dans le troisième chapitre, on a abordé les différentes méthodes mathématiques itératives permettant de résoudre les problèmes de l'écoulement de puissance à savoir la méthode de Newton-Raphson et la méthode de Gauss-Seidel.

Le quatrième chapitre a été consacré à l'analyse et l'amélioration des performances du réseau de distribution de la région de Ourelal. Nous avons procédé à l'élaboration d'une base de données flexible et adaptable sous l'environnement Matlab afin de déterminer l'état en régime normal du réseau de Ourelal en utilisant la méthode itérative de Newton-Raphson.

Après avoir analysé l'état du réseau, trois solutions ont été proposées et testé. La première est le réglage de tension au niveau de la cabine mobile 220/30 KV. La deuxième est d'installer des batteries de condensateurs aux points faible du réseau et finalement la troisième solution envisagée est la compensation de l'énergie réactive en coordination avec le réglage de tension au niveau du poste source.

Cependant, notre étude reste modeste et d'autres recherches doivent être explorées concernant la problématique étudiée. Il ressort donc de ce travail de nouvelles perspectives. La première priorité est de prendre en considération les point de bouclage avec les autres départs afin d'assurer une exploitation efficace pendant les heures de pointes et en cas de défauts. La deuxième est de déterminer la taille et l'emplacement optimal des batteries de condensateurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

- [1] Ketfi Nadhir « Contribution A La Gestion Des Réseaux De Distribution En Présence De Génération D'énergie Dispersée », (Thèse De Doctorat En Sciences) Université De Batna, Décembre 2014.
- [2] Farid Hamoudi, « Réseaux De Transport Et De Distribution Electrique », Université De Bejaïa.
- [3] P. Christopher Et J. Robert, Guide De Conception Des Réseaux Electriques Industriels, 1997.
- [4] Brikh Zinou Et Habbouche Lounis « Pour Une Meilleure Intégration Des Energies Renouvelables Aux Réseaux Electriques », (Mémoire De Master), Université De A. Mira-Bejaia, Juillet 2018.
- [5] Laib Farah Et Amraoui Fatah « Elaboration D'outils De Planification En Vue De L'optimisation Des Investissements Dans Les Réseaux Electriques En Algérie », (Mémoire De Master), Université De A. Mira-Bejaia, 2016/2017
- [6] Bouchahdane Mohamed, Coordination De Systèmes De Protection Appliquée Au Réseau National, (Doctorat En Sciences En Electrotechnique), Université Constantine 1, Année 2013
- [7] Pertti Järventausta, Sami Repo, Antti Rautiainen, Jarmo Partanen, « Smart Grid Power System Control in Distributed Generation Environment », Tampere University Of Technology.
- [8] Alkama Kouceila Et Bellal Koceila, Etude D'un Système D'exploitation De Traitement D'eau Avec Sauvegarde De Donnees, *Universite Abderrahmane Mira Bejaia*, 2016-2017
- [9] Abb, Document D'installations Photovoltaïque N°10.
- [10] Dris Mida, Contribution A La Modélisation D'un Système De Production D'énergie Electrique Hybride « Eolien – Photovoltaïque », Doctorat En Electrotechnique, Université De Biskra, Année 2019.
- [11] La Pile A Combustible, *DECOUVERTEN* ° 3 4 4 - 3 4 80 5 J A N V I E R - F E V R I E R 2 0 0 7
- [12] Abb, Micro Turbines : Un Nouvel Elan Pour La Production Décentralisée De Chaleur Et D'électricité
-

- [13] Electronic Tap Changer For Distribution Transformers, Jawad Faiz, Behzad Siahkolah?
Springer
- [14] Martin J. Heathcote, *J&P Transformer Book*, Oxford, Elsevier, 2007
- [15] On Load Tap Changer For Power Transformations Author Dr. Dieter Dohnal, Mr
Knowledge Base
- [16] Changeurs De Prise, Guide Technique Abb 1zse 5492-105 Fr, Rev. 5, 2000-11-15
- [17] Transmission And Distribution De U.A. Bakshi, M.V. Bakshi,2009, Technical Publications
Pune.
- [18] [Http://Www.Dknews-Dz.Com/Article/7039-Biskra-Le-Systeme-Scada-De-Surveillance-Du-Reseau-Electrique-Mis-En-Service-Par-La-Sonelgaz.Html](http://Www.Dknews-Dz.Com/Article/7039-Biskra-Le-Systeme-Scada-De-Surveillance-Du-Reseau-Electrique-Mis-En-Service-Par-La-Sonelgaz.Html)
- [19] Saadi Ferhat Et Tenboukti Hanafi « Calcul De L'écoulement De Puissance Dans Un Réseau De Distribution Radial Avec Insertion D'un Générateur Eolien », (Mémoire De Master),
Université De A. Mira De Bejaia,2015/2016.
- [20] Merini Kamel, « Contribution A L'amélioration Des Méthodes Evolutionnaires Pour La Répartition Optimale Des Puissances : Application Dans Un Réseau D'énergie Electrique Avec Et Sans Facts », (Mémoire De Doctorat), Université Djillali Liabes De Sidi-Bel-Abbes,
Novembre 2017.
- [21] Bencheikh Abdelhak Et Derouiche Abdelghani « Etude De L'écoulement De Puissance Sur Un Réseau Electrique En Présence Des Systèmes Facts », (Mémoire De Master), Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015/2016.
- [22] Telli Belaid Et Agab Kouider, « Calcul Optimal De La Répartition Des Puissances Actives Dans Un Réseau Electrique », (Mémoire De Master), Université Dr. Tahar Moulay De Saïda,
2015-2016.
- [23] Bahi Ahmed Tedjani Et Guezzoun Abdel Madjid, « Application Des Algorithmes Genetiques Au Dispatching Economique Des Réseaux Electriques », (Mémoire De Master),
Universite Echahid Hamma Lakhdar D'el Oued, 2015/2016.
- [24] Hacene Widad, Planification De L'exploitation Des Réseaux De Distribution (30 Kv) Dedie A L'alimentation Des Zones Agricoles De M'lili, (Mémoire De Master), Juillet 2019.
-

