

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



Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Electrotechnique

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en électrotechnique

Présenté par :

Bessalah Abdelwahid & Hamioud Abderrahmane

Thème :

Etude de la Reconfiguration des Réseaux Electriques de Distribution

Soutenu le 15 Juin 2015

Promoteur : **Pr. A.Hellal**

Promotion 2015

10, Avenue des Frères Oudek, Hassen Badi, BP. 182, 16200 El Harrach, Alger, Algérie

Remerciement

Remerciement

Nous remercions « Allah » de nous avoir prêté vie, santé et volonté pour achever ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à Monsieur A.Hellal, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique de nous avoir encadré durant notre mémoire. Nous le remercions pour sa disponibilité, ses conseils précieux. Nous le remercions de nous avoir fait profiter de sa grande compétence et son expérience qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous lui exprimons toute notre reconnaissance et notre respect le plus profond.

Nos vifs remerciements vont également à Monsieur M. O. Mahmoudi Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour avoir accepté de présider le jury.

Nos remerciements vont aussi à Monsieur L. Nezli Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en acceptant d'être examinateur et membre du jury.

Nous remercions nos parents de nous avoir donné la vie, de nous avoir élevé, instruit, pour tous leurs sacrifices, Les mots s'épuisent sans doute, mais vous comprendrez que tout un univers de paroles ne saurait suffire pour vous dire MERCI.

Merci à tous ceux qui ont rendu possible ce travail.

Dédicaces

A ma mère, à ma mère, à ma mère.

A mon père.

A mes frères et mes sœurs.

A mes grands-parents.

A toute ma famille.

A mes amis.

Je dédie ce modeste travail.

Abdelwahid

Dédicaces



A mes chers parents.

A mes sœurs et leurs maris.

A mon neveu Nadir et ma neisse Meriem

A ma grande famille.

A tous mes amis.

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Hamioud Abderrahmane



Résumé

المخلص

ان الحد من الخسائر في شبكة التوزيع الكهربائي كان ولا يزال موضوع العديد من البحوث. يعتبر ايجاد التخطيط الأنسب للشبكة أحد الحلول الأكثر فعالية من حيث الكفاءة والتكلفة. في موضوع هذه المذكرة دراسة تقريبية لإعادة تخطيط النظام بالاعتماد على الخوارزميات الجينية والهدف من ذلك تقليص ضياع الطاقة وتحسين مردود التوتر على مستوى شبكة التوزيع مع التنسيق بين أنظمة الحماية من خلال التحكم الأنسب في قاطعات التيار الموجودة. تم تطبيق الدراسة على شبكة توزيع من 33 عقدة (IEEE 33 nodes)

كلمات ومفاتيح: تقليص ضياع الطاقة، اعادة تخطيط النظام، مردود التوتر، الخوارزميات الجينية.

Abstract

Reducing losses in distribution network distribution was subject of several researches. Finding the optimal configuration of the network is known as one of the most effective and cost-effective solution. In this work a system reconfiguration approach based on genetic algorithm is proposed for reducing losses and improving voltage profile in a power network comprising multiple lines & switches has been suggested, the study reveals that optimum selection of power networks lines and inter connection switches can provide the effective coordination of their protection system. For a given loading conditions, the proposed scheme has been tested on an IEEE 33-bus system and the results and encouraging.

Keywords: Reducing losses, System reconfiguration, Voltage profile, Genetic algorithm.

Résumé

La réduction des pertes dans les réseaux électriques de distribution a fait objet de plusieurs recherches. Trouver la configuration optimale du réseau est l'une des solutions les plus efficaces et les plus rentables. Ce projet de fin d'étude traitera une approche de reconfiguration du système basée sur les algorithmes génétiques afin de réduire les pertes de puissance et améliorer le profil de tension dans un réseau électrique de distribution comportant des lignes multiples et des commutateurs, l'étude essaie de déterminer le meilleur choix possible des états des interrupteurs des réseaux qui résulte en la meilleure coordination de leurs systèmes de protection. Pour une condition de charge donnée, une application est faite sur un réseau IEEE33 nœuds.

Mots clés : La réduction des pertes, La reconfiguration du système, Le profil de tension, Les algorithmes génétiques.

Table des matières

Table des matières

Remerciement

Abstract

Résumé

Nomenclatures

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction	1
1 Généralités sur les réseaux électriques de distribution	3
1.1 Fonction des réseaux de distribution	3
1.2 Différentes structures des réseaux	3
1.2.1 Structure radiale	4
1.2.2 Structure bouclée	5
1.2.3 Structure maillée	5
1.3 Architecture des réseaux de distribution	5
1.3.1 Structure générale d'un réseau privé de distribution	6
1.3.2 Dispositifs de protection	10
1.4 Gestion des réseaux de distribution	11
1.4.1 Exploitation	11
1.4.2 Planification	13
1.5 Modélisation des branches et des charges	15
1.5.1 Modélisation des branches	15
1.5.2 Modélisation des charges	15
2 Notions de Reconfiguration	17
2.1 Le système de distribution	18
2.1.1 Système de distribution radial	18
2.2 La reconfiguration du réseau de distribution	18
2.3 Modèle mathématique du processus de reconfiguration	20
2.4 Formulation du problème	21
2.4.1 Les pertes par effet de Joule	21
2.5 Ecoulement de puissance dans les réseaux électriques de distribution	22

Table des matières

2.5.1	La formulation mathématique de la méthode proposée	22
2.6	Méthodes et stratégies de reconfiguration.....	24
2.7	Avantage de reconfiguration	27
3	Optimisation	28
3.1	Paramètres d'optimisation	28
3.1.1	La fonction objectif	28
3.1.2	Les contraintes imposées	29
3.2	Les algorithmes évolutionnaires.....	30
3.2.1	Les algorithmes génétiques	30
3.2.2	Les stratégies d'évolution	31
3.2.3	La programmation évolutionnaire	31
3.3	Les algorithmes Génétiques	31
3.3.1	Codage, décodage et initialisation :	32
3.3.2	Evaluation :	35
3.3.3	Sélection :	35
3.3.4	Croisement	37
3.3.5	Mutation	38
3.3.6	Critère d'arrêt :	39
3.3.7	Réglage des paramètres d'un algorithme génétique :	39
3.4	Avantages et inconvénients des algorithmes génétiques	41
3.5	Conclusion	42
4	Simulation et Analyse des Résultats	43
4.1	Présentation du réseau IEEE 33 nœuds	43
4.2	Les résultats obtenus dans l'optimisation	45
4.2.1	Interprétation des résultats	52
4.3	Cas de défaillance d'une ligne	54
4.3.1	Interprétation des résultats	57
	Conclusion Générale	58
	Bibliographie	60

Nomenclatures

Nomenclatures

BT : Réseau basse tension.

MT : Réseau moyen tension.

HT : Réseau haut tension.

HTA : Réseau haut tension classe A.

HTB : Réseau haut tension classe B.

BTA : Réseau basse tension classe A.

BTB : Réseau basse tension classe B.

TBT : Réseau très basse tension.

\bar{Z}_i : L'impédance complexe de la branche i .

R_i : La résistance de la branche i .

X_i : La réactance de la branche i .

\bar{I}_i : Le courant complexe dans la branche i .

\bar{S}_i : La puissance apparente complexe de la charge au nœud i .

\bar{P}_i : La puissance active de la charge au nœud i .

\bar{Q}_i : La puissance réactive de la charge au nœud i .

V_0 : La tension nominale.

V_i : La tension au nœud i .

N_r : Le nombre de branches.

PL_i : La charge active totale au nœud i .

QL_i : La charge réactive totale au nœud i .

LP_i : Les pertes actives dans la branche i .

LQ_i : Les pertes réactives dans la branche i .

X : Chromosome ou solution.

$F_{obj}(\mathbf{X})$: Fonction objectif.

$f^{min}(\mathbf{X})$: Le minimum de la fonction objectif.

$f^{max}(\mathbf{X})$: Le maximum de la fonction objectif.

Nomenclatures

AG : Algorithmes Génétiques.

S : Switch (Interrupteur).

Fit(X) : La fonction fitness su chromosome X.

Pc : Probabilité de croisement.

Pm : Probabilité de mutation.

fit_{norm} : La fonction fitness normalisée.

fit_{cum} : La fonction fitness cumulée.

Gen : Génération.

Listes des Figures

Liste des Figures

Figure 1.1 Composants Principales d'un système électrique	3
Figure 1.2 Structure radiale	4
Figure 1.3 Structure maillée.....	5
Figure 1.4 structure générale d'un réseau privé de distribution [4].....	7
Figure 1.5 Schéma unifilaire d'une branche	15
Figure 2.1 Equivalent d'une branche électrique [11]	23
Figure 2.2 Principe de la Stratégie Constructive	25
Figure 2.3 Principe de la Stratégie Destructive	26
Figure 2.4 Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches"	26
Figure 3.1 Organigramme d'un algorithme génétique.....	32
Figure 3.2 Réseau de distribution 33 nœuds	33
Figure 3.3 Organigramme du décodage.....	34
Figure 3.4 l'opération de sélection par la méthode de la roulette	37
Figure 3.5 Croisement multipoints	38
Figure 3.6 L'opération de Mutation	39
Figure 3.7 Organigramme général du programme.....	40
Figure 4.1 La configuration initiale du réseau étudié	45
Figure 4.2 La Configuration Initiale.....	46
Figure 4.3 La Configuration Optimale	48
Figure 4.4 L'évolution des pertes en fonction des générations.....	50
Figure 4.5 Profil de tension pour les deux configurations	50
Figure 4.6 La topologie du réseau après reconfiguration	51
Figure 4.7 Cas d'incident sur la ligne alimentant le nœud 7	54
Figure 4.8 La configuration optimale trouvée suite à l'incident	55

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau 1 L'état des interrupteurs dans la configuration précédente	33
Tableau 2 Les résultats de l'évaluation	36
Tableau 3 La population intermédiaire	37
Tableau 4 Les puissances active et réactive aux nœuds	43
Tableau 5 La matrice line data	44
Tableau 6 Données de la configuration initiale	47
Tableau 7 Données de la configuration optimale.....	49
Tableau 8 Résultats des pertes pour les deux configurations	51
Tableau 9 Les données du réseau après la reconfiguration	56

Introduction

Introduction

Introduction

Les réseaux de distribution occupent une place importante dans l'ensemble des réseaux électriques, par le volume des installations et par le rôle joué. La tâche principale de ces réseaux consiste à satisfaire la demande d'électricité des consommateurs, dans les conditions de respecter les paramètres de qualité de la fourniture. Un des paramètres de qualité est la continuité de la fourniture d'électricité [1].

L'exploitation des réseaux électriques de distribution dans le passé consistait, en principal, à garder l'état de fonctionnement et à maintenir les paramètres techniques entre les limites imposées pour satisfaire la demande d'électricité des consommateurs. Dans la perspective de l'ouverture du marché de l'électricité, ces objectifs ne sont plus suffisants, car les distributeurs se retrouveront dans une situation de concurrence dans laquelle les aspects économiques joueront un rôle décisif. L'électricité devient une marchandise, dont le prix est établi selon les règles de l'offre et de la demande. Chaque distributeur a comme objectif primordial la réalisation d'un bilan financier positif, donc l'obtention du profit. Pour atteindre ce but, les dépenses représentées par les coûts de production doivent être inférieures aux revenus réalisés par la vente d'électricité.

Un domaine important dans lequel l'automatisation de la distribution est appliquée, c'est le domaine de la reconfiguration du réseau. La reconfiguration du réseau se réfère à la fermeture et l'ouverture des interrupteurs dans un système de distribution d'énergie afin de modifier la topologie du réseau, et donc le flux de puissance de la sous-station à la clientèle. Le problème, que l'on se propose de résoudre, consiste à déterminer, pour un réseau de distribution donné (urbain, rural ou mixte), des schémas d'exploitation arborescents optimaux selon des critères et des contraintes dépendant de son régime de fonctionnement courant [2].

Il y a deux raisons principales pour reconfigurer un réseau de distribution pendant le fonctionnement normal. En fonction des conditions de charge actuelles, la reconfiguration peut s'avérer nécessaire afin d'éliminer les surcharges sur les composants du système spécifiques, tels que des transformateurs ou des tronçons de ligne. Comme les conditions de chargement sur le système changent, il peut également devenir rentable pour reconfigurer afin de réduire les pertes de puissance actives du réseau qui est le point traité dans ce mémoire.

Une méthode est nécessaire pour trouver rapidement la configuration du réseau qui minimise les pertes de puissance actives totales du réseau tout en satisfaisant les contraintes du système posées. Plusieurs approches ont été appliquées à la solution de ce problème avec des degrés variables de succès. Des méthodes heuristiques ont été utilisées avec succès pour trouver des solutions sous-optimales rapidement. L'algorithme génétique qui est la méthode heuristique utilisée dans ce mémoire, a été utilisé pour trouver des solutions optimales. Les sociétés de

Introduction

services publics d'électricité ont actuellement besoin d'un algorithme qui peut être appliqué à leurs grands systèmes de distribution triphasés déséquilibrés.

Le travail est structuré dans trois parties théoriques et une étude de cas. Dans la première partie la problématique de la modélisation des réseaux électriques de distribution est abordée avec une généralité sur les réseaux de distribution et leur gestion (exploitation et planification). Un schéma simplifié est utilisé pour la modélisation des lignes. Le modèle complexe pour les consommateurs d'électricité est développé.

La deuxième partie est dédiée aux notions de reconfiguration où nous allons voir les trois régimes de fonctionnement d'un réseau de distribution tel que le régime normal, critique et défaillant. Puis nous traiterons la reconfiguration au niveau des réseaux de distribution qui va être suivie d'une modélisation mathématique du processus. Ensuite la formulation du problème dont nous allons poser le problème traité et proposer certains outils pour le résoudre (écoulement de puissance, calcul des pertes...). Nous terminerons le chapitre par les différentes méthodes et stratégies de reconfiguration.

La dernière partie théorique a pour sujet l'optimisation où nous allons présenter l'outil d'optimisation utilisée (les algorithmes génétiques). Puis les paramètres d'optimisation et la fonction objectif avec ses contraintes. Ensuite nous allons projeter cette méthode sur notre problème traité en présentant les différentes étapes dont nous avons passé. Enfin nous terminerons en donnant les avantages et inconvénients de cette méthode.

L'étude de cas d'un réseau de distribution IEEE 33 nœuds permet de mettre en exemple l'application des aspects théoriques sur la reconfiguration où nous allons présenter les résultats et les interprétations. Enfin des conclusions termineront le travail.

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux électriques de distribution

1 Généralités sur les réseaux électriques de distribution

Un système électrique est composé de trois segments de base : la production, le réseau et les consommateurs. Au niveau du réseau on parle généralement d'un réseau de transport et d'un réseau de distribution car ils diffèrent dans leur topologie, niveaux de tension, dimension, exploitation, etc. Ils diffèrent également dans leurs objectifs et donc par les acteurs qui vont intervenir dans l'un ou l'autre [1].

Les réseaux de distribution occupent une place importante dans l'ensemble de réseaux électriques, par le volume des installations et par le rôle joué. La tâche principale de ces réseaux consiste à satisfaire la demande d'électricité des consommateurs, dans les conditions de respecter les paramètres de qualité de la fourniture. Un des paramètres de qualité est la continuité de fourniture de l'électricité.

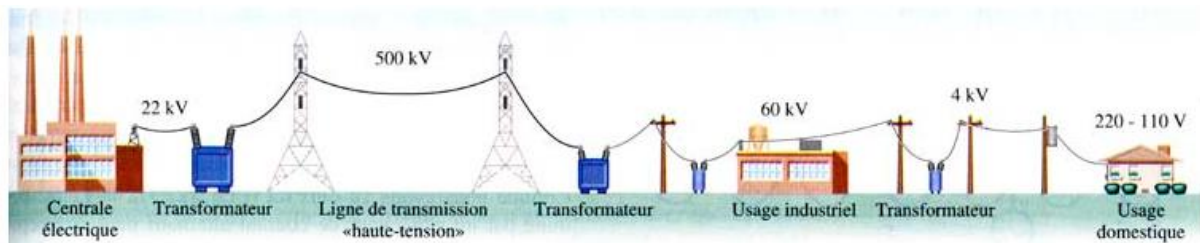


Figure 1.1 Composants Principales d'un système électrique

1.1 Fonction des réseaux de distribution

La fonction des réseaux de distribution est de fournir aux réseaux d'utilisation la puissance dont ils ont besoin (les réseaux de distribution étant limités aux installations domestiques).

Nous définissons également les réseaux de distribution comme utilisant deux niveaux de tension : un réseau basse tension (BT) et un réseau moyen tension (MT).

A l'approche des usagers, les puissances à distribuer sont faibles d'où de la BT, mais pour alimenter un nombre d'usagers important, il est nécessaire de point de vue technique, d'installer un poste équipé d'un transformateur MT/BT et de plusieurs départs BT, alimenté par une ligne MT et ainsi l'ensemble de ces lignes MT forment le réseau de distribution MT [3].

1.2 Différentes structures des réseaux

On distingue essentiellement plusieurs natures de structures, les plus connues sont :

1.2.1 Structure radiale

Les réseaux à structure radiale sont à partir d'un poste de répartition HT/MT, constitués de plusieurs artères, dont chacune va en se ramifiant, mais sans jamais retrouver de point commun. C'est une structure dite arborescente.

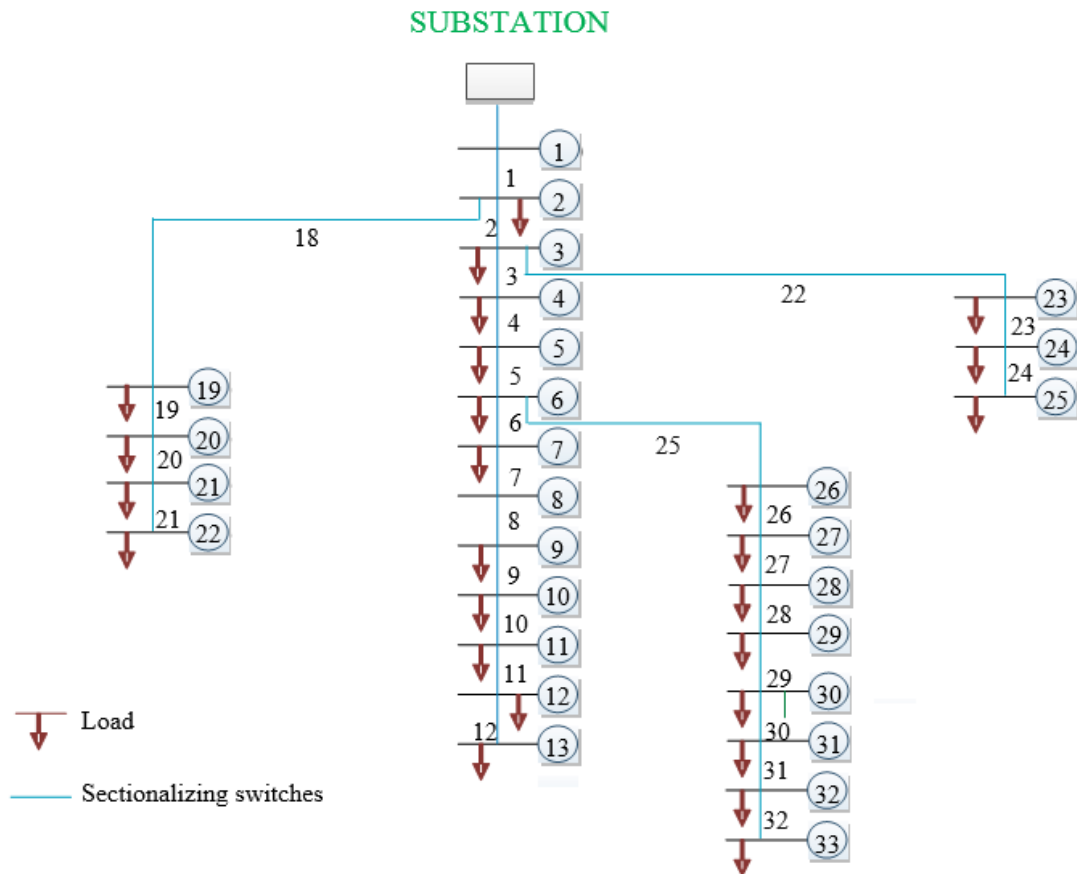


Figure 1.2 Structure radiale

La structure radiale peut être :

1.2.1.1 Une structure radiale simple

Cette structure est simple et économique, elle est utilisée dans les réseaux aériens ou la durée de répartition à la suite d'incident sur une ligne est faible.

