

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



Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Electrotechnique



Mémoire de
Master en Electrotechnique

Présenté par :
Bessalah Abdelwahid

Thème :

**Reconfiguration des Réseaux de
Distribution pour Optimisation des
pertes ohmiques**

Soutenu le 17 Juin 2015 à l'ENP

Membres de jury d'examen

Président	S.Mekhtoub	Professeur à l'ENP
Rapporteur	A.Hellal	Professeur à l'ENP
Examineurs	R.Ibtiouen	Professeur à l'ENP
	O.Touhami	Professeur à l'ENP

Promotion 2015

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

Table des matières

Remerciement	
Abstract	
Résumé	
Introduction.....	1
1 Modélisation des branches et des charges.....	2
1.1 Modélisation des branches.....	2
1.2 Modélisation des charges.....	2
1.3 Système de distribution radial.....	3
2 Notions de Reconfiguration.....	4
2.1 La reconfiguration du réseau de distribution.....	5
2.2 Modèle mathématique du processus de reconfiguration.....	6
2.3 Formulation du problème.....	7
2.4 Les pertes par effet de Joule.....	7
2.5 Méthodes et stratégies de reconfiguration.....	8
3 Optimisation des pertes de puissance.....	11
3.1 La fonction objectif.....	11
3.2 Les contraintes imposées.....	12
3.2.1 La structure du réseau doit être radiale.....	12
3.2.2 Tous les consommateurs doivent être alimentés.....	12
3.2.3 Le profil de tension doit être admissible.....	12
3.3 Les algorithmes Génétiques.....	13
3.4 Codage, décodage et initialisation.....	14
3.5 Evaluation.....	15
3.6 Sélection.....	16
3.7 Croisement.....	18
3.8 Mutation.....	19
3.9 Réglage des paramètres d'un algorithme génétique.....	19
3.10 Avantages et inconvénients des algorithmes génétiques.....	20
4 Simulation et Analyse des Résultats.....	21
4.1 Présentation du réseau IEEE 33 nœuds.....	21
4.2 Les résultats obtenus dans l'optimisation.....	23
4.2.1 Interprétation des résultats.....	28
4.3 Cas de défaillance d'une ligne.....	29

4.3.1 Interprétation des résultats	31
Conclusion Générale	33
Bibliographie	34

Liste des Tableaux

Tableau 1 L'état des interrupteurs dans la configuration précédente	15
Tableau 2 Les résultats de l'évaluation	16
Tableau 3 La population intermédiaire	17
Tableau 4 Les puissances active et réactive aux nœuds	21
Tableau 5 La matrice line data	22
Tableau 6 Données de la configuration initiale	25
Tableau 7 Données de la configuration optimale.....	27
Tableau 8 Résultats des pertes pour les deux configurations	28

Liste des Figures

Figure 1.1 Schéma unifilaire d'une branche	2
Figure 2.1 Principe de la Stratégie Constructive	9
Figure 2.2 Principe de la Stratégie Destructive	10
Figure 2.3 Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches"	10
Figure 3.1 Organigramme d'un algorithme génétique	13
Figure 3.2 Réseau de distribution 33 nœuds	14
Figure 3.3 l'opération de sélection par la méthode de la roulette	17
Figure 3.4 Croisement multipoints	18
Figure 3.5 L'opération de Mutation	19
Figure 4.1 La configuration initiale du réseau étudié	23
Figure 4.2 La Configuration Initiale.....	24
Figure 4.3 La Configuration Optimale	26
Figure 4.4 L'évolution des pertes en fonction des générations.....	28
Figure 4.5 Cas d'incident sur la ligne alimentant le nœud 7	30
Figure 4.6 La configuration optimale trouvée suite à l'incident	31

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 S. Mekhtoub Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour avoir accepté de présider le jury.

Nos remerciements vont aussi à Monsieur R. Ibtouen 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.

Nos remerciements vont aussi à Monsieur O. Touhami 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

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.

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].

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.

