

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



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Energies Renouvelables

Spécialité : Energies Renouvelables en Electrotechnique

Par

DEBBOUZ Brahim

DADDIOUAMER Ilyes

Thème

Aller aux réseaux intelligents

Soutenu publiquement le : 17/06/2021

Devant le jury :

MEDOUKALI Hemza	MCB	Univ. Ghardaïa	Président
SEBA Hadj Yhia	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur
MOSBAH Mustapha	Docteur	Univ. Laghouat	Encadreur
BAHRI Ahmed	Maitre-Assistant A	Univ. Ghardaïa	Co-encadreur

Année universitaire 2020/2021

Résumé

Le réseau de distribution représente la dernière phase pour alimenter les consommateurs finaux. La configuration du réseau de distribution est généralement bouclée, mais exploitée en boucle ouverte. Cette configuration est déterminée par l'ouverture et la fermeture des interrupteurs afin de minimiser les pertes totales de puissance en tenant compte des contraintes techniques et topologiques du réseau de distribution. Dans ce mémoire, une méthode d'optimisation basée sur les algorithmes génétiques (AG) et la théorie des graphes est présentée pour concevoir une configuration optimale. La méthode AG a été appliquée sur des réseaux de distribution standard IEEE (33 bus, 69 bus) et un réseau de distribution algérien (114 nœuds) sous l'environnement MATLAB.

Mots clés : Réseau de distribution, réseau intelligent, reconfiguration, pertes, algorithme génétique.

ملخص

تمثل شبكة التوزيع المرحلة الأخيرة لتزويد المستهلكين النهائيين، تكوين شبكة التوزيع مغلق بشكل عام، ولكن يتم تشغيلها على شكل حلقة مفتوحة، يتم تحديد هذا التكوين من خلال فتح وإغلاق القواطع من أجل تقليل إجمالي فقد الطاقة مع مراعاة القيود الفنية والطوبولوجية لشبكة التوزيع. في هذه الأطروحة، يتم تقديم طريقة تحسين تعتمد على الخوارزميات الجينية (GA) ونظرية الرسم البياني لتصميم التكوين الأمثل. تم تطبيق طريقة AG على شبكات توزيع IEEE القياسية (33 عقدة و 69 عقدة) وشبكة توزيع الجزائرية (114 عقدة) في بيئة ماتلاب.

الكلمات المفتاحية: شبكة التوزيع، الشبكة الذكية، إعادة التشكيل، الخسائر، الخوارزمية الجينية.

Abstract

The distribution network represents the last phase to supply end consumers. The configuration of the distribution network is generally closed, but operated in an open loop. This configuration is determined by the opening and closing of the switches in order to minimize the total power losses taking into account the technical and topological constraints of the distribution network. In this thesis, an optimization method based on genetic algorithms (GA) and graph theory is presented to design an optimal configuration. The AG method has been applied on IEEE standard distribution networks (33 buses, 69 buses) and an Algerian distribution network (114 nodes) under the MATLAB environment.

Keywords: Distribution network, smart grid, reconfiguration, losses, genetic algorithm.

DÉDICACES

Je dédie ce travail :

- *A la mémoire de ma grande mère,*
- *A mes chers parents, qui n'ont jamais cessé de prier pour moi, que dieu les protège,*
- *A ma chère femme,*
- *A mes enfants adorables « Aridj-Aicha », « Mouncif » et « Ichrak »,*
- *A mes chers frères et sœurs,*
- *A toute ma grande famille,*
- *A tous mes amis.*

Ilyes DADDIOUAMER

DÉDICACES

Je dédie ce travail :

- A mes chers parents, qui n'ont jamais cessé de prier pour moi, que dieu les protège,
- A ma femme,
- A mes enfants adorables
- A mes chers frères et sœurs,
- A toute la famille, DABOUZ et FOUTIA
- A la secrétaire du département technique NAFTAL district com. Ghardaïa
- A tous mes amis.

Brahim DABOUZ

REMERCIEMENTS

Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout ce dont j'avais besoin pour réaliser le travail imposé et rédiger ce mémoire.

Au terme de ce projet, je tiens à exprimer ma gratitude à Monsieur Le Docteur MOSBAH Mustafa, notre directeur de mémoire, pour ses conseils précieux, le support qu'il nous'a fourni, son encadrement et sa disponibilité durant toute la période de réalisation de ce projet. Ainsi que notre Co-encadreur Mr BAHRI Ahmed Maître-assistant à l'université de Ghardaïa pour leurs soutiens durant la préparation de ce mémoire.

Nos remerciements vont également aux membres du jury Mr MEDOUKALI Hemza et Mr SEBA Hadj Yahia ; pour l'honneur qu'ils nous ont fait en participant à l'évaluation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous les membres d'équipe de notre spécialité Énergie Renouvelable et à tous les enseignants et le personnel du département sciences et technique.

Sommaire

Sommaire	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Symboles	vii
Acronymes et abréviations	viii
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les réseaux électrique

I.1 Introduction	5
I.2 Notions de réseaux et postes moyenne et haute tension	5
I.3 Structure des réseaux	7
I.4 Différents types de postes.....	10
I.5 Gestion du réseau et mode de fonctionnement des postes.....	11
I.6 Fonctionnalités des postes rencontrées sur les réseaux MT et BT	11
I.6.1 Postes sources	11
I.6.1.1 Fonctionnalités d'un poste source	11
I.6.1.2 Schémas de la partie MT.....	13
I.6.1.3 Composants du tableau MT	13
I.6.2 Postes MT de structure.....	16
I.6.2.1 Définitions.....	16
I.6.2.2 Structure rurale aérienne.....	16
I.6.2.3 Postes d'étoilement MT/MT.....	17
I.6.3 Postes MT / BT.....	18
I.6.3.1 Définition.....	18
I.6.3.2 Différents modes d'alimentation.....	18
I.6.3.3 Postes pour réseaux aériens.....	19
I.6.3.4 Postes pour réseaux souterrains.....	20
I.7 Conclusion.....	21

Chapitre II : Réseaux de distribution intelligents

II.1 Introduction	23
II.2 Vers aux réseaux de distribution intelligents	23
II.3 Automatisation des réseaux de distribution	24
II.4 Réseaux intelligent.....	25
II.4.1 Définition.....	25
II.4.2 L'objectif des réseaux intelligents.....	26
II.4.3 Les nouvelles technologies	27
II.4.4 Les fonctions des réseaux intelligents	30

II.5 Avantages et inconvénients des réseaux intelligents	31
II.5.1 Avantages des réseaux intelligents	31
II.5.2 Les inconvénients des réseaux intelligents.....	33
II.6 Contraintes de développement des réseaux intelligents.....	34
II.7 Système SCADA.....	35
II.7.1 Définition.....	35
II.7.2 Applications SCADA.....	36
II.8 Développement des réseaux de distribution cas de l'Algérie.....	37
II.8.1 Fonctionnement actuel du réseau.....	37
II.9 Conclusion.....	39

Chapitre III : Automatisation de la reconfiguration des réseaux de distribution

III.1 Introduction.....	41
III.2 Réseau de distribution.....	41
III.2.1 Caractéristiques des réseaux de distribution radiaux	42
III.2.2 Chute de tension.....	42
III.2.3 Réduction des pertes du réseau de distribution.....	43
III.3 Optimisation du réseau de distribution	44
III.4 Modélisation du système d'alimentation à l'aide de la théorie des graphes	47
III.4.1 Méthodologie de la solution.....	49
III.4.2 Méthode Newton-Raphson (NR)	50
III.5 Etat de l'art sur la reconfiguration du réseau	53
III.5.1 Contexte théorique.....	53
III.5.2 Revue littérature.....	53
III.5.2.1 Méthodes basées sur des techniques évolutives.....	53
III.5.2.1.1 Algorithme génétique (AG)	54
III.5.2.1.2 Recuit simulé	55
III.5.2.1.3 Réseau de neurones artificiels.....	55
III.5.2.1.4 Optimisation des colonies de fourmis.....	56
III.5.2.1.5 Optimisation de l'essaim des particules.....	56
III.5.2.2 Méthodes basées sur les connaissances.....	57
III.5.2.2.1 Méthodes d'optimisation heuristique.....	57
III.5.2.2.2 Techniques de programmation linéaire.....	59
III.5.2.2.3 Méthode de logique floue.....	60
III.5.2.2.4 Méthode de recherche Tabou.....	60
III.5.2.3 Méthodes mixtes.....	61
III.5.3 Résumé des revues de la littérature.....	61
III.6 Formulation du problème.....	62
III.6.1 Fonction objective.....	63

III.6.2 Contraintes.....	64
III.6.2.1 Limites de tension des nœuds.....	64
III.6.2.2 Limites de capacité d'alimentation.....	65
III.6.2.3 Isolement des nœuds.....	65
III.6.2.4 Configuration radiale.....	65
III.6.2.5 Équations de l'écoulement de puissance.....	65
III.6.3 Formulation du problème de reconfiguration.....	66
III.7 Algorithme génétique.....	66
III.7.1 Optimisation par des algorithmes génétiques.....	67
III.7.2 Comment fonctionnent les algorithmes génétiques.....	67
III.7.3 Opérateurs d'algorithmes génétiques.....	68
III.8 Conclusion.....	72
Chapitre IV : Simulation et interpretation des résultats	
IV.1 Introduction.....	74
IV.2 Outil informatique.....	74
IV.3 Description des réseaux etudies.....	74
IV.3.1 Réseaux IEEE 33 nœuds.....	74
IV.3.2 Réseaux IEEE 69 nœuds.....	75
IV.3.3 Réseau Algérien de distribution 114 nœuds.....	76
IV.4 Application de la methode AG sur la reconfiguration.....	77
IV.4.1 Processus de reconfiguration.....	77
IV.4.2 Variables d'entré et de sorties.....	78
IV.4.3 Cadre d'étude.....	79
IV.5 Résultats des simulations et interpretations.....	80
IV.5.1 Résultats du réseau IEEE 33 nœuds.....	80
IV.5.2 Résultats du réseau IEEE 69 nœuds.....	81
IV.5.3 Résultats du réseau Algérien de distribution 114 nœuds.....	83
IV.6 Conclusion.....	84
Conclusion générale.....	85
Bibliographie.....	86

Liste des figures

Figure I-1 : Positionnement des différents postes rencontrés sur les réseaux de distribution publique et privé.....	8
Figure I-2 : Topologie des réseaux.....	9
Figure I-3 : Schéma général d'un poste source HT/MT	12
Figure I-4 : Poste 220/30 kV desservant les grandes agglomérations.....	14
Figure I-5 : Schéma de cellules arrivée et départ MT.....	15
Figure I-6 : Postes MT de structure.....	16
Figure I-7 : Structure rurale aérienne.....	17
Figure I-8 : Poste d'étoilement.....	17
Figure I-9 : Types d'alimentation MT.....	19
Figure I-10 : Ⓐ Transformateurs monté sur poteau Ⓑ Transformateur en armoire...	20
Figure I-11 : Postes MT/BT en souterrain. Transformateur en cabine.....	20
Figure II.1 : Smart grid : Entre clients et différents types de sources.....	32
Figure III.1 : Schéma unifilaire du réseau de distribution radial.....	42
Figure III.2 : Représentation schématique unifilaire d'un segment d'une ligne électrique.....	43
Figure III.3 : Schéma principe d'un système de distribution pour la reconfiguration	45
Figure III.4 : Organigramme de la reconfiguration du réseau de distribution.....	46
Figure III.5 : Une partie d'un réseau électrique.....	47
Figure III.6: Schéma de représentation d'un graph.....	47
Figure III.7 : Schéma linéaire simple réseau de distribution radiale.....	48
Figure III.8 : Une représentation graphique d'O/F d'une ligne	48
Figure III.9 : Processus d'optimisation.....	67
Figure III.10 : Organigramme de la technique d'optimisation des algorithmes Génétiques.....	68
Figure III.11 : Population, chromosomes et gènes.....	69
Figure III.12 : Croisement à point unique.....	71
Figure III.13 : Croisement multipoint.....	71
Figure III.14 : Mutation Avant et Après.....	72
Figure IV.1 : Schéma unifilaire du réseau IEEE 33 nœuds.....	75

Figure IV.2 : Schéma unifilaire du réseau IEEE 69 nœuds	76
Figure IV.3 : Schéma unifilaire du réseau Algérien 114 nœuds	77
Figure IV.4 : Structure du chromosome considérée dans le problème de reconfiguration.....	78
Figure IV.5 : Profil de tension avant et après la reconfiguration du réseau 33 nœuds	80
Figure IV.6 : Courbe de convergence des AG du réseau 33 nœuds.....	81
Figure IV.7 : Profile de tension avant et après la reconfiguration du réseau 69 nœuds.....	81
Figure IV.8 : Courbe de convergence des AG du réseau 69 nœuds.....	82
Figure IV.9 : Profile de tension avant et après la reconfiguration du réseau 114 nœuds.....	83
Figure IV.10 : Courbe de convergence des AG du réseau Algerien114 nœuds.....	84

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Méthodologie de la solution d'analyse de l'écoulement de puissance.....	49
Tableau III.2 : Comparaison des méthodes appliquées sur la reconfiguration du réseau..	62
Tableau IV.1 : Comparaison des résultats avec travaux de littérature.....	82

Symboles

P_G	Puissance active injectée par le générateur slack-bus
P_D	Puissance active absorbée par la charge
P_L	Perte active de la ligne
Q_G	Puissance réactive injectée ou absorbée par les générateurs conventionnels
Q_D	Puissance réactive absorbée par la charge
Q_L	Perte réactive de la ligne
N_L	Nombre total des charges
N_G	Nombre total des générateurs conventionnels
N_B	Nombre total des branches
N_{sw}	Nombre total des interrupteurs
I	Le courant transité dans la ligne
V	La tension du noeud
δ	La phase de la tension
Z	Impédance de la ligne
X	La réactance
R	Résistance de la ligne
Y	Admittance de la ligne
G	Conductance de la ligne
B	Susceptance de la ligne
a	Rapport du transformateur
k	Constante de pénalité
χ^T	Vecteur des variables d'état
v^T	Vecteur des variables de contrôle
S_w	Interrupteur de bouclage

Acronymes et Abréviations

RRD	Reconfiguration de réseaux de distribution
ORRD	Optimisation de la reconfiguration de réseaux de distribution
OS	Opérateur système
SD	Source décentralisée
EP	Ecoulement de puissance
EnR	Energie renouvelable
IACM	Interrupteur aérien à commande manuelle
IACT	Interrupteur aérien à creux de tension
IATCT	Interrupteur aérien à creux de tension télécommandé
IAT	Interrupteur aérien télécommandé
BT	Basse tension
THT	Très haute tension
HT	Haute tension
MT	Moyen tension
TCFM	Télécommande centralisée à fréquence musicales
DP	Disjoncteur de protection
DT	Disjoncteur de tronçonnement
PB	Pont de barres
JB	Jeu de barres
API	Automate programmable industriel
RTU	Une unité terminale distante
VEHR	Véhicule électrique ou Hybride raccordé
CPL	Courant porteur de ligne
GPRS	Général packet radion service
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SONELGAZ	société nationale de l'électricité et du gaz
PMA	puissance maximale appelée
TIC	Technologies de l'information et de la communication
AG	Algorithmes génétique
LN1	Nombre de lignes par départ
Ns	Nombre d'appareils de commutation

NB	Nombre total des nœuds
IE	Nœud d'envoi
IR	Nœud de réception
PL	Charges de puissance réelle
QL	Charges de puissance réactive
PQ	Noeud de charge
PV	Noeud de production
OPF	Optimal Power Flow
EPO	Écoulement de Puissance Optimal
EA	Algorithmes évolutionnaires
SPSO	Particle Swarm Optimization
ACO	Ant Colony Optimization
ANN	Réseau de neurones artificiels
ACO	Optimisation des colonies de fourmis
BPSO	L'optimisation de la chaleur des particules binaires
SEM	Commutateur d'échange
SSOM	Méthode d'ouverture de commutateur séquentiel
MILP	Programmation linéaire en nombres entiers mixtes
DG	Sources décentralisé
FO	Fonction Objectif
ETAP	Electrical Power System Analysis Software
PSAT	Power system Analysis Toolbox
GS	Gauss-Seidel

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Les dernières années ont été caractérisées par une augmentation significative de développement technologique, qui a conduit à la modernisation de nombreux domaines et les services publics [1]. Par exemple, on peut citer les progrès des télécommunications et de transport automobile, qui ont considérablement transformé ces secteurs. Dans en outre, cette période a également été marquée par la croissance de la population, l'expansion des secteurs industriels et commercial, et une plus grande préoccupation pour les impacts produits par l'action humaine. Cet ensemble de facteurs a conduit à la nécessité de repenser l'un des services les plus importants pour le développement humain et la qualité de vie : de l'énergie électrique. La modernisation des réseaux électriques de distribution s'est produite en raison de la nécessité de répondre à la croissance importante de la consommation d'énergie électrique, en tenant compte de la nouvelle génération et des modèles de charge, et en faisant un usage intelligent des nouvelles technologies développées. Cela conduit à un concept plus large de fonctionnement de la puissance de distribution qui a été associé aux "réseaux intelligents" [2]. Parmi les tâches intelligentes intégrées dans la distribution est la reconfiguration automatique du réseau.

Dans la pratique, les réseaux de distribution sont effectivement bouclés, même s'ils sont toujours exploités en radiale ou en boucle ouverte [2]. Par conséquent, il est possible de modifier la topologie du réseau en transférant des nœuds de charge d'un départ à l'autre en ouvrant et fermant des interrupteurs de bouclage, de sorte que la structure radiale est maintenue [3]. Ce processus de transfert de charge est souvent appelé reconfiguration du réseau. Cette reconfiguration est effectuée pour répondre à de nombreux objectifs différents, comme par exemple le rétablissement du service dans les zones dans le noir, la minimisation des pertes de puissance active ou l'équilibrage de la charge entre départs. Par conséquent, la réalisation d'une reconfiguration peut apporter des solutions aux situations d'urgence ainsi que des conditions pour augmenter la fiabilité, la qualité, et la sécurité de l'exploitation du réseau. En général, le problème de la reconfiguration peut être défini comme un problème d'optimisation, consistant à trouver une configuration qui maximise/minimise une certaine fonction objectif [3].

L'objectif de ce travail est de déterminer la configuration optimale du réseau électrique de distribution avec minimum de pertes actives tout en respectant les différentes contraintes du système (contraintes techniques, topologique et de sécurité. Et ceci en utilisant une technique

d'optimisation métaheuristique telle que la technique des algorithmes génétiques (AG). La technique AG est appliquée sur les réseaux IEEE 33 nœuds, ensuite une validation sur le réseau Algérien de distribution 114, sous environnement MATLAB.

Pour cela, ce mémoire est organisé selon le plan suivant :

Le chapitre I exposera un aperçu sur les différentes phases d'un système électrique tel que la production, le réseau de transport, le réseau de distribution et la consommation. Et leur modélisation.

Le chapitre II présentera des généralités sur les réseaux intelligents (smart-grid) à savoir leurs définitions, les différentes technologies intégrées et leurs fonctions ainsi que leurs différents avantages.

Le chapitre III donnera une idée générale sur les méthodes d'optimisation, la définition et l'utilisation de la technique des AG pour la résolution du problème d'optimisation de la configuration du réseau de distribution.

Le chapitre IV étalera l'application de la méthode des AG, la simulation, l'interprétation et l'analyse des résultats obtenus.

Finalement, nous terminerons ce mémoire par la conclusion générale et les perspectives de ce travail.

Chapitre I :
GÉNÉRALITÉS SUR LES
RÉSEAUX ELECTRIQUE

Chapitre I : GÉNÉRALITÉS SUR LES RÉSEAUX ELECTRIQUE

I.1 INTRODUCTION

Les sources d'énergie électrique, notamment les centrales hydraulique, nucléaires ou à gaz sont pratiquement très éloignés des consommateurs finaux par exemple les villes et les zones industrielles..., donc l'énergie électrique est transmise via des lignes à haute puissance pour un objectif d'assurer une liaison entre les sources et les différents types de clients.

Dans le but d'assurer un écoulement de puissance sécurisé, l'énergie électrique est transportée par des lignes séparées, ce qui compenserait le défaut potentiel des autres lignes. Et aussi, pour un fonctionnement économique, il faut favoriser l'utilisation des sources de production ayant un coût optimal à savoir sa puissance de fonctionnement, le carburant utilisé et son cycle de vie.

Ces deux paramètres, économique et technique, mènent à interconnecter les lignes électriques pour former des nœuds électriques qui permettent de mutualiser les sources d'énergie électrique et qui nous assurent une fonction de répartition entre les différentes zones et les différents niveaux de tension.

Ces fonctions discutées ci-dessus sont achevées grâce à des câbles souterrains et des lignes aériennes, et les nœuds sont représentés par des transformateurs de puissance qui créent des types de réseaux à multiples niveaux de tension [04].

Un poste haut (ou moyenne) tension est une structure placée à un nœud d'un réseau, qui regroupe un ensemble d'équipements destinés à assurer sa protection et à faciliter son fonctionnement. Les postes haut (ou moyenne) tension actuels contiennent d'équipements offrant de nouvelles fonctions comme la commande à distance et le traitement des opérations d'une façon automatique et en temps réel, c'est ce qui a contribué à faciliter l'exploitation et à améliorer la qualité de service et économiser moins d'efforts dans les opérations de maintenance.

I.2 NOTIONS DE RÉSEAUX ET POSTES MOYENNE ET HAUTE TENSION

Réseau de transport : Réseau de transport : c'est le réseau HT ou THT (très haute tension) qui garantit la transmission par des voies souvent aériennes entre les sources de production et

les transformateurs de puissance lesquelles à son tour convertit et retransmettre cette énergie au réseau de distribution MT (moyenne tension).

Réseau de distribution : réseau MT ou BT (basse tension) qui fournit une alimentation directe aux clients actuels du distributeur.

Réseau privé : réseau interne de nature particulière d'un ouvrage industrielle ou tierce demandant une puissance élevée.

Structure source : structure du réseau, comprenant les postes sources (livraison ou / et centrale électrique) et les postes de distribution.

Structure de distribution privée : C'est une forme du réseau MT et BT domestique reliant des installations industrielles ou tertiaires.

Poste source : on l'appelle aussi un nœud, c'est le dernier élément dans le réseau de transport, et faire la jonction (alimente) avec le réseau de distribution, il transforme la puissance d'étage primaire vers des étages secondaires selon les besoins de distribution.

Poste de structure : nœud fonctionnel du réseau MT qui permet aux opérateurs de rétablir l'alimentation en cas de panne ou d'interventions sur une artère.

Poste de distribution public : poste de transformation MT/BT alimentant le réseau de distribution BT.

Poste de livraison ou poste client : point d'interconnexion entre le réseau de distribution et un réseau de distribution privé.

Poste de centrale électrique : source d'énergie électrique reçoit d'un élément tertiaire, son but est la consommation autonome ou le renforcement du réseau public.

Poste d'interconnexion privée : Poste de structure d'un réseau de distribution privé permettant des opérations de réapprovisionnement, puis dépannage et élimination.

Poste de distribution privé : poste MT connecté au réseau de distribution privé.

Tableau moyenne tension : groupe d'appareillage MT (interrupteurs ou disjoncteurs ou sectionneurs sous enveloppe métallique), ces appareillages sont essentiels pour le fonctionnement de tous les postes évoqués ci-dessus [05]. La définition de ces appareils et leur fonction est donnée ci-dessous :

Rame : deux panneaux de disjoncteurs MT pouvant être branchés sur des jeux de barres dans un poste source.

Chacun des tableaux, formant une demi-rame, comprend un disjoncteur d'entrée de transformateur, une armoire d'isolement, douze disjoncteurs de départ, deux disjoncteurs shunt,

un disjoncteur de protection des gradins de condensateurs et une cellule de transformateur de potentiel.

Source de production autonome : installation de production électrique pouvant répondre aux besoins d'un réseau de distribution privé sans nécessairement être connectée au réseau du concessionnaire.

Cellule : terme général désignant un appareil, disjoncteur ou interrupteur, dans une enveloppe métallique et ses moyens de connexion au réseau.

Unité fonctionnelle : partie élémentaire d'un ensemble d'équipements assurant des fonctions simples.

Le disjoncteur et l'interrupteur sont des dispositifs capables d'établir, de supporter ou d'interrompre des courants dans des conditions normales de circuit (courant de charge), ainsi que d'établir et de résister à des courants de court-circuit. Un disjoncteur est capable de couper tous les courants courts -circuit (valeurs typiques du courant de court-circuit maximal d'une installation : 10 à 50 kA) ; un interrupteur coupe uniquement les courants de court-circuit de très faibles valeurs (typiquement 500 à 1500 A en coordination avec les fusibles) [05].

Le sectionneur fournit en position ouverte une distance d'isolement, de déconnexion ; il présente donc une tenue diélectrique traversant supérieure au niveau d'isolement général d'une installation.

L'interrupteur-sectionneur : réagit comme un interrupteur dans sa position de fermeture, et dans sa position ouverte, satisfait aux conditions d'isolement spécifiées pour un sectionneur.

Le sectionneur de terre est utilisé pour court-circuiter et mettre à la terre des parties d'un circuit. Il est capable de résister et, lorsque spécifié, de fermer les courants de court-circuit ; mais il n'est pas destiné à résister au courant dans un régime stable.

Sur le réseau de distribution électrique, les valeurs prédominantes de la tension MT sont 60 et 30 kV. D'une manière générale, une distinction est faite entre les réseaux publics de distribution et les réseaux spécifiques aux utilisateurs privés, la figure I-1 résume les différentes positions évoquées ci-dessus [06].

I.3 STRUCTURE DES RÉSEAUX

Les réseaux de transport d'énergie et d'interconnexion sont par sa nature maillé, constitués de structures capables de transiter des hauts tension (dizaines ou centaines des kV). Les maillons forment des boucles, chaque boucle est adjacente à une autre boucle par un nœud ou plus la figure I-2a représente la forme d'un réseau de transport [07].

Le réseau de distribution a généralement la forme de boucle, ce réseau a deux façons d'exploitation soit en boucle ouvert et soit en boucle fermé (figure I-2b). Certaines alimentations sont également réalisées ; par antenne (Poste H, figure I-2b) ou par dérivation en prenant une partie de l'énergie circulant sur une ligne reliant deux postes (poste F, figure I-2b).

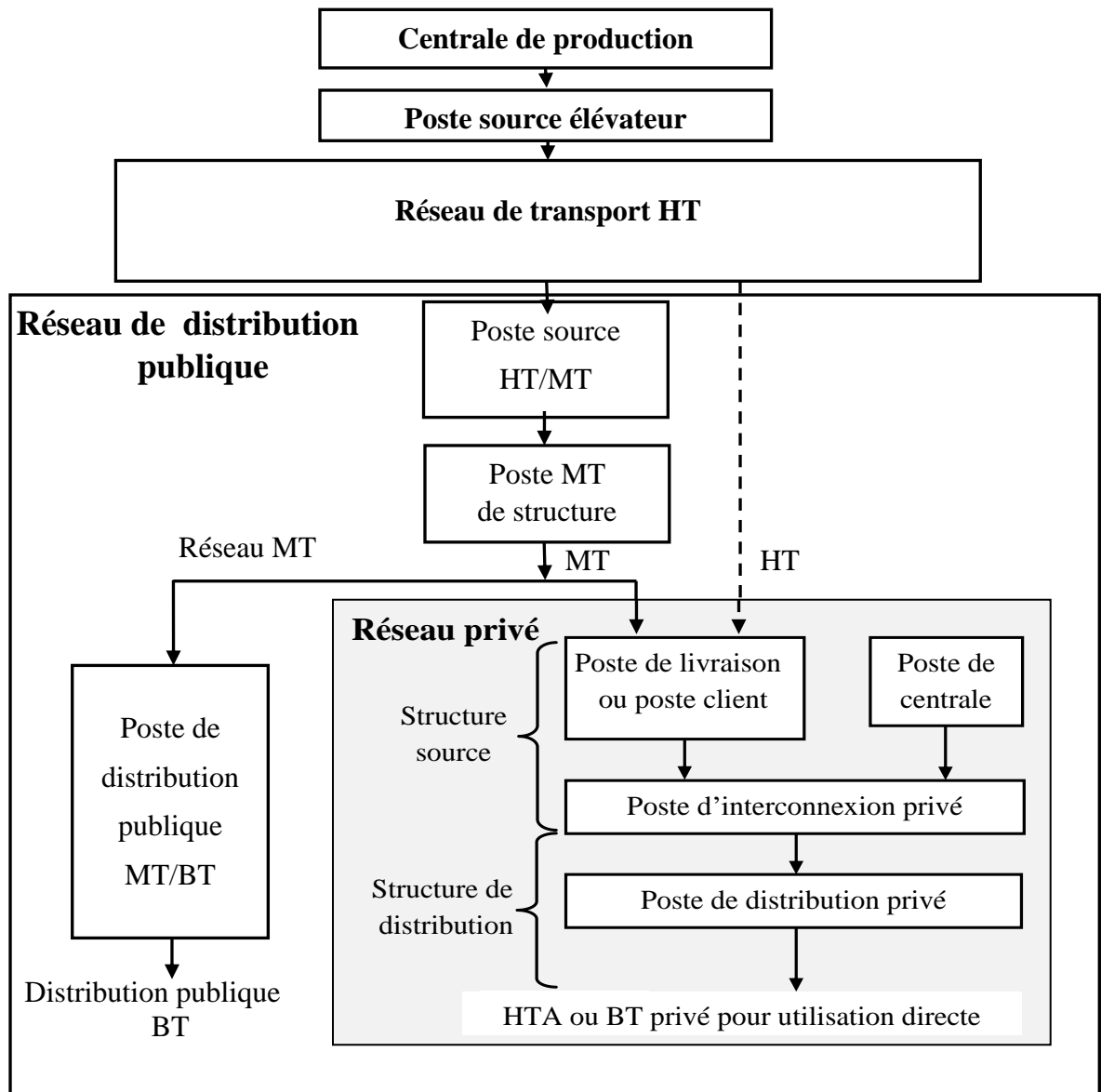
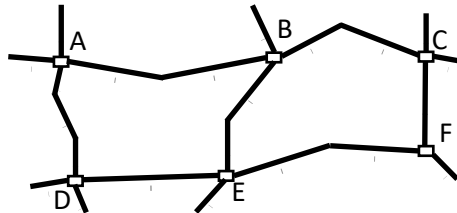


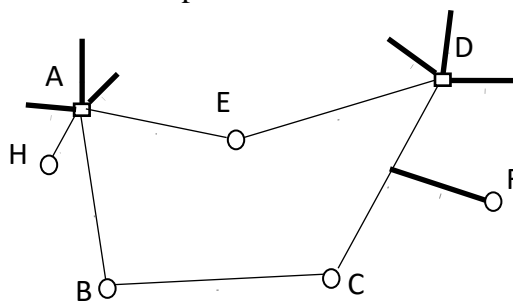
Figure I-1 : Positionnement des différents postes rencontrés sur les réseaux de distribution publique et privé

Les réseaux de distribution régionaux alimentent de l'énergie aux réseaux de distribution qui sont des réseaux moyenne tension (MT) alimentant les différents types de clients soit en basse tension (BT) via les postes MT/BT ou bien directement en moyen tension (MT) pour les clients du secteur tertiaires. Tout dépend les pays, la topologie et le mode d'exploitation se change ; on peut trouver des réseaux maillés mais le mode d'exploitation en boucle ouverte, réseaux à structure radiale, réseaux à structure arborescente (figure I-2 c et d).