1.2.1.2 Une structure radiale double

On assure à chaque poste une double alimentation, au moyen de deux lignes dont l'une est en service d'une façon normale et l'autre non raccordée mais maintenue sous tension c'est la ligne de réserve en cas d'avarie de la première.

1.2.2 Structure bouclée

Du poste HT/MT partent deux lignes réunies à leur extrémités. Chaque ligne dessert en cascade un certain nombre de postes, ceux-ci sont munis à l'entrée et à la sortie d'un appareil l'isolement du tronçon compris entre deux postes :

- Meilleure sécurité d'alimentation.
- Cout du réseau plus grand.
- Souvent utilisée pour les réseaux de répartition.

1.2.3 Structure maillée

Sont des structures ou toutes les lignes sont bouclées formant ainsi une structure analogue aux mailles d'un filet. De plus le nombre de sources débitant en parallèle peut atteindre plusieurs dizaines. Cette structure nécessite que tous les tronçons de lignes soient munis à leurs deux extrémités. D'appareils de coupure, les isolants en cas d'avarie. Présente une meilleure sécurité au prix le plus élevé [3].

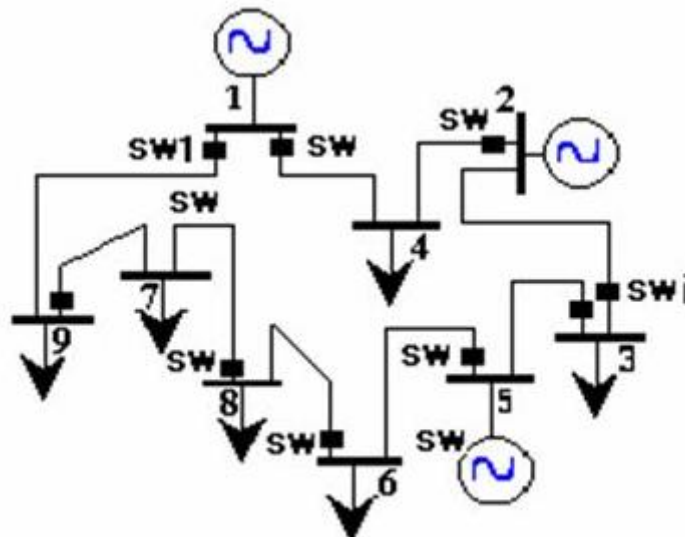


Figure 1.3 Structure maillée

1.3 Architecture des réseaux de distribution

L'architecture d'un réseau de distribution électrique industriel est plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise. Nous allons identifier les différents postes de livraison HTB et HTA, et la structure des réseaux HTA et BT [4].

Définition :

La nouvelle norme en vigueur en France UTE C 18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit :

HTB => pour une tension composée supérieure à 50 kV.

HTA => pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV.

BTB => pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 kV.

BTA => pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V.

TBT => pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V.

1.3.1 Structure générale d'un réseau privé de distribution

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

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

On présente ci-dessous la figure qui montre la structure générale d'un réseau privé de distribution :

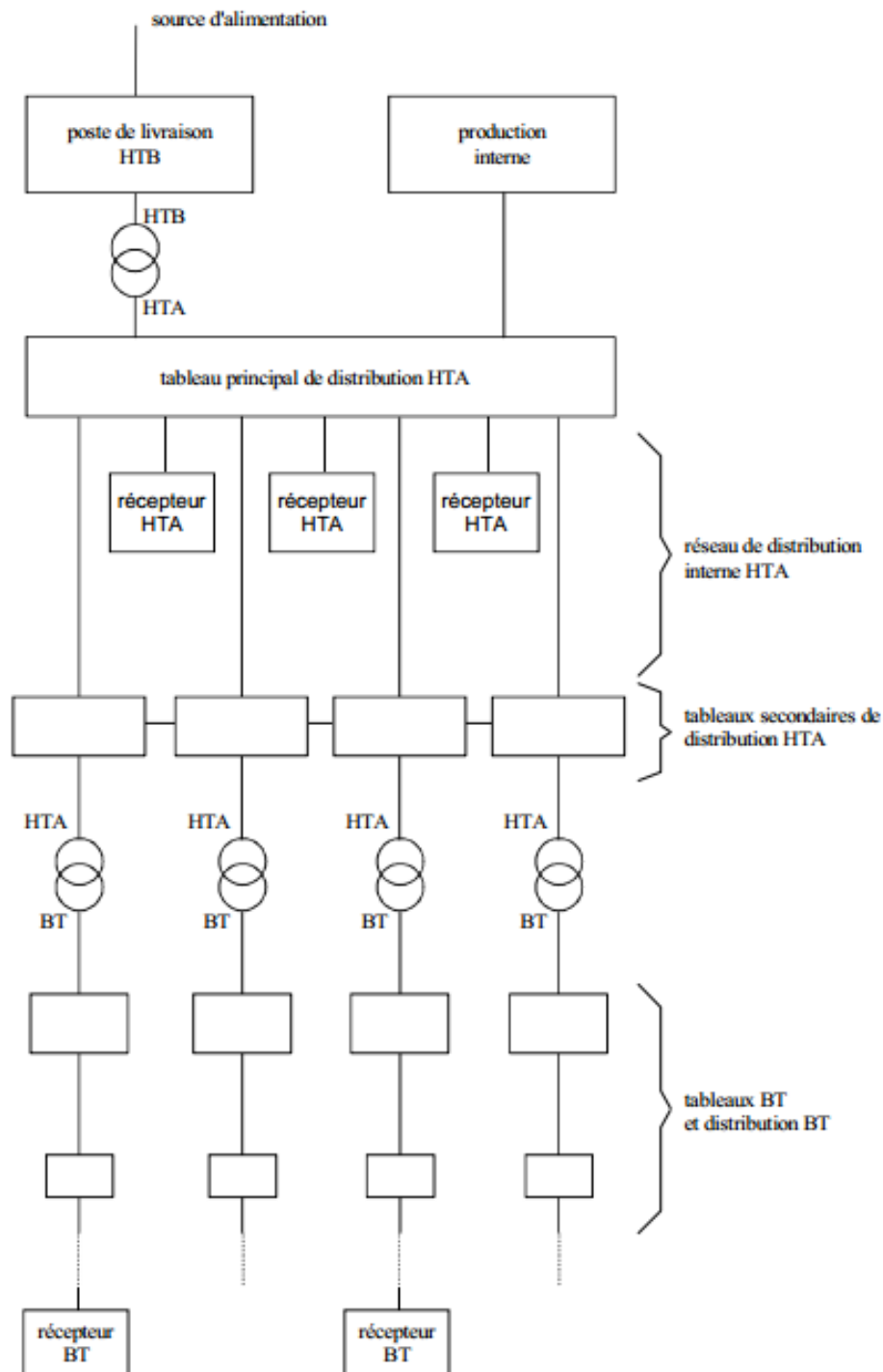


Figure 1.4 structure générale d'un réseau privé de distribution [4]

1.3.1.1 Postes sources de la MT

Ces postes sources sont alimentés par les réseaux de répartition HT. Dans les zones urbaines très denses, il peut être intéressant de sauter cet échelon de répartition et de réaliser des injections directes THT/MT. Ces deux types de postes présentent quelques différences de conception du fait des fonctions à assumer (puissance plus importante à desservir pour les postes THT/MT) [4].

1.3.1.2 Postes HT/MT

En phase initiale, ce type de poste est constitué d'un transformateur (T1) alimenté par une ligne HT (HT1). Avec l'augmentation des charges à desservir, on peut y adjoindre un deuxième (T2), puis, en stade final, un troisième (parfois plus) transformateur (T3) généralement en double attache.

En même temps que le deuxième transformateur, on raccorde généralement une deuxième arrivée HT (HT2), dite garantie ligne, opérant en cas de défaut sur la première.

1.3.1.3 Postes THT/MT

Ces postes sont conçus pour desservir des puissances nettement plus importantes que les postes HT/MT, notamment dans les grandes agglomérations.

La structure du poste THT/MT, comme celle du poste HT/MT, est évolutive en fonction de l'augmentation des charges à desservir.

À partir d'un stade initial, dans lequel le poste ne comporte qu'une alimentation THT et un seul transformateur, une évolution progressive peut s'effectuer jusqu'à un stade final comprenant deux alimentations et quatre transformateurs. Compte tenu des puissances importantes, cette structure est conçue pour aménager de multiples possibilités d'alimentation et de secours interne, en THT et en MT.

1.3.1.4 Réseaux MT

1.3.1.4.1 Réseaux MT aérien

Ce sont essentiellement des impératifs d'ordre géographique qui ont influencé la conception technique et structurelle des réseaux aériens MT, en particulier l'étendue des territoires, la densité des populations et la puissance unitaire des clients à desservir.

1.3.1.4.2 Réseaux MT souterrains

Les différences de structure entre réseaux aériens et souterrains proviennent essentiellement, par nature, de la nécessité de faire face à des indisponibilités beaucoup plus longues en système souterrain, pour localiser une avarie éventuelle

et en effectuer la réparation (10 à 20 h) ou bien pour réaliser des travaux programmés.

De plus, dans les zones urbanisées à forte densité de charge, ces indisponibilités affectent un nombre important de clients et les exigences de continuité de fourniture sont, en général, plus fortes que pour des réseaux ruraux aériens. Par ailleurs, les fortes densités de charge dimensionnent les réseaux par les courants admissibles plutôt que par les chutes de tension, et la structure choisie peut avoir une fonction d'optimisation des transits et de répartition de charge, dans les différentes configurations d'exploitation.

1.3.1.5 Postes MT/ BT

Ils sont l'interface entre les réseaux MT et BT. Ils ont essentiellement un rôle de transformation MT/BT auquel peuvent éventuellement être associées une fonction d'exploitation MT (point de coupure) et une fonction de répartition BT, suivant la charge à desservir.

Le poste MT/BT est un organe très répandu sur le réseau, qui se présente sous des formes extrêmement variées, suivant l'environnement et la puissance à desservir.

Une des caractéristiques essentielles des postes MT/BT est leur puissance nominale. On rencontre à travers le monde des puissances comprises entre quelques kilovoltampères et plusieurs méga voltampères. Les plus petits sont réduits à un simple transformateur (monophasé dans la technique nord-américaine) alimentant une habitation isolée. Les plus gros se présentent sous la forme de bâtiment comportant tout un appareillage de répartition MT et BT, plusieurs transformateurs de puissance, des systèmes de protection et de contrôle-commande, un atelier d'énergie, etc [4].

1.3.1.6 Types de postes MT/BT

On peut citer plusieurs types de postes MT/BT de niveau de complexité croissante :

- Poste sur poteau dit H61.
- Poste bas simplifié sous capot.
- Postes de type urbain raccordés en souterrain

1.3.1.6.1 Réseaux BT

On rencontre à travers le monde les deux systèmes de distribution BT : monophasé et triphasé. Le choix entre les deux systèmes résulte de considérations diverses :

- Cohérence avec le système de distribution MT et la technique choisie de transformation MT/BT.
- Topologie des charges, justifiant économiquement l'un ou l'autre des deux systèmes.
- Contraintes liées aux appareils d'utilisation (moteurs,...).

1.3.2 Dispositifs de protection

Face aux agressions diverses subies par les réseaux de distribution, le rôle de ces dispositifs est d'assurer la sauvegarde des matériels, tout en dégradant le moins possible la qualité de service.

Les qualités essentielles d'un système de protection sont :

- La fiabilité, car il doit fonctionner en cas de défaut, et seulement dans ce cas.
- La rapidité, pour éviter de détériorer les matériels.
- La sélectivité, l'élimination d'un défaut devant se traduire par la mise hors tension du seul élément de réseau affecté par le défaut.
- La sensibilité, car il doit éliminer des défauts difficiles à déceler, tels que les défauts résistants.

On peut cependant aborder ici quelques grandes lignes concernant deux types de perturbations : les surtensions et les surintensités sur réseaux MT aériens.

Protection contre les surtensions :

Le système traditionnel pour la protection des réseaux aériens MT contre les surtensions atmosphériques est constitué par des éclateurs à cornes installés sur les chaînes d'isolateurs à proximité des installations à protéger. Ce système simple et peu onéreux présente cependant l'inconvénient de générer, avec le neutre mis à la terre, un courant de défaut dit de suite en cas d'amorçage dû à une surtension, qui ne peut être éliminé qu'en consentant une coupure brève (fonctionnement de la protection contre les surintensités).

Protection contre les surintensités :

La détection des défauts est réalisée par des relais ampèremétriques (fonctionnant au-delà d'un seuil de courant) et la sélectivité est assurée par une temporisation croissante de l'aval vers l'amont (intervalles de temps fixes, relais à temps constant). Les relais ampèremétriques (2 relais à courant de phase et 1 relais homopolaire) autorisent la détection de défauts de toutes formes (polyphasés, monophasés et biphasés à la terre).

Des automatismes de reprise de service peuvent venir compléter ce dispositif, notamment :

- Le système de ré-enclenchements rapides et lents, permettant d'éliminer les défauts fugitifs et semi-permanents.

- Le système de recherche automatique des défauts résistants à la terre qui, lors d'une surintensité dans la connexion entre neutre et terre, explore par ouvertures successives les différents départs et élimine celui qui est affecté.

1.4 Gestion des réseaux de distribution

La gestion d'un réseau de distribution regroupe les deux fonctions suivantes : l'exploitation et la planification. L'exploitation est responsable de gérer un système existant selon des critères techniques et économiques en satisfaisant la demande actuelle. La planification est responsable d'adapter le système existant (renforcements et extensions) selon des critères économiques et techniques afin que l'exploitation puisse satisfaire la demande future selon ses propres critères [5].

1.4.1 Exploitation

On peut mettre en relief deux types d'exploitation à savoir l'exploitation en temps réel et l'exploitation planifiée. Pour ce faire, les moyens d'action se résument uniquement à des manœuvres de types ouverture/fermeture d'appareils de coupure dans le but de transiter d'un schéma d'exploitation vers un autre.

Pour l'exploitation en temps réel, on distingue, pour un réseau de distribution donné, les trois régimes de fonctionnement suivants : le régime normal, le régime critique et le régime défaillant.

En régime normal, tous les ouvrages du réseau fonctionnent dans leurs limites d'utilisation admissibles et la demande actuelle est entièrement satisfaite. Dans ce régime, les exploitants effectuent essentiellement des manœuvres préventives contre d'éventuels régimes critiques. Dans certains cas, ces manœuvres peuvent également contribuer à réduire les pertes ohmiques induites par la desserte des charges requises par les consommateurs. En général, cette réduction des pertes ohmiques présente non seulement un avantage économique mais également une incidence favorable sur la sécurité d'exploitation du réseau [5].

En régime critique, le réseau est le siège de certains courants et/ou certaines tensions voisines ou au-delà des limites d'utilisation admissibles pour, malgré tout, répondre également à la totalité de la demande. L'origine d'un régime critique peut provenir de la nature aléatoire des variations d'amplitudes des charges à desservir. Dans ce cas, les manœuvres ont pour but de ramener le réseau dans un régime normal tout en observant si possible une marge de sécurité suffisante.

Le régime défaillant est caractérisé par le fait qu'il y a interruption de l'alimentation en énergie en un ou plusieurs points du réseau. Du fait de l'arborescence du schéma d'exploitation des réseaux de distribution, ce régime est atteint dès qu'un seul ouvrage (ex : ligne ou câble) tombe en panne. A titre d'exemple, cette panne peut résulter d'un régime critique trop long ou trop sévère (action des dispositifs de protection). Dans cette situation, les impératifs des

exploitants sont de rétablir la desserte de charge si possible intégralement ou éventuellement partiellement en minimisant la quantité de charge délestée c'est-à-dire en limitant les conséquences économiques (coût de l'énergie non délivrée, préjudices économiques supportés par les consommateurs...) que ce délestage pourrait induire. Pour ce faire, les manœuvres à effectuer doivent permettre d'établir des chemins électriques partant des sources du réseau et aboutissant aux points de consommation en aval du lien du défaut pour autant que celui-ci soit identifié et isolé. Par rapport au schéma d'exploitation couramment utilisé en régime normal, ces chemins emprunteront alors des lignes ou des câbles initialement hors service tout en respectant les limites d'utilisation admissibles de l'ensemble des ouvrages du réseau et l'arborescence du schéma d'exploitation de secours résultant [5].

L'exploitation planifiée a pour rôle de définir à l'avance un schéma d'exploitation pouvant remplacer celui que l'on utilise couramment en régime normal soit dans le cas où le réseau doit faire l'objet de désaffectations d'ouvrages pour des raisons d'entretiens ou de renforcements programmés soit dans le cas d'un plan de charge établi à partir d'une étude prévisionnelle. L'exploitation planifiée observe les mêmes critères et les mêmes contraintes que l'exploitation en temps réel. Elles ne diffèrent que par les temps que l'on a à disposition afin de prendre les décisions qui s'imposent en vue de surmonter les problèmes à résoudre.

Jusqu'à nos jours, la majeure partie des réseaux de distribution sont encore exploités en mode manuel. En effet, ils ne sont équipés ni de système de commande à distance pour effectuer les manœuvres ni de système d'acquisition automatique de mesures afin de mieux distinguer les limites entre leurs différents régimes de fonctionnement possibles. Le seul régime que l'on peut en général facilement distinguer, est le régime défaillant qui, dans le cas particulier de ces réseaux, constitue la principale préoccupation des exploitants. Son identification résulte généralement des appels téléphoniques des abonnés subissant les conséquences de la panne ayant conduit à ce régime. Sur la base des informations recueillies suite à ces appels, les exploitants procèdent tout d'abord à la localisation du défaut en dépêchant du personnel dans des zones présumées en être le siège. Cette phase exige, de la part des exploitants, une grande expérience en matière de coordination et d'interprétation des informations susmentionnées afin de gérer efficacement les investigations entreprises par le personnel qui communique, également dans ce but et au fur et à mesure, ses constatations aux exploitants par support radiophonique. Cette localisation du défaut peut, malgré tout, être longue et difficile compte tenu du fait que les informations téléphoniques précitées peuvent être souvent insuffisantes tant du point de vue quantité que du point de vue qualité. Lorsque le défaut a été localisé et isolé, à partir de leurs connaissances principalement structurales du réseau, les exploitants dictent au personnel la séquence des manœuvres à effectuer en vue de rétablir au mieux la continuité du service.