1 Modélisation des branches et des charges

1.1 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 :

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

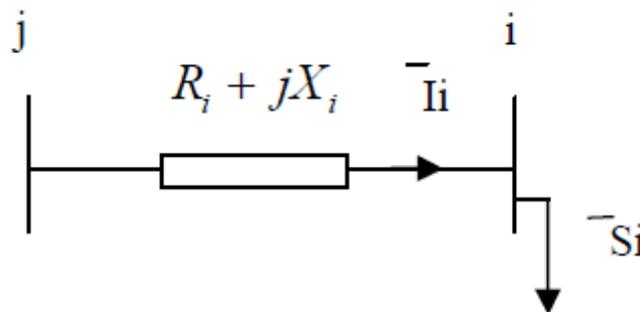


Figure 1.1 Schéma unifilaire d'une branche

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

1.2 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 :

$$\bar{S} = P_i + jQ_i \quad (1.4)$$

1.3 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 couteuse 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-linaire, il peut être posé pour une variété d'objectifs comme nous pouvons le résoudre en utilisant beaucoup de techniques différentes.

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 [3].

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 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 [4], 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 [5]. 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 [5]:

- 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 [4].

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 fermés) 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 [6].

2.2 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 :

$$\begin{aligned} & \mathbf{OPTIMUM} [f(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F})] & (3.1) \\ & \mathbf{g}(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F}) = \mathbf{0} \\ & \mathbf{h}(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F}) > \mathbf{0} \end{aligned}$$

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

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

$h(\mathbf{U}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{F})$ 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 couts 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.

2.3 Formulation du problème

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 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 :

$$P_{loss} = \sum_{b=1}^{Nr} I_b^2 \cdot R_b \quad (2.1)$$

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 Méthodes et stratégies de reconfiguration

Les méthodes de recherche dans l'espace des solutions peuvent être classées dans deux catégories [7] :

- 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 [8] :

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 2.1). 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.

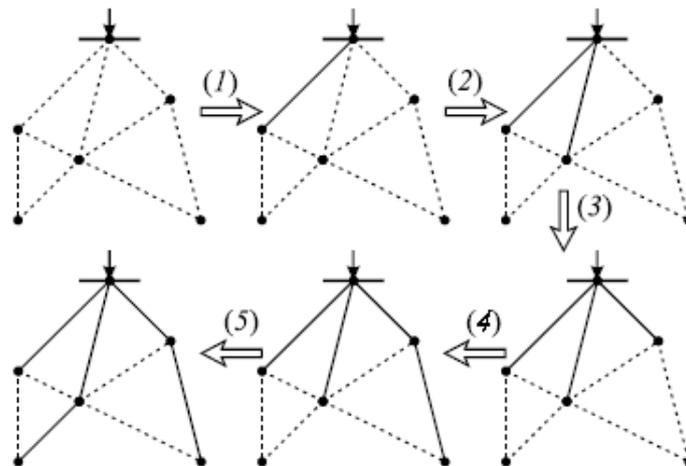


Figure 2.1 Principe de la Stratégie Constructive

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 2.2). 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.

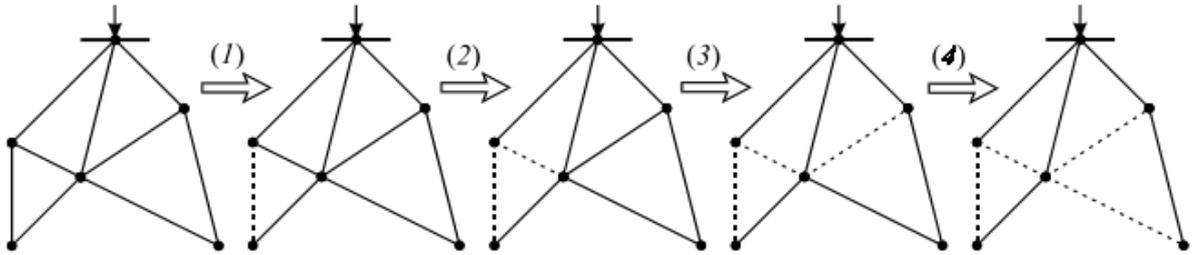


Figure 2.2 Principe de la Stratégie Destructive

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 2.3). 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.