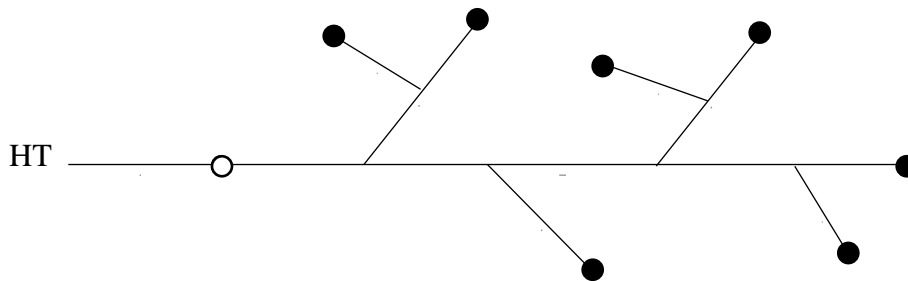
En addition aux facteurs économiques, il y a d'autres facteurs qui peut influencés sur la configuration de ces réseaux tel que les propriétés techniques des centrales électriques, et les exigences clients et les pratiques d'utilisation méthodique du réseau. Tout cela afin de former un réseau solide et sécurisé, pour réduire les pertes et limiter les défauts pouvant affecter le réseau [08].



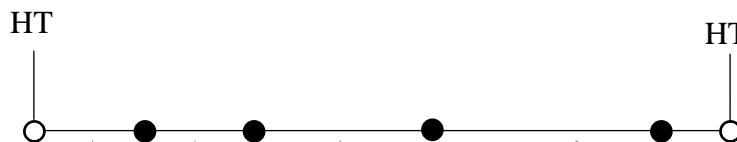
Ⓐ exemple de structure maillé



Ⓑ exemple de structure bouclée



Ⓒ exemple de structure arborescente



Ⓓ exemple de structure radiale [1]

- Poste d'interconnexion
- Poste d'expédition
- Poste de distribution

Figure I-2 : Topologie des réseaux

I.4 DIFFÉRENTS TYPES DE POSTES

Il existe plusieurs types de postes, selon les fonctions qu'ils remplissent :

- **Les postes d'interconnexion**, Son rôle principale est de relier les différents niveaux de tensions à l'aide des jeux de barres et assuré la transmission aux transformateurs et les lignes de départ ;
- **Les postes de transformation**, un ou plusieurs transformateurs reliés entre eux par des jeux de jeux de barres à des niveaux de tensions différentes ;
- **Les postes mixtes**, ce sont les postes les plus courants, qui remplissent les deux fonctions à la fois : d'interconnexion et de transformation, c-à-d les postes sont interconnecter par des jeux de barres de plusieurs étages de tension [09].

Les équipements haute et moyenne tensions placées dans le poste ont des tâches fonctionnelles essentielles aux fonctions à réaliser, ces tâches nous permettent :

- Pour établir ou interrompre la circulation du courant, à l'aide de disjoncteurs ;
- Assurer la continuation ou l'isolation d'un circuit par les sectionneurs ;
- Convertir la tension d'un niveau à autre et ceci est par les transformateurs de puissance.

Un ensemble de protections et d'automates contrôlent les grandeurs électriques réduites, produites par les réducteurs de mesure (tension et courant principalement) et agissent sur l'appareillage haute tension afin d'assurer des conditions de fonctionnement du réseau dont a été conçu.

Donc on peut dire que, par définition, les appareils de commutation, ainsi que les équipements de mesure et de protection spécifiques à un départ, sont regroupés dans une cellule. Un poste comporte donc autant de cellules que de lignes sortantes reliées à ses jeux de barres [10].

De plus, les jeux de barres sont susceptibles de former plusieurs nœuds électriques en ouvrant des disjoncteurs ; le jeu de barres ou le tronçon de jeu de barres ainsi formé est alors appelé sommet. Le nombre de sommets d'un poste caractérisait ainsi sa capacité à former des nœuds électriques.

I.5 GESTION DU RESEAU ET MODE DE FONCTIONNEMENT DES POSTES

Pour répondre à la demande à tout moment dans les meilleures conditions de coût et de qualité de service, les centres de contrôle doivent recevoir en permanence des informations des réseaux et groupes de production, les traiter pour concevoir les actions à entreprendre et émettre les commandes correspondantes. A cet effet, le réseau est superposé par un système de contrôle constitué de liaisons de télécommunication qui relie les différents niveaux de contrôle et de commande aux postes.

La maîtrise des équipements et l'automatisation à partir de sites spécifiques permet ainsi d'adapter en permanence et de manière optimale le schéma de fonctionnement aux conditions de charge tout en assurant la sécurité des installations. La transmission en retour des données, mesures et signaux de position permet de connaître l'état du réseau et de surveiller le bon fonctionnement des appareils [11].

En fonction du type d'opération et de la valeur ajoutée apportée par l'intervention humaine, on distingue :

- Les postes gardés, composés du personnel d'exploitation présent pendant les heures de travail et logés sur place ;
- des postes télécommandés, exploités soit à partir d'un autre poste surveillé, soit d'un bureau de contrôle centralisé et qui n'ont donc pas de personnel sur place, sauf pour des interventions spécifiques ;
- les téléphones en alarme, qui, en cas d'absence de reprise automatique du service, envoient un signal vers un lieu de séjour du personnel de secours.

Ces derniers postes ne disposent généralement que d'installations modestes nécessitant un nombre réduit d'opérations, les postes importants étant, selon les conditions locales, soit gardés, soit télécommandés [11].

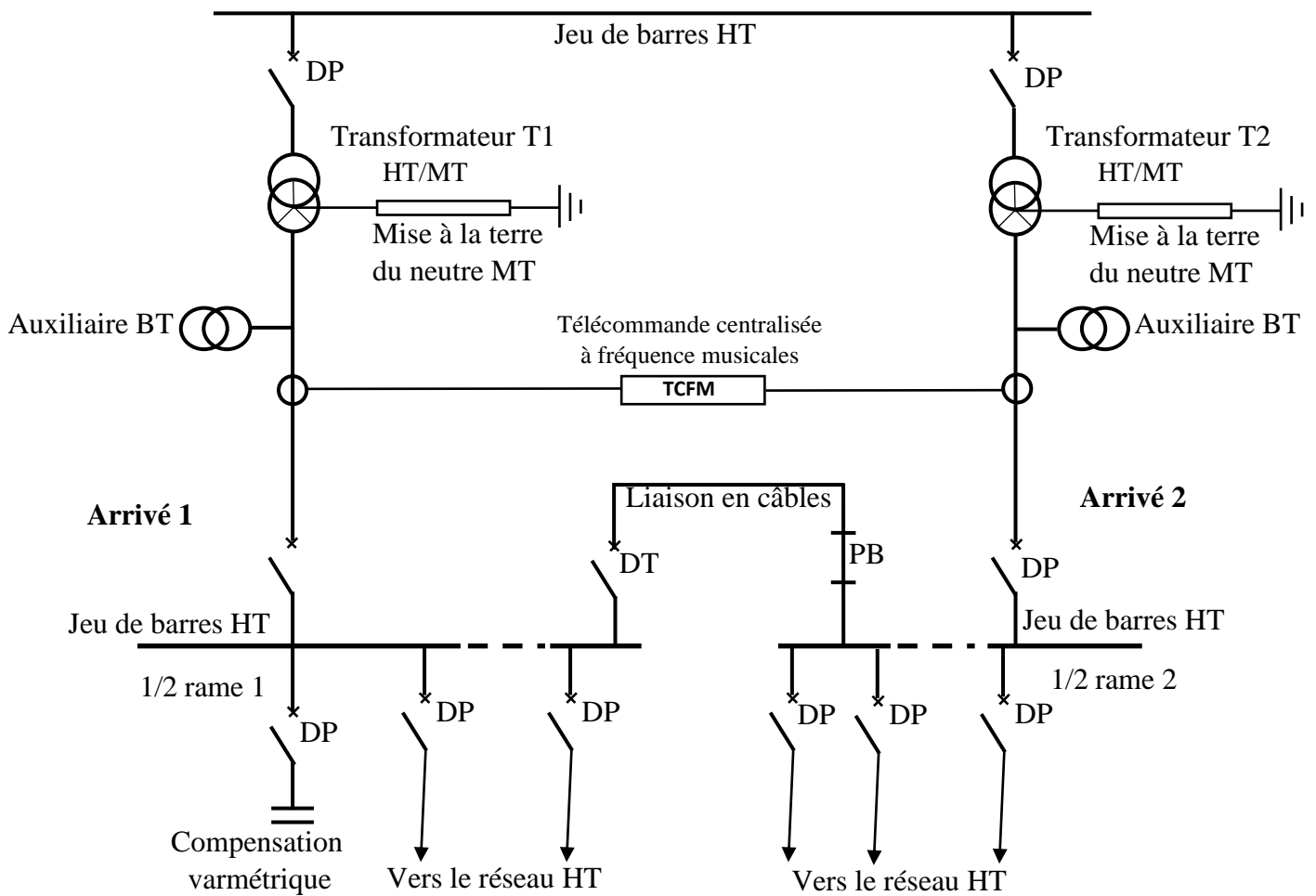
I.6 FONCTIONNALITES DES POSTES RENCONTREES SUR LES RESEAUX MT ET BT

I.6.1 Postes sources

I.6.1.1 Fonctionnalités d'un poste source

Les postes HT / MT, également appelés postes sources, constituent l'interface entre le réseau de transport HT et le réseau de distribution MT (Figure I-3). Leurs principales fonctions sont :

- La transformation de la tension du niveau HT au niveau MT, d'une ou plusieurs lignes HT et à travers un ou plusieurs transformateurs HT/MT ;
- Les tableaux de distribution MT qui ont la mission d'assurer la fourniture d'énergie à l'aide des disjoncteurs assembler à un jeu de barres ;
- Protection du réseau MT : le poste est équipé par une série des protections, chaque protection dédiée pour effectuer une tâche précise suivant les priorités prédéfini par le gestionnaire de réseau ;
- Mise à la terre du point neutre MT par des bobines de neutre ou bien des résistances.



DP disjoncteur de protection
 DT disjoncteur de tronçonnement
 PB pont de barres

Figure I-3 : Schéma général d'un poste source HT/MT [12]

On peut trouver d'autres appareillages dans ces types de postes, notamment :

- Condensateurs de compensation d'énergie réactive et des interrupteurs pour allumer ou éteindre ces condensateurs ;

- Disjoncteurs shunt sont destiné pour enlever les courts-circuits phase terre qui peut apparaître sur les réseaux aériens, et même pour des courts-circuits à caractère transitoires ;
- Eventuellement, inductances de limitation de courant de court-circuit ;
- Un ou plusieurs transformateurs HT/BT utilisés pour alimenter les services auxiliaires ;
- Une ou plusieurs sources de courant continu chargé par le (s) transformateur (s) HT/ BT des services auxiliaires ;
- les compteurs d'énergie active et réactive ;
- Installations de contrôle à distance (ordinateurs de contrôle à distance) ;
- Les circuits basse tension pour le contrôle, la commande, la protection ;
- Une station émettrice de télécommande centralisée par des fréquences musicales (175-188 Hz) [12].

I.6.1.2 Schémas de la partie MT

Ces modèles dépendent :

- Les besoins pour lesquels ce schéma a été créé (besoins présent) ;
- La structure des réseaux HT amont et aval MT ;
- La structure finale envisagée pour le travail en question.

Ils devraient être conçus de manière à ce que les positions puissent simplement évoluer vers la structure finale.

Pour les postes alimentant le réseau de distribution, le distributeur définit les schémas standards à suivre, mentionnés par ordre de complexité croissante. Les postes desservant les zones rurales et / ou les villes moyennes sont alimentées par les réseaux de distribution 60 ou 220 kV. Ce sont généralement des postes avec plusieurs sections de jeu de barres (figure I-3). Ce schéma permet de distribuer la charge sur deux transformateurs T1 et T2 d'une puissance inférieure ou égale à 36 MVA. Chaque section de jeu de barres est connectée à un transformateur. Des postes desservant de grandes agglomérations, justifiées par la puissance appelée à injection directe depuis le réseau de transport 220 kV. Dans la phase finale, ces postes comprennent trois transformateurs 220/30 kV ayant chacun une puissance inférieure ou égale à 70 MVA. La charge est répartie sur cinq rames (figure I-4) [13].

I.6.1.3 Composants du tableau MT

Le tableau MT est divisé en parties élémentaires appelées unités fonctionnelles. Il existe des principaux types d'unités fonctionnelles, chacun correspondant à une fonction :

- L'unité fonctionnelle d'entrée assure la connexion entre transformateur et le jeu de barres du tableau MT.
- L'unité fonctionnelle de départ assure la liaison entre le jeu de barres de l'appareillage et le réseau de distribution aérien, souterrain ou mixte.
- L'unité fonctionnelle condensateurs assure la connexion entre le jeu de barres du tableau et une batterie de condensateurs.
- L'unité fonctionnelle tronçonnement de jeu de barres et l'unité fonctionnelle de pont de jeu de barres permettent de connecter deux sections de jeu de barres entre elles.
- L'unité fonctionnelle transformateurs de tension peut disposer en option de réducteurs de tension sur le jeu de barres MT [13].

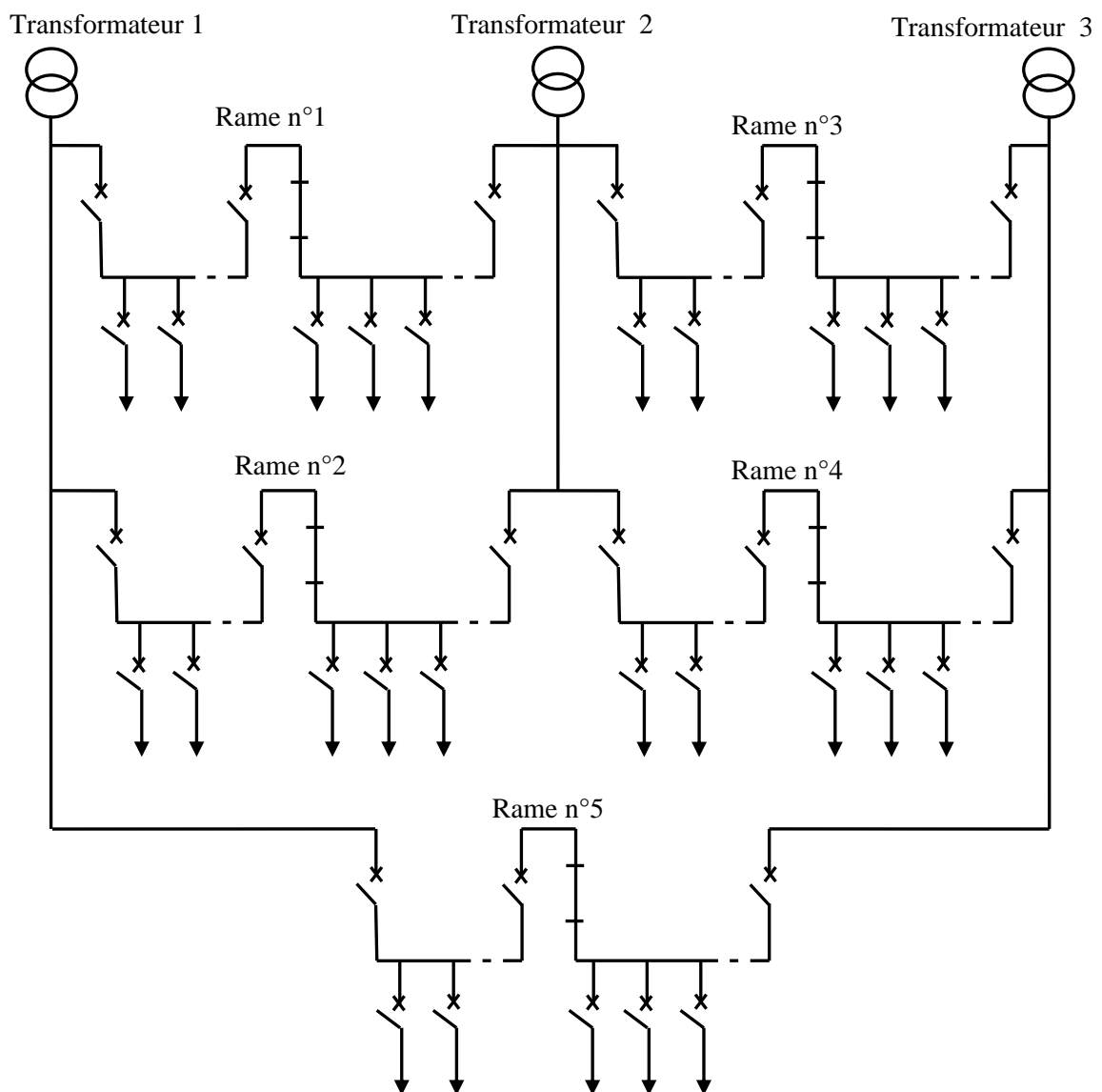


Figure I-4 : Poste 220/30 kV desservant les grandes agglomérations

Ces unités fonctionnelles sont équipées de disjoncteurs, à l'exception des unités fonctionnelles du jeu de barres et du transformateur de tension. Sur les réseaux aériens, seule une autre unité fonctionnelle est utilisée, appelée unité fonctionnelle shunt, équipée d'un disjoncteur spécial permettant d'éliminer un défaut monophasé transitoire en assurant une liaison temporaire entre la terre et la phase en défaut. Sur chacun des circuits (entrants ou sortants), un dispositif de déconnexion est prévu, pour permettre leur isolement du jeu de barres et du réseau MT (figure I-5), assurant les fonctions de sûreté et de sécurité opérationnelles du personnel. Cette isolation est réalisée en déconnectant la partie active du disjoncteur MT.

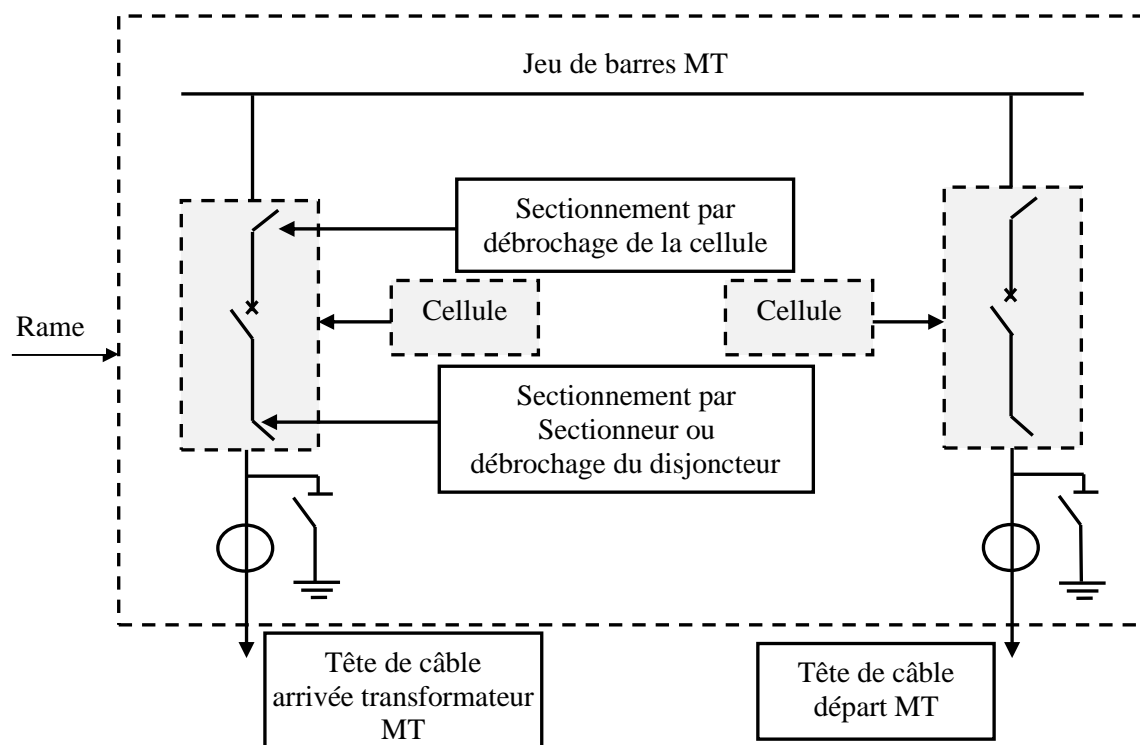


Figure I-5 : Schéma de cellules arrivée et départ MT

Les réducteurs de mesure sont destinés à alimenter des appareils de mesure, de protection et de comptage :

- les réducteurs de tension sont placés sur les arrivées et, si nécessaire, sur le jeu de barres ;
- les réducteurs de courant sont placés sur chacun des circuits entrants ou sortants.

L'assemblage des dispositifs qui produisent ces unités fonctionnelles dans une salle de poste constitue une rame souvent divisée en deux demi- rames dont chacun est alimenté par un transformateur HT/MT différent lorsque cela est possible (figure I-3) [13].

I.6.2 Postes MT de structure

I.6.2.1 Définitions

Ces poste, présentes aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural, sont principalement destinées à assurer une fonction de distribution des réseaux MT à partir d'un point donné du réseau (Figure I-6). Ils sont également appelés poste d'étoilement ou poste d'éclatement. Ils sont de moins en moins utilisés dans les structures de réseau MT standardisées actuelles. Dans le cas des réseaux aériens, les postes MT de structure n'ont en principe aucune place dans la structure à long terme d'un réseau MT aérien. Ils peuvent parfois être destinés à évoluer vers un poste source dont ils constitueront un point de départ ; dans le cas contraire, ils doivent disparaître ou servir de poste d'étoilement (figure I-6a) dont les lignes de départ (au nombre de 3 maximum) peuvent être équipées d'interrupteurs fonctionnant en creux de tension ou télécommandés [14].

Dans les réseaux souterrains, ces postes de d'étoilement sont considérées comme une extension de l'appareillage moyenne tension de la source à laquelle ils sont connectées. Selon la structure des réseaux, ces postes peuvent être appelées tête de fuseau ou tête de boucle, ou point de réflexion (figure I-6b). Ils sont souvent équipés d'interrupteurs de commande à distance.

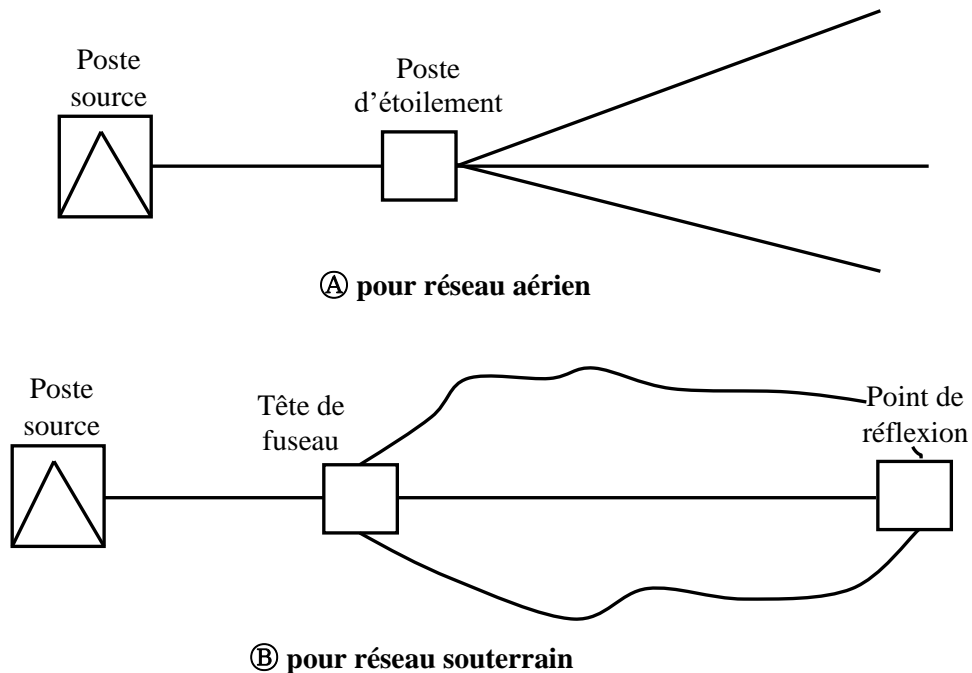


Figure I-6 : Postes MT de structure

I.6.2.2 Structure rurale aérienne

La structure MT des réseaux aériens ruraux est généralement arborescente (figure I-7). Ces réseaux MT sont utilisés pour alimenter les différentes poste rurales MT/BT. Afin d'optimiser le fonctionnement de ces réseaux, des dispositifs de commutation, principalement des interrupteurs-

sectionneurs commandés manuellement ou à distance, sont installés sur ces réseaux. Comme ce sont des dispositifs aériens, bien que ne faisant pas partie de la structure typique des réseaux ruraux, on peut également trouver des postes d'étoilement MT/MT. Ils peuvent être associés à un poste MT/BT [14].

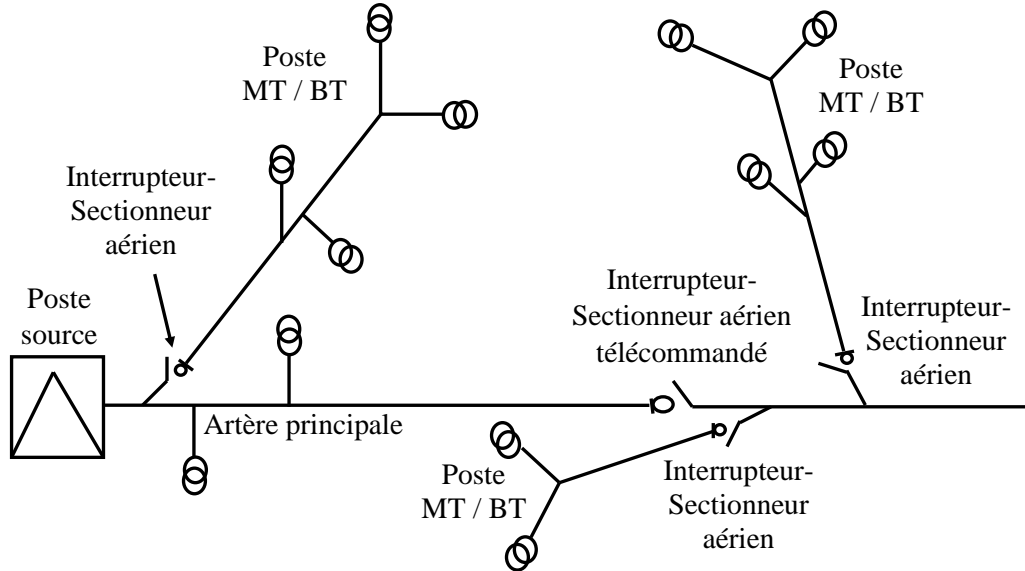


Figure I-7 : Structure rurale aérienne

I.6.2.3 Postes d'étoilement MT/MT

Les postes d'étoilement abritent des interrupteurs-sectionneurs MT et permettent l'exploitation de réseaux secondaires étendus et/ou complexes (figure I-8) [15].