Actuellement, en vertu de la complexité constamment croissante que représentent les réseaux de distribution et en vue de garantir un service de haut qualité, le mode d'exploitation manuel est en voie de mutation progressive. En effet, depuis quelques années, des travaux ont été entrepris au niveau international, dans le but d'automatiser partiellement, voire même complètement, la conduite des réseaux de distribution. Plusieurs publications décrivent les concepts et les infrastructures matériels les plus récentes selon lesquelles cette automatisation a été ou pourrait être réalisée dans le cas de certains réseaux considérés comme exemples [5].

Selon la littérature précitée, l'exploitation automatisée d'un réseau de distribution s'articule autour d'un ordinateur central permettant de communiquer, moyennant des interfaces adéquats, avec différents dispositifs équipant ce réseau tels que des appareils de coupure pour s'enquérir de leur état topologique (télésignalisation) et les manoeuvrer à distance (télé action) et des appareils de mesures afin de s'enquérir de leur indication (télémessure). Ainsi, cette infrastructure matérielle permet de suivre de façon étroite et continue le fonctionnement du réseau et par conséquent, d'apporter un certain confort et une meilleure efficacité dans la prise des décisions en vue de pallier aux problèmes d'exploitation à résoudre tels que ceux posés par le régime défaillant.

1.4.2 Planification

La planification regroupe les tâches consistant à définir de façon optimale les renforcements et les extensions d'un réseau électrique de distribution compte tenu de l'évolution spatio-temporelle des charges à moyen ou à long terme. Les renforcements consistent soit en des remplacements d'ouvrages existants par des ouvrages de plus grandes capacités soit en installations d'appareillages visant à étendre les limites d'exploitation. Dans ce deuxième cas, lorsque l'exploitation du réseau est automatisée, il s'agira d'appareils commandables et/ou interrogeables à distance qui peuvent être des appareils de coupure, des appareils de mesure, des appareils de protection afin de limiter les conséquences immédiates des incidents pour la clientèle ou encore des batteries de condensateurs destinés à la compensation des puissances réactives dans le cas de réseaux ruraux très étendus. Les extensions consistent en des installations de nouveaux ouvrages qui peuvent être de nouveaux postes de transformation HT/MT ou MT/BT, de nouvelles lignes ou de nouveaux câbles dont le but d'alimenter de nouveaux consommateurs [5].

Pour entreprendre des études de planification, il est nécessaire, tout d'abord, de définir un horizon pour ces études soit une période allant de l'année actuelle T_0 à une année cible T_n et, de façon liée, un plan d'évolution de la consommation tout au long de cette période. Par la suite, selon ces deux caractéristiques et connaissant l'état actuel du réseau, les études consistent à formuler et à résoudre un problème d'optimisation dont le but d'identifier progressivement dans une liste de renforcements et d'extensions possibles ceux qui correspondent, de façon globale dans l'intervalle $[T_0, T_n]$, au meilleur compromis entre les coûts d'investissement

qui leurs sont associés et les coûts d'exploitation qu'ils pourraient épargnés si on les réalise. Les coûts d'exploitation porte essentiellement sur les pertes ohmiques et, si possible, une valorisation économique des défaillances et chacun des coûts précités (exploitation et investissement) est sujet au principe de l'actualisation.

En plus des critères économiques, le problème d'optimisation susmentionné englobe également des contraintes dont il faut tenir compte dans le cadre de sa résolution. Il s'agit de contraintes techniques exprimant le respect des limites de fonctionnement de l'ensemble des ouvrages déjà existants et futurs du réseau, de contraintes économiques traduisant la volonté de ne pas dépasser le montant budgétaire à disposition chaque année et de contraintes logistiques traduisant le respect des dates de réalisation au plus tard des renforcements et des extensions susceptibles d'être retenus ainsi que le respect des emplacement possibles qui pourraient leurs être alloués [5].

Ce problème d'optimisation extrêmement complexe, en raison de sa nature dynamique, combinatoire et le plus souvent non linéaire, a fait, déjà depuis plusieurs années, l'objet de différents modèles mathématiques de résolution implantés sur ordinateur et l'ensemble des publications, qui les décrivent, est très vaste. En général, il est décomposé en plusieurs sous-problèmes en raison du fait qu'il est difficile de considérer simultanément l'ensemble des critères des contraintes évoquées auparavant ainsi que des renforcements et des extensions de différents types.

La planification d'un réseau de distribution se heurte souvent à des difficultés d'ordre technique et politique que l'on ne peut exprimer facilement dans le cadre des formulations mathématiques citées auparavant. Sur le plan technique, ces difficultés se rapportent essentiellement à la détermination de la demande future. Or si cette demande future peut être évaluée avec assez de précision pour des réseaux de transport et de répartition, elle l'est plus difficilement pour les réseaux de distribution. Celle-ci comprend deux composantes, la première qui décrit la croissance régulière des charges existantes, la deuxième qui exprime une variation brusque due à de nouveaux raccordements. Dans le cas de cette deuxième composante, les responsables de la planification d'un réseau de distribution doivent souvent faire face à des demandes de raccordement non planifiées pour un nouveau complexe immobilier ou des immeubles qui changent d'affectation. Par ailleurs d'autres difficultés de nature technique peuvent être évoquées. Elles résultent de l'impact de la planification d'un réseau de distribution sur celle de ses réseaux voisins qu'ils soient à haut ou à basse tension et également la volonté d'étendre ce réseau selon un schéma directeur traduisant les grandes lignes du développement future de celui-ci.

1.5 Modélisation des branches et des charges

1.5.1 Modélisation des branches

Les réseaux de distribution ont une configuration radiale et sont constitués d'un ensemble de branches. Chaque branche de ce réseau est modélisée comme une résistance en série avec une inductance pure. L'impédance d'une branche « i » quelconque de ce réseau (voir Figure 1.5) s'écrit :

$$\bar{Z} = R_i + jX_i \quad (1.1)$$

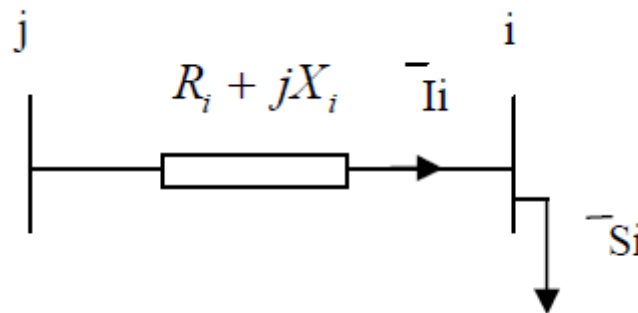


Figure 1.5 Schéma unifilaire d'une branche

Les admittances shunts sont négligeables du fait que la ligne est de moyen tension.

1.5.2 Modélisation des charges

Les charges sont en général modélisées comme étant dépendantes de la tension. On écrit alors pour les puissances actives et réactives d'une charge placée au nœud « i » les expressions suivantes :

$$P_i = P_{oi} \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^\alpha \quad (1.2)$$

$$Q_i = Q_{oi} \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^\beta \quad (1.3)$$

Où :

- P_{oi} et Q_{oi} sont les puissances actives et réactives nominales.
- V_0 est la tension nominale.
- P_i et Q_i sont la puissance active et réactive de la charge au nœud « i » pour une tension égale à V_i .
- Les coefficients α et β déterminent le caractère de la charge.

Si les coefficients α et β sont tous les deux nuls, la charge est considérée à puissance constante. Si par contre α et β sont égaux à 1, la charge est considérée à courant constant. Lorsqu'ils sont égaux à 2 la charge est considérée à impédance constante. Dans la suite de notre travail, α et β seront nuls c'est-à-dire que nous considérons les charges à puissance constantes.

La puissance apparente de la charge branchée au nœud i est dans ce cas :

$$\bar{S} = P_i + jQ_i \tag{1.4}$$

Chapitre 2

Notions de Reconfiguration

2 Notions de Reconfiguration

La reconfiguration d'un système de distribution est un problème d'optimisation combinatoire impliquant des contraintes. La complexité du problème se pose du fait que la topologie du réseau de distribution doit être radiale et les contraintes d'écoulement de puissance sont non-linéaire en nature [6].

La reconfiguration d'un système physique quelconque consiste à modifier la configuration courante par le changement des liaisons fonctionnelles entre les éléments composants dans le but d'améliorer le régime de fonctionnement ou les indicateurs de performance du système.

La reconfiguration des réseaux électriques de distribution concerne le changement de configuration d'exploitation par la modification de l'état topologique « en service » / « hors service » des certaines branches du réseau (en général représentées par des lignes électriques). L'application du processus de reconfiguration est possible seulement pour les réseaux dont la structure est maillée, pour lesquels la contrainte d'arborescence est imposée sur les configurations d'exploitation.

Par cette contrainte, l'état d'une partie des branches est « hors service », les autres en se trouvant dans l'état « en service ». L'ensemble formé par les branches dont l'état est « hors service » a une taille bien précise, mais sa composition n'est pas fixe, elle peut être changée à condition de respecter la contrainte d'arborescence. Il en résulte la possibilité d'adapter convenablement la configuration, pour améliorer ou optimiser le régime de fonctionnement, conformément à la stratégie d'exploitation du réseau en tenant compte de la demande d'électricité.

Le problème de la recherche de l'optimum pour un réseau électrique peut être formulé pour les trois régimes de fonctionnement :

- **Le régime normal**, caractérisé par la disponibilité de tous les éléments composants ; toutes les grandeurs d'état se retrouvent entre les limites imposées ;
- **Le régime critique**, caractérisé aussi par la disponibilité de tous les éléments composants ; avec la différence qu'une partie des grandeurs d'état ont dépassé les limites imposées en pouvant se retrouver à la limite de fonctionnement normal (limite thermique, limite de la stabilité de tension, etc.) ;
- **Le régime défaillant**, dans lequel un ou plusieurs éléments sont indisponibles à la suite d'un défaut, comme une conséquence du fonctionnement sur une longue période dans un régime critique ou par une autre cause.

Tandis que pour les régimes normaux et critiques, le processus est de reconfiguration, pour les régimes défaillants le processus est de reconstruction du

réseau. Pour les régimes normaux on envisage d'habitude d'atteindre l'optimum. Le but principal pour le régime critique est d'établir un régime normal, qui peut être suivi de la recherche de l'optimum. La reconstruction a pour but la remise en état du fonctionnement, après l'isolation du défaut, de la partie du réseau affectée par la défaillance et l'alimentation de tous les consommateurs [2].

2.1 Le système de distribution

Le système de distribution de l'électricité est la phase finale de la livraison de l'énergie vers les consommateurs. Ce système porte l'énergie électrique du système de transmission vers les consommateurs.

2.1.1 Système de distribution radial

La distribution radiale est un des types de la distribution d'énergie ou l'énergie est délivrée de la branche principale vers les sous-branches et puis cette énergie est délivrée à partir de ces sous-branches de la même manière. C'est la configuration la moins coûteuse mais la moins fiable d'autre part.

Le réseau électrique radial est un système de distribution dont la puissance est distribuée vers les consommateurs individuels à partir des postes de transformation, le système radial ressemble à une branche d'un arbre avec une ligne principale connectée à des séries de petit circuit.

Le système radial peut avoir une source ou bien plusieurs sources d'énergie dans la même région. Un défaut au niveau des lignes de distribution peut causer l'interruption du système et par conséquent ce dernier ne peut plus être restauré jusqu'à ce que le défaut soit arrangé. Seulement un chemin existe entre chaque client et le poste de distribution autrement dit l'écoulement de puissance est assuré à travers un seul chemin pour chaque nœud (charge), si ce dernier est interrompu, le client n'est plus alimenté. De ce fait, la reconfiguration du système de distribution peut être un outil très utile pour la gestion de la distribution d'énergie.

Le problème de la reconfiguration est un problème d'optimisation non-linéaire, il peut être posé pour une variété d'objectifs comme nous pouvons le résoudre en utilisant beaucoup de techniques différentes.

2.2 La reconfiguration du réseau de distribution

Pour le problème de la reconfiguration du réseau, la meilleure combinaison des statues (ouverture/fermeture des commutateurs) doit être trouvée afin que les pertes de puissance soient minimisées [7], ainsi que l'amélioration du profil de tension.

La reconfiguration du réseau entraîne une modification au niveau de la structure topologique des lignes de distribution en changeant l'état d'ouverture et de fermeture des interrupteurs sous les deux conditions de fonctionnement

normale et anormale [8]. Lorsque ces deux conditions changent, le réseau est reconfiguré pour deux raisons principales qui sont la réduction des pertes et l'amélioration du profil de tension. Cette reconfiguration permet au système de servir les mêmes charges pour les utilisateurs avec moins de pertes sur les lignes de distribution, elle peut également soulager les surcharges dans le réseau et empêcher une surcharge lipidique.

En raison du fait qu'il y a un grand nombre de commutateurs de sectionnement (les commutateurs de sectionnement sont les interrupteurs fermés à leurs état normal) dans un réseau de distribution, la majorité des méthodes qui existent sont des méthodes d'approximation qui sont basées sur les connaissances évolutionnaires ou heuristiques. Les réseaux de distribution sont généralement configurés radialement pour simplifier le système de protection et réduire par conséquent le cout des équipements. En général, ces réseaux de distribution présentent la possibilité de la modification de la topologie à travers l'ouverture et la fermeture des interrupteurs situés à des points stratégiques, la topologie est modifiée, en maintenant la configuration radiale, dont l'objectif est de minimiser les pertes et d'améliorer le profil de tension, d'autre part les interrupteurs de sectionnement qui sont utilisés pour la modification de la topologie ont pour objectif [8]:

- La protection (isolation des défauts)
- La reconfiguration (gestion de la configuration)

Le problème de la reconfiguration est résolu à travers une simulation numérique. Cependant, ce genre de programmation rend difficile l'analyse et la visualisation des résultats [7].

La solution exacte pour le problème de la reconfiguration implique la sélection, dans toutes les configurations possibles, de celle qui génère le minimum des pertes de puissance. Trouver la solution exacte est pratiquement impossible, en raison de la croissance exponentielle, en fonction du nombre et de l'emplacement des interrupteurs du système, du nombre de configurations possibles générées. Ceci est appelé explosion combinatoire.

Les réseaux électriques de distribution sont construits d'une manière à être à la fois maillés et interconnectés. Toutefois, ils sont arrangés pour être radiaux pendant le fonctionnement, leurs configurations peuvent être modifiées suite à des commutations, manuelles ou bien automatiques, de telle sorte que toutes les charges soient alimentées avec le minimum des pertes. La reconfiguration soulage également la surcharge des composants du réseau, cette reconfiguration est effectuée à travers la fermeture des commutateurs de sectionnement (normalement fermées) et l'ouverture des tie-switches (normalement ouvertes) et de manière à maintenir la radialité du réseau afin que toutes les charges soient alimentées, le problème qui se pose est pour déterminer l'état des interrupteurs du réseau de telle sorte que la réduction des pertes soit atteinte [9].

2.3 Modèle mathématique du processus de reconfiguration

Le processus de reconfiguration des réseaux électriques de distribution peut être considéré comme un problème d'optimisation. Le support qui permet sa résolution est le modèle mathématique, dont la forme générale est donnée par :

$$\begin{aligned} \mathbf{OPTIMUM} [f(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F})] & \quad (2.1) \\ \mathbf{g}(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F}) & = \mathbf{0} \\ \mathbf{h}(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F}) & > \mathbf{0} \end{aligned}$$

Avec $f(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F})$ fonction objectif,

$\mathbf{g}(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F})$ Contraintes d'égalité

$\mathbf{h}(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F})$ Contraintes d'inégalité.

Les variables de ces fonctions représentent :

U ensemble des grandeurs d'état, représenté par les tensions aux nœuds ;

I ensemble des grandeurs d'état, représenté par les courants des branches ;

C ensemble des variables de décision, représentant l'état topologique des branches ; les deux états sont symbolisés par :

= 1, si la branche l est dans l'état « en service » ;

= 0, si la branche l est dans l'état « hors service » ;

F ensemble des paramètres de fiabilité des branches.

Les critères utilisés couramment dans la fonction objectif du processus de reconfiguration des réseaux électriques de distribution consistent en :

- La minimisation des pertes ohmiques ;
- La réduction et l'équilibrage des charges des branches ;
- La diminution des chutes de tension au long des branches et l'équilibrage du niveau de tension aux nœuds consommateurs ;
- L'amélioration de la fiabilité de l'alimentation des consommateurs ;
- La réduction des coûts des manœuvres.

La fonction objectif peut considérer un ou plusieurs critères simultanément.

Les contraintes du modèle mathématique peuvent être imposées par des raisons d'exploitation ou techniques. Les contraintes d'exploitation concernent la configuration d'exploitation et consistent à :

- Vérifier la connexité, pour l'alimentation de tous les consommateurs ;
- Garder l'arborescence du schéma d'exploitation ;
- Considérer la possibilité d'effectuer des manœuvres sur certaines branches ;

- Respecter le nombre maximum de manœuvres admis pour le changement de configuration.

Le but des contraintes techniques est d'obtenir des régimes de fonctionnement surs et consiste à vérifier :

- La sécurité en fonctionnement tant du point de vue des charges et des chutes de tension sur les branches, que du niveau des tensions aux nœuds.
- Le niveau de sécurité dans l'alimentation des consommateurs imposé par les normes techniques ou par les contrats de fourniture de l'électricité.

2.4 Formulation du problème

L'écoulement de puissance dans le réseau électrique génère des pertes. Ces pertes doivent être identifiées puis combattues avec un objectif d'optimisation et de réduction.

Le problème causé par ces pertes est dans de nombreux cas tellement grave qu'il constitue un enjeu majeur pour les sociétés impliquées. En effet, lorsqu'elles dépassent les niveaux considérés comme « admissibles », elles peuvent mettre en danger la santé financière des sociétés.

2.4.1 Les pertes par effet de Joule

Les pertes par effet joule constituent la composante principale des pertes de transport. Ces pertes sont causées par le courant qui circule dans les lignes et les transformateurs.

Les pertes ohmiques, provoquées par l'effet de Joule, peuvent être diminuées par la reconfiguration des réseaux de distribution. La réduction de ces pertes est l'un des critères principaux pour les régimes normaux de fonctionnement. Les conditions imposées aux configurations améliorées obtenues par ce critère consistent à respecter strictement les contraintes d'inégalité, surtout celles qui concernent les charges des branches et les chutes de tension.

Dans ce mémoire nous essayerons de minimiser les pertes ohmiques en utilisant la fonction objectif suivante :

$$P_{loss} = \sum_{b=1}^{Nr} I_b^2 \cdot R_b \quad (2.2)$$

Où R_b et I_b représentent la résistance et le courant de la branche b ,

Nr représente le nombre des branches.

Durant la reconfiguration du réseau les trois contraintes suivantes doivent être satisfaites :

- La structure du réseau doit être radiale.
- Tous les consommateurs doivent être alimentés.
- Le profil de tension doit être admissible.

2.5 Ecoulement de puissance dans les réseaux électriques de distribution

L'écoulement de puissance (E.P) ou écoulement de charge, est la solution pour les conditions de fonctionnement normal d'un réseau électrique triphasé équilibré en régime permanent. En d'autres termes, c'est la recherche d'un point de fonctionnement stable d'un réseau électrique à un moment donné à travers une information complète des tensions, courants et puissances mises en jeu dans le système de puissance. En général, les calculs d'écoulement de puissance sont exécutés dans le cadre de la planification d'un réseau électrique, de son fonctionnement et de son contrôle. Les résultats de ce calcul sont utilisés comme données de base dans les études de fonctionnement normal d'un réseau électrique, d'analyse des pertes importantes d'un ouvrage tel une ligne ou générateur, d'évaluation de la stabilité, de répartition optimale de charge ou encore d'autres études de stabilité transitoire par exemple [10].