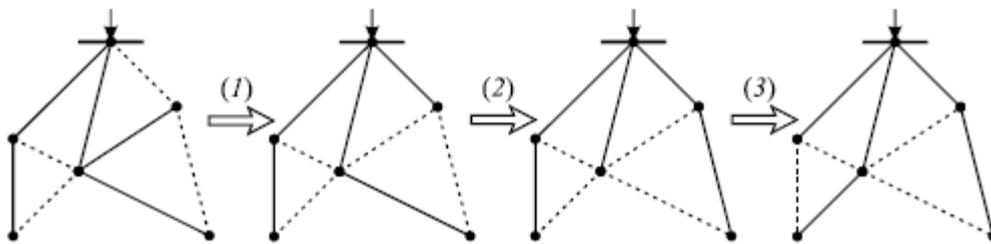


Figure 2.3 Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches"

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.

3 Optimisation des pertes de puissance

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 » [9].

3.1 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 :

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

A partir de l'équation (3.1), nous donnons l'expression de la fonction objectif que nous avons utilisée dans ce mémoire :

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

3.2 Les contraintes imposées

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

3.2.1 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 [10]. 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.

3.2.2 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 vérifiée [10].

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

3.2.3 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 [8].

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.

3.3 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 [9]. 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 :

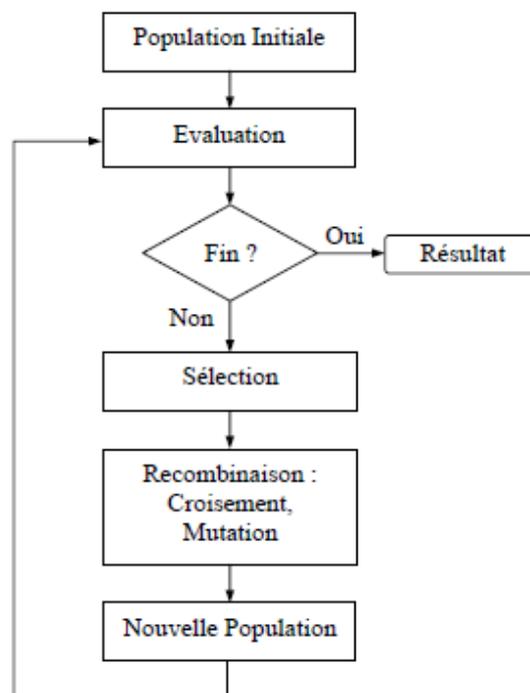


Figure 3.1 Organigramme d'un algorithme génétique

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

3.4 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 :