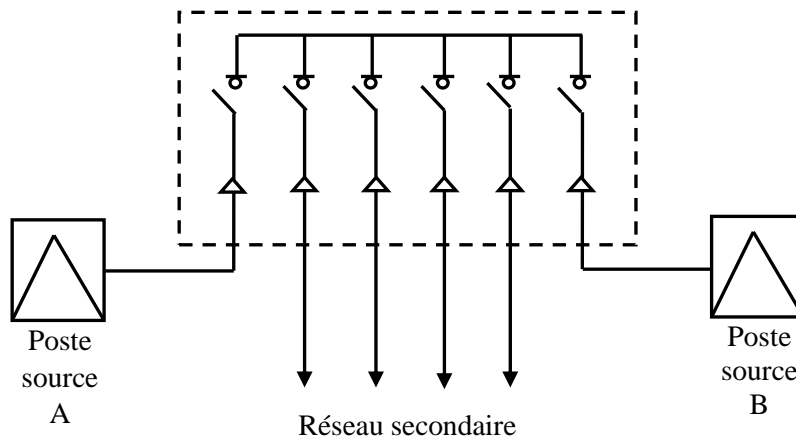


Figure I-8 : Poste d'étoilement

I.6.3 Postes MT / BT

I.6.3.1 Définition

Les postes de transformation MT/BT diffèrent les uns des autres de deux manières notables : par leur puissance de transformation maximale, et d'autre part, par leur mode de raccordement.

La composition et l'existence des appareillages moyenne tension de ces postes sont attachées direct au mode de raccordement qui sont soumis :

- les caractéristiques des réseaux amont qui peuvent être aériens dans surtout les zones rurales ou souterraines dans les zones urbaines ou semi-urbain ; cependant, il faut noter que la pénétration accentuée des réseaux souterrains MTS dans des zones rurales peut empêcher la distinction entre ces deux formes de raccordement ;
- le niveau de qualité de service que le distributeur souhaite proposer à ses clients, en tenant compte de leurs exigences spécifiques ; ces exigences peuvent conduire le client à utiliser une deuxième source d'alimentation d'un autre réseau [14].

Comme dans le cas des postes de distribution HT/MT (figures I-3 et I-4), les schémas des postes de transformation MT/BT dépendent de la structure du réseau MT et de la clientèle concernée.

I.6.3.2 Différents modes d'alimentation

Trois types d'alimentation électrique illustrés à la figure I-9 sont utilisés [15] ;

- **Alimentation par simple dérivation ou en antenne :**

Il s'agit du schéma simple, souvent exploiter pour les postes ruraux et parfois pour les postes urbains et aussi pour les postes de chantier et les installations temporaires. Un seul câble ou une ligne aérienne alimente le poste (figure I-9a). Dans la plupart des cas, il est indispensable d'interrompre l'approvisionnement aux clients pour réparer ou intervenir sur un câble ou une ligne.

- **Alimentation en coupure d'artère :**

C'est le système de distribution le plus courant dans les zones urbaines. Chaque poste est alimentée par deux câbles provenant du même poste source et parfois de deux poste sources, ces deux câbles forment une boucle (Figure I-9b). Ce système permet d'isoler un tronçon de câble pour les travaux, tout en continuant d'alimenter l'ensemble des postes. Seule une panne de la source elle-même peut empêcher la fourniture d'énergie dans les postes en boucle. Ces réseaux fonctionnent en boucle ouverte.

• **Alimentation à double dérivation :**

Ce mode d'alimentation offre la continuité de service la plus efficace. Il est utilisé dans les zones urbaines où les clients ne peuvent pas supporter des coupes à long terme. Chaque poste est connectée à deux câbles (figure I-9c). L'un d'eux alimente normalement le poste, l'autre étant en réserve pour réapprovisionner le poste en cas de panne sur le premier.

Actuellement, cette reconstitution est parfois assurée automatiquement dans certaines grandes agglomérations.

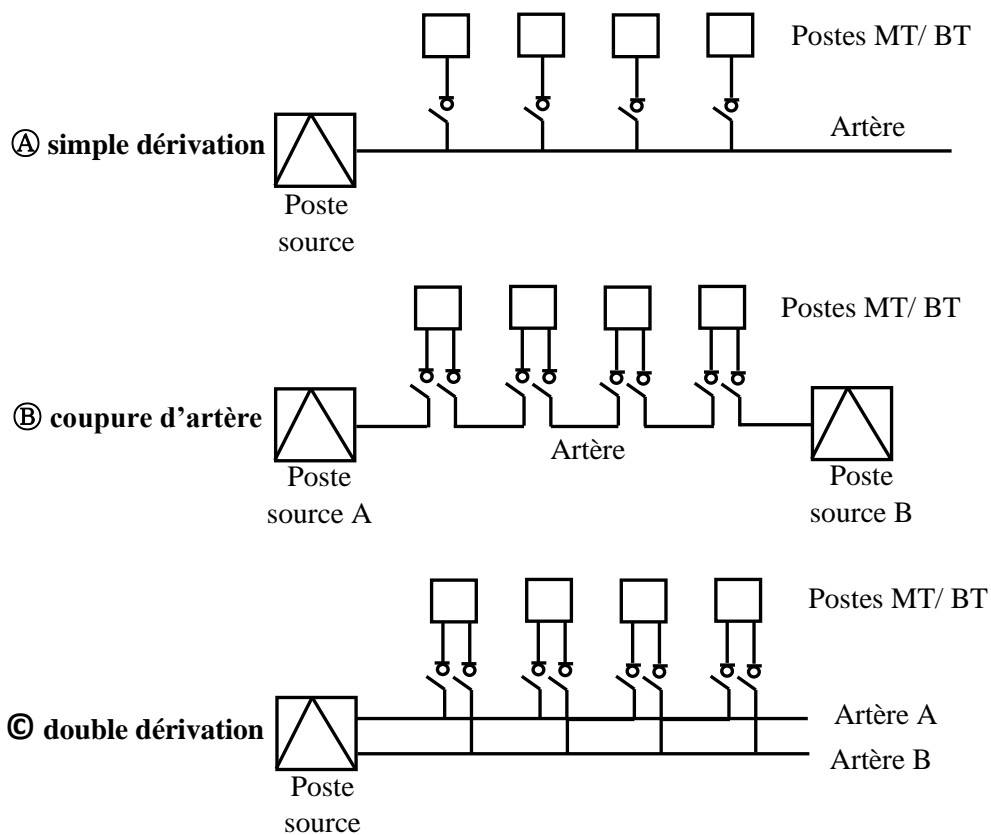


Figure I-9 : Types d'alimentation MT

I.6.3.3 Postes pour réseaux aériens

Ces postes sont livrés avec une seule dérivation et ne comprennent généralement pas de coupure MT et d'équipement de protection. Ils comprennent :

- la puissance du transformateur monté sur poteau (figure I-10a) est inférieure ou égale à 160 kVA, et généralement équipé par un ou deux départs basse tension ;

- la puissance du transformateur en armoire (figure I-10b), est comprise entre 160 et 250 kVA, et souvent a deux à quatre départs [15].

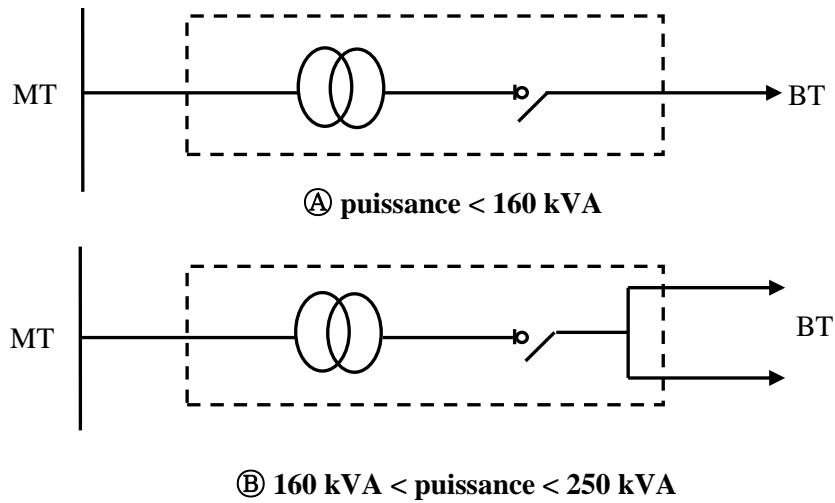


Figure I-10 : Ⓐ Transformateurs monté sur poteau Ⓑ Transformateur en armoire

I.6.3.4 Postes pour réseaux souterrains

Les postes urbaines sont définies par une circulaire de distribution. Ces postes (figure I-11), dont la puissance est généralement comprise entre 250 et 1000 kVA, peuvent être alimentées avec une seule branche (antenne), une double branche ou une coupure d'artère (figure I-9).

Ils contiennent une protection générale MT du transformateur, actionné par des fusibles associés à un interrupteur-sectionneur de quatre à huit départs BT, cependant, cette protection n'existe pas dans les schémas en simple ou double dérivation. Dans les zones rurales, le poste de base, de fonctionnalité identique au poste d'armoire de réseau aérien, peut fournir des puissances de 100 ou 160 kVA. Il n'inclut pas les équipements MT. Des fusibles intégrés au transformateur limitent les conséquences des défauts internes [16].

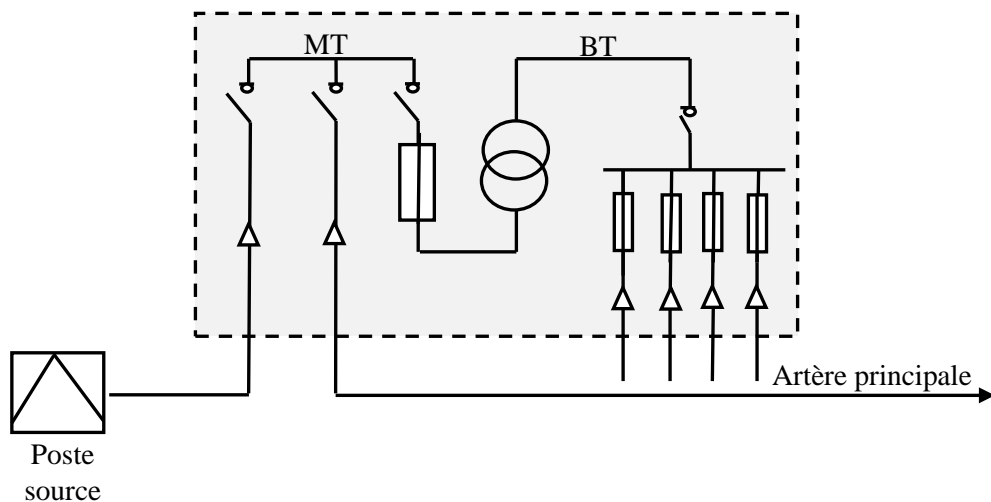


Figure I-11 : Postes MT/BT en souterrain. Transformateur en cabine

I.7 CONCLUSION

A partir de cette présentation des différents postes rencontrés sur les réseaux MT et HT, on peut voir que ces postes jouent un rôle très important dans un réseau électrique, ils ont de nombreux intérêts en particulier sur le point d'interconnexion entre le réseau HT et le réseau MT et cela implique une transformation de l'énergie en multiples niveaux de tension et maintenir ces différents niveaux dans des bonnes conditions de sécurité et de qualité de service pour redistribuer aux différents clients (30 kV, 400 V, etc.).

L'évolution des postes MT/BT accélèrent ces dernières années ; Cette évolution s'est traduite par l'augmentation de la robustesse mécanique des cellules et l'amélioration de la sécurité d'exploitation pour la détention des équipements et surtout la généralisation des commandes motorisées et le développement de la conduite à distance.

Ces évolutions éventuelles viseront notamment à améliorer la qualité de service, la sécurité des opérateurs et du public et participer activement à la protection de l'environnement à travers l'intégration des nouvelles structures et techniques innovantes.

CHAPITRE II :
RESEAUX DE DISTRIBUTION
INTELLIGENTS

Chapitre II : RESEAUX DE DISTRIBUTION INTELLIGENTS

II.1 INTRODUCTION

Les réseaux électriques intelligents, dits Smart Grids, sont la prochaine génération de réseaux de distribution d'électricité, qui s'appuient sur les technologies de l'information pour soutenir l'intégration des sources de production d'énergie décentralisées et intermittentes telles que les parcs éoliens et les centrales photovoltaïques. Ils dépendent de plusieurs domaines comme ceux de la physique et du génie électrique, du logiciel et des réseaux de télécommunications. La conception de réseaux électriques intelligents est donc complexe en raison des différents domaines techniques et outils de modélisation en jeu.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'Automatisation des réseaux de distribution, l'objectif des réseaux intelligents, Avantages et inconvénients des réseaux intelligents, ainsi que le système SCADA et le Développement des réseaux de distribution cas de l'Algérie.

II.2 VERS AUX RESEAUX DE DISTRIBUTION INTELLIGENTS

L'électricité est plus que jamais une source d'énergie essentielle au fonctionnement de notre société. L'intégration de nouvelles sources d'électricité, les préoccupations environnementales croissantes, ainsi que l'évolution des technologies de télécommunications conduisent à l'élaboration de réseaux dits « intelligents ». Ces réseaux font notamment appel au « **demande réponse** », soit une modulation de la demande des consommateurs qui deviennent ainsi partie prenante dans l'opération du réseau. C'est sur le développement de ces réseaux électriques de nouvelle génération que porteront les travaux en optimisation des réseaux électriques intelligents.

Rendre les réseaux électriques plus intelligents « smart grids » offre une flexibilité plus importante pour ajuster les flux d'électricité entre producteurs et consommateurs. Ces technologies apparaissent aujourd'hui comme la solution idéale pour une plus grande efficacité énergétique puisqu'elles permettent de mieux gérer les échanges d'énergie et d'information, de minimiser les pertes, mais également de palier l'intermittence de l'électricité produite par les sources d'énergies renouvelables [17].

L'architecture des réseaux électriques intelligents vise à gérer d'une manière optimale la consommation et la production électrique, à améliorer l'efficacité énergétique et intégrer les sources d'énergie renouvelables dans le réseau existant, elle se compose de trois niveaux :

- Sert à acheminer l'électricité par une infrastructure physique d'ouvrage électrique (lignes, transformateurs).
- Est formé par une architecture de communication fondée sur différents supports et technologies de communications (**fibres optiques, GPRS, CPL...**) servant à collecter les données issues des capteurs installés sur les réseaux électriques.
- Constitué d'applications et de services tels que les systèmes de dépannage à distance ou des programmes d'automatisme de réponse à la demande d'électricité utilisant une information à temps réel [18].

II.3 AUTOMATISATION DES RESEAUX DE DISTRIBUTION

Un système est dit automatisé lorsque le processus qui permet de passer d'une situation initiale à une situation finale se fait sans intervention humaine, et que ce comportement est répétitif chaque fois que les conditions qui caractérisent la situation initiale sont remplies. L'automatisation conduit à une très grande rapidité, une meilleure régularité des résultats et évite à l'homme des tâches pénibles et répétitives.

L'objectif de l'automatisation est :

- Eliminer les tâches répétitives
- Simplifier le travail de l'humain
- Augmenter la sécurité
- Accroître la productivité
- Economiser les matières premières et l'énergie
- S'adapter à des contextes particuliers
- Maintenir la qualité.

L'utilisation croissante d'énergies renouvelables et de centrales de production décentralisées dans le réseau de distribution pose de nouveaux défis techniques aux exploitants de réseau. Une inversion du sens du flux d'énergie et les fortes variations de tension dues à la volatilité de la production sont déjà monnaie courante aujourd'hui. L'électromobilité et le nombre en croissance

rapide de nouveaux consommateurs d'électricité représentent d'autres défis techniques qui doivent être résolus la modernisation et l'expansion de la distribution de l'énergie électrique deviennent donc de plus en plus urgentes.

Un système d'automatisation de distribution électrique (DAS) permet de résoudre les problèmes rencontrés en présence de coupure d'alimentation en raison de la ligne en réparation ou en panne. Les tâches de détection des défauts, d'identification des défauts, d'isolement des défauts et de résolution des défauts ont été effectuées à l'aide de la technique de solution DAS. Le système mis en œuvre dans ce projet exploite et contrôle à distance les équipements connectés au poste et à la ligne / zone / poteau de distribution. L'équipement est divisé en deux types, un type est installé au poste et l'autre type est situé au poteau de la ligne de distribution / ou au tableau de distribution des consommateurs. Tous les équipements sont reliés par une ligne de communication reliée entre la sous-station et la zone contrôlée.

II.4 RESEAUX INTELLIGENTS

II.4.1 Définition

Les réseaux intelligents ou « smart grids » sont des réseaux d'électricité qui, grâce à des technologies informatiques, ajustent les flux d'électricité entre fournisseurs et consommateurs, en collectant des informations sur l'état du réseau, les smart grids contribuent à une adéquation entre production, distribution et consommation.

Les réseaux intelligents peuvent être définis selon quatre caractéristiques en matière de :

- Flexibilité : ils permettent de gérer plus finement l'équilibre entre production et consommation.
- Fiabilité : ils améliorent l'efficacité et la sécurité des réseaux.
- Accessibilité : ils favorisent l'intégration des sources d'énergies renouvelables sur l'ensemble du réseau.
- Economie : ils apportent, grâce à une meilleure gestion du système, des économies d'énergie et une diminution des coûts (à la production comme à la consommation).

Au sens large, un réseau intelligent associe l'infrastructure électrique aux technologies numériques qui analysent et transmettent l'information reçue. Ces technologies sont utilisées à tous les niveaux du réseau : production, transport, distribution et consommation.

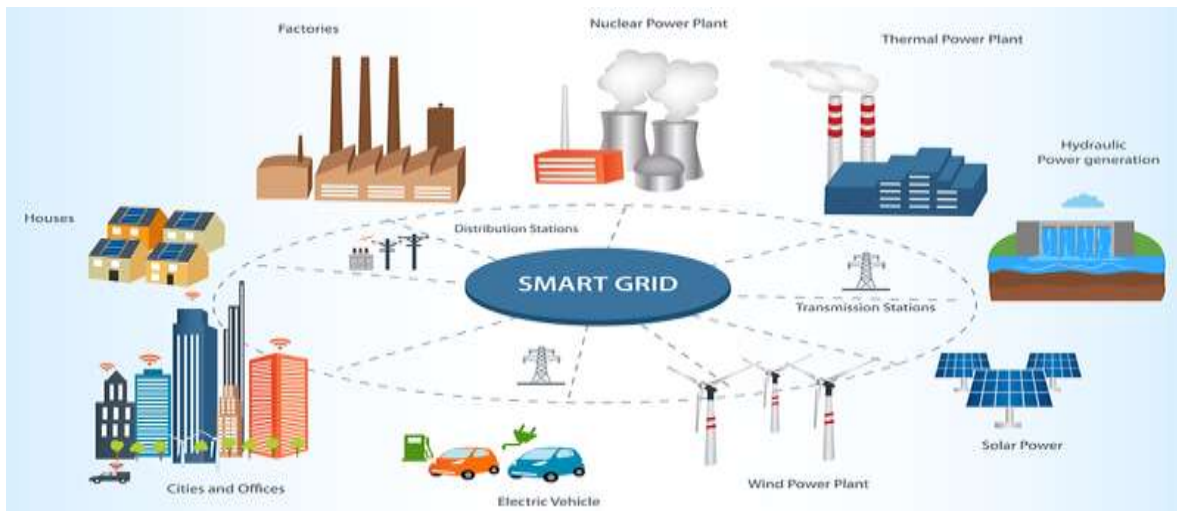


Figure II.1 : Smart grid : Entre clients et différents types de sources

II.4.2 L'objectif des réseaux intelligents

Pour faciliter l'insertion des énergies renouvelables et s'adapter à l'évolution des usages, les réseaux électriques doivent intégrer de nouvelles technologies ou services garantissant une fourniture d'électricité efficace, économique et sécurisée. Les réseaux électriques intelligents se situent à la convergence des technologies des systèmes électriques et des technologies de l'information et de la communication [18].

Ils se réfèrent à un ensemble de technologies (composants, équipements électriques, logiciels et moyens de communication) intégrées au sein du système électrique et aux stratégies de gestion de ce système complexe. Ces nouvelles technologies doivent leur permettre d'intégrer efficacement les actions des différents utilisateurs, consommateurs et/ou producteurs, afin de maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée. Plusieurs pays développés soutiennent l'évolution des réseaux électriques intelligents dans la mesure où ils contribueront à la réussite de la transition énergétique, en couvrant les enjeux suivants [18] :

- La maîtrise de la demande avec des consommateurs plus actifs dans la gestion de leur consommation ;
- L'insertion massive et décentralisée de moyens de production renouvelable sur les réseaux, tout en limitant les coûts de raccordement et le déploiement de nouvelles lignes ;
- L'optimisation des réseaux de distribution et de transport ;

- L'insertion de nouveaux besoins vertueux pour l'environnement, mais fortement consommateurs en puissance, tels que les véhicules électriques.
- D'optimiser le rendement des unités de production de l'ensemble du réseau et ainsi de lisser les pics de consommation.
- D'éviter la construction de nouvelles infrastructures d'acheminement ou de nouvelles unités "lourdes" de production.
- De limiter les pannes électriques.
- De réduire au maximum les pertes d'électricité.
- De favoriser l'ajout de nouveaux producteurs d'électricité (des parcs éoliens et des panneaux solaires gérés par des industriels ou gérés par des particuliers).

II.4.3 Les nouvelles technologies

Le smart grid existe dans le monde entier en tant que concept de gestion du réseau électrique, devant répondre aux exigences de sécurité de l'approvisionnement, d'efficacité, d'intégration d'énergies renouvelables et de coûts faibles. Bien que de nombreuses parties concernées attendent un déploiement de ce type de réseau, aucun smart grid avec pilotage automatique des appareils consommateurs et des installations de production n'a été réalisé pour l'heure. Il est donc difficile d'évaluer l'évolution dans ce domaine. Certains composants existent d'ores et déjà ; la mise en place d'un smart grid dépendra de leur avancement technologique. C'est d'une part la pression politique qui décidera de la mise en place – et de la rapidité de celle-ci – de smart meters sur tout le territoire du pays, le pays développé pourrait exiger dans les contrats bilatéraux de façon à contraindre légalement les entreprises d'approvisionnement en électricité à l'installation de ces compteurs. Mais les politiques pourraient également ouvrir le marché de l'électricité à la concurrence grâce à une révision de l'ordonnance sur l'électricité et à une libéralisation effective du marché de l'électricité pour les ménages et les petits consommateurs. Le passage à un autre fournisseur déclencherait un échange de données entre acteurs du marché indépendants les uns des autres, qui ne pourrait avoir lieu qu'avec des smart meters. Les nouveaux besoins des clients pourraient par ailleurs favoriser la diffusion du smart metering. Il existe aujourd'hui déjà des modèles d'affaires efficaces dans le secteur immobilier ou dans les chaînes commerciales (telles que WalMart aux Etats-Unis), qui surveillent de manière centralisée l'ensemble du réseau de filiales jusqu'au niveau des congélateurs-coffres et partant, leur permettent de réaliser des économies importantes d'énergie et de coûts.

L'ajout d'installations de production décentralisées peut également favoriser la multiplication des smart meters. Les installations RPC à partir d'une puissance installée de 30 kVA sont déjà équipées à l'heure actuelle de smart meters, afin que les valeurs de mesure actuelles de la production puissent étayer les prévisions. Il pourra également être envisagé ultérieurement de piloter les installations de cette façon à l'avenir. Avec l'introduction de la réglementation sur la consommation propre, des smart meters seront nécessaires notamment dans les immeubles d'habitation collective, pour la répartition individuelle de la production. La maximisation de la consommation propre via une gestion de la charge à l'intérieur du bâtiment et éventuellement via des accumulateurs de courant aura pour conséquence que l'on se dirigera vers une smart grid.

Evolution d'autres technologies Un smart grid relie le réseau électrique existant à des applications liées aux techniques d'information et de communication. Il s'agit donc d'une association ciblée de plusieurs technologies qui interagissent au sein d'un smart grid, après avoir tout d'abord été testées en partie et souvent séparément. L'évolution future du smart grid dépend par conséquent également des progrès réalisés en matière de composants individuels :

- WAMS (Wide Area Measurement System) : ce système saisit l'état d'un réseau haute tension en temps réel et identifie au moyen de satellites GPS d'éventuels problèmes d'instabilité. La technologie WAMS a été distinguée par le Massachusetts Institute of Technology (MIT) comme une des dix technologies susceptibles de « changer le monde ».
- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition Systems) : ces systèmes permettent de mesurer des milliers de points de mesure dans des réseaux électriques nationaux et régionaux. Le système modélise les réseaux, simule l'exploitation de la charge, localise les erreurs, prévient les défaillances et contribue au négoce de l'énergie. Situé à Karnataka en Inde, le plus grand système SCADA du monde comprend 830 sousstations, qui approvisionnent 16 millions d'habitants en électricité et est en mesure d'augmenter de 50% l'efficacité de l'exploitation du réseau et de réduire de 70% la perte de minutes de consommation.
- FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems) : les FACTS permettent de commander les flux de charge et d'optimiser le transport de puissance. Dans certains cas, la capacité de transmission d'un réseau peut même être doublée. Ils aident par ailleurs à diminuer le nombre de pannes et à stabiliser le réseau

HVDC (high voltage direct current ou courant continu haute tension CCHT) : les systèmes HVDC transforment le courant alternatif produit par les centrales pour qu'il soit acheminé sous forme de courant continu. Les HVDC se prêtent parfaitement à un transport d'énergie électrique occasionnant peu de pertes, à partir de sites reculés ou difficiles d'accès (p. ex. liaisons sous-marines) ou très lointains, à l'instar de la liaison HVDC de 2000 km de long qui relie Xiangjiaba et Shanghai en Chine, et qui devrait permettre une réduction de plus de 30% des pertes liées au transport. Ce système, l'un des plus puissants au monde, présente une puissance de transmission de

6400 MW pour une tension de ± 800 kV. Autre avantage des HVDC : les coûts d'infrastructures peu élevés (nombre moins important de lignes et de pylônes, eux-mêmes de taille plus réduite), ce qui compense les coûts d'investissement élevés pour les postes de conversion. – V2G (Vehicle to Grid) : ce concept repose sur l'exploitation des batteries de véhicules électriques pour stocker ou prélever du courant. Pour être efficace, l'application nécessite cependant un nombre suffisant de véhicules et un nombre encore plus important de bornes publiques disponibles. En outre, une succession trop rapide de chargements et de déchargements peut avoir un impact négatif sur la durée de vie des batteries, ce qui oblige les fabricants à limiter leurs prestations de garantie [19].

Autres facteurs de pérennité Contrairement au réseau électrique actuel, les smart grids intègrent la commande d'appareils différents, ce qui ne peut fonctionner que si la technologie sous-jacente est standardisée. L'association Smart Grid Suisse, fondée en 2011, a donc pour principal objectif de garantir la compatibilité des appareils et systèmes smart grid via une norme de branche suisse ouverte et indépendante des fabricants.

Le stockage de l'énergie jouera un rôle capital dans les futurs smart grids. La production d'installations d'injection stochastique exige une vraie flexibilité sur le front des appareils consommateurs, qui peut être obtenue grâce à un nombre suffisant de stockages de taille adéquate. Les accumulateurs thermiques, tels que les congélateurs, sont à cet égard particulièrement appropriés : ils peuvent être chargés sans aucune perte de confort pour le consommateur final.¹⁶ Les futures conditions-cadre réglementaires définiront le potentiel de gestion de la charge en fonction de la grandeur des stockages et de ce fait, influenceront de manière décisive sur les possibilités qu'offrent les smart grids. Les EAE suisses disposent en outre déjà avec la télécommande centralisée et le système de haut/bas tarif, largement répandu, de moyens efficaces pour assurer la gestion de la charge. Le smart grid devra donc présenter des atouts de taille pour s'imposer en tant que technologie, par exemple en intégrant le client final à la gestion de charge via l'affichage de smart meters, via le pilotage individuel de différents appareils ou des incitations financières basées sur des tarifs évolutifs. A l'heure actuelle, le smart grid en est au stade de la recherche. La réalisation technique constitue un défi, qu'il est toutefois parfaitement possible de relever avec les moyens disponibles. Son lancement est quasiment certain mais il est difficile pour l'heure d'en prévoir la date. Le groupe cible à qui le smart grid offrira un avantage économique réel n'a en effet pas encore été clairement déterminé. S'agit-il des gestionnaires de réseau, qui économisent des coûts grâce à la gestion automatisée de la charge ? Du client final qui, en tant que « Prosumer » (producer and consumer), souhaite participer activement au marché de l'énergie ? Ou bien la politique va-t-elle finir par imposer l'intérêt social d'une gestion respectueuse des ressources énergétiques par le biais de smart grids ?