L'analyse de l'écoulement de puissance dans les systèmes de distribution consiste à trouver des solutions et des méthodes rapides et itératives, plusieurs travaux ont été faits pour le contrôle des systèmes de distribution.

Les réseaux de distribution sont généralement de type radial ce qui rend très difficile le choix de la méthode de solution pour un système pratique. L'analyse de l'écoulement de puissance pour un tel réseau électrique doit être faite en satisfaisant les contraintes suivantes :

- Le temps d'exécution doit être rapide.
- Atteindre la fiabilité.

L'algorithme de l'écoulement de puissance que nous allons utiliser dans notre travail utilise les courants et les puissances comme variable d'état et ne concerne que les lois de base de circuit.

2.5.1 La formulation mathématique de la méthode proposée

Nous précisons d'abord les hypothèses qui ont été pris en compte :

- Nous supposons que le réseau de distribution comprend complètement des charges triphasées équilibrées.
- La capacité shunt des lignes de distribution est négligeable.

L'écoulement de puissance d'un système de distribution radial peut être analysé à partir d'une seule branche du système, qui peut être représentée comme la montre la Figure 2.1 suivante :

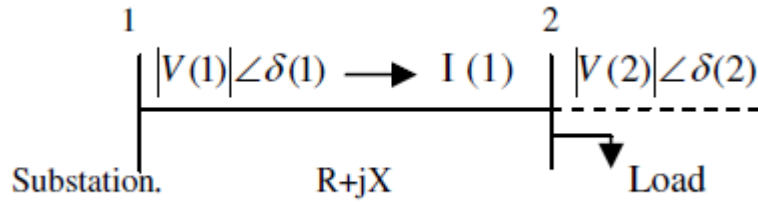


Figure 2.1 Equivalent d'une branche électrique [11]

A partir du modèle représenté dans la figure précédente, Nous pouvons écrire les équations suivantes :

$$I(1) = \frac{|V(1)|\angle(\delta 1) - |V(2)|\angle(\delta 2)}{R(1) + jX(1)} \quad (2.3)$$

$$P(2) - jQ(2) = V^*(2).I(1) \quad (2.4)$$

A partir des équations (2.3 - 2.4), nous obtenons :

$$V(i + 1) = \sqrt{\sqrt{(a^2 - b)} - a} \quad (2.5)$$

Où,

$$a = P(i + 1)R(i) + Q(i + 1)X(i) - 0.5|V(i)|^2 \quad (2.6)$$

$$b = (P^2(i + 1) + Q^2(i + 1)) (R^2(i) + X^2(i)) \quad (2.7)$$

La somme total des puissances actives et réactives au nœud (2) est donnée par :

$$P(2) = \sum_{i=2}^{N_r} PL(i) + \sum_{i=2}^{N_r-1} LP(i) \quad (2.8)$$

$$Q(2) = \sum_{i=2}^{N_r} QL(i) + \sum_{i=2}^{N_r-1} LQ(i) \quad (2.9)$$

Où,

- QL(i) est la charge réactive totale au nœud i.
- PL(i) est la charge active totale au nœud i.
- LP(i) sont les pertes actives dans la branche i.
- LQ(i) sont les pertes réactives dans la branche i.

Les pertes de puissances actives et réactives au niveau de la branche sont données par :

$$LP(i) = \frac{R(i) * (P^2(i+1) + Q^2(i+1))}{|V(2)|^2} \quad (2.10)$$

$$LQ(i) = \frac{X(i) * (P^2(i+1) + Q^2(i+1))}{|V(2)|^2} \quad (2.11)$$

La forme généralisée des équations (6) et (7) peut être écrite comme suit :

$$P(i+1) = \sum_{j=i+1}^{NB} PL(j) + \sum_{j=i+1}^{NB-1} LP(j) \quad (2.12)$$

$$Q(i+1) = \sum_{j=i+1}^{NB} QL(j) + \sum_{j=i+1}^{NB-1} LQ(j) \quad (2.13)$$

Les expressions finales des pertes actives et réactives sont :

$$LP(i) = \frac{R(i) * (P^2(i+1) + Q^2(i+1))}{|V(i+1)|^2} \quad (2.14)$$

$$LQ(i) = \frac{X(i) * (P^2(i+1) + Q^2(i+1))}{|V(i+1)|^2} \quad (2.15)$$

2.6 Méthodes et stratégies de reconfiguration

Les méthodes de recherche dans l'espace des solutions peuvent être classées dans deux catégories [12] :

- Méthodes systématiques, basées sur une recherche non-informée, qui consiste à analyser successivement toutes les configurations dans l'espace des solutions.
- Méthodes heuristiques, basées sur une recherche informée, qui consiste à utiliser certaines observations qui permettent d'analyser seulement les configurations intermédiaires qui conduisent à une solution finale identique à la solution optimum globale ou proche de celle-ci.

Le grand avantage des méthodes systématiques est représenté par le fait qu'elles permettent l'identification de la solution optimale globale, ce qui demande

un temps de calcul élevé. Le grand mérite des méthodes heuristiques consiste dans la réduction substantielle du temps de calcul.

Une méthode heuristique est un procédé de recherche qui permet la résolution d'un problème de nature combinatoire par un effort réduit. L'existence des méthodes heuristiques est basée sur l'utilisation des observations, règles et connaissances, acquis par l'expérience et qui permettent de trier considérablement les solutions pour l'identification de la solution finale.

Il y a aussi les méthodes heuristiques modernes qui sont un ensemble de techniques d'optimisation stochastiques inspirées de phénomènes naturels et biologiques. Ces techniques peuvent être classées en deux groupes : les méthodes à population de solutions connues sous le nom d'algorithmes évolutionnaires comme les algorithmes génétiques qui vont être l'outil d'optimisation de notre travail, les stratégies d'évolution, la programmation évolutionnaire ou les algorithmes à essaim de particules, et les méthodes à solution unique comme la recherche tabou ou le recuit simulé.

Les méthodes heuristiques de reconfiguration peuvent utiliser trois stratégies de reconfiguration [5] :

Stratégie de type «constructive », caractérisé par le fait que toutes les branches de la configuration initiale se trouvent dans l'état « hors service ». Par le passage successif de certaines branches dans l'état « en service » on obtient la configuration finale arborescente désirée (Figure 2.2). Puisque chaque nœud consommateur reçoit de l'électricité par une seule branche, le nombre des étapes nécessaires pour obtenir la configuration finale est donné par le nombre des nœuds consommateurs. Le passage à chaque étape d'une branche dans l'état « en service » est équivalent à ajouter un nouveau consommateur, ce qui conduit à une variation de la fonction objectif (si la consommation est différente de zéro). Dans l'ensemble formé par toutes les branches candidates on choisit celle qui conduit à l'évolution la plus favorable de la fonction objectif.

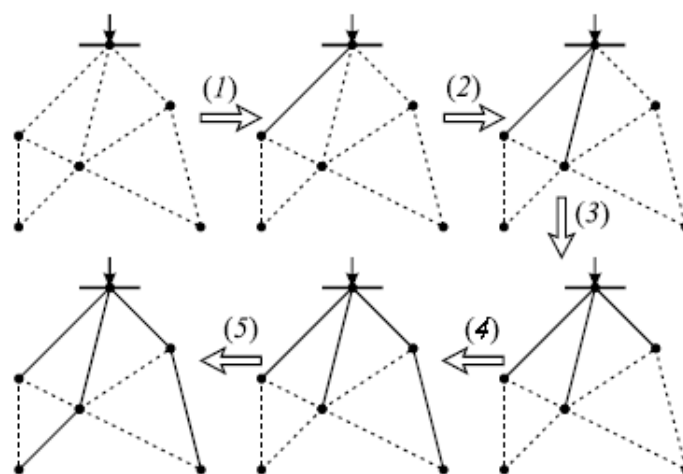


Figure 2.2 Principe de la Stratégie Constructive

Stratégie de type « destructive », caractérisée par le fait que toutes les branches de la configuration initiale se trouvent dans l'état « en service ». Par le passage successif de certaines branches dans l'état « hors service » on obtient la configuration finale arborescente désirée (Figure 2.3). Le nombre des étapes nécessaire pour obtenir la configuration finale est donné par la différence entre le nombre des branches et le nombre des nœuds consommateurs. Le passage à chaque étape d'une branche dans l'état « hors service » est équivalent à enlever un chemin d'alimentation pour un consommateur un pour un groupe de consommateurs. Selon le critère suivi, la variation de la fonction objectif peut être positive ou négative. Le choix sur les branches candidates est selon la variation pour l'objectif de reconfiguration.

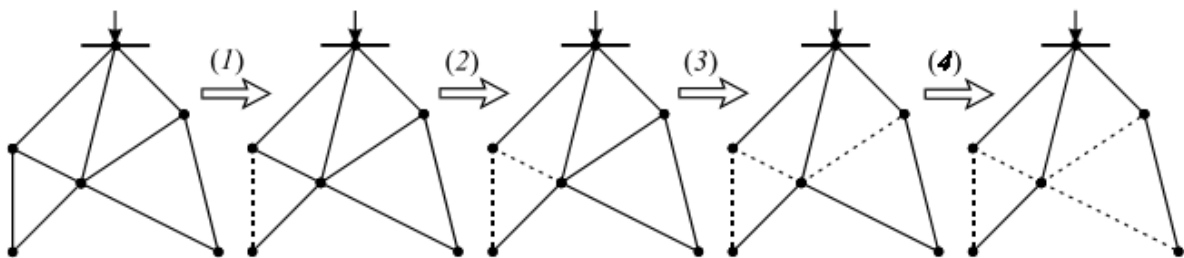


Figure 2.3 Principe de la Stratégie Destructive

Stratégie de type « permutation de branches », caractérisée par le fait que la configuration initiale est arborescente et au fil du processus le caractère arborescent doit être gardé tout le temps. Pour transiter d'une configuration arborescente à l'autre, on passe une branche dans l'état « en service » en formant ainsi une maille. Pour garder le caractère arborescent, une branche de cette maille est passée dans l'état « hors service » (Figure 2.4). Tandis que pour les stratégies antérieures le nombre des configurations intermédiaires nécessaires pour obtenir la solution finale est bien défini, par cette stratégie ce numéro dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels le plus important est le mode du choix de configurations de substitution. La configuration initiale peut être une configuration quelconque arborescente (par exemple une configuration d'exploitation) ou la configuration obtenue par une des stratégies antérieures.

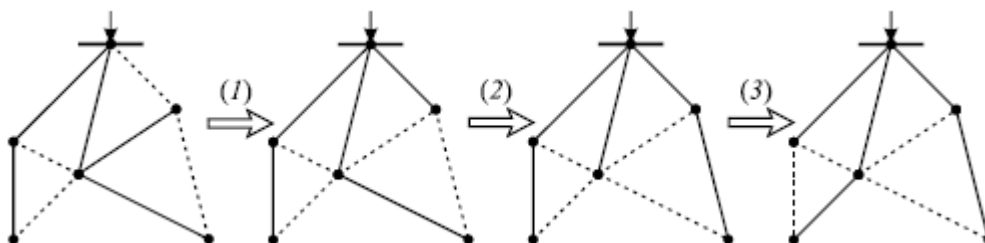


Figure 2.4 Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches"

L'utilisation de la stratégie de type « permutation de branches » permet la considération des plusieurs stratégies, classifiées selon :

- Le type de la permutation de branches, la recherche pouvant être : locale ou descendante.
- La possibilité de revenir en arrière à des configurations moins performantes, la recherche pouvant être : irrévocable (irréversible) ou de type tentative (réversible).
- Le choix de la configuration de substitution, la recherche pouvant être : dynamique ou maximale.

La différence entre la recherche locale et descendante est jugée sur la position relative entre deux branches de la maille impliquées dans une permutation. Pour une recherche de type local, les deux branches sont adjacentes, tandis que dans une recherche descendante on ne s'arrête pas à la branche voisine, l'investigation pouvant continuer sur les autres branches vers les origines de la maille, est cette dernière représente la stratégie utilisée dans ce travail.

2.7 Avantage de reconfiguration

Transmission Électrique Efficace.

La reconfiguration de réseau améliore la stabilité de tension du système.

Le perfectionnement de la stabilité de tension peut être réalisé sans n'importe quel coût additionnel impliqué pour l'installation des condensateurs et de l'équipement relatif de commutation.

Chapitre 3

Optimisation

3 Optimisation

Parmi les problèmes rencontrés par le chercheur et l'ingénieur, les problèmes d'optimisation qui occupent à notre époque une place de choix. Nous n'aborderons pas le problème de l'optimisation d'un point de vue mathématique, mais simplement du point de vue d'un ingénieur pragmatique

L'optimisation est le processus de trouver la meilleure façon d'utiliser les ressources disponibles tout en respectant l'ensemble des contraintes imposées. Autrement dit, Ce processus consiste à définir un tel système physique mathématiquement, identifier ses variables et les conditions qui doivent être satisfaites, définir les propriétés du système et alors chercher l'état du système cela donne les propriétés les plus désirables. Ce processus général est connu sous ce qu'on appelle « L'optimisation » [13].

3.1 Paramètres d'optimisation

Les Paramètres de l'optimisation X sont critiques pour un tel problème d'optimisation. Ils affectent la valeur de la fonction objectif et ses contraintes. Dans les données expérimentales des problèmes appropriés, les paramètres de l'optimisation sont les paramètres qui définissent le modèle. Un paramètre de l'optimisation peut être continu, discret, ou même symbolique.

Résoudre un problème d'optimisation, c'est rechercher, parmi un ensemble de solutions qui vérifient des contraintes données, la (ou les) solution(s) qui rend (ent) minimale (ou maximale) une fonction mesurant la qualité de cette solution. Cette fonction est appelée fonction objectif ou fonction évaluation.

3.1.1 La fonction objectif

La fonction objectif $F(x)$ est la fonction à optimiser en cherchant son maximum $f^{max}(x)$ ou bien son minimum $f^{min}(x)$, tout dépend de l'ensemble des propriétés désirables pour le problème d'optimisation. Pour un problème d'optimisation avec multiples fonctions objectifs, les points de la solution optimale correspondant à différentes fonctions objectifs peuvent être incompatibles.

Cette fonction permet de mesurer l'efficacité de la solution. La pertinence des solutions potentielles dépend essentiellement de la formulation de cette fonction. En effet, quelle que soit sa définition, l'algorithme convergera vers un optimum de cette fonction. Elle doit donc exprimer le plus fidèlement possible sous forme mathématique le ou les objectifs à atteindre.

Les variables de la fonction objectif sur lesquelles porte l'optimisation sont les variables de conception qui peuvent être de natures diverses, dans notre étude la fonction objectif est la suivante :

$$F_{obj}(\mathbf{X}) = \min \left(\sum_{b=1}^{N_r} I_b^2 \cdot R_b \right) \quad (3.1)$$

A partir de l'équation (2.14), nous donnons l'expression de la fonction objectif que nous avons utilisée dans ce mémoire :

$$F_{obj}(\mathbf{X}) = \min \left(\sum_1^{N_r} \frac{R(i) \cdot (P^2(i+1) + Q^2(i+1))}{|V(i+1)|^2} \right) \quad (3.2)$$

3.1.2 Les contraintes imposées

Pendant la reconfiguration du réseau, les trois conditions suivantes doivent être toujours satisfaites :

3.1.2.1 La structure du réseau doit être radiale

Cette contrainte est relative aux variables de décision du problème d'optimisation. Elle indique la conservation de l'arborescence du schéma d'exploitation recherché et, pour des raisons de protection contre les surintensités de courant dans branches, n'admet aucune tolérance, c'est-à-dire aucune maille dans ce schéma [14]. Dans un arbre avec A nœuds et B branches, l'équation suivante doit être toujours vérifiée :

$$A = B + 1 \quad (3.3)$$

Si nous avons 33 nœuds cela veut dire que nous devons avoir toujours 32 branches, cette condition est nécessaire mais elle n'est pas suffisante pour dire que le réseau est radial.

Pour la condition suffisante, il faut que chaque nœud soit alimenté par un seul nœud source, si nous trouvons qu'il est alimenté par un autre nœud cela veut dire qu'il y a une boucle quelque part.

3.1.2.2 Tous les consommateurs doivent être alimentés

Parmi les objectifs du fournisseur de l'électricité l'assurance de la continuité du service c.-à-d. tous les consommateurs doivent être alimenté à tout moment et ne pas isoler une charge donnée, pour vérifier cette condition il faut juste assurer que l'équation (3.3) soit vérifié [14].

Si la contrainte d'arborescence est respectée cette seconde contrainte sera implicitement respectée.

3.1.2.3 Le profil de tension doit être admissible

Par ailleurs, les exploitants doivent, pour des raisons qualitatives de l'énergie délivrée, garantir une tension aussi proche que possible de la tension nominale en chaque point de consommation soit en chaque nœud du réseau. L'écart maximal toléré peut varier d'une entreprise à une autre selon les moyens de compensations disponibles (condensateurs, autotransformateur survolteur-dévolteur,...). En général, la valeur absolue de cet écart varie entre 5 et 10% selon le régime de fonctionnement normal ou défaillant du réseau [5].

Dans le cas des réseaux ruraux, les problèmes liés aux chutes de tension sont plus importants que dans le cas des réseaux urbains. En effet, ces réseaux nécessitent souvent des lignes plus ou moins longues pour alimenter des consommateurs en antenne. Par contre, pour les réseaux urbains, les contraintes thermiques liées essentiellement aux câbles nécessitent une observation assez rigoureuse étant donnée la forte densité de charge de ces réseaux.

3.2 Les algorithmes évolutionnaires

Les algorithmes évolutionnaires sont un ensemble de techniques d'optimisation stochastiques inspirées de phénomènes naturels et biologiques, ils ont été inspirés par la théorie de Darwin d'évolution. La sélection naturelle est la fondation de la théorie de Darwin d'évolution. L'étude des algorithmes évolutionnaires a commencé indépendamment en 1960. Ce sont des méthodes à population de solutions connues.

Nous présentons ci-dessous les différents types des algorithmes évolutionnaires :

3.2.1 Les algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques (AG) sont des méthodes basées sur les mécanismes biologiques et simulent le processus d'évolution d'une population. A partir d'une population de N solutions du problème représentant des individus, on applique des opérateurs simulant les interventions sur le génome tel que le croisement (cross over) ou la mutation pour arriver à une population de solutions de mieux en mieux adaptée au problème. Cette adaptation est évaluée grâce à une fonction cout (fitness function). La particularité de ces algorithmes est qu'ils n'opèrent pas directement sur les paramètres à optimiser mais plutôt sur des paramètres codés. Traditionnellement, les algorithmes génétiques utilisent un codage binaire sous forme de chaîne de caractères appelée chromosome par analogie à la génétique biologique.

3.2.2 Les stratégies d'évolution

Les stratégies d'évolution (SE) ressemblent beaucoup aux algorithmes génétiques dans leur principe d'exécution les principales différences entre ces deux algorithmes sont : les SE opèrent directement sur des vecteurs de réelles ou d'entiers, alors que les AG classiques opèrent sur des chaînes de caractères binaires ; les AG reposent sur l'opérateur de croisement plus que sur l'opérateur de mutation pour explorer l'espace de recherche, alors que les SE utilisent la mutation comme opérateur dominant.