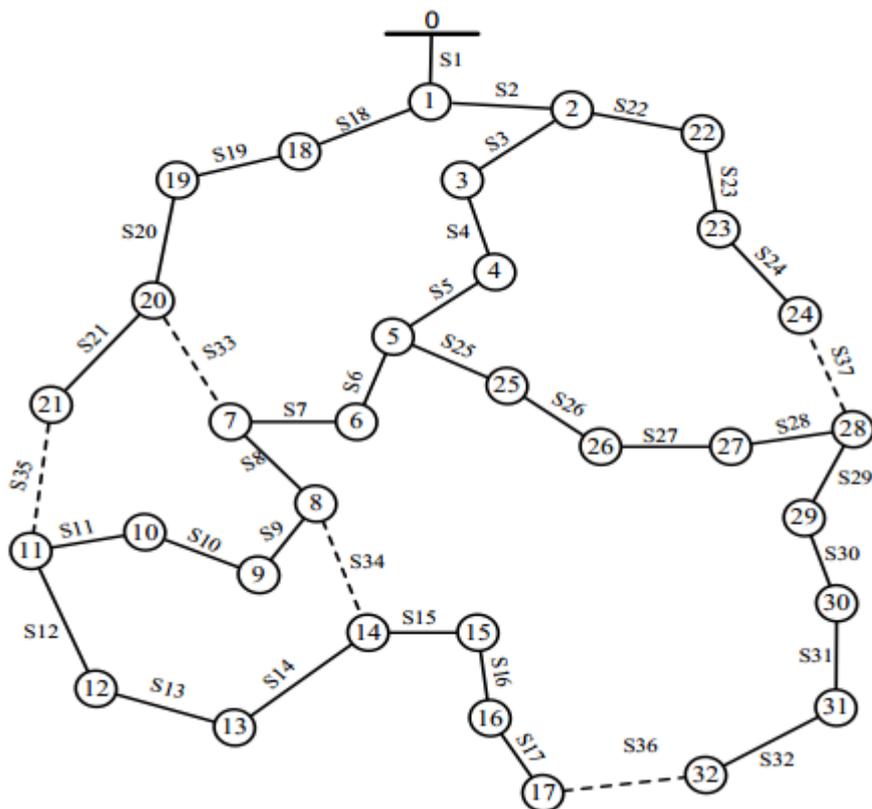


Figure 3.2 Réseau de distribution 33 nœuds

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).

3.5 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) $Fit(x) = N - F_{obj}(x)$ si $F_{obj}(x) \geq N$ sinon $Fit(x) = 0$ (N est une constante positive)
- (b) $Fit(x) = \frac{1}{F_{obj}(x)}$
- (c) $Fit(x) = -F_{obj}(x)$

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

$$Fit(X) = \frac{1}{F_{obj}(x)} \tag{3.4}$$

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 (3.4).

3.6 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 :

$$fit_{norm}(i) = \frac{fitness(i)}{\sum_{j=1}^{N_{ind}} fitness(j)} \quad (3.5)$$

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 :

$$\begin{cases} \mathbf{fit}_{cum}(i) = \mathbf{fit}_{cum}(i - 1) + \mathbf{fit}_{norm}(i) \\ \mathbf{fit}_{cum}(0) = 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N_{ind} \quad (3.6)$$

A partir du (Tableau 2), nous pouvons représenter les individus de la population initiale sur la roulette de la (Figure 3.3). 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.

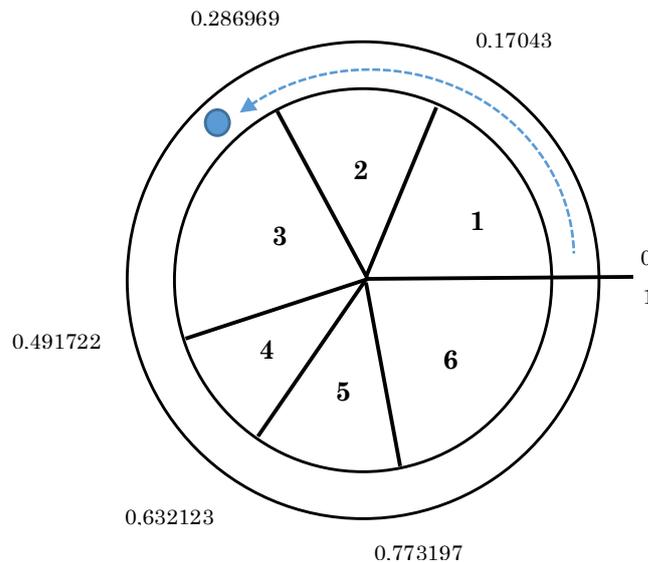


Figure 3.3 l'opération de sélection par la méthode de la roulette

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

3.7 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 :

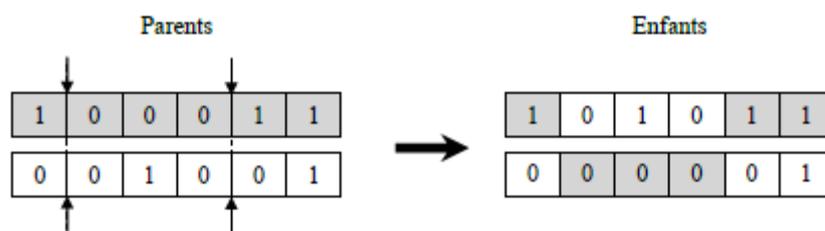


Figure 3.4 Croisement multipoints

- **Remarque**

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

3.8 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.

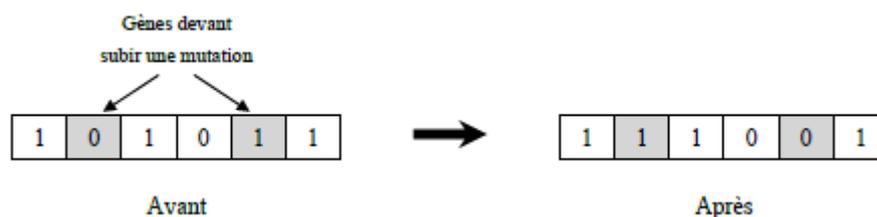


Figure 3.5 L'opération de Mutation

▪ 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.