L'intérêt économique des smart grids pour les parties concernées jouera un rôle décisif dans leur percée. Dès lors que cet intérêt se sera profilé clairement, la transformation de notre réseau électrique en smart grid sera possible. Un transfert de charge significatif ou une meilleure réduction de la consommation peut être attendu en cas de diffusion d'appareils de consommation finale intelligents et leur pilotage pour smart grid et smart metering. Cette étape est prévue à moyen ou long terme, soit d'ici à 2050. Les smart meters feront alors partie intégrante de tout réseau d'approvisionnement

II.4.4 Les fonctions des réseaux intelligents

Les réseaux électriques intelligents s'appuient sur un certain nombre de briques technologiques dont le développement et le degré d'intégration sont plus ou moins avancés :

- Les Technologies de l'Information et de la Communication [TIC] qui permettent une meilleure circulation de l'information sur le réseau (suivi de consommation détaillée, état du réseau)
- Des équipements de réseaux intégrant de nouvelles fonctions (disjoncteurs/réenclencheurs, réglage de tension intégré aux transformateurs) ;
- Les technologies de stockage pour lisser les productions renouvelables souvent variables, rendre des services au système électrique ou déplacer l'électricité solaire et éolienne et la restituer lors des pics de demande
- Les outils de prévision et de modélisation permettant d'affiner les données météorologiques, les données de production ou de consommation ainsi que les transits sur les réseaux
- Des compteurs communicants pouvant recevoir et envoyer des données et des ordres sans l'intervention physique d'un technicien et permettant de proposer de nouvelles offres tarifaires
- La transmission auprès des clients sur différents supports d'informations et de conseils sur leur consommation ;
- Des boîtiers électroniques s'installant dans le tableau électrique permettant de commander certains usages électriques en temps réel [20].

1. **Un contrôle des flux en temps réel** : des capteurs installés sur l'ensemble du réseau indiquent instantanément les flux électriques et les niveaux de consommation. Les opérateurs du réseau peuvent alors réorienter les flux énergétiques en fonction de la

demande et envoyer des signaux de prix aux particuliers pour adapter leur consommation (volontairement ou automatiquement).

2. **L'interopérabilité des réseaux** : l'ensemble du réseau électrique comprend le réseau de transport et le réseau de distribution. Le premier relie les sites de production d'électricité aux zones de consommation : ce sont les grands axes qui quadrillent le territoire. Le réseau de distribution s'apparente aux axes secondaires. Il achemine l'électricité jusqu'aux consommateurs finaux. Par l'échange instantané d'informations, les smart grids favorise une interopérabilité entre les gestionnaires du réseau de transport et ceux du réseau de distribution.
3. **L'intégration des énergies renouvelables au réseau** : les réseaux intelligents reposent sur un système d'information qui permet de prévoir à court et à long terme le niveau de production et de consommation. Les énergies renouvelables qui fonctionnent souvent par intermittence et de façon peu prévisible (ex : l'éolien) peuvent ainsi être mieux gérées.
4. **Une gestion plus responsable des consommations individuelle** : les compteurs communicants (ou compteurs évolués, « Linky » pour l'électricité) sont les premières versions d'application du réseau intelligent. Installés chez les consommateurs, ils fournissent des informations sur les prix, les heures de pointe de consommation, la qualité et le niveau de consommation d'électricité du foyer. Les consommateurs peuvent alors réguler eux-mêmes leur consommation au cours de la journée. De leur côté, les opérateurs du réseau peuvent détecter plus vite les pannes.

II .5 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES RESEAUX INTELLIGENTS

II .5.1 Avantages des réseaux intelligents

- Économie d'énergie moyennant la réduction de la consommation

L'un des avantages des réseaux intelligents est qu'ils permettent de savoir la consommation qui a été enregistrée par un compteur à tout moment, de cette manière les utilisateurs seront mieux informés sur quelle est leur consommation réelle. En outre, avec une meilleure surveillance de la consommation, on peut adapter la puissance souscrite au besoin réel de chaque consommateur. Ces deux facteurs permettent à l'utilisateur d'enregistrer une réduction de la consommation et d'adapter la puissance souscrite à ses besoins réels.

- Meilleur service au client et factures plus précises

Un autre avantage principal offert par les systèmes de télégestion est que les factures sont plus précises, ce sera donc toujours la consommation réelle de chaque mois qui sera facturée, en évitant les estimations et en diminuant le coût que supposait l'ancien système de lecture manuelle des compteurs. Outre le fait de pouvoir disposer d'information à distance sur l'installation, les problèmes seront diagnostiqués plus facilement et seront résolus plus rapidement. Par conséquent, le client recevra un meilleur service.

En date à ce jour, le client est celui qui doit avertir la compagnie pour qu'elle intervienne. En revanche, grâce à la gestion à distance, le propre système sera le responsable d'informer automatiquement les gestionnaires de l'entreprise électrique de toute incidence pour donner une réponse plus rapide aux utilisateurs.

- Détection de la fraude et des pertes techniques

Les systèmes de télégestion permettent de détecter la fraude avec beaucoup plus de précision, si ces équipements sont dépourvus de pièces avec une usure mécanique. En outre, les nouveaux compteurs avec des communications PLC PRIME disposent de systèmes qui détectent l'ouverture du couvercle des bornes et envoient un avis automatique aux gestionnaires du réseau, les avertissant d'une possible fraude.

Les équipements avec une technologie PLC permettent de faire des bilans d'énergie. Le système fait la somme de l'énergie de tous les compteurs installés et la compare avec la mesure d'un totalisateur en tête de la ligne pour voir s'il y a une perte quelconque (ou vol) sur un point que la compagnie ignorerait.

- Réduction du coût du bilan

Grâce aux Smart Grids, la quantité de données obtenue est beaucoup plus grande en comparaison avec le système de lectures manuelles. Ceci permet, moyennant des techniques d'analyse de données, de créer des prévisions de consommation beaucoup plus adaptées à la réalité puisque beaucoup plus de variables sont prises en compte.

Par conséquent, les compagnies électriques peuvent mieux adapter la production à la consommation (bilans), ce qui permet de réduire les excédents d'énergie.

- Augmentation de la concurrence

Le fait de disposer de données réelles de courbe de charge, invite les entreprises de commercialisation à pouvoir affiner leurs prix en fonction de la demande d'énergie. Ce fait produit que les entreprises de commercialisation disposent de plus de données pour pouvoir proposer de meilleures offres à leurs clients, en s'adaptant à la réalité. Ce qui augmente les options de concurrence puisque la variété de l'offre (tarifs horaires, paquets énergétiques...) est beaucoup plus grande. Ceci a une répercussion positive sur le consommateur puisque plus de concurrence implique des prix plus compétitifs.

- Nivellement de la courbe de demande (Réduction des pics)

Moyennant l'utilisation de différents profils tarifaires, les compagnies électriques prétendent pouvoir niveler la courbe de demande quotidienne pour arriver à déplacer les pointes de consommation à des heures auxquelles la demande est plus basse, en optimisant l'utilisation du réseau électrique. De cette façon, un client peut en prendre conscience, pour connecter des charges aux heures de moins de consommation, en pouvant consommer aux heures où le kWh est meilleur marché. À titre d'exemple, un client peut décider de changer ses habitudes de consommation, en branchant le lave-linge aux heures creuses, la nuit, au lieu de le faire aux heures où le kWh est plus cher. Il obtient ainsi un bénéfice économique et aide la compagnie électrique à équilibrer les consommations, évitant ainsi la saturation des lignes aux heures de pointe.

Le fait d'avoir toujours une consommation constante implique que, à l'heure de générer de l'électricité, il ne faut pas allumer et éteindre des centrales électriques avec tant de récurrence, ce qui permet de réduire les frais de génération.

- Réduction des émissions de carbone

Tous les bénéfices précédents supposent une réduction implicite de la consommation et, par conséquent, une réduction des émissions de CO₂.

De cette manière, nous pouvons affirmer que les Réseaux Intelligents nous mènent à un futur plus durable. Tout ceci aidera directement la future intégration au réseau de systèmes pour la charge des véhicules électriques. En outre, la mise en œuvre de systèmes d'énergies renouvelables est plus simple puisque les compagnies électriques auront un meilleur contrôle sur leur réseau [21].

II .5.2 les inconvénients des réseaux intelligents

Parmi les plus grands inconvénients des réseaux intelligents :

- Le coût des investissements reste élevé
- Les données recueillies sont complexes à gérer et à stocker
- Les compteurs communicant utilisés peuvent être piratés
- Problème de normalisation des composantes utilisées [22]

II.6 CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX INTELLIGENTS

Le concept de réseau intelligent concerne une vision systémique impliquant la recherche, le développement, le test et l'analyse du retour d'expérience de technologies innovantes qui permettent d'atteindre des objectifs précis en termes de gestion des réseaux pour une meilleure efficacité énergétique de l'ensemble de la chaîne de valeur, une augmentation de la pénétration des énergies renouvelables ou encore l'implication du consommateur final en tirant partie des technologies d'information et de communication.

La mise en place de ce concept et la poursuite des objectifs cités des réseaux intelligents nécessitent la levée de contrainte technique et scientifique spécifiques, ce qui pourrait engendrer des ruptures technologiques d'importance. En effet, les réseaux intelligents consistent à faire converger des infrastructures physiques, représentant le système électrique, et les infrastructures numériques, représentant l'intelligence via les technologies d'information et de communication. Il est bien connu que la rencontre de deux disciplines comme c'est le cas pour les réseaux intelligents est source d'innovations majeures. Par ailleurs, le système électrique soit déjà pourvu d'infrastructures d'information et de communication, ces dernières ont souvent été conçues séparément du système électrique (couche supplémentaire) tout en étant la propriété de l'opérateur. Aujourd'hui, le coût des TIC s'est relativement bas si bien que leur forte pénétration dans la société combinée à la libéralisation du marché de l'électricité et la multiplication d'acteurs poussent à l'utilisation de technologies sur étagère. Ceci requiert une interopérabilité entre les différents acteurs et des objets *smart grids* porteurs d'une sécurité intrinsèque. D'autre part, la différence dans le processus de vie entre les TICs et les infrastructures d'énergie pose la question d'évolutivité de l'ensemble. De plus, compte tenu des investissements requis importants pour la mise en place de ce concept, la question du risque technologique vis-à-vis de l'évolutivité du système, notamment par rapport aux TIC, se pose avec une acuité particulière.

Dans ce contexte, on comprend bien que les verrous sont autant scientifiques, technologiques, commerciaux que sociologiques. C'est un défi remarquable qui ne peut être relevé

qu'avec la mise en place de partenariats (et de filières technologiques) regroupant l'ensemble des acteurs de cette chaîne (producteurs d'énergie, opérateurs et gestionnaires du système, fournisseurs de service en énergie, équipementiers électriques et TIC, intégrateurs de solutions, universités et centres de recherches, organismes de standardisation, associations et agences en énergie). Bien entendu, le client final doit également être associé comme une entité active et non plus comme un consommateur passif. On peut citer ci-dessous, sans être exhaustif, quelques-uns de ces obstacles.

- Intégration des énergies renouvelables et gestion de l'intermittence pour une vision équilibrée globale et économie du système, y compris la prise en compte de la participation de ces énergies aux réglages du réseau.
- Compréhension de l'interdépendance entre le numérique (intelligence embarquée) et le physique (infrastructure électrique).
- Mise en place des technologies d'auto-cicatrisation simples et à coût réduit en présence de production décentralisée.
- Observabilité du réseau avec peu de capteurs et une faible précision ou sur la base du compteur intelligent (avec prise en compte des contraintes du temps réel) ;
- Protections/matériels à coupure fréquente permettant des reconfigurations multiples pour une meilleure flexibilité et des gains sur les pertes (meilleure efficacité énergétique) ;
- Impact du VEHR sur le réseau, de ses différentes formes de charge et de son interaction avec le système.
- Couplage du pilotage de la demande avec les usages nouveaux (VEHR) ou production intermittente.
- Planification des investissements *smart grids* dans un environnement incertain (quels modèles, apport des approches stochastiques) et évolution des architectures du réseau [23].

II.7 SYSTEME SCADA

II.7.1 Définition

Le SCADA est un système de contrôle et d'acquisition de données et télégestion en temps réel à grande échelle permettant de traiter en temps réel un grand nombre de télémesures et de contrôler à distance des installations techniques.

Il est généralement fourni sous forme de logiciel combiné à des éléments matériels, tels que des automates programmables industriels (API) et des unités terminales distantes (RTU). L'acquisition des données commence avec les API et RTU, qui communiquent avec

l'équipement d'un centre de production, par exemple les machines et les capteurs d'une usine. Les données recueillies à partir de l'équipement sont ensuite envoyées au niveau supérieur, par exemple à une salle de contrôle, où des opérateurs peuvent superviser les contrôles des API et des RTU à l'aide d'interfaces homme-machine (IHM). Les IHM sont un composant essentiel des systèmes SCADA. Il s'agit des écrans que les opérateurs utilisent pour communiquer avec le système SCADA.

Grâce aux systèmes SCADA, les organisations peuvent contrôler leurs processus industriels soit sur place, soit à distance, et interagir directement avec les équipements, tels que les moteurs, les pompes et les capteurs, à tous les niveaux, et ce depuis un emplacement central. Ces systèmes peuvent parfois contrôler automatiquement des équipements sur base des données reçues.

Les systèmes SCADA permettent également aux organisations de surveiller leurs processus, de dresser des rapports à leur sujet basés sur des données en temps réel, et d'archiver ces données afin de les traiter et de les évaluer ultérieurement[24].

II.7.2 Applications SCADA

Les organisations peuvent utiliser des systèmes SCADA pour :

- Contrôler des processus sur place ou à distance
- Interagir avec des appareils au moyen d'un logiciel IHM
- Collecter, surveiller et traiter des données
- Consigner des événements et des données

Ces fonctions permettent aux entreprises d'avoir une visibilité accrue de leurs processus. Les données qu'elles collectent leur permettent de voir comment leurs machines fonctionnent en temps réel et de visualiser les tendances à long terme afin d'identifier les améliorations potentielles à l'aide de ces données, les opérateurs peuvent ensuite ajuster le fonctionnement de leurs équipements. Ils peuvent effectuer des changements à distance ou sur site et ajuster les opérations pour des infrastructures complètes, des processus individuels ou juste certaines machines.

Les systèmes SCADA permettent également aux organisations d'utiliser leurs données afin d'améliorer leur efficacité, d'éclairer leur prise de décisions et d'améliorer la communication afin d'aider à éviter les temps d'arrêt. Afin de tirer le meilleur parti de vos données, que vous collectez auprès de diverses sources, vous devez les stocker de façon centralisée dans un système SCADA. Un logiciel SCADA bien intégré peut combiner les données d'un grand nombre de sources, les traiter et les envoyer à d'autres systèmes dans des formats différents.

Un logiciel SCADA avancé peut créer des rapports complets et personnalisés. Votre équipement peut également être capable de réagir automatiquement aux informations consignées dans ces rapports. Dans le contexte de la gestion de la qualité, par exemple, le système peut déclencher une alarme si un rapport indique qu'un lot de produits est défectueux. Dans la gestion énergétique, un système peut réduire la consommation d'énergie de certaines machines si un pic de charge est attendu.

Grâce à des fonctions comme celles-ci, les systèmes SCADA peuvent faire significativement gagner du temps et de l'argent aux organisations. Ils peuvent aider les entreprises à accroître l'efficacité de leurs opérations, à réduire les temps d'arrêt, à garantir la qualité des produits et bien plus encore.

Les systèmes SCADA peuvent être relativement simples ou massifs et complexes, en fonction de l'organisation qui les utilise et des contextes dans lesquels ils sont utilisés [24].

II.8 DEVELOPPEMENT DES RESEAUX DE DISTRIBUTION CAS DE L'ALGERIE

Pour faire face à la demande sans cesse croissante en énergie et améliorer ses prestations de service à la clientèle, l'Algérie procède, constamment, à la planification et à la réalisation de ses infrastructures électriques et de contrôle SCADA des ouvrages de Production, de Transport et de Distribution de l'électricité.

II.8.1 Fonctionnement actuel du réseau

Pendant des décennies, l'Algérie a répondu à l'augmentation des besoins en électricité par la loi du « toujours plus » : plus de câbles... toujours plus épais... des voltages toujours plus hauts... avec des réseaux de distribution BT complètement « aveugles » et « ignorants » et des déperditions massives d'électricité sur l'ensemble du réseau. Le constat est clair : le modèle centralisé des grosses centrales (où l'électricité circule principalement dans un sens unique : des producteurs aux consommateurs) est tout simplement obsolète en raison, principalement, de l'absence de stockage.

En effet, pour mieux réguler la distribution d'électricité, il faut parvenir à la stocker en période creuse, afin de ne fournir que l'électricité demandée, et à utiliser ces stocks tampons lors des pics de demande, le stockage contribue à l'équilibre du réseau et à sa stabilité, il augmente l'efficacité des installations de transmission et de distribution et permet d'intégrer les énergies renouvelables, or, la caractéristique de l'électricité est, qu'elle soit très difficile à stocker. À tout moment, la quantité

d'électricité demandée par le consommateur doit être égale à la quantité injectée sur le réseau de manière quasi-immédiate pour éviter le black-out, cet équilibre entre l'offre et la demande est aujourd'hui atteint de deux manières : en prévoyant la consommation électrique sur la base des données historiques et des conditions climatiques et en ajustant en permanence la production.

Gestion plus efficace des flux du fait d'une augmentation de plus en plus forte de la demande intérieure, la distribution de l'électricité connaît de fortes perturbations, cette situation d'inadéquation entre l'offre et la demande en énergie électrique conduit Sonelgaz à opérer des « délestages » (en fonction des appels de puissance). Un déséquilibre entre production et consommation se traduit par des variations de fréquence ou de tension sur le réseau qui peuvent endommager les équipements électriques. Un déséquilibre trop important provoque des coupures et des pannes de courant avec leurs nombreuses conséquences. Avant même de reconfigurer les réseaux électriques, ce qui représente des investissements lourds, il est nécessaire de les décongestionner en gérant plus efficacement les flux qu'ils véhiculent. Nouvelles technologies de l'énergie

Toutes les réponses aux questions liées à la diminution du stock des énergies fossiles et à l'augmentation des gaz à effet de serre convergent vers les nouvelles technologies de l'énergie et de distribution. Développer durablement l'ensemble de la filière énergie électrique en Algérie est d'une absolue nécessité. L'objectif final étant d'optimiser la production énergétique et les services liés sur tous les maillons de la chaîne de la production à la distribution.

En premier lieu, un programme de modélisation doit être établi pour fournir un cadre à l'analyse prospective de la dynamique du marché énergétique algérien. Puis il faudra procéder méthodologiquement en tenant compte des quatre préoccupations majeures à savoir [25] :

- **L'approche systèmes**

Face à la complexité de l'offre énergétique et à la demande des clients, l'Algérie doit privilégier une approche système qui facilite leur association pour obtenir une solution globalement efficace.

- **L'économie d'énergie**

L'Algérie doit veiller à la réduction des pertes d'énergie dans les réseaux et installations électriques

- **Les nouvelles sources d'énergie.**

Pour ce qui est de l'offre énergétique, l'Algérie doit investir dans de nouvelles sources décentralisées via des technologies innovantes telles que la micro-génération, le couplage et l'intégration, le solaire photovoltaïque et thermique, éolienne...

- **L'intelligence embarquée.**

Pour répondre aux enjeux de la demande croissante d'une énergie fiable, stable et de qualité et mettre en œuvre une gestion tarifaire dynamique de la consommation électrique, l'Algérie est appelée, à brève échéance, à intégrer des systèmes intelligents au niveau de ses équipements de distribution et de gestion de l'énergie électrique SMART GRID [26].

II.9 CONCLUSION

Passer à un autre mode de consommation énergétique devient évident et surtout inévitable. Profiter des avancées de plusieurs secteurs (celui des capteurs, des télécommunications et des technologies de l'information) pour fournir un système de gestion de l'électricité plus efficace et moins énergivore est salutaire. Gérer en temps réel des flux d'électricité et d'information dans les deux sens et gérer des centrales à la production très fluctuante, tels sont les deux défis que les réseaux devront relever en se criblant d'électronique. Les réseaux intelligents sont notre seule chance de conserver notre rythme de consommation électrique actuelle. Plus réactifs et communicants, ils permettront de répondre aux défis que constituent l'intégration de la production électrique d'origine renouvelable, la maîtrise de la demande énergétique, la gestion des pics de consommation et le développement de l'usage de la voiture électrique. On notera enfin que l'émergence des réseaux intelligents est accentuée par l'évolution des logiques législatives introduites par l'ouverture des marchés de fourniture d'électricité à la concurrence.

Chapitre III :
AUTOMATISATION DE LA
RECONFIGURATION DES
RESEAUX DE
DISTRIBUTION

Chapitre III : Automatisation de la reconfiguration des réseaux de distribution

III.1 INTRODUCTION

Les réseaux de distribution ont des topologies bouclées, ayants des boucles entre des différents postes sources, mais leurs exploitations se réalise via une configuration arborescente. Cette configuration est déterminée par l'ouverture et la fermeture des interrupteurs (switches) pour objectif de minimiser objectif souhaité en considération des contraintes techniques, topologique et de sécurité du réseau. L'optimisation de la configuration du réseau de distribution représente un problème combinatoire non-linéaire, à caractère discret, ce qui nécessite appel à une méthode d'optimisation. Pour cela, ce chapitre présentera la définition du problème d'optimisation de la configuration du réseau, et exposera l'état de l'art sur les différentes techniques appliquées sur ce problème et leur formulation mathématique.

III.2 RÉSEAUX DE DISTRIBUTION

Les réseaux de distribution sont souvent caractérisés par leur structure radiale, destinée à transporter l'énergie électrique du Poste vers toutes les charges existantes interconnectées au réseau. La figure 3.1 montre un schéma unifilaire d'un réseau de distribution radial à 16 bus. Sur la base de la topologie radiale du réseau de distribution, le bus d'alimentation doit être capable de supporter l'addition de la demande de charge aux nœuds subséquents et les pertes de puissance dans les segments de ligne. En termes stricts, le chargement du bus d'alimentation peut être décrit comme suit [27] :

$$P_F = \sum_{n=1}^N P_n + P_{pert} \quad (\text{III. 1})$$

Où P_F est la puissance fournie au réseau par le bus d'alimentation, N est le nombre de nœuds, P_n est la demande de puissance de charge sur le bus n et P_{pert} sont les pertes de puissance dans les lignes. Au cours de l'analyse du système de distribution, il est courant de considérer le bus d'alimentation comme le nœud de source, et les charges, le générateur ou d'autres composants sont supposés être connectés aux nœuds suivants.

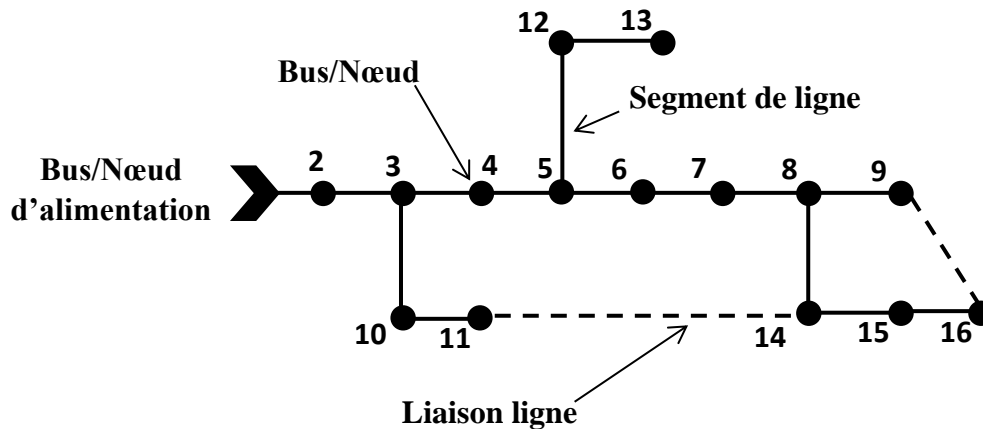


Figure III.1 : Schéma unifilaire du réseau de distribution radial

III.2.1 Caractéristiques des réseaux de distribution radiaux

Traditionnellement, les entreprises de services publics ont conçu et développé des systèmes de distribution d'électricité comme topologie de réseau radial. Lors de l'exécution d'études de système de distribution, il est pratique de représenter le réseau de distribution sous forme de graphique, ou d'une façon plus claire, sous forme de graphique arborescent, où un bus peut être représenté comme un nœud et une ligne électrique comme une arête (branche). Les caractéristiques suivantes peuvent décrire un arbre [28] :

- Un arbre est un graphe connexe qui ne contient pas de boucles (cycles) ; par exemple, dans un arbre, une arête ne se divise jamais et ne se rejoint jamais.

- Représentons $G(n)$ sous forme de graphique. $G(n)$ peut représenter un arbre si et seulement si le graphe est connexe, il n'a pas de boucles et contient $n-1$ arêtes (Eq III.2) où NB représente le nombre de nœuds.

Dans ce travail, tous les segments de ligne existants (lignes électriques) sont supposés avoir un appareil de commutation, donc le nombre de lignes $LN1$ par départ doit être égal au nombre d'appareils de commutation Ns (Eq III.3), chacun agissant sur un et un seul segment de ligne.

$$LN1 = NB - 1 \quad (III.2)$$

$$LN1 = Ns \quad (III.3)$$

III.2.2 Chute de tension

Les calculs de chute de tension sont essentiels lors de l'analyse et de la conception du système de distribution. En particulier, lors des études de reconfiguration de la distribution, l'une des fonctions objectives est souvent la minimisation des chutes de tension sur les lignes électriques.

La chute de tension affecte directement les pertes de puissance données dans les segments de ligne et d'autres composants du système de distribution en supposant des charges PQ constantes. En prenant comme référence le segment de ligne représenté sur la figure III.2 et en supposant que la tension V_i^* correspondant au noeud i est connue, la tension d'extrémité de réception $V_{(i+1)}^*$ au noeud $i + 1$, est déterminée comme [28] :

$$\vec{V}_{i+1} = \vec{V}_i - \vec{I}_{i,i+1} (R_i + jX_i) \quad (\text{III.4})$$

Où : $\vec{I}_{i,i+1}$ représentent le courant circulant du bus i au bus $(i + 1)$, R_i et jX_i sont respectivement la résistance et la réactance de la ligne i_{th} .

Lors de la détermination à la fois de la tension de réception et de l'envoi de tensions, la chute de tension sur un segment de ligne électrique peut être déterminée comme suit :

$$\Delta V = \vec{V}_i - \vec{V}_{i+1} \quad (3.5)$$

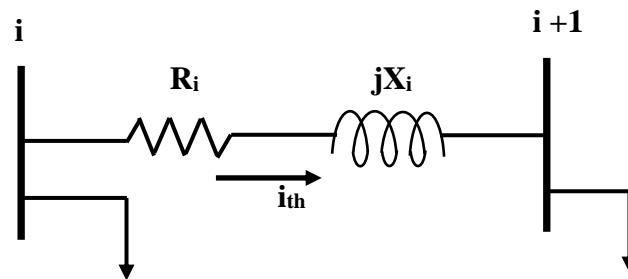


Figure III.2 : Représentation schématique unifilaire d'un segment d'une ligne électrique

III.2.3 Réduction des pertes du réseau de distribution

Il existe trois méthodes de base pour réduire les pertes dans un réseau de distribution [29] :

- Réduisez la résistance équivalente ;
- Le placement des condensateurs de compensation ;
- Reconfiguration du réseau.

Dans ce travail nous sommes intéressés par le troisième point à savoir la reconfiguration du réseau de distribution. La reconfiguration du système de distribution peut être utilisée comme outil de planification ainsi que comme outil de contrôle en temps réel. La plupart des systèmes de distribution sont reconfigurés radialement, et modifiant de temps en temps la structure radiale des départs de distribution, en changeant les états ouvert / fermé des interrupteurs en transférer des charges d'un départ à un autre, peut améliorer considérablement les conditions de fonctionnement de l'ensemble du système. La reconfiguration des départs permet le transfert de charges depuis les départs fortement chargés vers les départs relativement peu chargés et depuis les voies de

résistance plus élevée vers les voies de plus faible résistance pour obtenir le moins d' $I^2 \cdot R$, où la voie de résistance est la résistance totale de la source au point de charge. Ces tels transferts sont efficaces non seulement en termes de modification du niveau de charges sur le départ commuté et de réduction des pertes, mais également en améliorant le profil de tension le long des départs et en affectant des réductions des pertes de puissance globales du système. Des études et des expériences sur la reconfiguration des départs sont en cours dans plusieurs services publics.