3.2.3 La programmation évolutionnaire

La méthode de programmation évolutionnaire (PE) est souvent confondue avec la méthode des stratégies d'évolution (bien qu'elles aient été créées indépendamment) du fait qu'elles ont pratiquement la même approche algorithmique. La raison fondamentale qui permet de distinguer entre ces deux algorithmes est le fait que la PE pure n'utilise pas d'opérateurs de croisement et repose uniquement sur la mutation.

En ce qui concerne notre travail, nous avons utilisé les algorithmes génétiques comme outil d'optimisation et nous allons les présenter par la suite.

3.3 Les algorithmes Génétiques

Cet algorithme, sert à manipuler les solutions potentielles d'un problème donné dont l'objectif est de trouver une solution optimale ou bien une solution jugée satisfaisante [13]. L'algorithme est organisé en plusieurs étapes et fonctionne d'une façon itérative.

On définit quelques termes de base rencontrés dans la littérature :

Individu : solution potentielle du problème, dans notre cas l'individu représente une configuration du réseau.

Chromosome : solution potentielle du problème sous une forme codée, dans notre cas cette solution est codée sous forme binaire.

Population : ensemble fini de solutions.

Gène : caractère d'un chromosome, dans notre cas un gène représente un bit (1 ou 0) qui représente en pratique un interrupteur ouvert ou fermé.

Fitness : la fonction d'évaluation d'un individu.

La figure ci-dessous représente l'organigramme d'un algorithme génétique simple :

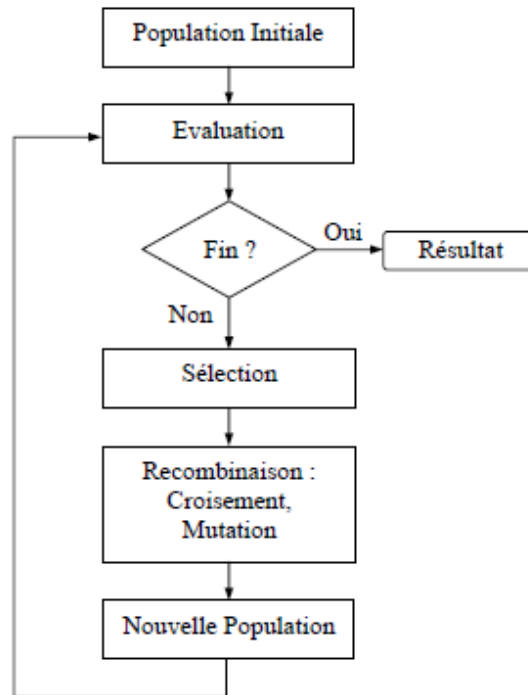


Figure 3.1 Organigramme d'un algorithme génétique

Maintenant, nous allons présenter les étapes du simple algorithme génétique de la figure précédente.

3.3.1 Codage, décodage et initialisation :

La constitution des chromosomes à travers le codage des paramètres du problème est la première étape dans la procédure d'un algorithme génétique. Le codage binaire est le type de codage le plus utilisé. Le passage de la représentation réelle à la représentation codée se fait grâce à des fonctions de codage et décodage.

Une fois les fonctions de codage et décodage établies, on initialise la population de départ de l'algorithme. Cette population est formée par un nombre fixe d'individus (chromosome) et dans notre cas un nombre fixe de configuration.

Le choix de ces individus se fait sur la base d'une connaissance à priori, sinon ils sont générés aléatoirement.

Dans notre cas nous allons coder une configuration donnée en binaire pour cela nous considérons que chaque interrupteur est un gène c.-à-d. si l'interrupteur est fermé le gène soit égale à 1 sinon 0, nous illustrons ce codage avec l'exemple suivant :

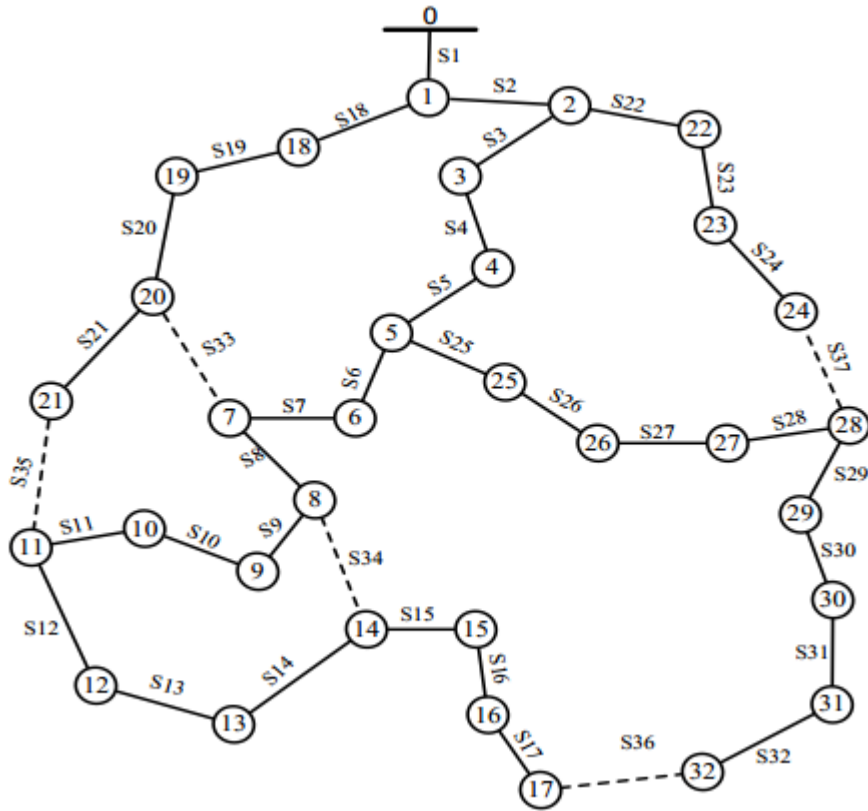


Figure 3.2 Réseau de distribution 33 nœuds

Ce réseau précédent comporte 37 interrupteurs (switch) dont 5 doivent être ouvert afin d’assurer l’alimentation de tous les nœuds, alors nous aurons un chromosome de 37 gènes comme suit :

Tableau 1 L’état des interrupteurs dans la configuration précédente

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

La phase de décodage est plus compliquée que celle du codage car pour chaque configuration donnée nous devons prendre en considération le sens du courant dans les branches, et pour cela il faut utiliser certain algorithme de parcours d’arbre (ex : parcourt en profondeur).

Nous pouvons illustrer ce décodage avec l'organigramme suivant :

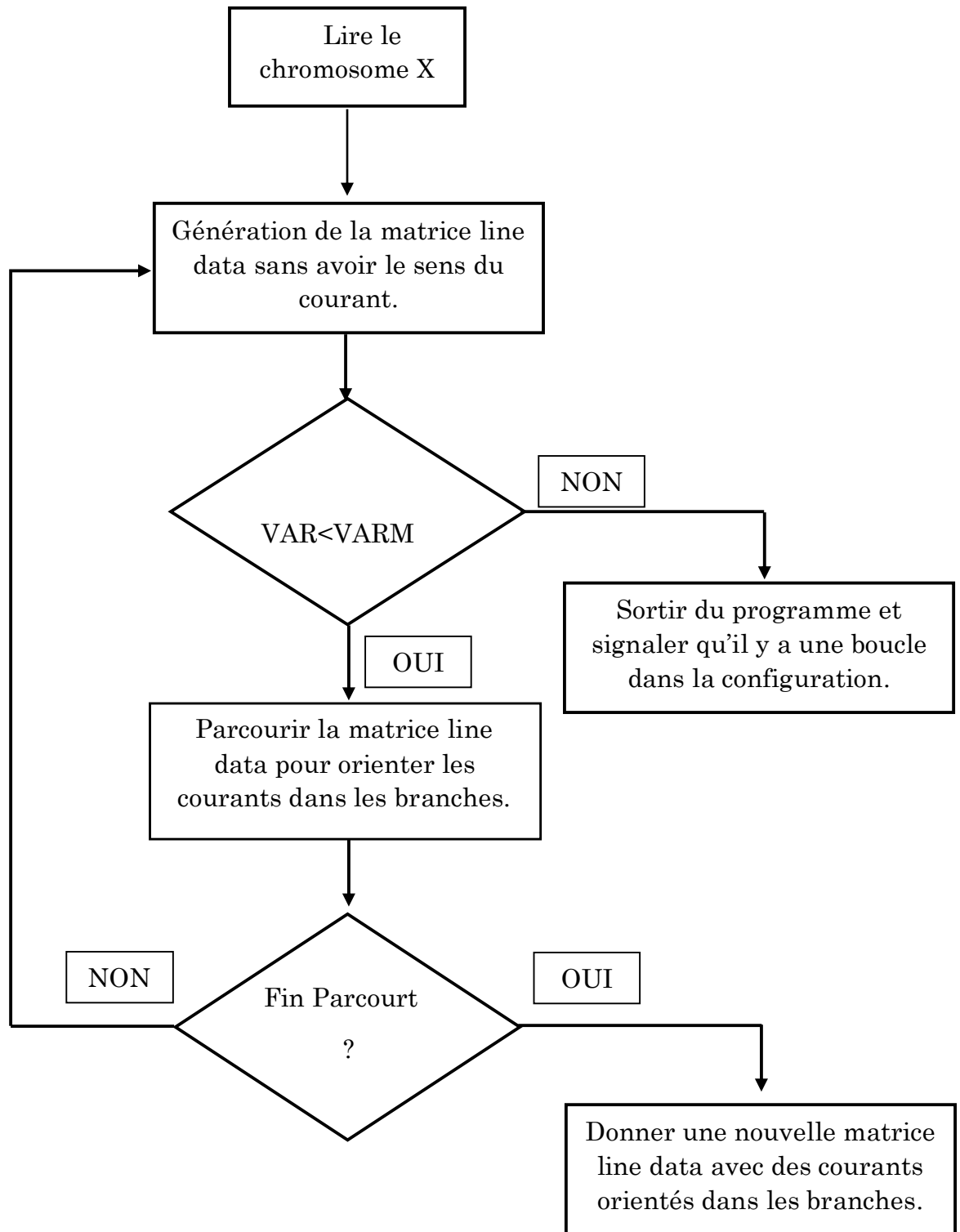


Figure 3.3 Organigramme du décodage

3.3.2 Evaluation :

L'évaluation consiste à mesurer la performance de chaque individu de la population en utilisant une fonction liée directement à la fonction objectif (fonction à optimiser) appelée fonction fitness. C'est une fonction réelle positive qui reflète la force de l'individu. Un individu ayant une grande valeur fitness représenté une bonne solution au problème, alors qu'un individu ayant une faible valeur fitness représente une solution médiocre. Ainsi quel que soit le problème traité, l'algorithme génétique tend à maximiser la fonction fitness des individus. Dans le cas d'un problème de minimisation, la fonction fitness peut être obtenue en utilisant une des manières suivantes :

(a) $\text{Fit}(x) = N - F_{obj}(x)$ si $F_{obj}(x) \geq N$ sinon $\text{Fit}(x) = 0$ (N est une constante positive)

(b) $\text{Fit}(x) = \frac{1}{F_{obj}(x)}$

(c) $\text{Fit}(x) = -F_{obj}(x)$

Dans notre travail cas nous avons utilisé l'expression (b) donc notre fonction fitness est :

$$\text{Fit}(X) = \frac{1}{F_{obj}(x)} \quad (3.3)$$

Après avoir faire un décodage de la population nous faisons un écoulement de puissance afin de calculer les pertes actives et trouver la valeur de la fonction objectif de chaque individu en utilisant l'expression (3.2) puis la valeur de la fonction fitness en utilisant l'expression (3.3).

3.3.3 Sélection :

La sélection consiste à décider en quelque sorte, quels sont les individus qui survivent et quels sont ceux qui disparaissent en se basant sur leurs fonctions fitness. Une fonction dite intermédiaire est alors formée par les individus sélectionnés.

Les méthodes de sélection les plus connues sont :

1. Méthode de la roulette de loterie
2. Méthode de tournoi

Nous avons utilisés la méthode de la roulette de loterie qui va être expliquée comme suit :

La première étape de la méthode de la roulette est de normaliser la fonction fitness, puis calculer la somme cumulée des valeurs de fitness, comme le montre le tableau suivant :

Tableau 2 Les résultats de l'évaluation

N° individu	Pertes de l'individu (kW)	Fitness	fit _{norm}	fit _{cum}
1	173	0,00578	0,17043	0,17043
2	253	0,003953	0,116539	0,286969
3	144	0,006944	0,204753	0,491722
4	210	0,004762	0,140402	0,632123
5	209	0,004785	0,141074	0,773197
6	130	0,007692	0,226803	1

La fonction fitness normalisée d'un individu i est calculée par la formule :

$$fit_{norm}(i) = \frac{fitness(i)}{\sum_{j=1}^{N_{ind}} fitness(j)} \quad (3.4)$$

N_{ind} : nombre d'individu.

▪ **Remarque**

La somme des valeurs fitness normalisées des individus est toujours égale à 1

La fonction fitness cumulée correspondant à l'individu i est calculée par :

$$\begin{cases} fit_{cum}(i) = fit_{cum}(i-1) + fit_{norm}(i) \\ fit_{cum}(0) = 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N_{ind} \quad (3.5)$$

A partir du (Tableau 2), nous pouvons représenter les individus de la population initiale sur la roulette de la (Figure 3.4). Nous remarquons que les individus qui ont une grande valeur fitness (en l'occurrence les individus 1, 3 et 6) ont une portion plus importante que les autres.

La sélection se fait en tournant la roulette autant de fois que le nombre d'individu, c.-à-d. 6 fois. Cette tâche est effectuée en générant 6 nombres aléatoires entre 0 et 1. Si un nombre se trouve entre 0 et 0,17043, l'individu 1 est sélectionné. Si un autre se trouve entre 0,17043 et 0,286969 l'individu 2 est sélectionné, et ainsi de suite.

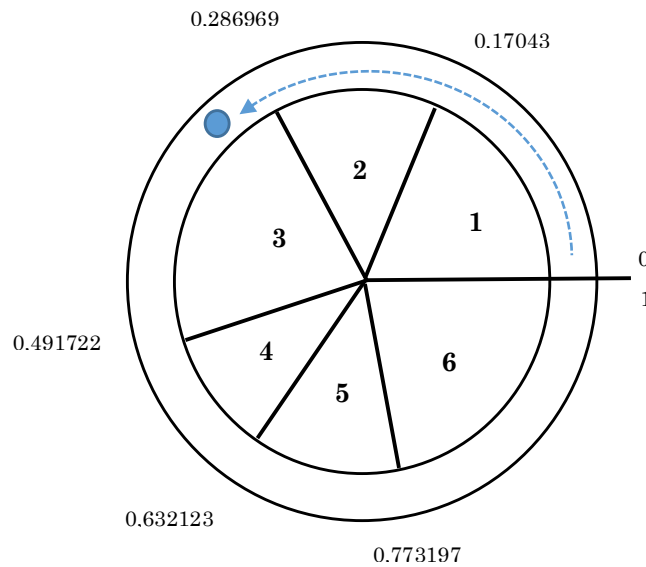


Figure 3.4 l'opération de sélection par la méthode de la roulette

Tableau 3 La population intermédiaire

N° individu	Pertes de l'individu (kW)	fitness
1	173	0,00578
6	130	0,007692
3	144	0,006944
1	173	0,00578
3	144	0,006944
6	130	0,007692

3.3.4 Croisement

Le croisement permet à un couple d'individus, parmi ceux qui sont sélectionnés, d'échanger leurs informations génétiques c'est-à-dire leurs gènes. Son principe est simple : deux individus sont pris au hasard et sont appelés parents, ensuite, nous tirons aléatoirement un nombre P dans l'intervalle $[0,1]$ que nous comparons à une certaine probabilité de croisement P_c .

- Si $P > P_c$, le croisement n'aura pas lieu et les parents sont recopiés dans la nouvelle génération
- Si $P \leq P_c$, le croisement se produit et les chromosomes des parents sont croisés pour donner deux enfants qui remplaceront leurs parents dans la nouvelle génération.

Il existe différents types de croisement, les plus connus sont le croisement multipoints et le croisement uniforme.

Concernant le croisement multipoints, p positions de croisement, avec $p \in [1, 2, \dots, l-1]$ ou l représente la taille du chromosome, sont choisies aléatoirement pour chaque couple. Ensuite, les gènes entre deux points de croisement successifs sont échangés entre les deux parents produisant deux nouveaux individus appelés enfants. Les valeurs typiques de p sont : 1 (croisement à un point) et 2 (croisement à deux points).

Pour le croisement uniforme, c'est une généralisation du croisement multipoints. Ici, chaque gène du chromosome peut constituer un point de croisement. Un chromosome nommé masque, de taille identique à celle des parents, est créé aléatoirement et la valeur des gènes du masque indique de quel parent l'enfant recevra-t-il son gène.

La figure suivante représente le croisement multipoints qui est le croisement utilisé dans notre travail :

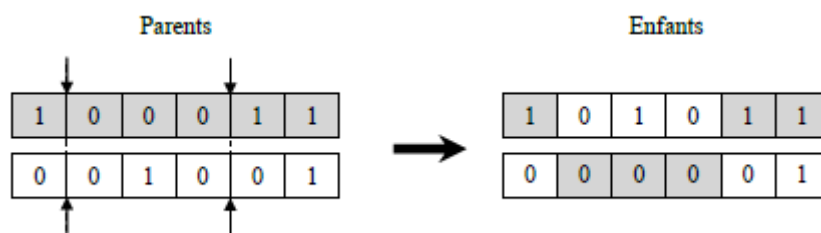


Figure 3.5 Croisement multipoints

▪ Remarque

Après chaque opération de croisement il faut vérifier si les contraintes de reconfiguration sont vérifiées sinon nous refaisons l'opération.

3.3.5 Mutation

La mutation permet d'explorer de nouveaux points dans l'espace de recherche et il assure la possibilité de quitter les optimums locaux. La mutation s'applique sur chaque gène de chaque individu avec une probabilité de mutation P_m en suivant le même principe que pour le croisement.

- Si $P > P_m$ la mutation n'aura pas lieu et le gène reste tel qu'il est.
- Si $P \leq P_m$ la mutation se produit, et le gène sera remplacé par un autre gène tiré aléatoirement parmi les différentes valeurs possibles. Dans le cas d'un codage binaire comme notre cas d'étude, cela revient tout simplement à remplacer un 0 par un 1 et un 1 par un 0 pour garder le même nombre d'interrupteurs fermés, comme le montre la figure présentée ci-dessous.

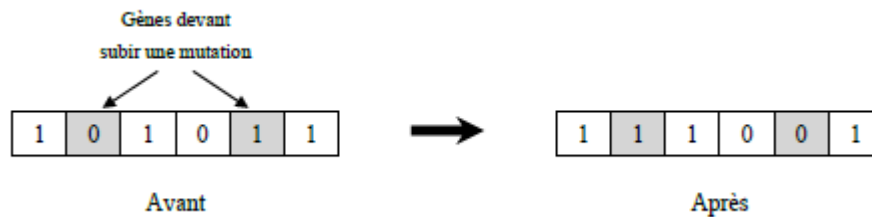


Figure 3.6 L'opération de Mutation

▪ Remarque

Après chaque opération de mutation il faut vérifier si les contraintes de reconfiguration sont vérifiées sinon nous refaisons l'opération.