[25] Philippe Carrive, « Réseaux De Distribution, Structure De Planification », Technique De L'ingénieur Traite Génie Electrique, D 4210 ,2006.25(Chapitre 4).

[26] Document De Sonelgaz.

Résumé :

Le réseau de distribution de la région agricole de Tolga a connu ces dernières années une extension considérable due à l'augmentation de la demande énergétique. En effet plusieurs postes électriques MT/BT (30/0.4 kV) ont été mis en service, de dizaine de kilomètres de lignes ont été installées pour améliorer les performances du réseau en termes de qualité d'énergie et une meilleure continuité de service. Ce projet de fin d'étude a pour objectif principal l'analyse et l'exploitation du réseau de distribution de la région de Ourelal (30/0.4 KV) en termes de réduction des pertes de puissance et l'amélioration de profil de tension. Une base de données technique flexible sous l'environnement Matlab a été conçue en se basant sur la topologie du réseau de distribution actuel et les consignes d'exploitation récentes fournies par la Sonelgaz.

La détermination de l'état du réseau en termes de chute de tension et pertes de puissance a été achevée par utilisation de l'algorithme de NEWTON-RAPHSON. D'une part, afin d'améliorer la qualité d'énergie fournie aux clients en particulier pendant les périodes critiques, et d'autre part réduire le coût d'exploitation due aux pertes de puissances actives, deux modes de réglages ont été proposés à savoir la technique de réglage de tension au niveau du poste source et la compensation d'énergie réactive par l'utilisation des batteries de condensateurs.

Mots clés : Réseau de distribution, gestion des réseaux électriques, base de données, méthode de Newton-Raphson, zones agricole, amélioration de qualité d'énergie, réglage de tension.

Abstract:

The distribution grid of the agricultural region of Tolga has grown considerably in recent years due to the increase in energy demand. In fact, several MV / LV electrical stations (30 / 0.4 kV) have been put into service, tens of kilometers of lines have been installed to improve network performance in terms of energy quality and assure service continuity. The main objective of this end-of-study project is to analyze and exploit the distribution grid of Ourelal's region (30 / 0.4 KV) in terms of reducing power losses and improving the voltage profile. based on the topology of the current distribution grid and the recent operating instructions provided by Sonelgaz a flexible database has been designed to function under MATLAB environment.

Using the NEWTON-RAPHSON algorithm the network status was determined in terms of voltage drop and power losses. On the other side, in order to improve the quality of energy

provided to customers, in particular during critical periods, and on the other hand to reduce the operating cost due to losses of active power, two adjustment modes have been proposed: the technique of voltage regulation at the source station and the reactive energy compensation using capacitor banks.

Key words: distribution grid, electric grid management, data base, NEWTON-RAPHSON method, agricultural areas, energy quality improvement, voltage regulation.

ملخص:

شهدت شبكة التوزيع الكهربائية بالمنطقة الفلاحية لطولقة في السنوات الأخيرة توسع كبير وهذا راجع الى تزايد طلب الطاقة، في الواقع العديد من محطات الكهرباء الفرعية متوسطة التوتر / منخفضة التوتر (0.4/30 كيلوفولت) وضعت تحت الخدمة وعشرات الكيلومترات من الخطوط الكهربائية أضيفت من أجل زيادة أداء الشبكة من ناحية جودة الطاقة واستمرارية الخدمة. تقدم هذه الأطروحة من أجل هدف أساسي والذي يتمثل في دراسة واستغلال شبكة التوزيع الخاصة بمنطقة أورلال (0.4/30 كيلوفولت) من أجل التقليل من خسائر الاستطاعة وزيادة قيمة التوتر. بناء على طوبولوجية شبكة التوزيع الحالية والمعلومات الحديثة الخاصة باستغلال الشبكة الكهربائية الممنوحة من طرف شركة توزيع الكهرباء والغاز "سونغاز" تم انشاء قاعدة بيانات تقنية مرنة مصممة للعمل تحت بيئة برنامج MATLAB.

باستخدام خوارزمية "NEWTON-RAPHSON" تم تحديد حالة الشبكة الكهربائية من حيث انخفاض التوتر وضيعات الاستطاعة. من جهة أخرى، ومن أجل زيادة جودة الطاقة الموزعة للزبائن على وجه الخصوص خلال فترات الذروة ومن ناحية أخرى تقليص ثمن ضيعات الاستطاعة الفعالة إقترحت طريقتين للتعديل الأولى تقنية تعديل التوتر على مستوى محطة الرئيسية والثانية تعويض الطاقة الغير الفعالة باستعمال بطاريات التكتيف.

كلمات مفتاحية: شبكة توزيع, تسيير شبكات الكهربائية, قاعدة بيانات, طريقة نيوتن رافسن, مناطق الفلاحية, تحسين

نوعية الطاقة, ضبط التوتر.