III.3 OPTIMISATION DE LA CONFIGURATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION

L'optimisation du réseau de distribution peut être obtenue à l'aide de la reconfiguration du réseau. La reconfiguration du réseau de distribution est une opération très importante et utilisable pour réduire les pertes des départs de distribution et améliorer la sécurité du système. La configuration peut être modifiée via des opérations de commutation pour transférer des charges entre les départs. Deux types d'interrupteurs sont utilisés : les interrupteurs normalement fermés (interrupteurs de sectionnement) et les interrupteurs normalement ouverts (interrupteurs de liaison). En modifiant l'état d'ouverture / fermeture des interrupteurs de départ, les courants de charge peuvent être transférés du départ vers un autre départ. Lors d'un défaut, les commutateurs sont utilisés pour l'isolation des défauts et la restauration du service. Il existe de nombreux commutateurs dans le système de distribution et le nombre d'opérations de commutation possibles est énorme. La reconfiguration des départs devient ainsi un processus décisionnel complexe à suivre pour les répartiteurs. Il existe un certain nombre d'interrupteurs fermés et normalement ouverts dans un système de distribution. Le nombre d'actions de commutation possibles fait de la reconfiguration des départs une prise de décision complexe pour les opérateurs de système. La figure III.3 montre un diagramme schématique d'un circuit primaire simplifié d'un système de distribution. Dans la figure, l'interrupteur 1 à l'interrupteur 13 : sont des interrupteurs normalement fermés qui connectent les sections de ligne, et les interrupteurs 14, 15 et 16 sont des interrupteurs normalement ouverts qui relie deux départs principaux [30].

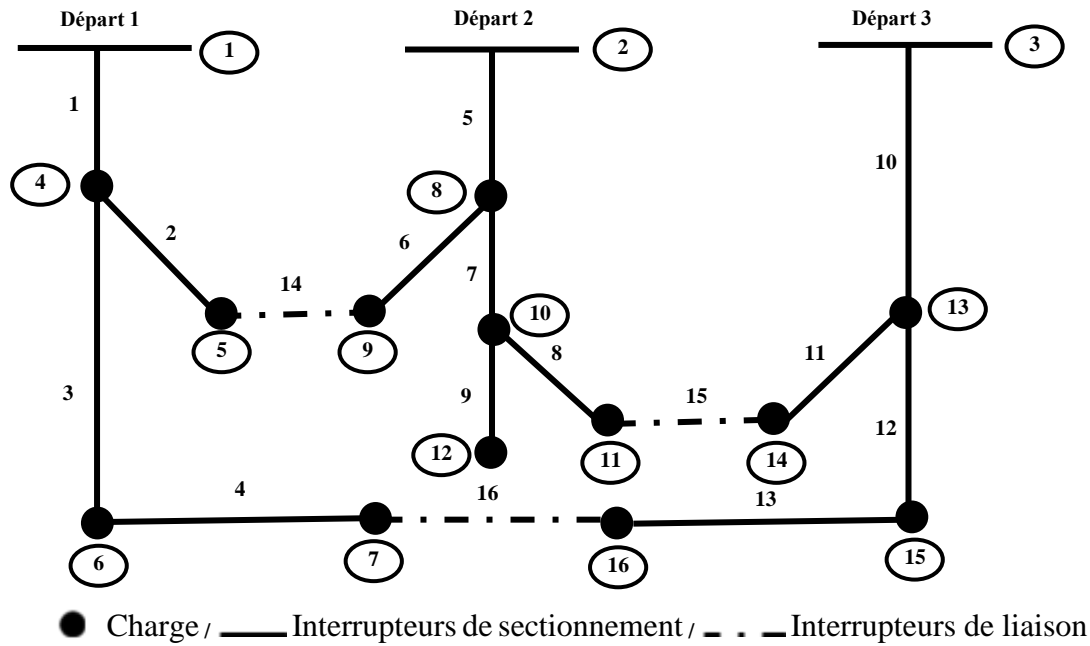


Figure III.3 : Schéma principe d'un système de distribution pour la reconfiguration

Un fonctionnement optimal des systèmes de distribution peut être obtenu en reconfigurant le système pour minimiser les pertes à mesure que les conditions de fonctionnement changent. Le problème de reconfiguration appartient essentiellement au problème d'optimisation combinatoire car ce problème est réalisé en tenant compte de diverses contraintes opérationnelles dans les systèmes de distribution à grande échelle. Il est donc difficile d'obtenir rapidement une solution optimale exacte sur un système réel. Un organigramme pour l'algorithme de reconfiguration du système d'alimentation est illustré à la figure III.4 [30].

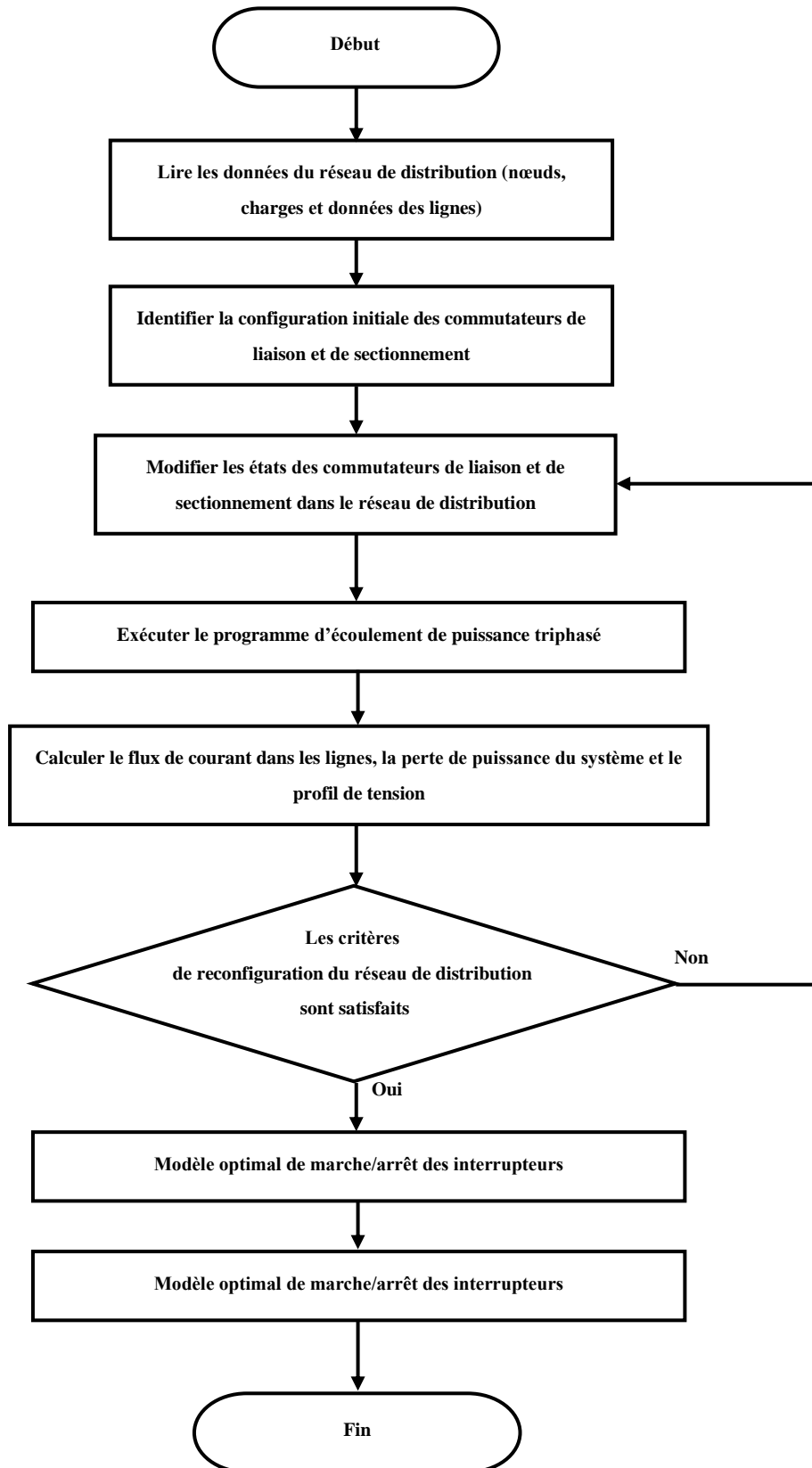


Figure III.4 : Organigramme de la reconfiguration du réseau de distribution

III.4 RÉSEAU DE DISTRIBUTION ET LA THEORIE DES GRAPHS

Cette partie présentera la théorie des graphes et décrira comment l'utiliser pour modéliser un réseau électrique. La théorie des graphes est un domaine des mathématiques décrivant l'étude des relations par paires entre objets.

Nous commençons par considérer la Figure III.5 qui représente une partie d'un réseau électrique. Cette situation peut être représentée schématiquement au moyen des points et des lignes, comme sur la figure III.6. Les points P, Q, R, S et T sont appelés sommets, les lignes sont appelées arêtes et le diagramme entier est appelé graphe. Notez que l'intersection des lignes PS et QT n'est pas un sommet, car elle ne correspond pas à la rencontre de deux fils. Le degré d'un sommet est le nombre d'arêtes avec ce sommet comme point final. Par exemple, le degré du sommet Q est 4. Le jeu de sommets ne peut pas être vide, mais le jeu d'arêtes peut l'être [31].

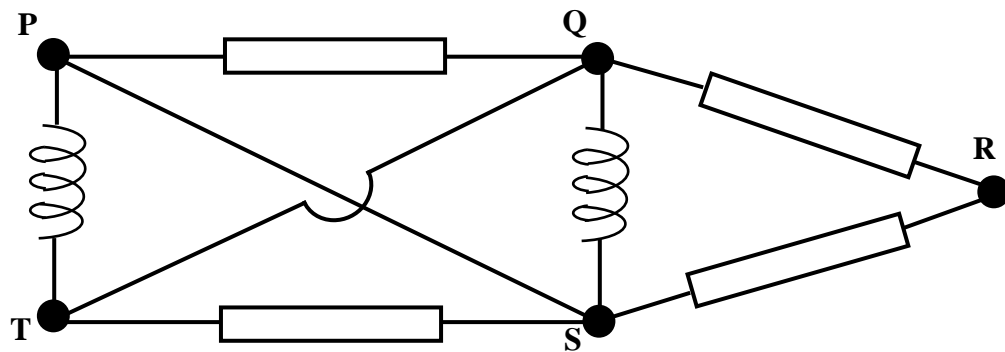


Figure III.5 : Une partie d'un réseau électrique

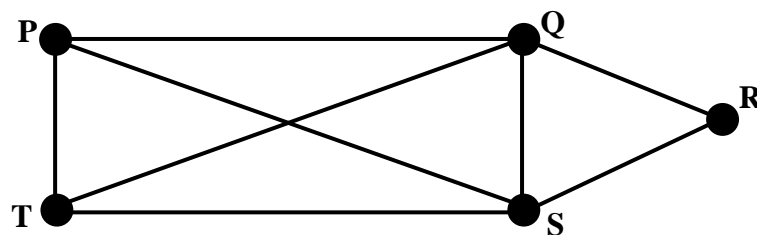


Figure III.6 : Schéma de représentation d'un graph

Maintenant, puisque les données de ligne sont connues ou fournies (par exemple, les nœuds d'extrémité d'envoi et de réception), un modèle de système d'alimentation peut être construit en utilisant une idée de théorie des graphes ci-dessus. Fondamentalement, tous les bus du système d'alimentation sont connectés via des disjoncteurs et des commutateurs, par conséquent, les disjoncteurs et les commutateurs peuvent être modélisés comme des arêtes, et les bus sont

modélisés comme des sommets dans un graphique. Par exemple, considérons la figure III.7, si le disjoncteur s1 (par exemple, interrupteur de sectionnement ou interrupteur de liaison) entre le nœud du poste (nœud 1) et le premier nœud à côté du poste (nœud 2) est fermé, alors le commutateur s1 est appelé sommets et le bord est créé. Cependant, si le commutateur s1 est ouvert, alors il n'y a pas de bord entre ces deux nœuds. La figure III.8a montre une représentation graphique du système électrique La figure III.8b montre le même système électrique avec s1 ouvert.

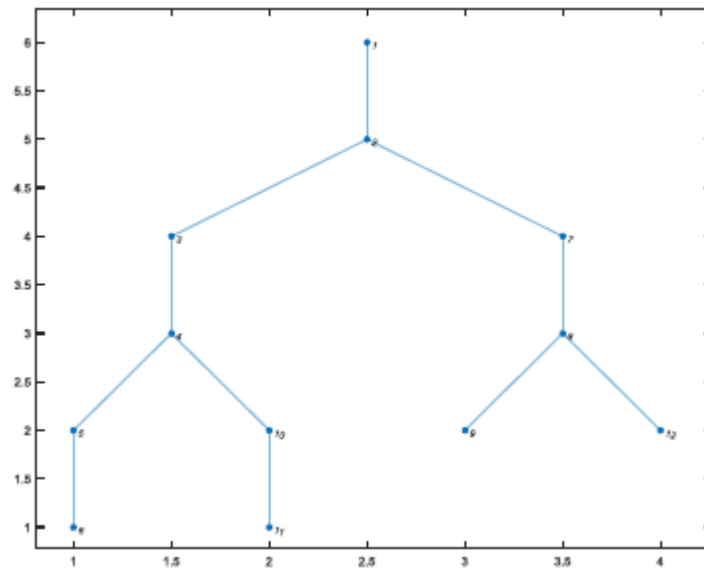


Figure III.7 : Schéma linéaire simple réseau de distribution radiale

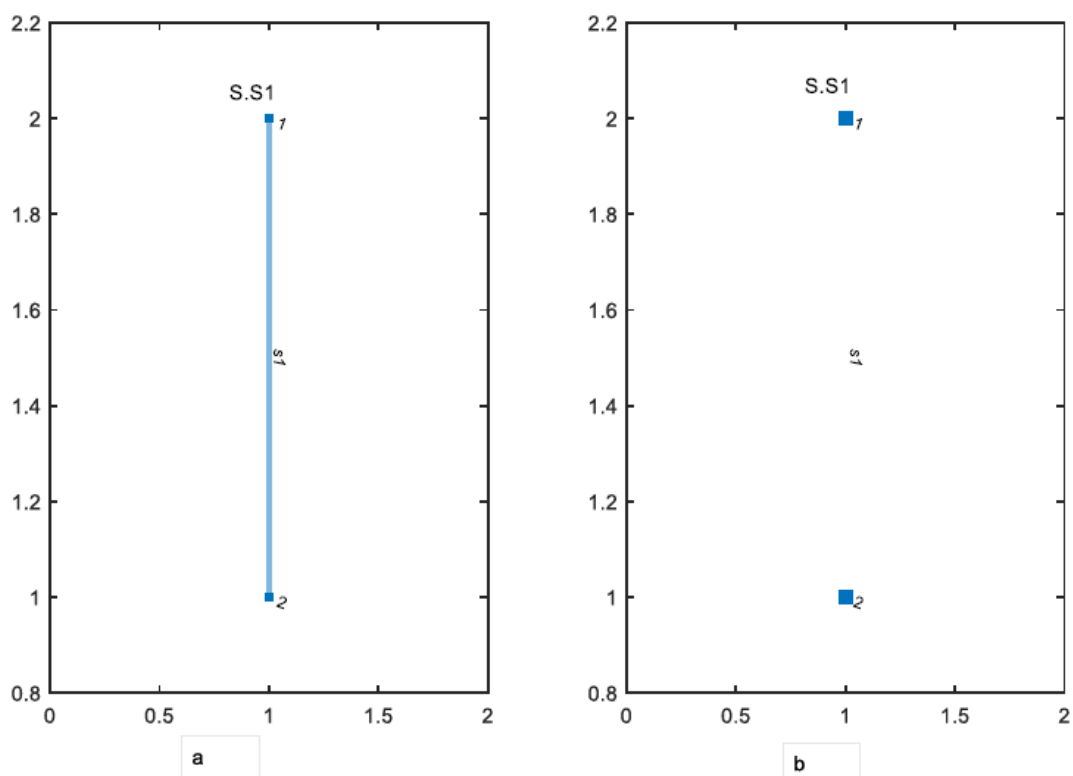


Figure III.8 : Une représentation graphique d'O/F d'une ligne

Les résultats de la propriété graphique sont :

Bords : [table 1x1] : les bords représentent les branches ou les départs.

Nœuds : [table 2x0] : les nœuds sont les bus créant les branches.

Si un nœud particulier est connecté à plus d'un nœud (par exemple, un nœud avec un latéral connecté), la commande voisines est utilisée pour identifier le nœud connecté dans un graphique. Par exemple, considérons à nouveau la figure III.7 le nœud 4 a deux nœuds connectés à côté de lui en plus du nœud trois qui est la source du nœud 4. Par conséquent, le nœud 4 a trois voisins nœud 3, nœud 5 et nœud 10. Après avoir spécifié les voisins de chaque nœud, les bords sont créés et le réseau et l'écoulement de puissance sont modélisés [32].

III.4.1 Méthodologie de la solution

Le numéro de branche, le nœud d'extrémité émettrice et le nœud d'extrémité de réception du départ illustré à la figure III.6 sont indiqués dans le Tableau III.1. La stratégie consiste à considérer une branche à chaque fois, puis à identifier le nombre de nœuds au-delà de cette branche particulière comme discuté dans la section précédente (théorie des graphes), par exemple, considérons la branche 1. La tension au nœud de réception peut être obtenue comme suite [32] :

$$V(2) = V(1) - I(1)Z(1) \quad (\text{III.6})$$

De même, pour la branche numéro 2

$$V(3) = V(2) - I(2)Z(2) \quad (\text{III.7})$$

Tableau III.1 : Méthodologie de la solution d'analyse de l'écoulement de puissance

Numéro de Branche (<i>jj</i>)	Nœud d'envoi $m1=IE(jj)$	Nœud de réception $m2=IR(jj)$	Nœuds au-delà de la branche <i>jj</i>	Nombre total des nœuds <i>N (jj)</i> au-delà de la branche <i>jj</i>
1	1	2	2,3,7,4,8,5,10,9,12,6,11	11
2	2	3	3,4,5,10,6,11	6
3	3	4	4,5,10,6,11	5
4	4	5	5,6	2
5	5	6	6	1
6	2	7	7,8,9,12	4
7	7	8	8,9,12	3
8	8	9	9	1
9	4	10	10,11	2
10	10	11	11	1
11	8	12	12	1

Puisque la tension de source est connue $V(1)$, si $I(1)$ est également connue (en initialisant un démarrage à tension plate pour tous les nœuds et en utilisant (III.12)), alors il devient facile de

calculer la tension du nœud numéro 2, $V(2)$ à partir de (III.6). Une fois que $V(2)$ est connu, il est également facile de calculer $V(3)$ à partir de (III.7). De même, en suivant la même procédure, toutes les tensions de nœud peuvent être facilement calculées. Par conséquent, l'équation généralisée est représentée comme suit :

$$V(m2) = V(m1) - I(jj) Z(jj) \quad (III.8)$$

Où jj est le numéro de branche, il peut être évalué pour $jj = 1, 2, 3, \dots, LN1$ où ($LN1 = NB - 1$): $LN1$ et NB sont respectivement le nombre total de branches et le nombre total des nœuds.

$$m1 = IE(jj) \quad (III.9)$$

$$m2 = IR(jj) \quad (III.10)$$

$IE(jj)$ et $IR(jj)$ sont respectivement un nœud d'envoi de la branche jj et un nœud de réception de la branche jj .

Le courant à travers la branche 1 est égal à la somme des courants de charge de tous les nœuds au-delà de la branche 1 (c'est-à-dire) :

$$I(1) = \sum_{i=2}^{LN1} IL(i) \quad (III.11)$$

Par conséquent, il devient possible de calculer tous les courants de branche après avoir identifié les nœuds au-delà de toutes les branches. La forme généralisée de l'équation actuelle est :

$$IL(i) = \frac{PL(i) - jQL(i)}{V^*(i)} \quad i = 2, 3, \dots, NB \quad (III.12)$$

Où, $PL(i)$ et $QL(i)$ sont les charges de puissance réelle et réactive au nœud ith .

Les pertes de la branche jj sont données par :

$$LP(jj) = |I(jj)|^2 R(jj) \quad (III.13)$$

$$LQ(jj) = |I(jj)|^2 X(jj) \quad (III.14)$$

L'avantage principal de l'identification des nœuds au-delà de toutes les branches est de calculer le courant exact traversant toutes les branches, ce qui nous donne la possibilité de quantifier le courant d'une branche particulière [32].

III.4.2 Méthode Newton-Raphson (NR)

Cette méthode a été nommée d'après *Isaac Newton* et *Joseph Raphson*. L'origine et la formulation de la méthode Newton-Raphson remonte à la fin des années 1960 [33], Il s'agit d'une

méthode itérative qui est destinée à résoudre un système d'équations non linéaires qui seront ensuite transformées à un ensemble d'équations linéaires en utilisant l'expression de la série de *Taylor* et les termes sont limités à la première approximation. C'est la méthode la plus utilisée pour l'EP parce que ses caractéristiques de convergence sont relativement plus rapides par rapport à d'autres méthodes et sa fiabilité est comparativement bonne car elle peut résoudre des cas qui mènent à une divergence par d'autres processus. Comme nous l'avons cité auparavant, que si la valeur initiale choisie est proche de la solution, alors le résultat est obtenu très rapidement, mais si elle est plus éloignée de la solution, la méthode peut prendre plus de temps à converger. D'après la littérature, la méthode NR est largement utilisée pour résoudre les équations non linéaires [34]. La matrice d'admittance est utilisée pour écrire des équations pour les courants dans les nœuds du réseau électrique. L'équation (I.9) est exprimée sous une forme de coordonnées polaires, dans laquelle " j " inclut le nœud " i " :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} + \delta_j \quad (\text{III.15})$$

La puissance active et réactive au nœud i est la suivante :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (\text{III.16})$$

Substitution de I_i dans l'équation (III.15) à partir de l'équation (III.16) :

$$P_i - jQ_i = |V_i| < -\delta_j \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \delta_{ij} + \delta_j \quad (\text{III.17})$$

Les parties réelle et imaginaire sont séparées :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (\text{III.18})$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (\text{III.19})$$

Les équations (III.18) et (III.19) ci-dessus constituent un ensemble d'équations algébriques non linéaires en termes de $|V|$ en par unité et δ en radians. Les équations (III.18) et (III.19) sont développées dans la série de *Taylor* sur l'estimation initiale et en négligeant tous les termes d'ordre supérieur, on obtient l'ensemble suivant d'équations linéaires.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} \quad (\text{III.20})$$

Dans l'équation ci-dessus, l'élément de l'amplitude et de l'angle des différentes tensions des nœuds sont omis parce qu'ils sont déjà connus. Les éléments de la matrice Jacobienne sont obtenus après dérivées partielles d'équations (III.18) et (III.19) sont exprimés, ce qui donne une relation linéarisée entre les faibles variations de l'amplitude et l'angle de la tension. L'équation peut être écrite sous forme matricielle suivante [35] :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_3 \\ J_2 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (\text{III.21})$$

où J_1, J_2, J_3 et J_4 sont les éléments de la matrice Jacobienne.

Les valeurs corrigées de l'itération k peuvent être exprimées par ce qui est appelé le calcul des mismatches ($\Delta P_i^{(k)}$ et $\Delta Q_i^{(k)}$), qui sont représentés comme suit :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sp} - P_i^{(k) cal} \quad (\text{III.22})$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sp} - Q_i^{(k) cal} \quad (\text{III.23})$$

où P_i^{sp} et Q_i^{sp} représentent les valeurs spécifiées de P_i et Q_i au nœud i . Ces valeurs sont donc fixes. $P_i^{(k) cal}$ et $Q_i^{(k) cal}$ représentent les valeurs calculées de la $k^{\text{ème}}$ itération.

Les nouvelles valeurs estimées de la tension des nœuds sont les suivantes[36] :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (\text{III.24})$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (\text{III.25})$$

III.5 ÉTAT DE L'ART SUR LA RECONFIGURATION DU RESEAU

III.5.1 Contexte théorique

Plus de 40 ans, les ingénieurs français Merlin et Back ont introduit la possibilité de réduire les pertes techniques en explorant un changement dans l'état des interrupteurs normalement fermés et normalement ouverts. Ils ont proposé le « problème de reconfiguration du réseau », pour lequel la solution devrait fournir le meilleur état pour tous les commutateurs d'un réseau de distribution MT, le mieux dans le sens où ils fournissent une configuration radiale alimentant les charges avec le minimum de perte de puissance. Entre 1988 et 1990, des méthodes heuristiques ont été utilisées pour résoudre le problème. Les développements au cours de cette période se sont concentrés sur l'augmentation du nombre de contraintes d'exploitation. A partir de 1990, de nouvelles stratégies de solution sont apparues : programmation linéaire, recuit simulé, et algorithmes génétiques, dont la fonction objective est la minimisation des pertes de puissance et les contraintes de fonctionnement précédemment utilisées. De plus, les modèles de charge sont améliorés avec des modèles plus précis [37].

En 1993, des solutions au problème ont été présentées par le biais de réseaux de neurones, qui modélisent initialement peu de contraintes de fonctionnement et des modèles de charge simples. En 1997, des modèles avec plus de contraintes ont été utilisés. Entre 1995 et 1996, la méthode heuristique a été proposée à nouveau afin d'optimiser les pertes d'énergie en utilisant des modèles de charge plus précis. De 1997 à nos jours, les techniques utilisées sont des combinaisons des techniques précédentes, visant à compléter les points forts de chaque méthode. De nouvelles méthodes comme Ant Colony (ACO) et Particle Swarm Optimization (PSO) sont également utilisées. Selon le développement historique, les méthodes de recherche informatique sont classées en trois grands groupes [38] :

- Méthodes basées sur des techniques évolutives pour la reconfiguration du réseau.
- Méthodes basées sur les connaissances pour la reconfiguration du réseau.
- Méthodes mixtes pour la reconfiguration du réseau.

III.5.2 Revue littérature

III.5.2.1 Méthodes basées sur des techniques évolutives

Les algorithmes évolutionnaires (EA) sont développés pour arriver à des solutions optimales ou quasi optimales à un problème d'optimisation à grande échelle. Le problème ayant un très grand nombre de variables de décision et de fonctions objectifs non linéaires est souvent résolu par les EA. Les EA imitent la métaphore de l'évolution biologique naturelle ou du comportement social,

comme la façon dont les fourmis trouvent le chemin le plus court vers une source de nourriture et comment les oiseaux trouvent leur destination pendant la migration. Le comportement de ces espèces est guidé par l'apprentissage et l'adaptation. Les algorithmes évolutionnaires sont basés sur des procédures de recherche basées sur la population qui intègrent la variation et la sélection aléatoires.

III.5.2.1.1 Algorithme génétique (AG)

La première technique d'optimisation basée sur l'évolution était l'algorithme génétique (AG). Les algorithmes génétiques sont devenus très populaires comme méthode de recherche d'optimums globaux. Comme appliqué à la reconfiguration, les états de commutation sont codés dans des chaînes de "chromosomes" 0/1 et une population de, par exemple, 30 topologies est construite au hasard. À chaque itération, deux topologies parentales sont sélectionnées au hasard pour le croisement qui est un processus de combinaison des chromosomes selon un algorithme défini. Ensuite, une mutation, une altération aléatoire de certains chromosomes, peut se produire avec une certaine probabilité. Si l'enfant obtenu est meilleur, il remplace une topologie existante dans la population de 30. Ce processus de croisement se poursuit pendant un certain nombre d'itérations. La population doit également être réensemencée périodiquement avec des ficelles aléatoires pour éviter la reproduction. Au fur et à mesure que la population évolue, il y aura toujours une meilleure solution qui devrait s'améliorer régulièrement.

Les algorithmes génétiques sont les plus attrayants pour les environnements de traitement parallèles et lorsque chaque enfant peut être évalué rapidement. Les algorithmes de croisement et de mutation doivent être conçus et testés sur mesure pour chaque application. Des paramètres tels que le nombre de croisements par génération, la probabilité de mutation, le nombre de générations, la taille de la population et le pourcentage de la population réensemencée doivent tous être déterminés par des tests.

Les applications de reconfiguration ont utilisé une analyse de réseau simplifiée car plusieurs milliers de topologies sont prises en compte, de sorte que la solution résultante peut ne pas être optimale avec un modèle plus détaillé.

Nara a utilisé l'algorithme génétique (AG) qui est un algorithme de recherche basé sur le mécanisme de la sélection naturelle et de la génétique naturelle. Il combine la nature adaptative de la génétique naturelle ou la procédure d'évolution des organes avec l'optimisation fonctionnelle. La fonctionnalité simple de GA le rend approprié pour différents problèmes d'optimisation multi-objectifs. Le problème principal de l'utilisation de l'AG repose sur un mécanisme de codage et de

décodage efficace du chromosome représentant le réseau de distribution et la structure de la fonction de fitness.