Dans les contraintes il faut vérifier s'il y a 32 (gènes) bits égales à 1 ce qui signifie que tous les consommateurs sont alimentés, puis faire un décodage pour vérifier s'il n'y a pas de boucle et enfin faire un écoulement de puissance pour vérifier si les tensions sont dans le domaine de tolérance.

3.3.6 Critère d'arrêt :

Le critère d'arrêt peut être formulé de différentes façons parmi lesquelles nous pouvons citer :

Arrêt de l'algorithme lorsque le résultat atteint une solution satisfaisante.

Arrêt s'il n'y a pas d'amélioration pendant un certain nombre de générations.

Arrêt si un certain nombre de générations est dépassé qui est le critère utilisé dans notre programme.

3.3.7 Réglage des paramètres d'un algorithme génétique :

Le réglage de certains paramètres est nécessaire pour la manipulation des AG, ce réglage influence sur la convergence de cet algorithme et les résultats trouvés. Les paramètres à ajuster sont choisis généralement de manière empirique.

Souvent, les paramètres à ajuster sont :

Probabilité de croisement : les valeurs classiques pour ce paramètre varient de 0.6 à 0.95.

Probabilité de mutation : les valeurs classiques pour ce paramètre varient de 0.001 à 0.2.

Taille de population : augmenter la taille de la population permet d'augmenter sa diversité et réduit la probabilité d'une convergence prématurée vers un optimum local, mais en même temps elle augmente le temps nécessaire pour converger vers les régions optimales de l'espace de recherche.

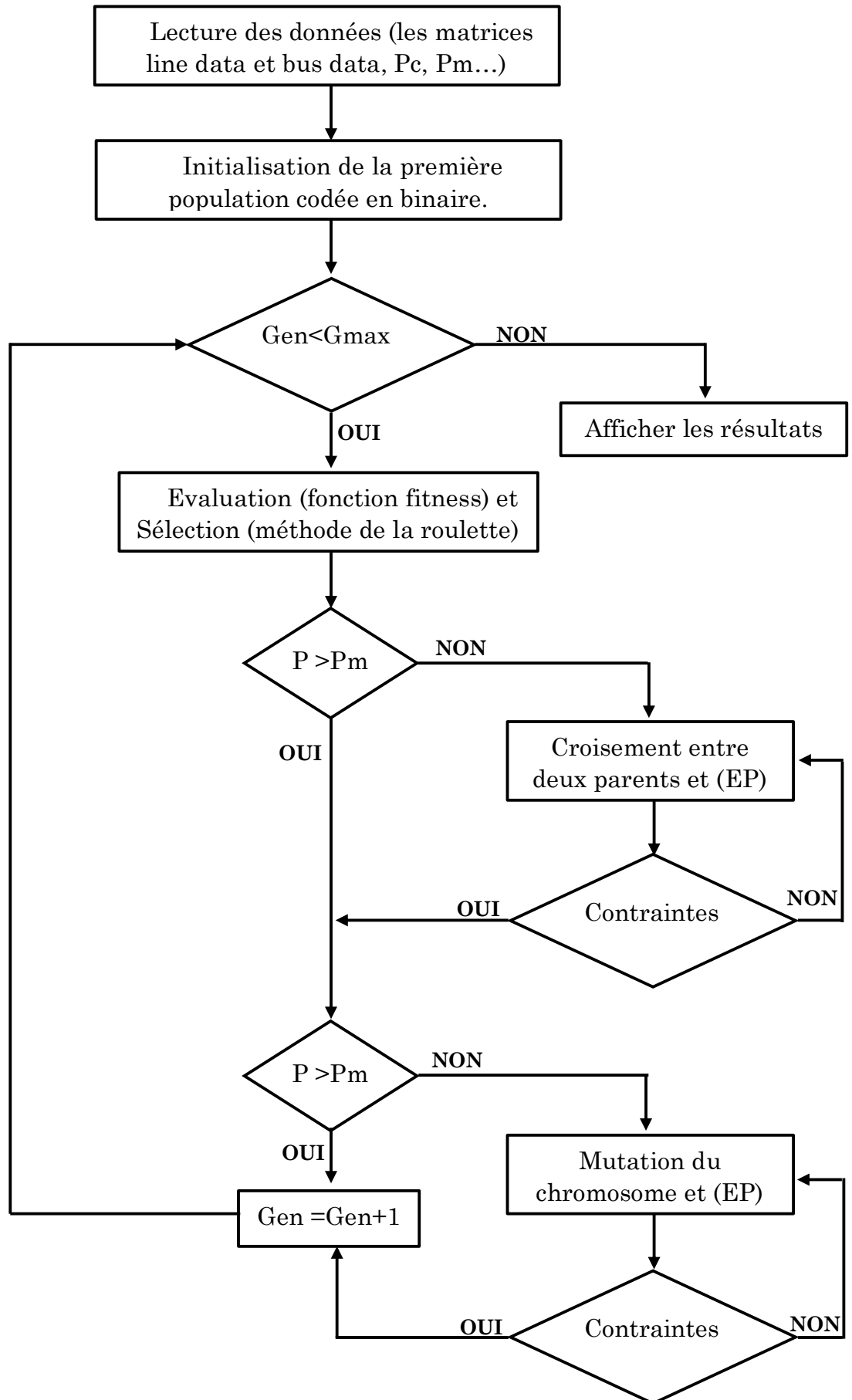


Figure 3.7 Organigramme général du programme

3.4 Avantages et inconvénients des algorithmes génétiques

(a) Les avantages des Algorithmes Génétiques :

Les AG opèrent au niveau du codage des paramètres sans se soucier de leur nature, donc ils s'appliquent à de nombreuses classes de problèmes, qui dépendent éventuellement de plusieurs paramètres de natures différentes (booléens, entiers, réels, fonctions...).

Pour les mêmes raisons un AG est dans l'idéal totalement indépendant de la nature du problème et de la fonctionnelle à optimiser, car il ne se sert que des valeurs d'adaptation, qui peuvent être très différentes des valeurs de la fonction à optimiser, même si elles sont calculées à partir de cette dernière.

Potentiellement les AG explorent tous l'espace des points en même temps, ce qui limite les risques de tomber dans des optimums locaux.

Les AG ne se servent que des valeurs de la fonctionnelle pour optimiser cette dernière, il n'y a pas besoin d'effectuer de coûteux et parfois très complexes calculs.

Les AG présentent une grande robustesse c'est-à-dire une grande capacité à trouver les optimums globaux des problèmes d'optimisation [15].

(b) Les inconvénients des Algorithmes Génétiques

Les AG ne sont encore actuellement pas très efficaces en coût (ou vitesse de convergence), vis-à-vis de méthodes d'optimisation plus classiques.

Parfois les AG convergent très vite vers un individu particulier de la population dont la valeur d'adaptation est très élevée.

Le respect de la contrainte de domaine par la solution codée sous forme de chaîne de bites pose parfois problème. Il faut bien choisir le codage, voir modifier les opérateurs.

L'utilisation d'un AG ne garantit pas le succès de l'optimisation.

En pratique l'efficacité d'un AG dépend souvent de la nature du problème d'optimisation. Selon les cas de choix des opérateurs et des paramètres seront souvent critiques, mais aucune théorie générale ne permet de connaître avec certitude le bon paramétrage, il faudra faire plusieurs expériences pour s'en approcher.

3.5 Conclusion

Les algorithmes génétiques servent à résoudre les problèmes d'optimisation en représentant les solutions sous forme de chromosomes, définir une fonction fitness pour évaluer la performance d'un chromosome et appliquer les opérateurs de sélection, de croisement et de mutation. Nous avons présenté également un ensemble de techniques de base qui permet de réaliser un algorithme génétique.

Les algorithmes génétiques sont des outils efficaces pour une classe de problèmes très large. De plus, ils permettent de traiter des problèmes où la fonction à optimiser ne présente aucune propriété de continuité ou de dérivabilité, par exemple.

Dans notre travail nous avons pu adapter ces algorithmes génétiques avec le problème traité qui est la reconfiguration des réseaux de distribution et nous avons eu des résultats intéressants qui vont être présenté dans le prochain chapitre.

Chapitre 4

Simulation et Analyse des Résultats

4 Simulation et Analyse des Résultats

Dans ce chapitre nous allons utiliser les données du réseau IEEE 33 nœuds pour faire une simulation et mettre en œuvre les acquis théoriques, puis nous allons faire des interprétations sur les résultats obtenues.

4.1 Présentation du réseau IEEE 33 nœuds

Le système d'essai pour l'étude de cas est un système radial de distribution de 12.66 kilovolts avec 33 bus et 5 lignes ouvertes afin de faire des boucles. Chaque branche dans le système a un commutateur pour le but de reconfiguration. Les statuts initiaux de tous les interrupteurs (S1-S32) sont fermés tandis que tous les restes sont ouverts (S33-S37). Toutes les charges pour ce système d'essai sont 3.801.89 kilowatts et 2.694.10 kVAr. Les tensions de minimum et de maximum sont placées à 0.9 et 1.1 pu.

Le tableau suivant donne la valeur des puissances active et réactive au niveau des nœuds (**la matrice bus data**).

Tableau 4 Les puissances active et réactive aux nœuds

N° BUS	P(KW)	Q(KVAr)	N° BUS	P(KW)	Q(KVAr)
1	0	0	18	90	40
2	100	60	19	90	40
3	90	40	20	90	40
4	120	80	21	90	40
5	60	30	22	90	40
6	60	20	23	90	40
7	20	10	24	420	20
8	20	10	25	420	20
9	60	20	26	60	25
10	60	20	27	60	25
11	45	30	28	60	25
12	60	35	29	120	70
13	60	35	30	20	600
14	120	80	31	150	70
15	60	10	32	210	10
16	60	20	33	60	40
17	60	20			

Le tableau suivant donne les branches qui existent dans le réseau et avec leurs résistances et réactances (**la matrice line data**).

Tableau 5 La matrice line data

N° Branche	Nœud source	Nœud récepteur	R(Ω)	X(Ω)
1	1	2	0.0922	0.0470
2	2	3	0.4930	0.2512
3	3	4	0.3661	0.1864
4	4	5	0.3811	0.1941
5	5	6	0.8190	0.7070
6	6	7	0.1872	0.6188
7	7	8	0.7115	0.2351
8	8	9	1.0299	0.7400
9	9	10	1.0440	0.7400
10	10	11	0.1967	0.0651
11	11	12	0.3744	0.1298
12	12	13	1.4680	1.1549
13	13	14	0.5416	0.7129
14	14	15	0.5909	0.5260
15	15	16	0.7462	0.5449
16	16	17	1.2889	1.7210
17	17	18	0.7320	0.5739
18	2	19	0.1640	0.1565
19	19	20	1.5042	1.3555
20	20	21	0.4095	0.4784
21	21	22	0.7089	0.9373
22	3	23	0.4512	0.3084
23	23	24	0.8980	0.7091
24	24	25	0.8959	0.7071
25	6	26	0.2031	0.1034
26	26	27	0.2842	0.1447
27	27	28	1.0589	0.9338
28	28	29	0.8043	0.7006
29	29	30	0.5074	0.2585
30	30	31	0.9745	0.9629
31	31	32	0.3105	0.3619
32	32	33	0.3411	0.5302
Les interrupteurs ouverts				
33	25	29	0.5000	0.5000
34	8	21	2.0000	2.0000
35	12	22	2.0000	2.0000
36	9	15	2.0000	2.0000
37	18	33	0.5000	0.5000

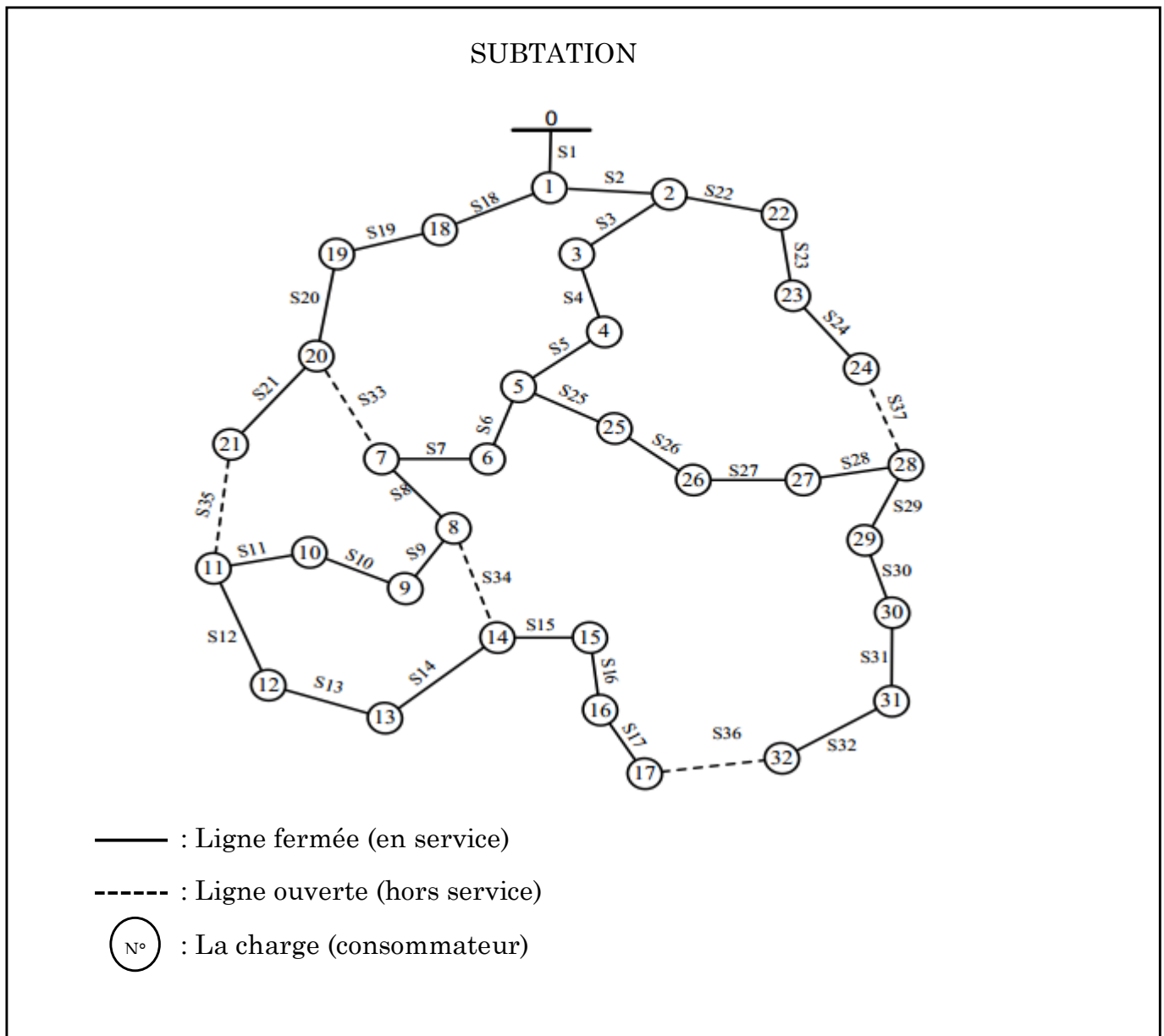


Figure 4.1 La configuration initiale du réseau étudié

Lors de la simulation nous choisissons 12 individus pour la première population, nous prenons $P_c=0.8$ (probabilité de croisement) et $P_m=0.2$ (probabilité de mutation) et aussi un nombre de génération égal à 100 générations.

4.2 Les résultats obtenus dans l'optimisation

Lors de l'exécution du programme de simulation, nous aurons la configuration initiale en cliquant sur « initial configuration » dans la fenêtre affichée et qui est illustrée ci-dessous :

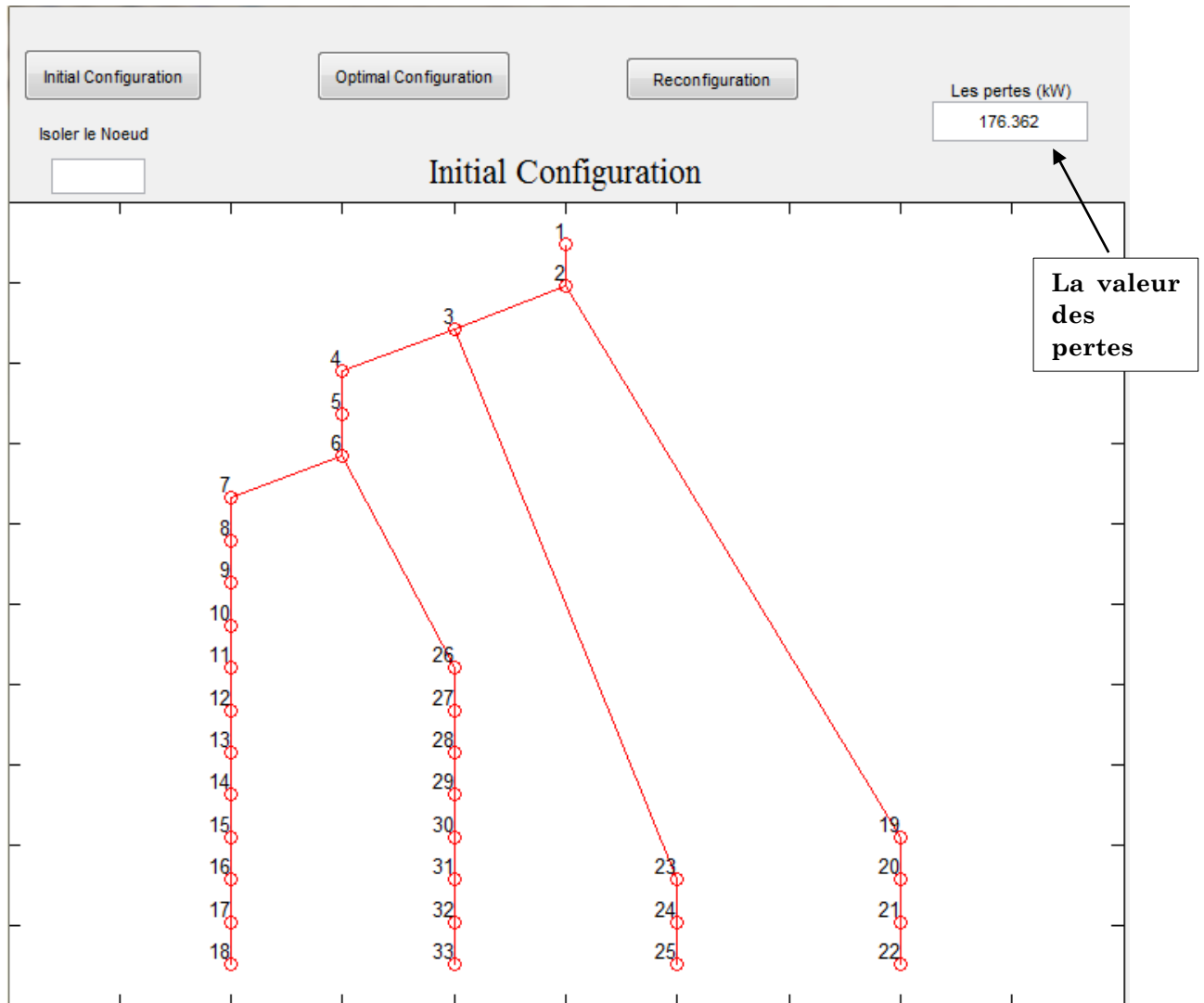


Figure 4.2 La Configuration Initiale

Les données de la configuration initiale sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6 Données de la configuration initiale