3.9 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.

3.10 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 [11].

(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.

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

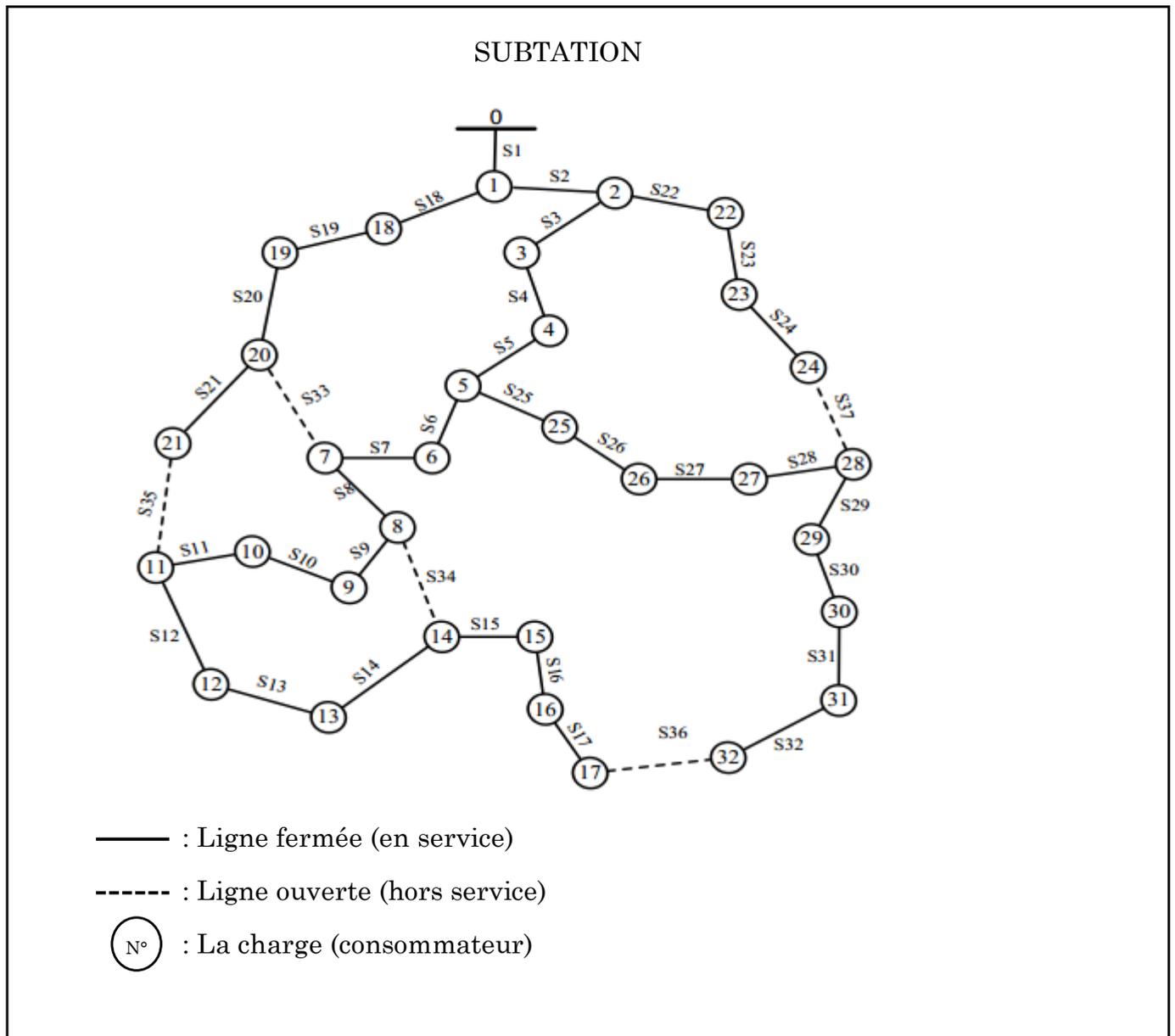


Figure 4.1 La configuration initiale du réseau étudié

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 :