Fudou, Fukuyama et Nakanishi présentent une AG utilisant un flux de charge déséquilibré à trois phases. Une représentation de chaîne appropriée pour les charges et les alimentations est conçue et une méthode pour produire une bonne population de chaîne initiale dépendante du problème est présentée. Une réparation opérateur qui modifie la chaîne de manière à améliorer la fonction objective du problème et à satisfaire les contraintes du réseau radial. Une modification de la fonction fitness est effectuée pour renforcer la satisfaction des limites de la source d'alimentation et des contraintes de tension ainsi que de courant [39].

III.5.2.1.2 Recuit simulé

Le nom et l'inspiration sont venus du processus de recuit en métallurgie, une technique impliquant le chauffage et le refroidissement contrôlé d'un matériau pour augmenter la taille de ses cristaux et réduire leurs défauts. La chaleur fait que les atomes se décollent de leurs positions initiales (un minimum local de l'énergie interne) et errent aléatoirement à travers des états d'énergie plus élevée ; le refroidissement lent leur donne plus de chances de trouver des configurations avec une énergie interne plus faible que la configuration initiale. Dans la méthode de recuit simulé, chaque point de l'espace de recherche est comparé à un état d'un système physique, et la fonction à minimiser est interprétée comme l'énergie interne du système dans cet état. Le but est donc d'amener le système, d'un état initial arbitraire, à un état avec le minimum d'énergie possible.

Ray Daniel Zimmerman a utilisé un recuit simulé pour réduire les pertes d'un système de distribution électrique triphasé. Il est utilisé sur un système triphasé plus grand, plus complexe et déséquilibré. Un programme informatique a été développé et a pu trouver la configuration optimale du système d'exemple de 147 bus, 12 commutateurs, démontrant la faisabilité d'une telle approche pour la solution du problème de reconfiguration du réseau [40].

III.5.2.1.3 Réseau de neurones artificiels

Ali Reza Fereidunian, Hamid Lesani et Caro Lucas ont utilisé un optimiseur neuronal intelligent avec deux fonctions objectives conçu pour les systèmes de distribution électrique. La méthode présentée est plus rapide que les méthodes d'optimisation alternatives et est comparable aux plus puissantes et précises. L'optimiseur est beaucoup plus petit que les systèmes neuronaux similaires. La méthode proposée a établi une relation entre deux applications des réseaux de neurones : l'optimisation et la reconnaissance de formes.

Kim a présenté la stratégie de reconfiguration du feeder pour réduire la perte de puissance par le réseau de neurones artificiels (ANN). Cette approche développée est fondamentalement différente dans les aspects que le transfert de charge et la solution de flux de charge correspondante pendant le processus de recherche ne sont pas nécessaires. L'ensemble des ANN est la topologie optimale du système correspondant à divers modèles de charge qui minimise la charge dans des conditions données.

III.5.2.1.4 Optimisation des colonies de fourmis

L'optimisation des colonies de fourmis (ACO) est basée sur le comportement social des fourmis. Dans le monde réel, les fourmis errent (initialement) au hasard et, lorsqu'elles trouvent de la nourriture, retournent dans leur colonie tout en traçant des pistes de phéromones. Si d'autres fourmis trouvent un tel chemin, elles ne continueront probablement pas à voyager au hasard, mais suivront plutôt la piste tracée par les fourmis précédentes, la retournant et la renforçant, si elles finissent par trouver de la nourriture. Au fil du temps, cependant, la traînée de phéromone commence à s'évaporer, réduisant ainsi sa force d'attraction. Plus il faut de temps pour une fourmi de parcourir le chemin et de revenir, plus les phéromones ont de temps pour s'évaporer. Un chemin court, en comparaison, est parcouru plus rapidement, et donc la densité de phéromones reste élevée car elle est posée sur le chemin aussi vite qu'elle peut s'évaporer. Ainsi, lorsqu'une fourmi trouve un bon (court) chemin de la colonie à une source de nourriture, les autres fourmis sont plus susceptibles de suivre ce chemin, et une telle rétroaction positive finit par laisser toutes les fourmis suivre un seul chemin.

Abdullah M. Alshehri a utilisé ACO pour une reconfiguration optimale du réseau de distribution pour la minimisation des pertes et l'équilibrage de charge. Le programme MATLAB qui utilise ACO a été développé et testé sur le système de bus Baran et Wu 33 et deux grands systèmes de distribution pratiques. Les résultats ont également été validés en utilisant le logiciel de simulation Power World [41].

III.5.2.1.5 Optimisation de l'essaim des particules

Le Particle Swarm Optimization (PSO) s'inspire du comportement social d'un troupeau d'oiseaux migrateurs essayant d'atteindre une destination inconnue. Dans PSO, chaque solution est un oiseau dans le troupeau et est appelée particule. Une particule est analogue à un chromosome dans les AG. Contrairement aux AG, le processus évolutif dans le PSO ne crée pas de nouveaux oiseaux à partir des parents. Au contraire, les oiseaux de la population ne font qu'évoluer leur comportement social et par conséquent leur mouvement vers une destination. Chaque oiseau

regarde dans une direction spécifique, puis lorsqu'ils communiquent ensemble, ils identifient l'oiseau qui est le mieux placé. En conséquence, chaque oiseau se dirige vers le meilleur oiseau en utilisant une vitesse qui dépend de sa position actuelle. Chaque oiseau étudie ensuite l'espace de recherche à partir de sa nouvelle position locale, et le processus se répète jusqu'à ce que le troupeau atteigne la destination souhaitée.

Tamer M. Khalil et Alexander V. Gorpinich ont utilisé l'optimisation sélective des essaims de particules (SPSO) pour réduire les pertes. Cet algorithme est une simple modification de l'optimisation de la chaleur des particules binaires (BPSO). L'espace de recherche de l'algorithme est un ensemble de branches (interrupteurs) qui sont normalement fermées ou normalement ouvertes, cet espace de recherche peut être différent pour différentes dimensions. Le processus de résolution de la reconfiguration problème est divisé en deux étapes. Premièrement, trouver des espaces de recherche après avoir fermé tous les commutateurs et deuxièmement, utiliser SPSO pour trouver les commutateurs qui seraient ouverts. La technique présentée est appliquée à un système à 33 nœuds et à un système à 69 nœuds. Les résultats obtenus via SPSO sont comparés à certaines méthodes précédentes pour démontrer l'efficacité de l'algorithme proposé [40].

III.5.2.2 Méthodes basées sur les connaissances

Ils sont basés sur l'expérience des opérateurs dans l'exploitation du système. Sur la base de ces Connaissances, des algorithmes ont été conçus pour faciliter la recherche de la nouvelle configuration du réseau de distribution, en essayant de trouver une option proche de l'optimale.

Les méthodes heuristiques, la programmation linéaire, les systèmes experts, la logique floue, etc. appartiennent à cette catégorie. Méthodes heuristiques utilisées plusieurs fois par différents chercheurs. Le processus de résolution conduit à l'optimum ou près de l'optimum en moins de temps de calcul.

III.5.2.2.1 Méthodes d'optimisation heuristique

Plusieurs méthodes ont été proposées pour résoudre le problème de reconfiguration. En 1975, Merlin et Back ont proposé une méthode heuristique de type branche et lié (Branch and bound) pour déterminer la configuration du réseau pour des pertes de ligne minimales. Son schéma de solution commence par un réseau maillé en fermant initialement tous les commutateurs du réseau. Les interrupteurs sont ensuite ouverts un par un jusqu'à ce qu'une nouvelle configuration radiale soit atteinte. Dans ce processus, le commutateur à ouvrir à chaque étape est sélectionné afin de minimiser les pertes en ligne du réseau résultant.

La méthode branche et lié (Branch and bound) fonctionnera mieux si la solution initiale est proche de l'optimum, car plus d'élagage se produira. Branche et lié (Branch and bound) bénéficie également de la rupture du problème en sous-problèmes, chacun pouvant être optimisé séparément. Et ainsi, branche et lié (Branch and bound) est une méthode combinatoire et donc trop lente pour une utilisation pratique.

Par conséquent, la plupart des travaux récents sur la reconfiguration ont utilisé soit une méthode d'échange de dérivation, soit une méthode d'ouverture de commutateur séquentiel. Des heuristiques sont appliquées dans la plupart des cas pour réduire le nombre d'options de commutation envisagées

Shirmomohammadi et Hong ont amélioré la méthode de Merlin et Back. En conséquence, il partage les deux principaux avantages de cette méthodologie, la convergence vers la solution optimale ou quasi optimale et l'indépendance de la solution finale par rapport à l'état initial des commutateurs du réseau. En même temps, cette méthode évite tous les inconvénients majeurs de Merlin et Back.

Civanlar a développé une méthode d'échange de branches. Dans cette méthode, la réduction des pertes est obtenue par l'opération d'échange correspond à la sélection d'une paire d'interrupteurs, l'un pour l'ouverture et l'autre pour la fermeture afin que le réseau résultant ait des pertes en ligne plus faibles tout en restant connecté et radial. Les inconvénients majeurs de cette méthode sont [42] :

- La reconfiguration finale du réseau dépend de l'état initial des commutateurs réseau.
- La solution optimale n'est pas garantie.
- La sélection de chaque opération d'échange de commutateurs devient très chronophage.

Baran et Wu ont présenté une méthodologie de reconfiguration heuristique basée sur l'échange de branches pour réduire les pertes et équilibrer les charges dans les départs. Pour faciliter la recherche, deux flux de charge approximatifs pour les réseaux radiaux avec différents degrés de précision sont utilisés. Il s'agit d'une méthode de flux de puissance simple et d'une mise à jour aller-retour de la méthode de flux de puissance. La méthode prend beaucoup de temps en raison des combinaisons compliquées dans un système à grande échelle et converge vers une solution optimale locale, c'est-à-dire que la convergence vers l'optimum global n'est pas garantie.

G.J Peponis, M.P Popadopoulos et N.D Hatziargrion ont utilisé une méthode combinée, le commutateur d'échange (SEM) et la méthode d'ouverture de commutateur séquentiel (SSOM) pour la reconfiguration du réseau afin de réduire les pertes.

Son principal avantage est qu'une configuration optimale ou proche de l'optimum est obtenue en utilisant l'une des deux méthodes de base, SEM où l'interrupteur de fermeture et l'ouverture d'un autre dans la boucle formée. SSOM où tous les interrupteurs de couplage sont initialement fermés et un flux de charge optimal est obtenu. Le système est ramené à une configuration radiale par ouverture successive des interrupteurs ayant le moins de courant jusqu'à obtention de la radialité du réseau.

SEM nécessite moins de temps de calcul et SSOM est indépendant de la configuration initiale et conduit donc plus probablement à l'optimum réel.

Broadwater et Khan ont suggéré un algorithme de reconfiguration qui calcule les modèles de commutation en fonction du temps. Des études de temps saisonnières ou quotidiennes peuvent être effectuées. Les commutateurs manuels et automatiques sont utilisés pour reconfigurer le système pour les études saisonnières alors que seuls les commutateurs automatiques sont pris en compte pour les études quotidiennes.

Une telle reconfiguration continue est permise par l'automatisation de la distribution, la technologie de l'information et l'équipement d'aujourd'hui. Il est montré que la commutation au pic du système peut réduire les pertes mais provoquer une augmentation marginale du pic du système. Les aspects pratiques d'une telle optimisation restent à analyser avec soin en termes de coûts, d'effet transitoire et d'influence sur la fiabilité du système.

R. Safri, MMA Salama et Y. Chickani ont proposé un algorithme basé sur le découpage du réseau en groupes de bus de charge de telle sorte que les pertes de section de ligne entre les groupes de nœuds soient minimisées, la méthode proposée surmonte la restriction de taille imposée par techniques de reconfiguration. En divisant le réseau de distribution en groupes de bus, la nature combinatoire du problème de reconfiguration est réduite tout en minimisant les pertes [43].

III.5.2.2.2 Techniques de programmation linéaire

A. Borghetti, M. Paolone et C.A. Nucci a utilisé un modèle de programmation linéaire en nombres entiers mixtes (MILP) pour résoudre le problème de reconfiguration à perte minimale des réseaux de distribution, y compris la génération embarquée. Le modèle MILP proposé prend en compte les principales contraintes de fonctionnement autres que la radialité, telles que les bornes

inférieures et supérieures des tensions de bus et les bornes supérieures des courants de ligne. La solution du modèle MILP ne nécessite pas la connaissance d'une configuration initiale réalisable du réseau.

G. Celli, M. Loddo, F. Pilo et A. Abur ont formulé et résolu le problème de reconfiguration de réseau avec des DG en utilisant une approche de programmation linéaire simple. Les configurations optimales sont déterminées en tenant compte des effets des sorties DG, des variations de charge et de diverses autres contingences telles que les pannes et les interruptions de maintenance. Les actions de Demand Side Management ont également été prises en compte [44].

III.5.2.2.3 Méthode de logique floue

Ramadoni Syahputra a présenté une approche floue multi-objectifs pour atteindre la perte de puissance active minimale et la magnitude de tension maximale afin d'améliorer l'efficacité des réseaux de distribution radiaux avec des générations distribuées. Des fonctions multi-objectifs sont envisagées pour l'équilibrage de charge entre les départs, la minimisation de la perte de puissance réelle, la déviation de la tension des nœuds et la violation de la contrainte de courant de dérivation, tout en étant soumises à une structure de réseau radial dans laquelle toutes les charges doivent être alimentées. L'efficacité de la méthode a été démontrée par un système de test de réseau de distribution à 70 nœuds.

Abhisek Ukil et Willy Siti ont utilisé la logique floue pour l'équilibrage de charge. Ils ont présenté un système d'équilibrage de charge basé sur la logique floue ainsi qu'un système de mise en œuvre basé sur l'optimisation combinatoire pour mettre en œuvre les changements de charge. L'entrée de l'étape floue est la charge totale (kW) par phase des départs. La sortie de l'étape floue est la charge changer les valeurs, valeur négative pour la libération de charge et valeur positive pour la réception de charge. La somme des valeurs positives et négatives est nulle, c'est-à-dire que la charge totale reste inchangée pendant tout l'équilibrage de phase.

III.5.2.2.4 Méthode de recherche Tabou

La recherche Tabou est une méta-heuristique qui guide une procédure de recherche heuristique locale pour explorer l'espace de solution au-delà de l'optimalité locale. L'un des principaux composants de la recherche Tabou est son utilisation de la mémoire adaptative, qui crée un comportement de recherche plus flexible. Les stratégies basées sur la mémoire sont donc la marque des approches de recherche Tabou, fondées sur une quête de « principes d'intégration », par lesquels des formes alternatives de mémoire sont combinées de manière appropriée avec des stratégies efficaces pour les exploiter.

N. Rugthaicharoencheep et S. Sirisumrannukul ont utilisé Tabu Search (TS) pour la réduction des pertes des réseaux de distribution avec génération distribuée. La méthodologie développée est testée avec un système de distribution de 69 bus comportant 48 points de charge. Les résultats de l'étude indiquent que pour un ensemble donné de générateurs distribués et leurs emplacements, la méthode proposée peut identifier des modèles d'activation/désactivation optimaux des commutateurs qui produisent la perte minimale tout en satisfaisant les contraintes.

III.5.2.3 Méthodes mixtes

Ces méthodes sont utilisées depuis 1996 et sont des combinaisons de méthodes précédentes pour rassembler leurs forces combinées ; par conséquent, de meilleurs résultats sont obtenus. Des méthodes mixtes comme la programmation linéaire avec heuristique et la logique floue et heuristique ont été utilisées.

King et Radha ont utilisé un contrôleur de logique floue pour adapter les probabilités de croisement et de mutation en fonction de la fonction de fitness. Les principaux avantages du système de contrôle flou par rapport à la méthode conventionnelle sont les suivants : capacité à modéliser les aspects quantitatifs de la connaissance humaine et du processus de raisonnement, estimateur sans modèle, robustesse et mise en œuvre facile. Le GA contrôlé par logique floue trouve toujours l'optimum global et s'est avéré avoir une convergence plus rapide qu'un GA utilisant un croisement fixe et une mutation adaptative.

Mehdi Assadian a étudié la capacité de l'optimisation des essaims de particules (PSO) en coopération avec la théorie des graphes pour la reconfiguration du réseau à réduire la perte de puissance et l'amélioration du profil de tension du système de distribution. Les résultats numériques sont présentés sur un système de distribution pour illustrer la faisabilité de la méthode proposée. De plus, pour valider les résultats obtenus par PSO en utilisant la théorie des graphes, l'algorithme génétique (AG) en utilisant la théorie des graphes est appliqué et les résultats sont comparés [45].

III.5.3 Résumé des revues de la littérature

Selon, le théorème d'aucun repas est gratuit, un algorithme d'optimisation ne peut pas être supérieur à d'autres algorithmes dans toutes sortes de cas. Ainsi, pour la classe de problème étudiée, on doit découvrir quel algorithme est le meilleur pour le problème d'optimisation et ses objectifs. Le tableau III.2 compare les différents algorithmes lorsqu'ils sont appliqués au problème de reconfiguration du réseau [46].

Tableau III.2 : Comparaison des méthodes appliquées sur la reconfiguration du réseau

Index des méthodes	Méthode	Classification et évaluation						
		Grand Systèmes	% de réduction des pertes	Application générale	La flexibilité	Durée de fonctionnement	Gestion des contraintes	Précision du modèle
Méthodes basées sur des techniques évolutives	Recuit simulé	Faible	Bien	Bien	Faible	Faible	Équitable	Équitable
	Algorithme génétique	Faible	Bien	Bien	Faible	Faible	Équitable	Équitable
	Réseaux de neurone	Faible	Faible	Faible	Faible	Bien	Faible	Faible
	Colonies de fourmis	Faible	Bien	Bien	Équitable	Équitable	Équitable	Équitable
	Essaim de particules	Pauvres	Bien	Bien	Équitable	Équitable	Équitable	Équitable
Méthodes basées sur les connaissances	Heuristique	Bien	Équitable	Bien	Équitable	Bien	Équitable	Équitable
	Programmation linéaire	Faible	Équitable	Bien	Faible	Faible	Faible	Faible
	Logique Flou	Bien	Faible	Bien	Équitable	Bien	Équitable	Faible
	Recherche Tabu	Équitable	Bien	Bien	Équitable	Équitable	Équitable	Équitable
Méthodes mixtes	Programmation linéaire + Heuristique	Faible	Équitable	Faible	Faible	Bien	Équitable	Faible
	Algorithmes génétiques + Logique floue	Faible	Équitable	Bien	Faible	Bien	Équitable	Faible
	Logique floue + Heuristique	Bien	Équitable	Bien	Faible	Bien	Équitable	Faible
	Recuit simulé + Heuristique	Faible	Équitable	Bien	Faible	Bien	Équitable	Faible

III.6 FORMULATION DU PROBLEME

Il devient de plus en plus important pour les sociétés de distribution d'électricité de pouvoir répondre de manière efficace et fiable aux demandes de leurs clients. Cela signifie que l'un de leurs objectifs est de pouvoir trouver un état de fonctionnement pour un grand réseau de distribution triphasé qui minimise les pertes pour la société d'électricité fournissant l'électricité, tout en satisfaisant les exigences du client. Dans les pays en développement, les sociétés de services

publics devraient également reconfigurer et reconcevoir leur système de distribution afin d'améliorer la fiabilité de leur système de distribution, qui est inacceptablement bas selon de nombreuses normes. Cette partie présente un modèle mathématique de problème de reconfiguration de réseau et présente une formulation du problème de reconfiguration de réseau pour réduction des pertes [47].

La reconfiguration du système de distribution radiale se fait en ouvrant/fermant deux types d'interrupteurs, les interrupteurs de liaison et les interrupteurs sectionnements. Une ligne d'alimentation peut être desservie à partir d'une autre ligne d'alimentation en fermant un interrupteur de liaison reliant les deux sources, tandis qu'un interrupteur de sectionnement particulier doit être ouvert pour maintenir les structures radiales. En cas de réduction des pertes, le problème à résoudre ici est d'identifier les interrupteurs de liaison et de sectionnement qui doivent être respectivement fermés et ouverts pour obtenir une réduction maximale des pertes. Théoriquement, il est simple de déterminer si oui ou non, le nouveau système obtenu grâce à une reconfiguration du départ entraînerait des pertes plus faibles. La réduction des pertes peut facilement être calculée à partir des résultats de deux études de l'écoulement de puissance des configurations du système avant et après la reconfiguration du départ.

III.6.1 Fonction objective

En supposant que $S = P + jQ$, et il s'avère que $|S|$ est la puissance totale qui est transportée à travers le composant du circuit afin d'obtenir une puissance active utilisable P . Nous appelons S la puissance apparente. Il ressort clairement des définitions qu'un plus petit déphasage entraîne une plus petite puissance réactive (inutile), donc une plus petite différence entre la puissance active et la puissance apparente. En électrique technique, il est important de prendre en compte la puissance réactive autant que la puissance active. Nous devons donc travailler avec la valeur complexe S , et pas seulement avec la valeur réelle P . Maintenant, nous pouvons calculer la perte de puissance à travers une ligne. Si I est le courant complexe traversant une ligne de a à b avec des tensions V_a , V_b et $Z = R + jX$ l'impédance de cette ligne, alors la perte de puissance apparente S_{perte} peut être calculée simplement par la différence entre les puissances en a et b .

$$S_{\text{perte}} = S_a - S_b \quad (\text{III. 26})$$

$$= (V_a - SV_b)I^* \quad (\text{III. 27})$$

$$= IZI^* \quad (\text{III. 28})$$

$$= Z|I|^2 \quad (\text{III. 29})$$

$$= R |I|^2 + J X |I|^2 \quad (\text{III. 30})$$

En utilisant la loi d'Ohm, la réactance X ne renseigne désormais que sur la différence de phase entre le courant et les tensions dues au câble, où la résistance R induit la perméabilité du câble. Seul ce dernier joue un rôle pour la perte de puissance, donc la perte de puissance réelle est $P_{\text{Perte}} = |I|^2 R$. De sorte que l'objectif du problème de reconfiguration optimale du départ pour minimiser la perte de puissance totale peut être exprimé comme suit [48] :

$$\text{Minimiser } P_p = \sum_{i=1}^{Nbr} I_i^2 R_i \quad (\text{III. 31})$$

Où, P_p = perte de puissance totale ;

Nbr = nombre de branches ;

I_i = flux de courant dans la branche ;

R_i = Résistance de la branche.

III.6.2 Contraintes

La fonction objective de l'équation III.31 est soumise aux contraintes suivantes.

III.6.2.1 Limites de tension des nœuds

Les limites de tension du nœud sont bien connues : une petite variation de la tension nodale affecte l'écoulement de puissance réactive alors que la puissance active ne change pratiquement pas. De plus, la tension de fonctionnement à chaque nœud doit être dans la plage de sécurité indiquée par la formule ci-dessous :

$$V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax} \quad i \in (1,2,3, \dots, N_b) \quad (\text{III. 32})$$

Où : V_{imin} = Limites de tension minimales du ième nœud respectivement ;

V_{imax} = Limites de tension maximales du ième nœud respectivement ;

V_i = Tension au ième nœud ;

N_b = Nombre des nœuds.

III.6.2.2 Limites de capacité d'alimentation

L'écoulement de puissance dans chaque branche doit être inférieur ou égal à sa capacité maximale indiquée ci-dessous.

$$|I_i| \leq I_{imax} \quad i \in (1,2,3, \dots, N_b) \quad (\text{III. 33})$$

Où, I_{imax} = représente la capacité du courant max de la branche i ;

I_i = Courant dans la i ème branche.

III.6.2.3 Isolement des nœuds

Tous les nœuds doivent être desservis après la reconfiguration. Le nœud ne doit pas être isolé (aucun nœud déconnecté). Cela signifie qu'un seul interrupteur doit être ouvert dans une boucle.

III.6.2.4 Configuration radiale

La configuration obtenue doit être radiale après l'optimisation. En d'autres termes, aucune boucle fermée n'est autorisée dans le réseau. La condition suivante doit être remplie pour avoir la configuration radiale du réseau de distribution [49].

$$\sum_{i=1}^{(Nbr + Nts)} x_i = N_b - 1 \quad (\text{III.34})$$

Où : $x_i = 0$ ou 1 pour représenter l'état du i ème interrupteurs de branche /liaison ;

Nbr = nombre de branches ; Nts = nombre d'interrupteurs de liaison ;

N_b = Nombre des nœuds.

III.6.2.5 Équations de l'écoulement de puissance

La production totale de puissance active doit être égale à la somme des pertes totales de puissance active et de la charge active totale. De même, la production totale de puissance réactive doit être égale à la somme des pertes totales de puissance réactive et de la charge réactive totale telle qu'elle est donnée par les équations suivantes.

$$\sum P_{Gen} = P_L + \sum P_{icharge} \quad (\text{III. 35})$$

$$\sum Q_{Gen} = Q_L + \sum Q_{icharge} \quad (\text{III. 36})$$

Où : $\sum P_{Gen}$ = Production totale de puissance active ;

$\sum Q_{Gen} =$ Production totale de puissance réactive ;

$P_L =$ Perte totale de puissance active ;

$Q_L =$ Perte totale de puissance réactive ;

$\sum P_{icharge} =$ Charge active totale ;

$\sum Q_{icharge} =$ Charge réactive totale.

III.6.3 Formulation du problème de reconfiguration

Minimiser $P_P = \sum_{i=1}^{Nb} I_i^2 R_i$

Sujet à :

$V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax} \quad i \in (1,2,3, \dots, N_b)$

$\sum_{i=1}^{(Nbr + Nts)} x_i = N_b - 1$

$|I_i| \leq I_{imax} \quad i \in (1,2,3, \dots, N_b)$

$\sum P_{Gen} = P_L + \sum P_{icharge}$ et $\sum Q_{Gen} = Q_L + \sum Q_{icharge}$

III.7 ALGORITHME GENETIQUE

L'algorithme génétique (AG) est une technique d'optimisation basée sur les principes de la génétique et de la sélection naturelle. Il est fréquemment utilisé pour trouver des solutions optimales ou quasi optimales à des problèmes difficiles qui, autrement, prendraient toute une vie à résoudre. Il est fréquemment utilisé pour résoudre des problèmes d'optimisation, en recherche et en apprentissage automatique.

L'un des aspects les plus difficiles de l'utilisation des algorithmes génétiques est de choisir les paramètres de configuration. La discussion de la théorie de l'algorithme génétique (AG) fournit peu d'indications sur la sélection appropriée des paramètres. La taille de la population, le taux de mutation et le type de recombinaison ont le plus grand effet sur les performances de recherche. Ils sont utilisés pour contrôler l'exécution d'un algorithme génétique (AG). Ils peuvent influencer la population et la partie reproduction de l'algorithme génétique AG. Dans les AG traditionnelles, les paramètres ont des valeurs fixes [50].

III.7.1 Optimisation par des algorithmes génétiques

L'optimisation des algorithmes génétiques est le processus visant à améliorer quelque chose. Dans tout processus, nous avons un ensemble d'entrées et un ensemble de sorties comme le montre la figure III.9.



Figure III.9 : Processus d'optimisation

En outre, l'optimisation consiste à trouver les valeurs des entrées de manière à obtenir les meilleures valeurs de sortie. La définition du meilleur varie d'un problème à l'autre, mais en termes mathématiques, elle fait référence à la maximisation ou à la minimisation d'une ou plusieurs fonctions objectives, en faisant varier les paramètres d'entrée. L'ensemble de toutes les solutions ou valeurs possibles que peuvent prendre les entrées constitue l'espace de recherche. Dans cet espace de recherche, se trouve un point ou un ensemble de points qui donnent la solution optimale. Le but de l'optimisation est de trouver ces points ou cet ensemble de points dans l'espace de recherche [51].

III.7.2 Comment fonctionnent les algorithmes génétiques

L'algorithme génétique maintient une population d'individus, disons $P(t)$, pour la génération t . Chaque individu représente une solution potentielle au problème posé. Chaque individu est évalué pour donner quelques mesures de sa forme physique. Certains individus subissent des transformations stochastiques au moyen d'opérations génétiques pour former de nouveaux individus. Il existe deux types de transformation :

A. La mutation, qui crée de nouveaux individus en effectuant des changements chez un seul individu.

B. Croisement, qui crée de nouveaux individus en combinant des parties de deux individus.

Les nouveaux individus, appelés descendants $C(t)$, sont ensuite évalués. Une nouvelle population est formée en sélectionnant les individus les plus aptes à partir de la population parentale et de la population de progéniture. Après plusieurs générations, l'algorithme génétique converge vers le meilleur individu, ce qui, espérons-le, représente une solution optimale ou sous-optimale au problème. L'organigramme expliquant le fonctionnement des algorithmes génétiques est illustré à la figure III.10 [52].