	Voltage(p.u)	Send bus	End bus	R(ohm)	X(ohm)
1	1	0	1	0	0
2	0.9955	1	2	0.0922	0.0470
3	0.9736	2	3	0.4930	0.2511
4	0.9620	3	4	0.3660	0.1864
5	0.9505	4	5	0.3811	0.1941
6	0.9208	5	6	0.8190	0.7070
7	0.9152	6	7	0.1872	0.6188
8	0.9072	7	8	0.7114	0.2351
9	0.8969	8	9	1.0300	0.7400
10	0.8873	9	10	1.0440	0.7400
11	0.8858	10	11	0.1966	0.0650
12	0.8833	11	12	0.3744	0.1238
13	0.8731	12	13	1.4680	1.1550
14	0.8692	13	14	0.5416	0.7129
15	0.8668	14	15	0.5910	0.5260
16	0.8645	15	16	0.7463	0.5450
17	0.8611	16	17	1.2890	1.7210
18	0.8600	17	18	0.7320	0.5740
19	0.9946	2	19	0.1640	0.1565
20	0.9889	19	20	1.5042	1.3554
21	0.9877	20	21	0.4095	0.4784
22	0.9867	21	22	0.7089	0.9373
23	0.9679	3	23	0.4512	0.3083
24	0.9570	23	24	0.8980	0.7091
25	0.9516	24	25	0.8960	0.7011
26	0.9177	6	26	0.2030	0.1034
27	0.9136	26	27	0.2842	0.1447
28	0.8947	27	28	1.0590	0.9337
29	0.8810	28	29	0.8042	0.7006
30	0.8750	29	30	0.5075	0.2585
31	0.8679	30	31	0.9744	0.9630
32	0.8664	31	32	0.3105	0.3619
33	0.8659	32	33	0.3410	0.5302

Pour avoir la configuration optimale, on clique sur « optimal configuration » dans la fenêtre affichée et les résultats sont présentés ci-dessous :

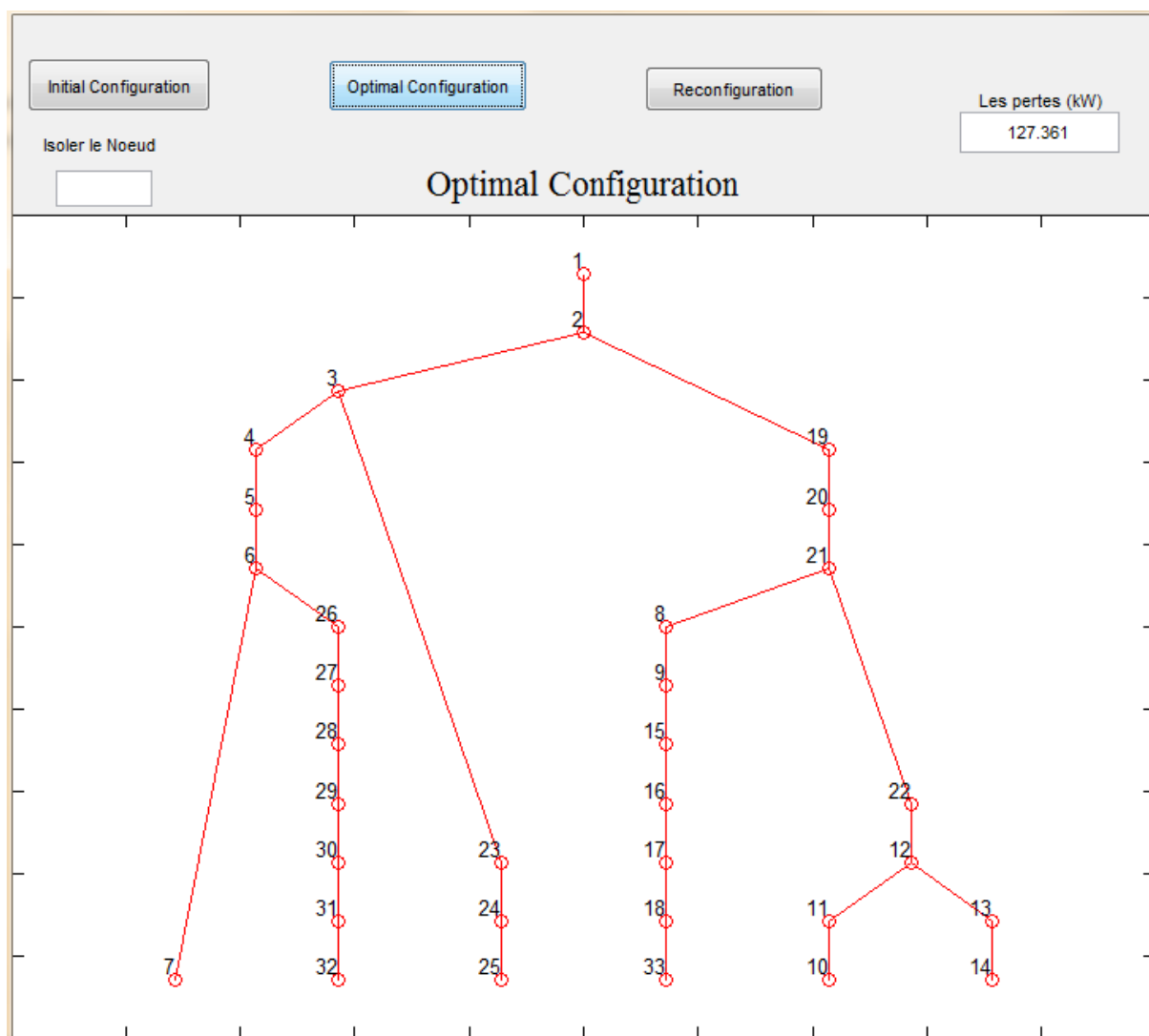


Figure 4.3 La Configuration Optimale

Les données de la configuration optimale sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 Données de la configuration optimale

	Voltage(p.u)	Send bus	End bus	R(ohm)	X(ohm)
1	1	0	1	0	0
2	0.9955	1	2	0.0922	0.0470
3	0.9796	2	3	0.4930	0.2511
4	0.9725	3	4	0.3660	0.1864
5	0.9657	4	5	0.3811	0.1941
6	0.9484	5	6	0.8190	0.7070
7	0.9474	6	7	0.1872	0.6188
8	0.9403	21	8	2	2
9	0.9348	8	9	1.0300	0.7400
10	0.9994	11	10	0.1966	0.0650
11	0.9885	12	11	0.3744	0.1238
12	0.9410	22	12	2	2
13	0.9367	12	13	1.4680	1.1550
14	0.9354	13	14	0.5416	0.7129
15	0.9248	9	15	2	2
16	0.9219	15	16	0.7463	0.5450
17	0.9171	16	17	1.2890	1.7210
18	0.9154	17	18	0.7320	0.5740
19	0.9924	2	19	0.1640	0.1565
20	0.9656	19	20	1.5042	1.3554
21	0.9581	20	21	0.4095	0.4784
22	0.9525	21	22	0.7089	0.9373
23	0.9739	3	23	0.4512	0.3083
24	0.9631	23	24	0.8980	0.7091
25	0.9577	24	25	0.8960	0.7011
26	0.9456	6	26	0.2030	0.1034
27	0.9418	26	27	0.2842	0.1447
28	0.9246	27	28	1.0590	0.9337
29	0.9122	28	29	0.8042	0.7006
30	0.9068	29	30	0.5075	0.2585
31	0.9011	30	31	0.9744	0.9630
32	0.9000	31	32	0.3105	0.3619
33	0.9148	18	33	0.5000	0.5000

L'évolution des pertes de puissance en fonction du nombre de générations est représentée dans la figure suivante :

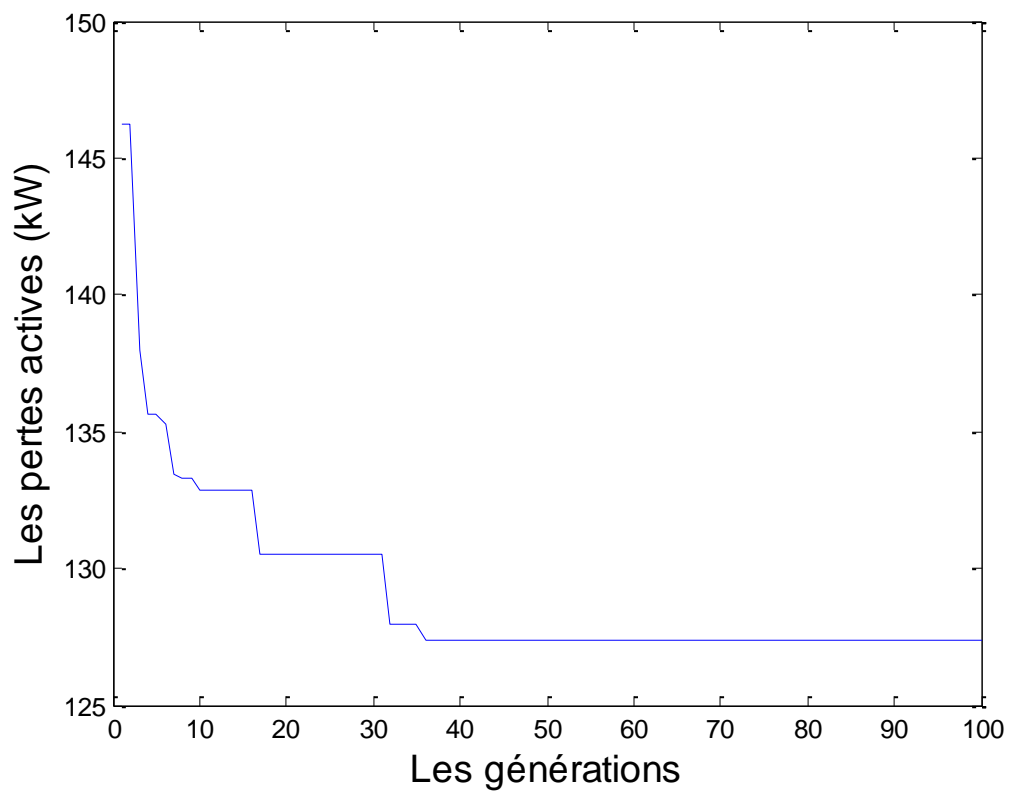


Figure 4.4 L'évolution des pertes en fonction des générations

L'allure ci-dessous représente le profil de tension (pu) aux nœuds des deux configurations précédentes :

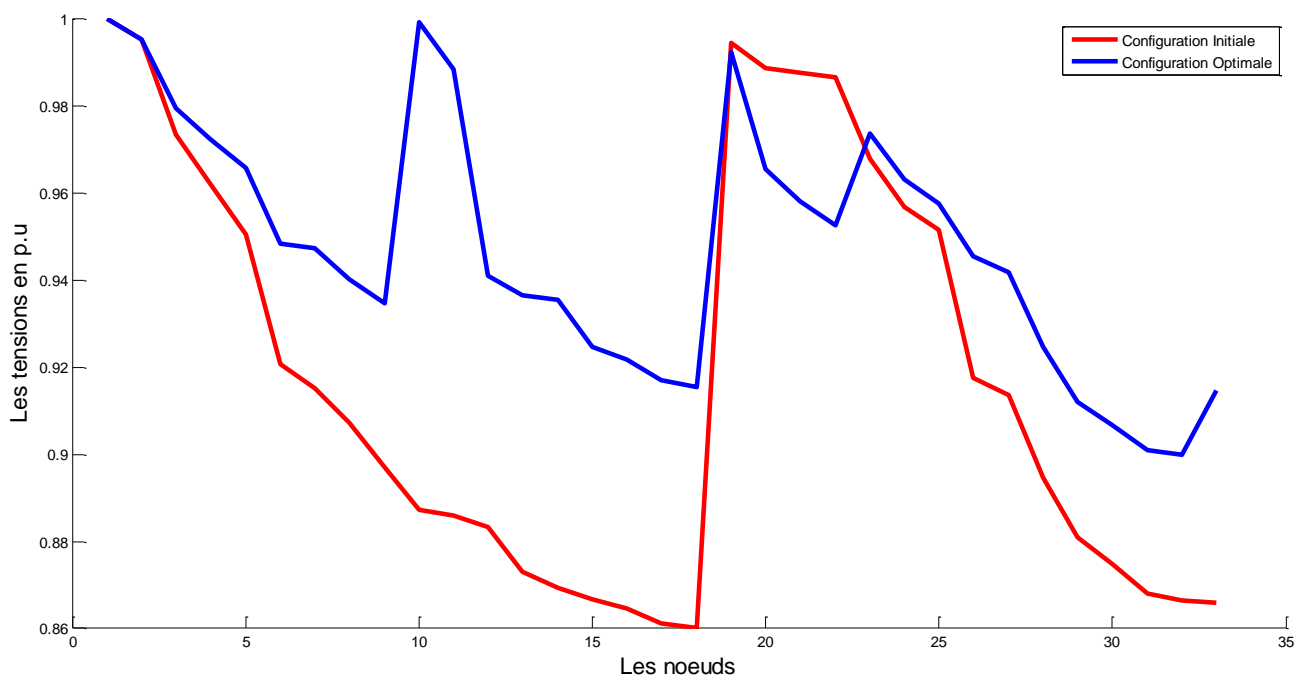


Figure 4.5 Profil de tension pour les deux configurations

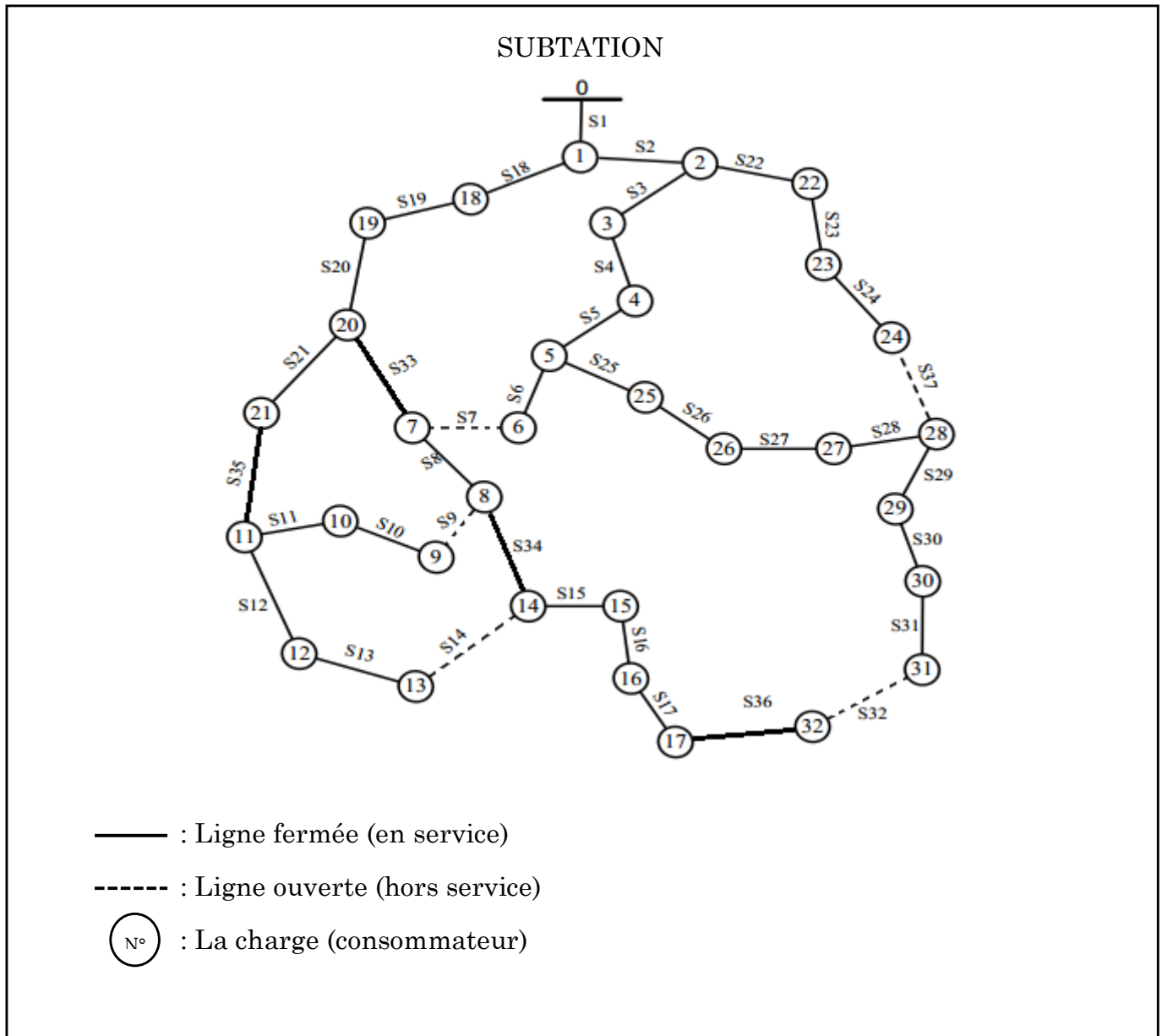


Figure 4.6 La topologie du réseau après reconfiguration

Tableau 8 Résultats des pertes pour les deux configurations

Configuration	Pertes	Ligne ouvertes
Initiale	176 ,36 (kW)	S33, S34, S35, S36, S37
Après reconfiguration	127 ,36 (kW)	S32, S7, S14, S9, S37

4.2.1 Interprétation des résultats

Nous constatons à partir des résultats de la configuration initiale et la configuration optimale que par un effort réduit, nous pouvons améliorer le régime de fonctionnement des réseaux de distribution. L'avantage consiste principalement dans la réduction des pertes de puissance et d'énergie, qui s'accompagne dans la plus part des cas, par l'amélioration de la sécurité en fonctionnement.

Statuts des interrupteurs : les interrupteurs S33, S34, S35, S36 et S37 sont initialement ouverts. La configuration optimale correspond à l'ouverture des interrupteurs suivants : S32, S7, S14, S9 et S37.

La somme des pertes de puissances calculée (nous l'avons calculé en utilisant la technique proposée dans le chapitre.2) :

- Pour la configuration initiale : 176.36 (kW)
- Pour la configuration optimale : 127.36 (kW)

A partir des résultats trouvés, il apparait clairement que la modification de la topologie du réseau nous a permis de réduire les pertes de puissances avec un écart de 49 (kW) pour notre cas d'étude.

En analysant les résultats des tableaux présentés ci-dessus (Tableaux 6-7), nous constatons des chutes de tensions plutôt que des surtensions par rapport à leurs valeurs nominales ceci est due essentiellement à la nature inductive des charges aux nœuds. D'autre part, il est remarquable que le profil de tension soit amélioré dans le cas de la configuration optimale si nous le comparons avec celui de la configuration initiale. Nous constatons que la stabilité de tension est améliorée si les pertes de puissances actives globales du système sont réduites au minimum.

Au niveau des Tableaux 6-7, nous pouvons distinguer clairement entre les nœuds sources et les nœuds récepteurs, ces derniers ne doivent jamais être alimentés par plus d'un seul nœud source autrement dit chaque nœud récepteur est alimenté à travers un seul chemin et donc satisfaire la première contrainte posée (celle qui concerne la radialité du réseau). Ceci est bien présenté dans le tableau des résultats tel que nous observons qu'il n'y a aucun nœud récepteur qui se répète.