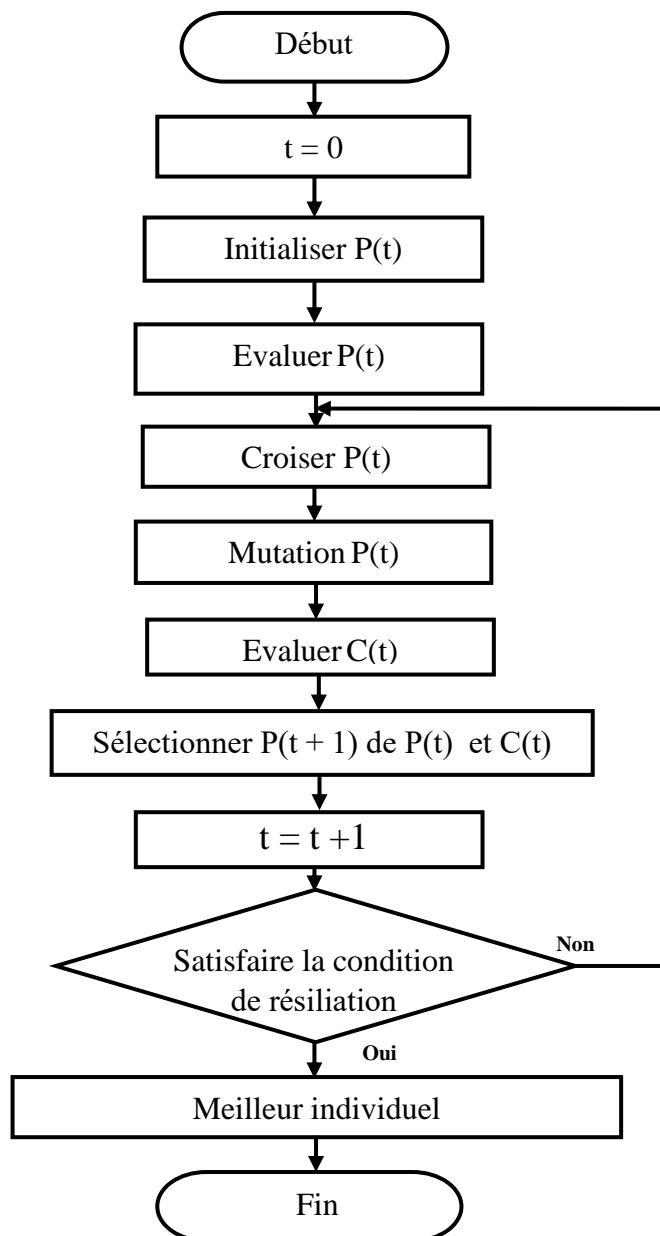


Figure III.10 : Organigramme de la technique d'optimisation des algorithmes génétiques

III.7.3 Opérateurs d'algorithmes génétiques

Il existe cinq opérateurs d'algorithmes génétiques de base qui sont la population, la fonction de fitness, la sélection, le croisement et la mutation [53].

A. Population : Le processus commence avec un ensemble d'individus que l'on appelle une Population. Chaque individu est une solution au problème que vous souhaitez résoudre. Un individu est caractérisé par un ensemble de paramètres (variables) appelés Gènes. Les gènes sont réunis en une chaîne pour former un chromosome (solution). Dans un algorithme génétique,

l'ensemble des gènes d'un individu est représenté à l'aide d'une chaîne, en termes d'alphabet. Habituellement, des valeurs binaires sont utilisées (chaîne de 1 et de 0). On dit que l'on code les gènes dans un chromosome, comme le montre la figure III.11.

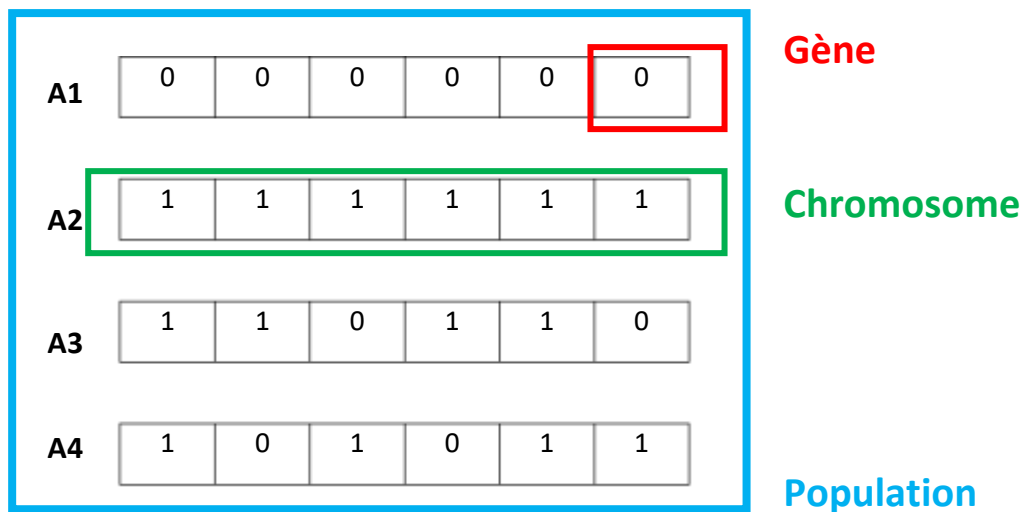


Figure III.11 : Population, chromosomes et gènes

L'un des facteurs les plus importants qui joue un rôle important dans la performance des algorithmes génétiques est la taille de la population. La taille de la population détermine le nombre d'individus dans une population. Les grandes tailles de population augmentent la quantité de variance présente dans la population initiale qui implique de la nécessité de plus d'évaluations de la condition physique (Fitness). On constate que la meilleure taille de population dépend des applications et liée à la taille individuelle (nombre de chromosomes à l'intérieur). Un bon groupe d'individus contient une variété de blocs de construction potentiels menant à une meilleure exploration. Si une population perd de la diversité, on dit que la population a une « convergence prématurée » et peu d'exploration est effectuée. Pour les individus plus gros et les problèmes d'amélioration difficiles, des tailles de population plus importantes sont nécessaires pour maintenir la diversité (une plus grande diversité peut également être obtenue grâce à des taux de mutation plus élevés et un croisement uniforme) et donc une meilleure exploration. De nombreux chercheurs suggèrent des tailles de population comprises entre 25 et 100 individus, tandis que d'autres suggèrent qu'elle doit être beaucoup plus grande (1000 individus ou plus).

B. Fonction de fitness

La fonction de fitness détermine l'aptitude d'un individu (la capacité d'un individu à rivaliser avec d'autres individus). Il donne une valeur de fitness à chaque individu. La probabilité qu'un individu soit sélectionné pour la reproduction est basée sur sa valeur de fitness.

C. Sélection

L'idée de la phase de sélection est de sélectionner les individus les plus aptes et de les laisser transmettre leurs gènes à la génération suivante. Deux paires d'individus (parents) sont sélectionnées en fonction de leurs valeurs de fitness [54]. Les individus ayant une bonne condition physique ont plus de chance d'être sélectionnés pour la reproduction.

La sélection est le processus consistant à déterminer le nombre de fois qu'un individu particulier est choisi pour la reproduction et, par conséquent, le nombre de descendants qu'un individu produira. Le principe des algorithmes génétiques est essentiellement la sélection naturelle darwinienne. La sélection fournit la force motrice des algorithmes génétiques. Avec trop de force, la recherche génétique se terminera prématurément. Alors qu'avec trop peu de force, les progrès évolutifs seront plus lents que nécessaire.

Typiquement, une pression de sélection plus faible est indiquée au début de la recherche génétique en faveur d'une large exploration de l'espace de recherche, tandis qu'une pression de sélection plus élevée est recommandée jusqu'à la fin pour rétrécir l'espace de recherche. De cette façon, la sélection oriente la recherche génétique de régions prometteuses dans l'espace de recherche et qui amélioreront les performances des algorithmes génétiques. De nombreuses méthodes de sélection ont été proposées, examinées et comparées. Les types les plus courants sont :

- i. Sélection de roues de roulette
- ii. Sélection du classement
- iii. Sélection du tournoi
- iv. Sélection de l'état d'équilibre
- v. Élitisme

D. Croisement

Le croisement est la phase la plus importante d'un algorithme génétique. Pour chaque couple de parents à accoupler, un point de croisement est choisi au hasard à l'intérieur des gènes.

Il y a plusieurs types de croisement, nous citons particulièrement

a) Croisement à point unique

Une méthode de croisement couramment utilisée est appelée croisement à point unique. Dans cette méthode, une position de croisement à un seul point (appelée point de coupure) est choisie au hasard (par exemple, entre le 10e et le 5e point) et les parties de deux parents après la position de croisement sont échangées pour former deux descendants, comme le montre la figure III.12.

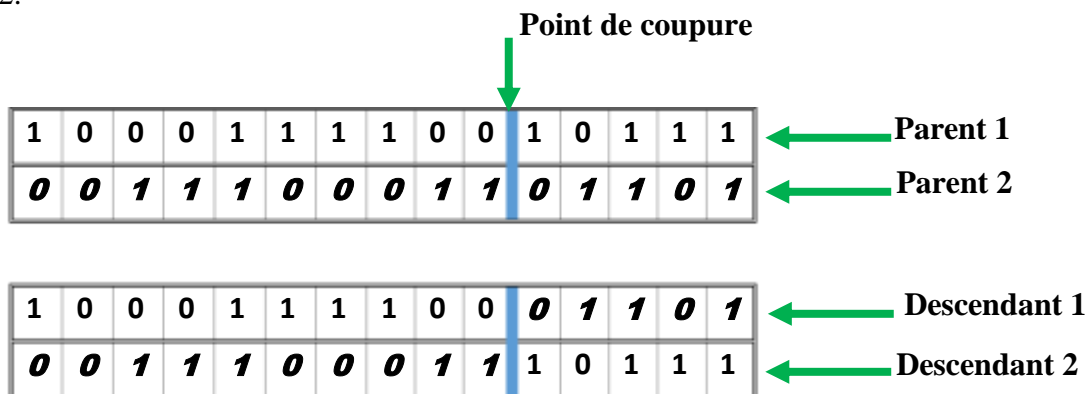


Figure III.12 : Croisement à point unique

b) Croisement multipoint

Le croisement multipoint est une généralisation du croisement à point unique, introduisant un nombre plus élevé de points de coupure. Dans ce cas, les positions multiples sont choisies au hasard et leurs segments sont échangés, comme le montre la figure III.13.

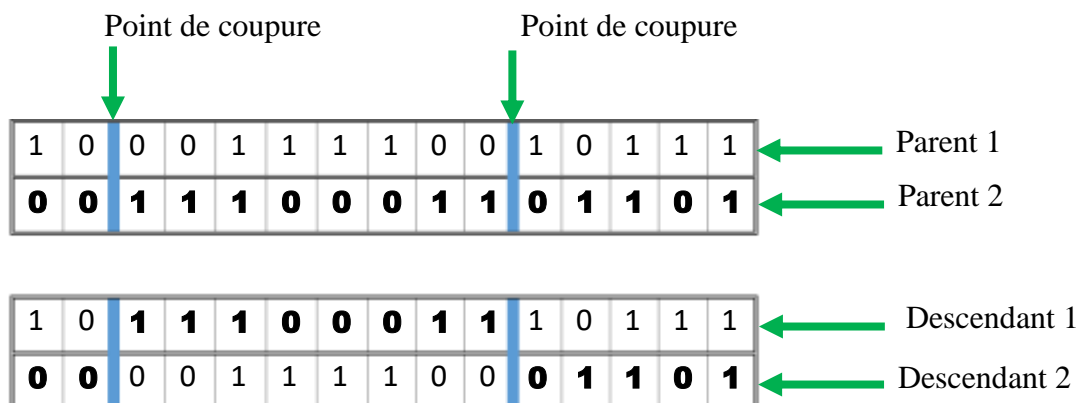


Figure III.13 : Croisement multipoint

E. Mutation

Le taux de mutation détermine la probabilité qu'une mutation se produise. La mutation est utilisée pour donner de nouvelles informations sur la population (découvrir de nouveaux chromosomes) et empêche également la population de se saturer avec des chromosomes similaires, simplement pour éviter une convergence prématurée. Les taux de mutation élevés augmentent la probabilité que de bons schémas soient détruits, mais augmentent la diversité de la population. Le meilleur taux de mutation est « dépendant de l'application ». Pour la plupart des applications, le taux de mutation se situe entre 0,001 et 0,1 [54]. Chez certains nouveaux descendants formés, certains de leurs gènes peuvent être soumis à une mutation avec une faible probabilité aléatoire. Cela implique que certains des bits de la chaîne de bits peuvent être inversés, comme le montre la figure III.14.

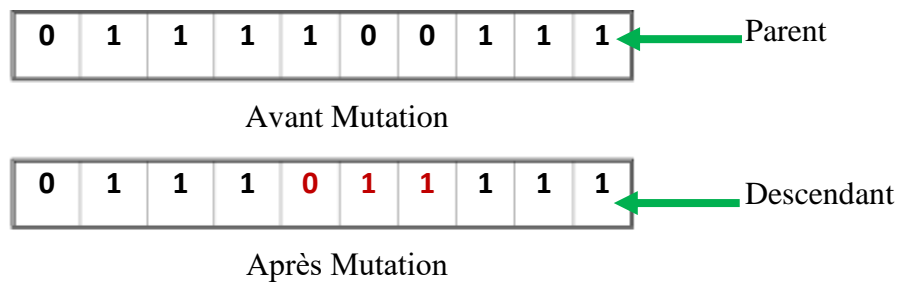


Figure III.14 : Mutation Avant et Après

III.8 CONCLUSION

A travers ce chapitre, nous avons illustré les principales caractéristiques d'un réseau de distribution notamment la caractéristique radial et les contraintes des pertes techniques et de la chute de tension. Ensuite, la théorie des graphes et leur relation avec le schéma du réseau de distribution. Ainsi qu'un état de l'art sur la reconfiguration du réseau et les techniques d'optimisation appliquées. Enfin, nous arrivons à la formulation de la fonction objective de la réduction des pertes active par reconfiguration du réseau de distribution sous équations mathématique, cette dernière est soumise sous des contraintes multiples : limites des courants de lignes et tension, l'égalité entre la production et la charge et les contraintes topologiques, et pour le résoudre nous proposons la technique d'optimisation par les algorithmes génétiques.

Chapitre IV :

SIMULATION ET

INTERPRETATION DES

RESULTATS

Chapitre IV : SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1 INTRODUCTION

Avec la complexité du comportement des systèmes de puissance électriques en particulier les réseaux de distribution, des outils informatiques (soft et hard) sont nécessaires pour sa gestion et sa planification afin d'atteindre les objectifs souhaités. Ce chapitre présentera la simulation du problème d'optimisation de la configuration du réseau de distribution en utilisant la méthode des AG en commençant par la définition des réseaux à étudier à savoir le réseau IEEE 33 nœuds, 69, et 85 (choisies pour tester l'efficacité du programme développé) puis le réseau Algérien de distribution 114 nœuds pour donner un aspect pratique à notre étude. Nous allons aussi exposer les résultats de simulations de chaque réseau étudié, ensuite l'interprétation des résultats obtenus. Finalement une conclusion achèvera cette étude.

IV.2 OUTIL INFORMATIQUE

Certains logiciels d'analyse des réseaux électriques sont disponibles sur le marché comme exemple le logiciel ETAP, Power World, MATPOWER, PSAT, EMTP, NEPLAN, Math Works...etc.) [55]. Le MATPOWER est un logiciel gratuit et open source développée sous Matlab pour résoudre les problèmes de simulation et d'optimisation des systèmes de puissance en régime permanent tels que l'écoulement de puissance (EP), l'écoulement de puissance en continu (CPF), l'écoulement de puissance optimal (OPF), l'engagement de turbines (Unit Commitment) et les OPF/UC stochastiques en multi-intervalle sécurisé. Il s'agit d'un outil de simulation facile à utiliser et à modifier pour les chercheurs. MATPOWER est conçu pour donner les meilleures performances possibles tout en gardant un programme simple à comprendre et à modifier [56]. Pour cela nous avons choisi ce logiciel pour l'analyse d'EP dans notre étude. Nous avons aussi utilisé la méthode AG disponible (préprogrammée) sur le Toolbox au niveau de la bibliothèque de MATLAB sous le nom (*GA function*). Pour plus de détails sur cette fonction voir les références [57, 58].

IV.3 DESCRIPTION DES RESEAUX ETUDIES

Pour démontrer l'efficacité de la méthode proposée il est nécessaire d'avoir des applications sur des réseaux tests (réseau IEEE) pour objectif de faire des comparaisons avec des travaux de l'alittérature. Pour cela, deux réseaux ont été choisis (réseaux les plus utilisés dans l'ittérature), à savoir réseau 33 et 69 nœuds.

IV.3.1 Réseaux IEEE 33 nœuds

Ce réseau est parmi les réseaux électriques de distribution les plus utilisés dans la littérature par les chercheurs pour tester l'efficacité de leurs programmes. Le réseau IEEE est composé de 33 nœuds, 32 lignes de distribution et 05 lignes de bouclages, 12 charges de puissance totale demandée de 3.72 MW et 2.30 MVar [59]. Le nœud N° 1 est considéré comme référence (nœud *slack bus*). La figure IV.1 montre le schéma unifilaire du réseau en question.

La configuration initiale du réseau IEEE 33 nœuds est donnée par l'ouverture des cinq interrupteurs 33, 34, 35, 36, 37, (voire la figure IV.1) qui présente des pertes actives totale de 202,50 kW avec une tension minimale de 0,9131 pu. La figure IV.1 présente la topologie du réseau 33 nœuds en présence des lignes de bouclage (Tie line) avant l'optimisation.

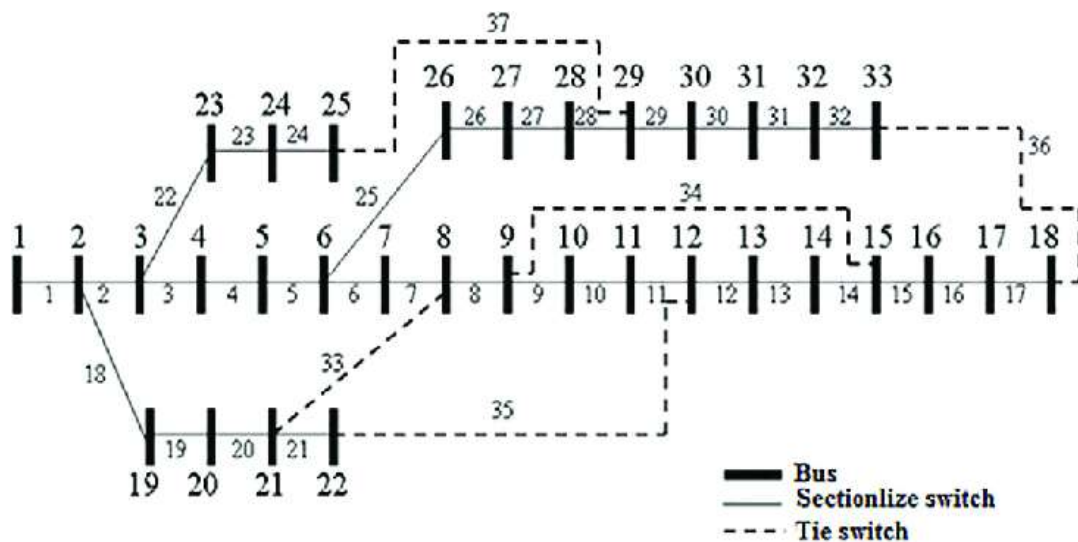


Figure IV.1 Schéma unifilaire du réseau IEEE 33 nœuds [59]

IV.3.2 Réseaux IEEE 69 nœuds

Le réseau IEEE 69 nœuds est aussi parmi les réseaux électriques de distribution les plus utilisés dans la littérature. Le réseau en question est composé de 69 nœuds, 68 lignes de distribution et 05 lignes de bouclages, 68 nœuds de charges de puissance totale demandée de 3.80 MW et 2.69 MVar [59]. Le nœud N° 1 est considéré comme référence (nœud *slack bus*). La configuration initiale du réseau IEEE 69 nœuds est donnée par l'ouverture des cinq interrupteurs 69, 70, 71, 72, 73 (voire la figure IV.2) qui présente des pertes actives totale de 224,78 kW avec une tension

minimale de 0.9092 pu. La figure IV.2 montre le schéma unifilaire du réseau 69 nœuds en présence des lignes de bouclages.

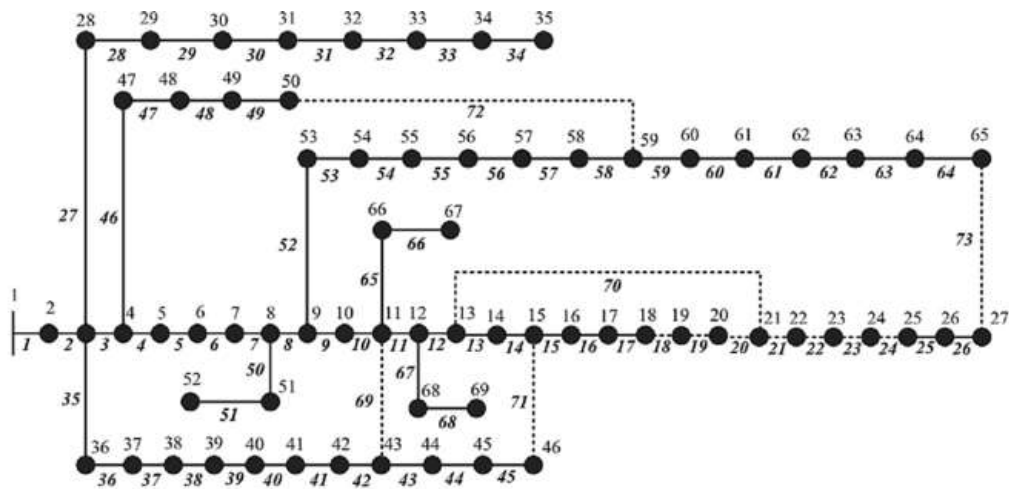


Figure IV.2 Schéma unifilaire du réseau IEEE 69 nœuds [59]

IV.3.3 Réseau Algérien de distribution 114 nœuds

Le réseau à étudier dans cette section est de nature souterraine (réseau urbain) qui alimente la localité du centre-ville de Touggourt. Ce réseau est connecté au réseau HTA 30 kV à travers un poste source de 30/10 kV et par la suite au réseau de transport (réseau national). Il est muni de trois transformateurs identiques d'une puissance de 10 MVA chacun, raccordés aux trois jeux de barres couplés entre elles. Le réseau est constitué de 114 nœuds répartis comme suit : le nœud 01 (poste source) représente le nœud de référence, 113 postes HTA/BT sont considérés comme des nœuds de charges avec une consommation totale de 23886.36 kW et 17 914.68 KVA, 124 branches. Ce réseau possède 09 départs (feeders) qui peuvent se secourir via 09 boucles (Tie lines). En effet, sur l'ensemble des branches, 09 devront être ouvertes afin d'obtenir une topologie radiale. La figure IV.3 montre le schéma unifilaire du réseau souterrain.

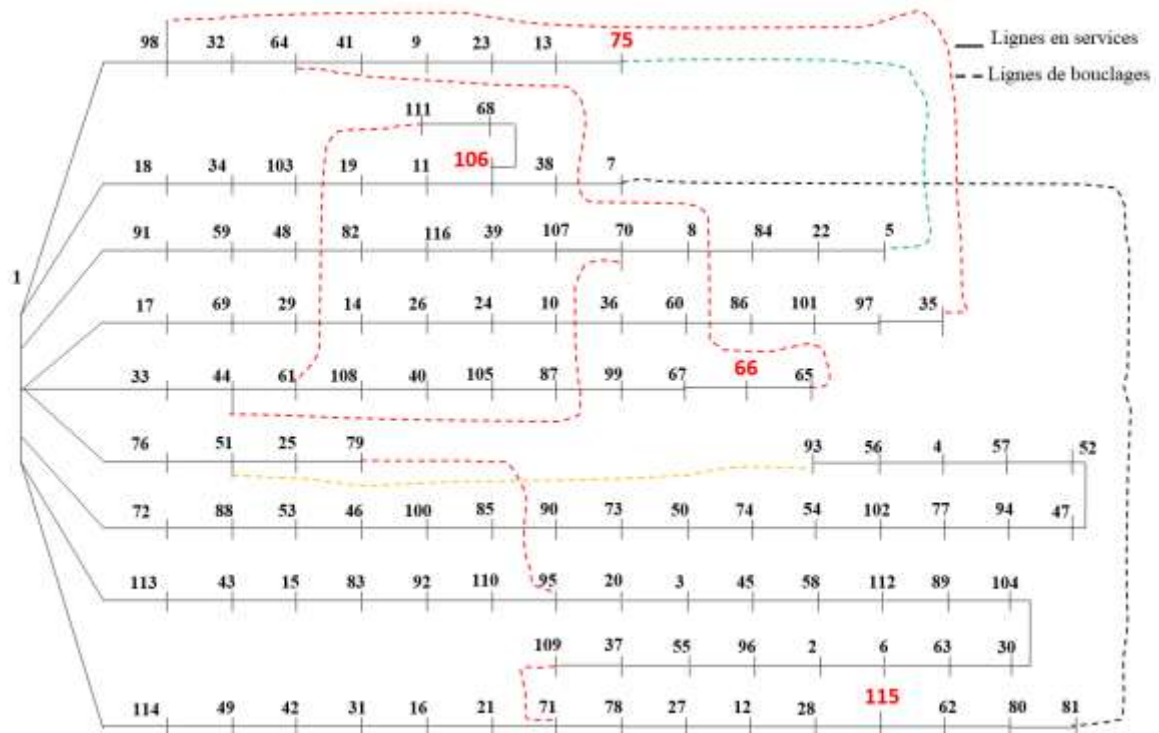


Figure IV.3 Schéma unifilaire du réseau Algérien 114 nœuds [60]

IV.4 APPLICATION DE LA METHODE AG SUR LA RECONFIGURATION

L'objectif de la méthode AG est de définir les interrupteurs à ouvrir et les interrupteurs à fermer afin d'obtenir la configuration qui présente minimum des pertes actives, en considérant toutes les contraintes du réseau de distribution.

IV.4.1 Processus de reconfiguration

Comme déjà mentionné dans le chapitre III, concernant la recherche de la meilleure configuration du réseau, nous allons déterminer les boucles du réseau formées par la fermeture des interrupteurs de bouclages, donc le nombre des interrupteurs candidats, et par conséquent la taille du chromosome. Dans ce cas la méthode algorithmique génétique va proposer 01 interrupteur en état ouvert pour chaque boucle. Pour cette raison, nous avons la possibilité d'assurer une configuration radiale et connexe (aucun nœud isolé). L'autre avantage de l'orientation de la méthode AG c'est bien la minimisation de temps d'exécution, car dans le cas contraire, la probabilité de tomber sur des configurations irréalisables (ne présentent pas en charge les contraintes topologiques) est maximale.

IV.4.2 Variables d'entrée et de sorties

Pour déterminer la configuration optimale des réseaux étudiés, nous devons au début exprimer le vecteur des variables d'état et le vecteur des variables de contrôle comme suit :

Le vecteur χ^T de variables d'état (les variables identifiant l'états du réseau) est constitué de la puissance active de production au nœud de référence P_{G_1} , des tensions des nœuds de charge V_L , de la puissance réactive produite par les générateurs conventionnels Q_{G_1} , des puissances apparentes transitées à travers les lignes de distribution S_l . Ce vecteur χ peut être exprimé par :

$$\chi^T = [P_{G_1}, V_{L_1} \dots V_{L_{NL}}, Q_{G_1} \dots Q_{G_{NG}}, S_{l_1} \dots S_{l_{NL}}] \quad (\text{IV.1})$$

Le vecteur u^T des variables de contrôle (variables de décision) l'état (état ouvert ou fermé) des interrupteurs (Switches) des boucles, qui est exprimé par :

$$u^T = [S_{w1}, S_{w2}, S_{w3}, \dots, S_{wNS}] \quad (\text{IV.2})$$

Afin de résoudre le problème de la configuration optimale à l'aide des méthodes d'optimisation, la structure du chromosome (individu) doit être définie au préalable (voire la figure IV.4).

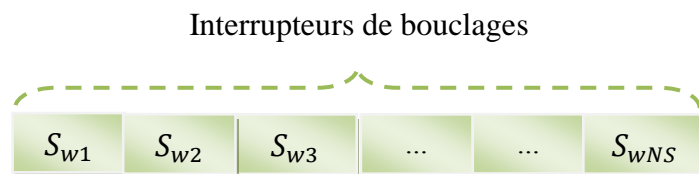


Figure IV.4 Structure du chromosome considérée dans le problème de reconfiguration

Afin de déterminer la configuration optimale ou l'état des interrupteurs, la méthode de l'algorithme génétique a été suggérée. Les étapes principales utilisées dans le processus de reconfiguration du réseau de distribution sont les suivantes :

Etape 1 : Lire les données du réseau de distribution (les résistances, réactances des branches, les puissances demandées et la configuration initiale).

Etape 2 : Exécuter l'écoulement de puissance en considérant la configuration initiale (cas de base) et calculer les pertes totales.

Etape 3 : Déterminer les boucles du réseau formées par la fermeture des interrupteurs de bouclages et donc le nombre des interrupteurs candidats, par conséquent la taille du chromosome.

Etape 4 : Initialiser les paramètres de la méthode d'optimisation utilisée.

Etape 5 : Générer aléatoirement (en utilisant AG) un nombre des individus qui forment une population initiale, ceci représente l'état de tous les interrupteurs des boucles,

$P^0 = [S_{w1}, S_{w2}, S_{w3}, \dots, S_{wNS}]$. Initialiser le compteur d'itération ($t = 0$).

Etape 6 : Pour chaque individu de P^t , vérifier les contraintes topologiques (la configuration obtenue ne contient pas des boucles fermées et ne contient pas des nœuds isolés). Si ces contraintes sont satisfaites, passer à l'étape suivante. Sinon, passez à l'étape 9.

Etape 7 : Exécuter l'écoulement de puissance pour chaque individu et évaluer la fonction objectif (f).

Etape 8 : Après le calcul d'écoulement de puissance, vérifier les contraintes de lignes et de tensions. Si ces contraintes ne sont pas satisfaites, pénaliser la fonction objective, ensuite passez à l'étape 10.

Etape 9 : Calculer le nombre de mailles et de charges isolées et pénaliser la fonction objective.

Etape 10 : Générer une nouvelle population cela selon le processus de la méthode d'optimisation utilisée et allez à l'étape 6.

Etape 11 : Répéter la procédure de l'étape 6 à 10 jusqu'à ce que le nombre maximum des générations soit atteint.

Etape 12 : Déduire le meilleur individu qui représente la configuration de minimum des pertes actives et respectée toutes les contraintes considérées.

Etape 13 : Afficher les résultats avant et après reconfiguration (les interrupteurs à ouvrir, les pertes totales, la tension minimale et le profil de tension).

IV.4.3 Cadre d'étude

Avant d'entamer la présentation des résultats de simulation il est important de citer les points considérés dans notre simulation :

- La méthode *Newton Raphson* est utilisée par le logiciel MATPOWER pour le calcul de l'EP cela permet d'éviter la reprogrammation de la méthode NR,
- Pour la méthode AG nous allons utiliser le Toolbox existant dans la bibliothèque de MATLAB,

- Les limites des tensions des nœuds pour les réseaux étudiés sont entre 0.95 pu et 1.05 pu.
- Après différents essais sur les réseaux étudiés, nous allons fixer les paramètres de la méthode AG comme suit : le nombre de chromosomes (taille de la population) est fixé à 100, le nombre maximum de générations est 50 pour réseau IEEE, 100 pour réseau Algérien, la probabilité de mutation est de 0.02 et la probabilité de croisement est de 0.85.
- Dans cette étude nous allons considérer deux cas pour chaque réseau à savoir le cas 1 représente les résultats de simulation avant reconfiguration, le cas 2 après reconfiguration.

IV.5 RESULTATS DES SIMULATIONS ET INTERPRETATIONS

IV.5.1 Résultats du réseau IEEE 33 nœuds

La configuration initiale du réseau IEEE 33 nœuds est donnée par l'ouverture des cinq interrupteurs (33, 34, 35, 36, 37), qui présente des pertes actives totale de 202,50 kW avec une tension minimale de 0,9131 pu.

Après l'optimisation de la configuration du réseau 33 nœuds, nous avons constaté que la meilleure structure est donnée par l'ouverture des interrupteurs (9, 14, 7, 32,37), qui présente des pertes actives totales de 139.51 kW avec une tension minimale de 0.9378 pu. La figure IV.5 représente le profil de tension avant et après la reconfiguration du réseau 33 nœuds.

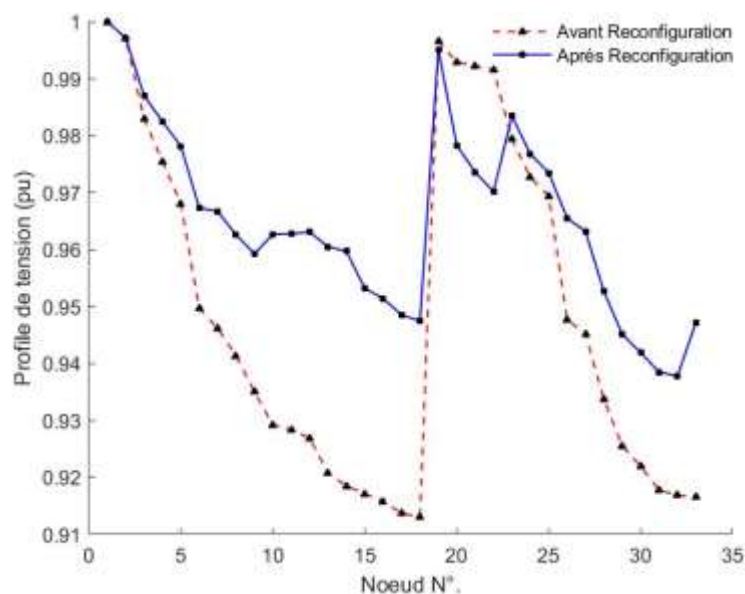


Figure IV.5 : Profil de tension avant et après la reconfiguration du réseau 33 nœuds

D'après la figure IV.5, nous avons constaté, que le profil de tension est amélioré après l'optimisation de l'architecture du réseau.

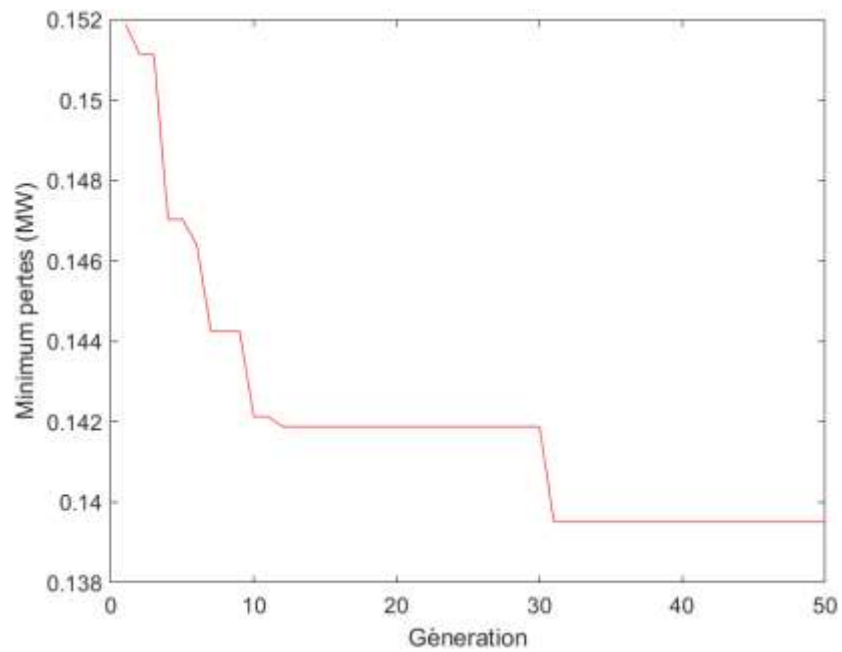


Figure IV.6 : Courbe de convergence des AG du réseau 33 nœuds

La figure IV.6, indique la variation de la valeur des pertes actives totales en fonction de nombre des générations des AG.

IV.5.2 Résultats du réseau IEEE 69 nœuds

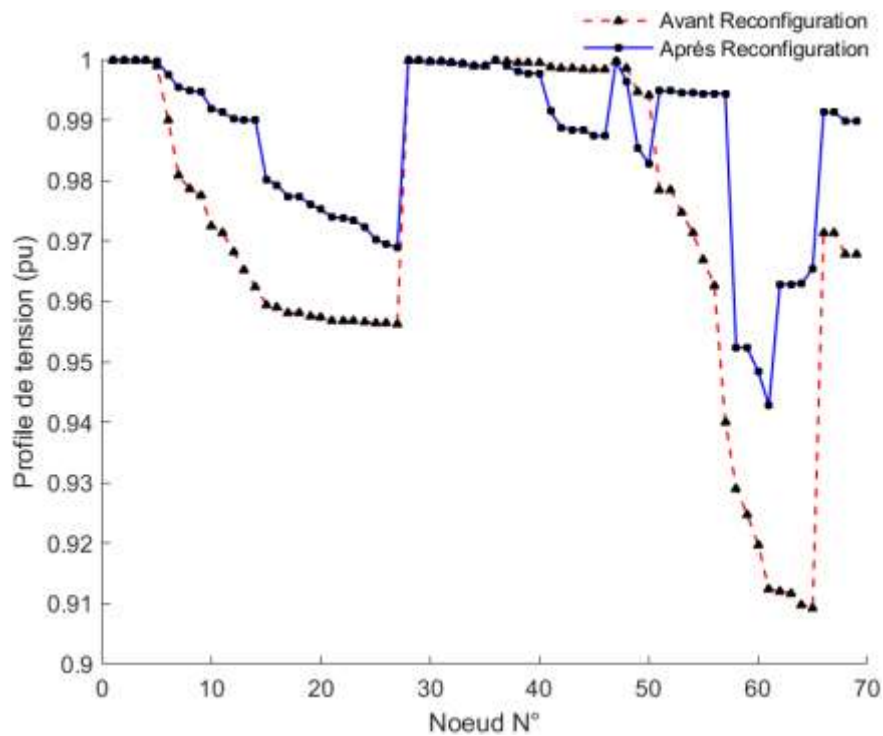


Figure IV.7 : Profil de tension avant et après la reconfiguration du réseau 69 nœuds

La configuration optimale du réseau 69 nœuds est donnée par l'ouverture des interrupteurs suivants : (14, 70, 69, 57, 61)

Les pertes actives totales après la reconfiguration du réseau 69 sont 99.58 kW, avec une tension minimale de 0.9427 pu.

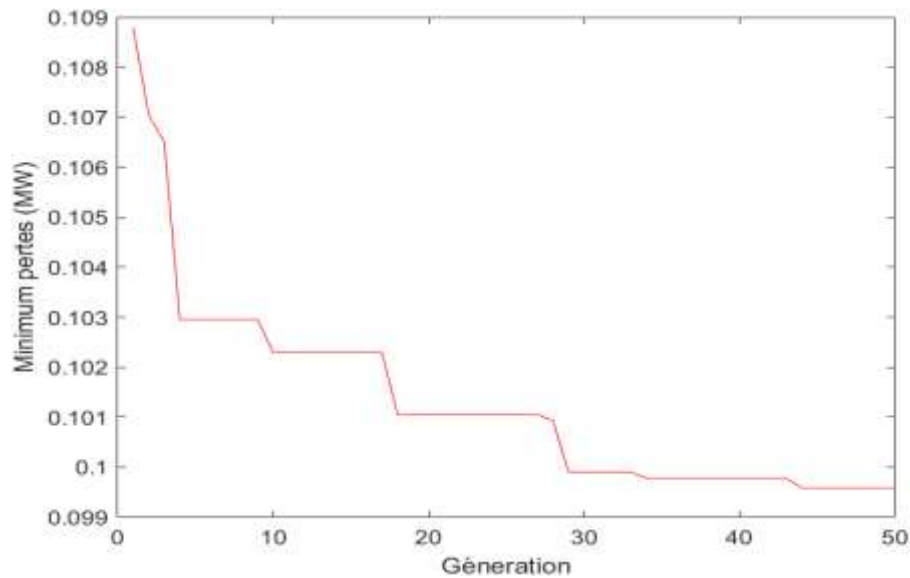


Figure IV.8 : Courbe de convergence des AG du réseau 69 nœuds

Pour valider notre méthode proposée des résultats obtenus ont été comparés avec des articles publiés dans la littérature. Le tableau IV.1 représente l'état des interrupteurs de bouclages, pertes actives et la tension minimale des travaux similaires avec notre étude. D'après ce tableau nous avons constaté que la méthode proposée prouve leur efficacité envers l'optimisation de la configuration du réseau de distribution IEEE.

Tableau IV.1 : Comparaison des résultats avec travaux de littérature

Réseau de distribution	Méthode d'optimisation	Les interrupteurs en état ouvert	Pertes actives (kW)	Tension minimale (pu)
33 nœuds	HBMO [61]	9-14-7-32-37	139.51	0.9378
	Méthode proposée	9-14-7-32-37	139.51	0.9378
69 nœuds	PC-GA [62]	-	100.95	0.9408
	F-GA [63]	12-55-61-69-70	99.62	0.9427
	Méthode proposée	14-70-69-57-61	99.58	0.9427

IV.5.3 Résultats du réseau Algérien de distribution 114 nœuds

La configuration initiale du réseau Algérien est donnée par l'ouverture de 09 interrupteurs à savoir, (114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122), qui nous donne des pertes actives totales de 166.281 kW, avec une tension minimale de 0.98207 pu.

Après la convergence du programme, la méthode AG obtienne une configuration optimale du réseau 114 nœuds qui est présentée par l'ouverture des interrupteurs suivants : (65, 44, 78, 105, 19, 119, 83, 42, 107) dans ce cas, les pertes actives totales sont de 160.2319 kW, avec une tension minimale de 0.98466 pu.

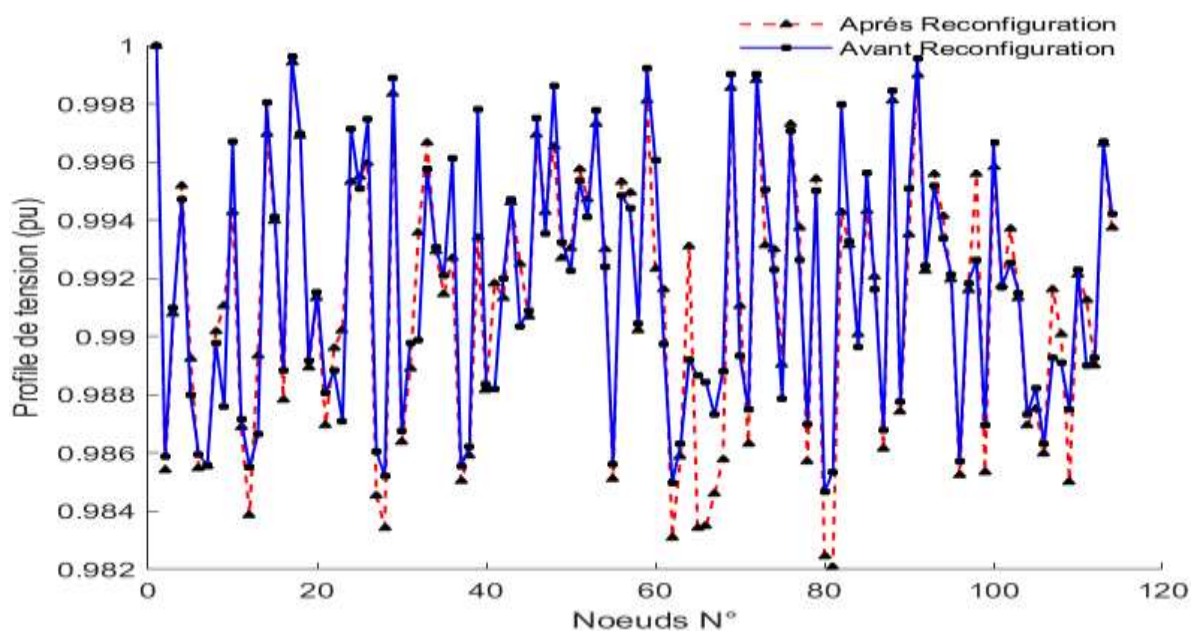


Figure IV.9 : Profile de tension avant et après la reconfiguration du réseau 114 nœuds

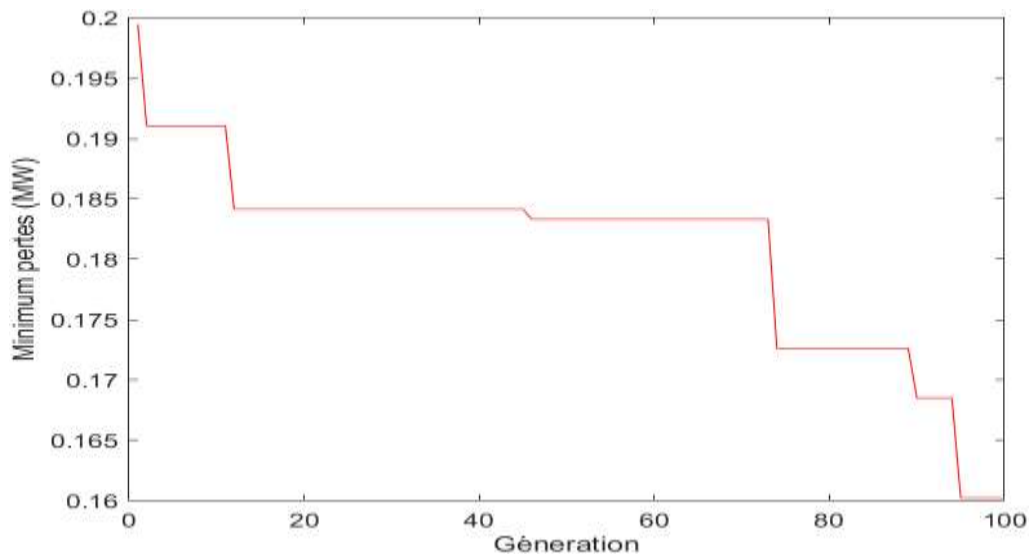


Figure IV.10 : Courbe de convergence des AG du réseau Algerien 114 nœuds

IV.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats de simulation du problème de la recherche de la configuration optimale des réseaux IEEE 33, 69 nœuds et le réseau Algérien de distribution 114 nœuds. Nous avons commencé ce chapitre par la définition des réseaux étudiés ensuite nous avons étalé notre cadre d'étude et les outils informatiques utilisés. Ensuite, des résultats de simulation ont été présentés pour chaque réseau étudié et ainsi que les comparaisons des résultats aboutis avec des articles publiés dans la littérature. A travers ces résultats, nous avons conclu que la méthode AG prouve leur supériorité comparable avec d'autres travaux. Aussi nous avons constaté que les pertes actives et le profil de tension sont améliorés d'une façon remarquable.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce travail et dans le cadre de la modernisation des réseaux électriques de distribution (vers aux réseaux smart grid), nous nous sommes intéressés au problème de d'optimisation de l'architecture du réseau où déterminant la meilleure configuration des interrupteurs de bouclage pour une minimisation maximale des pertes de puissance actives.

Dans le premier volet, nous avons commencé notre étude par la formulation la résolution du problème de reconfiguration en utilisant de la méthode des Algorithmes génétiques comme une technique d'optimisation à recherche globale et à population. Des simulations ont été effectuées sur les réseaux IEEE 33 nœuds, 69 et 114 sous environnement MATLAB. Pour vérifier la convenabilité du programme, des comparaisons des résultats obtenus avec d'autres travaux similaires dans la littérature.

A travers ces comparaisons nous avons constaté que la méthode proposée donne des résultats efficace et fiable point de vue minimisation des pertes actives et amélioration du profil de tension. L'application de notre étude sur le réseau Algérien a pour objectif de donner un aspect pratique à notre travail. Il est important de noter qu'aucun investissement n'est exigé pour la reconfiguration des réseaux de distribution et que cette tâche devient plus facile à réaliser dans les réseaux modernes (smart-grids).

Ce travail de recherche peut se poursuivre selon plusieurs axes dans une perspective qui s'en résume dans les points suivants :

- Appliquer d'autres méthodes d'optimisation métaheuristiques.
- Proposer des reconfigurations du réseau suite à des défauts de câbles.
- Etudier la reconfiguration dynamique et en temps réel en prenant en considération le nombre de manœuvres des interrupteurs pour préserver leur durée de vie.

BIBLIOGRAPHIE

- [01] A. HadjAissa, R. Benyagoub, « Optimisation de L'emplacement et la Taille des Sources d'Energie Renouvelable dans les Réseaux Électriques », Mémoire Master 2, université de Ghardaia, 2020.
- [02] R. D. Mohammedi, et al, « An Efficient BBO Algorithm for Optimal Allocation and Sizing of Shunt Capacitor in Radial Distribution Networks » 4th International Conference on Electrical Engineering, Boumerdes, 13-15 Dec 2015.
- [03] S. Houache, « Optimisation de la Configuration des Réseaux Electriques de Distribution en Présence d'une Source d'Energie Renouvelable », Mémoire Master 2, université de Ghardaia, 2019.
- [04] NIKOLAI. Voropai, « Electric Power System Transformations : A Review of Main Prospects and Challenges » Energy Systems Institute, Lermontov Str. October 2020.
- [05] ALEXANDRA. Von Meier, « Electric Power Systems, A Conceptual Introduction », John Wiley & Sons, Inc. 2006.
- [06] BOUCHEKARA. Housseem Rafik El Hana, « Electrical Power System Analysis, Basics of Electric Power System Theory », Umm Al-Qura University, Department Of Electrical Engineering.
- [07] Publication Trimestrielle éditée par la Société Opérateur du Système Électrique, Revue EL MONSIF N° 18, Novembre, 2016.
- [08] M. Vignolo, R. Zeballos, « Transmission Networks or Distributed Generation ? », in First International Symposuim on Distributed Generation, Stockholm : Royal Institute of Technology, 2001.
- [09] J.L. LILIEN « Transport et distribution de l'énergie électrique institut d'électricité » Montefiore Université de Liège 2006
- [10] M. Boudour, A. Hellal, « Génie électrique : réseaux électriques, fondamentaux et concept de base ». 1er édition, Edition Pages Bleues, Alger, Janvier 2011.
- [11] Guide technique SONELGAZ, Option fondamentales : contraintes de tenue de la moyenne tension, Edition N°1, 1984.
- [12] Publication Trimestrielle éditée par la Société Opérateur du Système Électrique, Revue EL MONSIF N° 13, Mars, 2013.
- [13] E. Gladkikh, « Optimisation de l'architecture des réseaux de distribution de l'énergie Électrique » Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 2015.

- [14] F. G. Longatt, C. Fortoul, « Review of distributed generation concept : attempt of unification » in Proceeding of international Conference on Renewable Energies and Power Quality, España, 2005.
- [15] A. J. Wood, B.F. Wollenberg, « Power generation, operation & control », second ed. John Wiley & Sons Ltd., New York, 1996.
- [16] Guide technique SONELGAZ, Option fondamentales : réseaux MT souterrain, Edition N°1, 1984.
- [17] R.F. Arritt, R.C. Dugan, « Distribution system analysis and the future Smart Grid », in : Proceedings of the 2011 Rural Electr. Power Conf, 2011.
- [18] S. Javadi, « Steps to smart grid realization », Proc. 4th WSEAS Int, 2010.
- [19] T. Adefarati, « Integration of renewable distributed generators into the distribution system : a review » IET Renewable Power Generation, Vol. 10, July 2016.
- [20] K. Moslehi and R. Kumar, « A Reliability Perspective of the Smart Grid » IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, 2010.
- [21] M. Kezunovic, F. Xu, B. Cuka, P. Myrda, « Intelligent processing of IED data for protection engineers in the Smart Grid, » MELECON 2010 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, April 2010.
- [22] R. N. Anderson, « The Distributed Storage-Generation Smart Electric Grid of the Future », white paper, Columbia University.
- [23] G. Ericsson, O. Torkilseng, G. Dondossola, T. Jansen, J. Smith, D. Holstein, A. Vidrascu, and J.Weiss, « Security for Information Systems and Intranets in Electric Power Systems, » Tech Brochure (TB) 317 CIGR, 2007.
- [24] E. Chikuni, M. Dondo, « Investigating the security of electrical power systems SCADA, » IEEE AFRICON 2007, Sep 2007.
- [25] F. A. Rahimi, « Challenges and opportunities associated with high penetration of distributed and renewable energy resources, » in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2010.
- [26] D. Backer, « Power Quality and Asset Management The Other Two-Thirds of AMI Value, » IEEE Rural Electric Power Conference, May 2007.
- [27] N. Hadjsaid, J. C. Sabonnadière, Smart grid. Wiley ISTE, 2012.
- [28] W. H. Kersting, « Distribution system modeling and analysis third edition ». CRC Press,2012.
- [29] C. M.P. D. Santos, « Determination of electric power losses in distribution systems », in 2006 IEEE/PES Transmission Distribution Conference and Exposition : Latin America, 2006,
- [30] M. H.J.W.M.F. B. M.F. Sulaima M. F. Mohamad, « A comparative study of optimization methods for 33kv distribution network feeder reconfiguration », International Journal of Applied Engineering Research, vol. 9, 2014.
- [31] J. H. J.M. Harris, « Combinatorics and graph theory », 2nd edition. Springer, 2008

- [32] J. Glover and M. Sarma, « Power system analysis and design », 2nd edition. PWS Publishing Co, Boston, MA, 1994.
- [33] A. Skoonpong and S. Sirisumrannukul, « Network reconfiguration for reliability worth enhancement in distribution systems by simulated annealing », 2008 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, vol. 2, 2008,
- [34] Thierry Sorg Marc von Wyl, « Applications d'algorithmes évolutionniste à des problèmes de génie logiciel », 30 Mai 2006
- [35] D. Savier, « impact of network reconfiguration on loss allocation of radial distribution system, » in IEEE Trans. Power Deliv., vol. 22
- [36] Y.T. Hasio and C.Y Chien, « Multiobjective optimal feeder reconfiguration, » in IEEE Proc. Genr> Trans. Distrib., vol. 148,
- [37] Ali Reza Fereidunian, Hamid Lesani and Caro Lucas « Distribution systems reconfiguration using pattern recognizer neural networks » IJE International : Applications Vol. 15.
- [38] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, T. Ishihara, « Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum re-configuration », IEEE Transactions on Power systems, Vol.7, No 3, August 1992
- [39] H. Fudou, T. Genji, Y. Fukuyamam and Y. Nakanishi, « A genetic algorithm for network reconfiguration using three unbalanced load flow », Intelligent System Applications to Power System (ISAP'97), Seoul, Korea, 1997
- [40] Bäck, Thomas, Evolutionary Algorithms in Theory and Practice (1996), Oxford Univ. Press
- [41] Ray Daniel Zimmerman, Network Reconfiguration for Loss Minimization in Three Phase Power Distribution System », Cornell University, May 1992
- [42] D. Shirmohammadi and H.W Hong « Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction », IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, 1989
- [43] S. Civanlar, J.J. Grainger, H. Yin, S.S. Lee, « Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction », IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, July 1988.
- [44] A. Borghetti, M. Paolone and C.A. Nucci « A mixed integer linear programming approach to the Optimal configuration of electrical distribution Networks with embedded generators » 17th Power Systems Computation Conference, Sweden - August, 2011
- [45] T.P. Wagner, A.Y. Chikhani, R. Hackam, « Feeder Reconfiguration for Loss Reduction : An Application of Distribution Automation », IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 4, July 1991,
- [46] G. Celli, M. Loddo, F. Pilo and A. Abur « On-line network reconfiguration for loss reduction in distribution networks with distributed generation » 18th International Conference on Electricity Distribution, Turin, 6-9 June 2005

- [47] E. Dolatdar, S. Soleymani and B. Mozafari, « A New Distribution Network Reconfiguration Approach using a Tree Model », World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 3
- [48] K. S. Kumar and T. Jayabarathi, « Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm », International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 36, 2012.
- [49] C. H. N. R. Barbosa, M. H. S. Mendes and J. A. DeVasconcelos, « Robust feeder reconfiguration in radial distribution networks », International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 54, 2014.
- [50] A. Ahuja and A. Pahwa, « Pheromone-Based Crossover Operator Applied to Distribution System Reconfiguration », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 28, 2013.
- [51] D. E. Goldberg, « Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning », Addison Wesley Publishing Company, January 1989.
- [52] DeJong, K.A. (1975). « Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems ». PhD dissertation, Department of Computer and Communication Sciences, University of Michigan.
- [53] J. E. Baker, « Adaptive Selection Methods for Genetic Algorithms », Proc. ICGA 1, 1985.
- [54] J. E. Baker, « Reducing bias and inefficiency in the selection algorithm », Proc. ICGA 2, p Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1987.
- [55] https://wiki.openelectrical.org/index.php?title=Power_Systems_Analysis_Software#MATPOWER
- [56] <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>
- [57] <https://www.mathworks.com/discovery/genetic-algorithm.html>
- [58] <https://www.youtube.com/watch?v=cCfHiqup3NU>
- [59] M. E. Baran, F. F. Wu, « Optimal capacitor placement on radial distribution systems » IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, pp. 725-734, Jan 1989.
- [60] Documentation de la division des techniques d'électricité/ direction de distribution Ghardaia
- [61] T. Niknam, « An efficient multi-objective HBMO algorithm for distribution feeder reconfiguration, » Expert Systems with Applications, vol. 38, pp. 2878-2887, 3// 2011.
- [62] Y. Qin, J. Wang, and W. Gui, « Particle clonal genetic algorithm using sequence coding for solving distribution network reconfiguration, » in Young Computer Scientists, 2008. ICYCS 2008. The 9th International Conference for, 2008, pp. 1807-1812.
- [63] L. Liu and X.-y. Chen, « Reconfiguration of distribution networks based on fuzzy genetic algorithms, » Proceedings of the CSEE, vol. 20, pp. 66-69, 2000.