Pour ces deux configurations (la configuration initiale et la configuration optimale), nous constatons que le nombre des lignes ouvertes est égal à 5 autrement dit, pour chaque configuration trouvée nous devons assurer la fermeture des 32 interrupteurs dont l'objectif est de satisfaire la seconde contrainte posée dans le chapitre.3 (celle qui concerne l'alimentation de tous les consommateurs).

La (Figure 4.4) présentée ci-dessus représente l'évolution des pertes de puissances actives en fonction du nombre de générations (nombre d'itérations), nous constatons que les pertes de puissances actives diminuent avec l'évolution des générations. Initialement, la somme des pertes de puissances actives était

égale à 176.36 kW, après avoir reconfiguré le réseau nous atteignons l'optimum après la 38^{ème} générations pour notre cas d'étude avec une somme de pertes de puissances égale à 127.36 kW.

La (Figure 4.5) présentée ci-dessus représente le profil de tension pour les deux configurations, l'allure présentée en rouge représente le profil de tension des nœuds de la configuration initiale et celle présentée en bleu représente le profil de tension des nœuds de la configuration optimale. Nous constatons qu'après avoir reconfiguré le réseau les chutes de tensions diminuent et par conséquent le profil de tension s'améliore.

Le temps d'exécution de notre programme de simulation n'est pas trop élevé, il est environ 6 à 8 s, nous pouvons également utiliser la reconfiguration en temps réel mais généralement nous l'évitons à cause de l'usure des appareils de coupure. Comme la pratique montre des changements périodiques de la demande de l'électricité, plus ou moins importants, selon le type et la taille des consommateurs. Nous pouvons constater ainsi, une différence entre les saisons et également entre les jours ouvrables et les jours fériés. Par conséquent, nous pouvons définir des configurations spécifiques pour chaque période.

4.3 Cas de défaillance d'une ligne

A partir de la configuration initiale nous pouvons simuler un incident sur une ligne puis nous retrouvons la configuration optimale qui va rétablir l'alimentation des charges isolées.

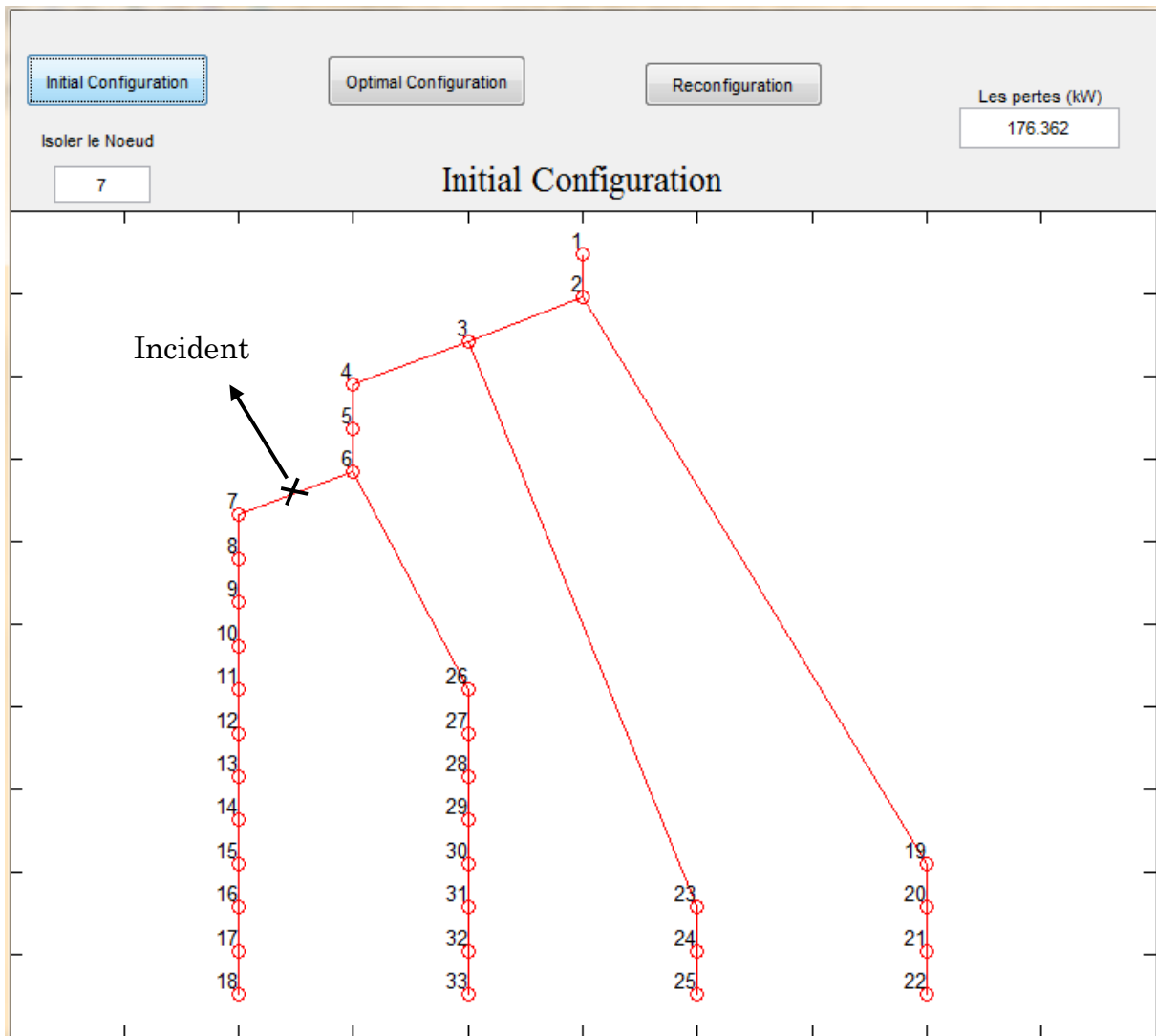


Figure 4.7 Cas d'incident sur la ligne alimentant le nœud 7

Pour pouvoir simuler l'incident sur une telle ligne, nous inscrivons le numéro du nœud à isoler sur la case en haut puis nous cliquons sur «configuration», dans ce cas nous utilisons le processus de reconfiguration optimale tout en considérant que la ligne qui alimente le nœud 7 est hors service ce qui veut dire l'ouverture du switch S8 ($S8 = 0$), et nous retrouvons le résultat suivant :

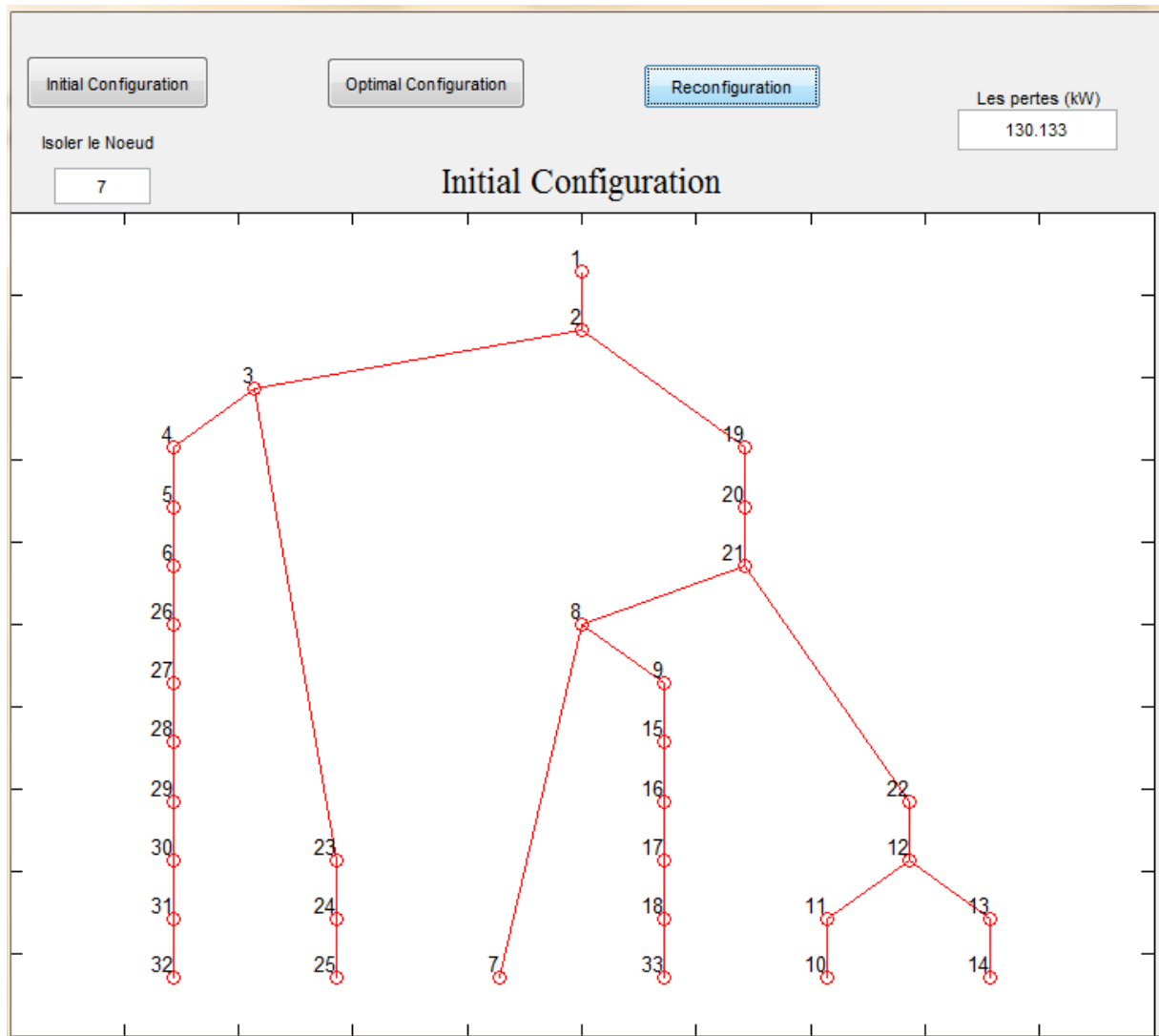


Figure 4.8 La configuration optimale trouvée suite à l'incident

Après avoir reconfiguré le réseau suite à l'incident, les données de la configuration trouvée sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 9 Les données du réseau après la reconfiguration

	Voltage(p.u)	Send bus	End bus	R(ohm)	X(ohm)
1	1	0	1	0	0
2	0.9955	1	2	0.0922	0.0470
3	0.9809	2	3	0.4930	0.2511
4	0.9748	3	4	0.3660	0.1864
5	0.9690	4	5	0.3811	0.1941
6	0.9542	5	6	0.8190	0.7070
7	0.9983	8	7	0.7114	0.2351
8	0.9766	21	8	2	2
9	0.9713	8	9	1.0300	0.7400
10	0.9999	11	10	0.1966	0.0650
11	0.9995	12	11	0.3744	0.1238
12	0.9890	22	12	2	2
13	0.9849	12	13	1.4680	1.1550
14	0.9837	13	14	0.5416	0.7129
15	0.9618	9	15	2	2
16	0.9590	15	16	0.7463	0.5450
17	0.9543	16	17	1.2890	1.7210
18	0.9527	17	18	0.7320	0.5740
19	0.9919	2	19	0.1640	0.1565
20	0.9604	19	20	1.5042	1.3554
21	0.9515	20	21	0.4095	0.4784
22	0.9459	21	22	0.7089	0.9373
23	0.9752	3	23	0.4512	0.3083
24	0.9644	23	24	0.8980	0.7091
25	0.9590	24	25	0.8960	0.7011
26	0.9514	6	26	0.2030	0.1034
27	0.9476	26	27	0.2842	0.1447
28	0.9306	27	28	1.0590	0.9337
29	0.9182	28	29	0.8042	0.7006
30	0.9129	29	30	0.5075	0.2585
31	0.9072	30	31	0.9744	0.9630
32	0.9061	31	32	0.3105	0.3619
33	0.9522	18	33	0.5000	0.5000

4.3.1 Interprétation des résultats

Dans un cas de défaillance d'une ligne nous pouvons facilement rétablir l'alimentation pour la partie isolée en retrouvant la reconfiguration optimale sans prendre en considération la ligne défaillante.

Nous avons simulé un incident en isolant le nœud souhaité au niveau de la fenêtre affichée et qui présentée ci-dessus

L'incident a lieu au niveau de la branche 6-7, par conséquent toutes les charges qui suivent le nœud 7 ne seront plus alimentées

Lors de la défaillance de la ligne qui alimente le nœud 7, les charges de 7 à 18 ne seront plus alimentées, le processus de reconfiguration dans ce cas sert à réalimentée ces charges tout respectant l'ensemble des contraintes imposée initialement et puis chercher toujours la configuration optimale c'est-à-dire réalimenté les charges isolée avec la topologie qui génère le minimum des pertes de puissances actives.

La configuration trouvée suite à l'incident présente 130.133 (kW) de pertes de puissance active qui reste toujours une valeur optimale.

Suite à une défaillance d'une branche dans un réseau donné, les exploitants souhaitent, en général, rétablir la continuité du service en utilisant la reconfiguration qui nous permet de trouver une topologie aussi proche que possible de la topologie initiale.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La reconfiguration est un outil simple et efficace pour améliorer le fonctionnement des réseaux électriques de distribution, elle permet, par un effort réduit, d'améliorer le régime de fonctionnement des réseaux de distribution. L'avantage consiste principalement dans la réduction des pertes de puissances et d'énergie, qui s'accompagne dans la plupart des cas, par l'amélioration de la sécurité en fonctionnement. La dynamique continue de la demande d'énergie de la part des consommateurs change le régime de fonctionnement des réseaux, et implicitement leurs performances. L'application périodique de la reconfiguration permet de mieux adapter le fonctionnement des réseaux au niveau de consommation.

Dans le cadre de notre projet, nous avons présenté dans un premier lieu des généralités sur les réseaux électriques de distribution et tous ce qui concerne leurs différentes structures et architectures.

Par la suite, nous avons présenté brièvement l'écoulement de puissance et également une technique qui consiste à calculer les pertes de puissance qui sont notre fonction objectif à optimiser.

L'utilisation des méthodes heuristiques dans le processus de reconfiguration diminue considérablement le temps de recherche de la solution finale. Généralement, le processus de reconfiguration en temps réel n'est pas recommandé et cela revient au taux de défaillance des appareils de coupure par contre nous pouvons également définir des configurations spécifiques pour chaque période. Le grand désavantage consiste dans le fait, que nous n'avons pas la garantie que la solution finale soit globalement optimale. Pourtant, nous constatons que nous ne sommes pas loin de la solution optimum globale, et que les plus importantes permutations sont identifiées.

Les méthodes heuristiques utilisant l'approche « permutation de branches » permettent de faire face aux difficultés et de combler les lacunes mises en évidence dans le cas de celles qui utilisent les approches « constructives » ou « destructives ». En effet, elles permettent d'observer implicitement, à chaque étape de l'exploration de l'ensemble des solutions possibles, non seulement la contrainte d'arborescence mais également les deux autres contraintes. De plus, les valeurs des variables de décision peuvent, selon les méthodes de type « permutation de branches », à tout moment être remises en question contrairement aux cas où l'on solliciterait des méthodes « constructives » ou « destructives ». Cette particularité, difficile à mettre en œuvre dans le cas de ces deux derniers types de méthodes de type « permutation de branches ».

Cette étude, nous a permis de concevoir une procédure d'optimisation basée sur les algorithmes génétiques. Ces derniers ont été choisis comme étant outil d'optimisation pour la réduction des pertes en cherchant la configuration optimum toute en respectant l'ensemble des contraintes imposées. Par conséquent, nous

Conclusion Générale

avons pu atteindre nos objectifs tracés en trouvant la topologie optimale en cas de fonctionnement normal d'une part autrement dit celle qui génère le minimum des pertes, d'autre part, en cas de défaillance d'une ligne la reconfiguration se fait d'une manière automatique afin de réalimenter les charges isolées suite à l'incident en obtenant la configuration optimale.

Les contraintes imposées au processus de reconfiguration sont l'ensemble des conditions à respecter lors de la modification de la topologie du réseau, les contraintes supplémentaires diminuent les performances. La liberté de choix sur certaines configurations est limitée par les contraintes sur la possibilité d'effectuer des manœuvres sur certaines branches. La contrainte sur le nombre admis de manœuvres pour le changement de la configuration diminue également les performances du processus de reconfiguration.

Comme les charges sont de nature inductive, nous avons constaté des chutes de tension plutôt que des surtensions aux nœuds du réseau étudié. Le profil de tension est amélioré si les pertes de puissances actives globales du système sont réduites au minimum suite à la reconfiguration optimale du réseau.

La configuration optimale que nous l'avons retrouvé dans notre travail a bien montré l'efficacité du processus de reconfiguration aux termes de la réduction des pertes et d'amélioration du profil de tension. Des aspects économiques acquièrent de plus en plus de poids au détriment des aspects techniques. Les critères économiques deviennent des outils de décision, Tandis que les critères techniques jouent le rôle des contraintes.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] N. Hadj Saïd, " La distribution d'énergie électrique en présence de production décentralisé ", elipse, 2001.
- [2] T. Ion, «Reconfiguration des réseaux électriques de distribution urbaine dans le contexte de l'ouverture du marché,» LAUSANE SUISSE, 2003.
- [3] A.Chouikh et S.Youssef, «Electrification d'une région rurale (projet de fin d'études-USTHB),» 1982.
- [4] Rapport, «Guide de conception des réseaux électriques industriels,» Schneider Electric, 2006.
- [5] S. R. Cherkaoui, «Méthodes heuristiques pour la recherche de configurations optimales d'un réseau électrique de distribution,» LAUSANNE, 1992.
- [6] A. Ashish, D. Sanjoy et P. Anil, «An AIS-ACO Hybrid Approach for Multi-Objective Distribution System Reconfiguration,» *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, n° 13, August 2007.
- [7] C. Hsiao-Dong et J.-J. RenC, «Optimal Network Reconfiguration in Distribution Systems: Part 2: Solution algorithm and Numerical Results,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, n° 14, November 1990.
- [8] B. Mesut et W. Felix, «Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, n° 12, April 1989.
- [9] A. Ashish, D. Sanjoy et P. Anil, «An AIS-ACO Hybrid Approach for Multi-Objective Distribution System Reconfiguration,» *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, n° 13, August 2007.
- [10] M.Boudour et A. Hellal, «"Génie Electrique : Réseaux Electriques, Fondamentaux et Concept ",» Edition Pages Bleues, Alger, Janvier 2011.
- [11] B. P. Ravi, M.R.Kumar, V. S. Hemachandra et R. Vanamali, «A Novel Power Flow Solution Methodology for,» *IEEE Region*, n° 115, 2010.
- [12] S. R. Rayapudi, V. Sadhu, N. Lakshmi et R. R. Manyala, «Optimal Network Reconfiguration of large-Scale Distribution System Using Harmony Search Algorithm,» *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, n° 13, August 2011.

Bibliographie

- [13] M. Tolba, «Commande des systèmes d'énergie de puissance par des approches heuristiques modernes,» ENP, Alger, 2010.
- [14] A.Rouhani, R. M. Habib et A. G. Morteza, «Reconfiguration of Distribution Network Based on a Genetic,» *Current Trends in Technology and Science*, n° 18, 2014.
- [15] R. Nattachote, N. Supawud et S. Noyraiphoom, «Network Reconfiguration for Loss Reduction and Improved Voltage Profile in Distribution System with distributed Generation using Genetic Algorithm» *Current Trends in Technology and Science*, n° 37, 2014.