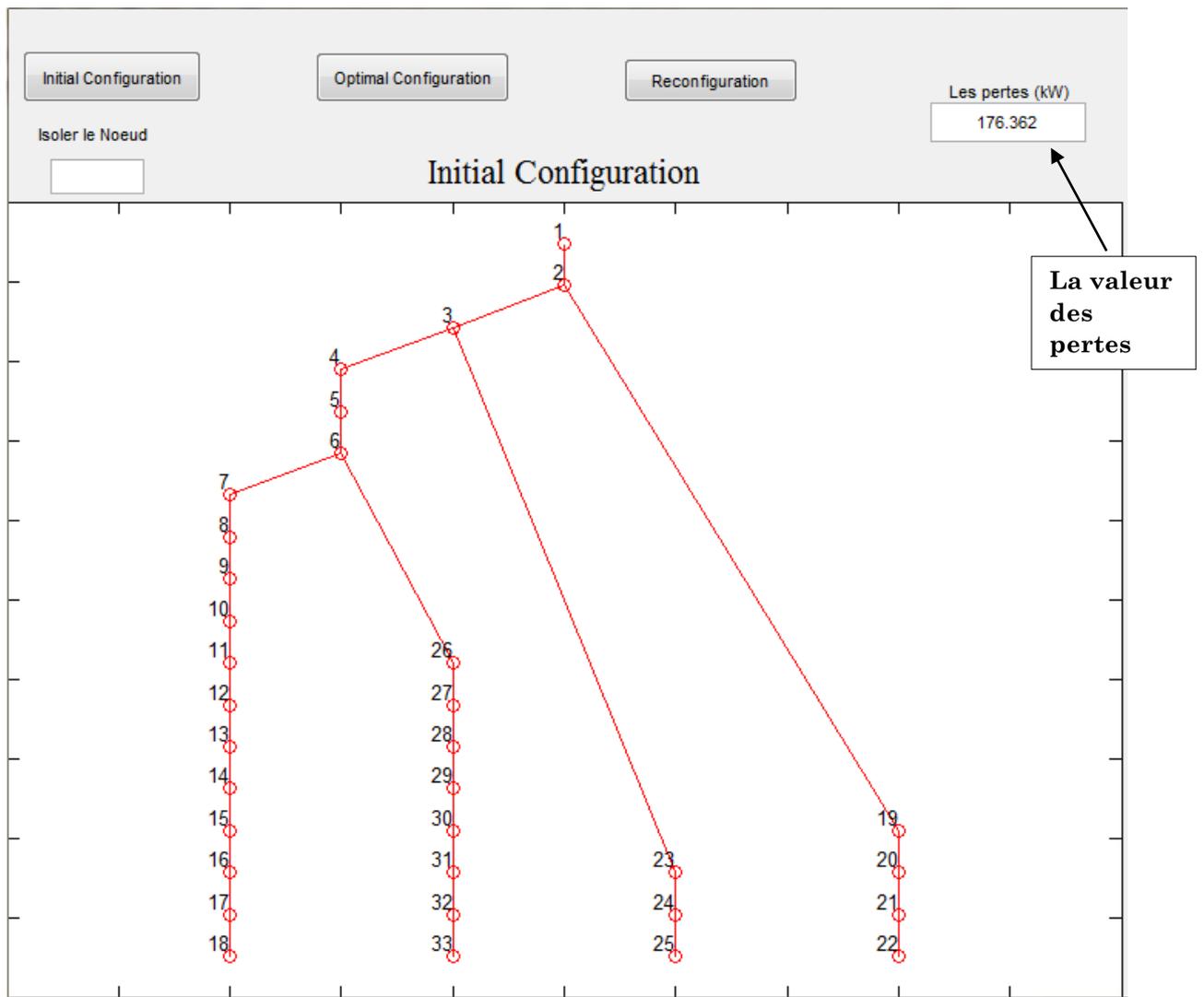


Figure 4.2 La Configuration Initiale

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 :

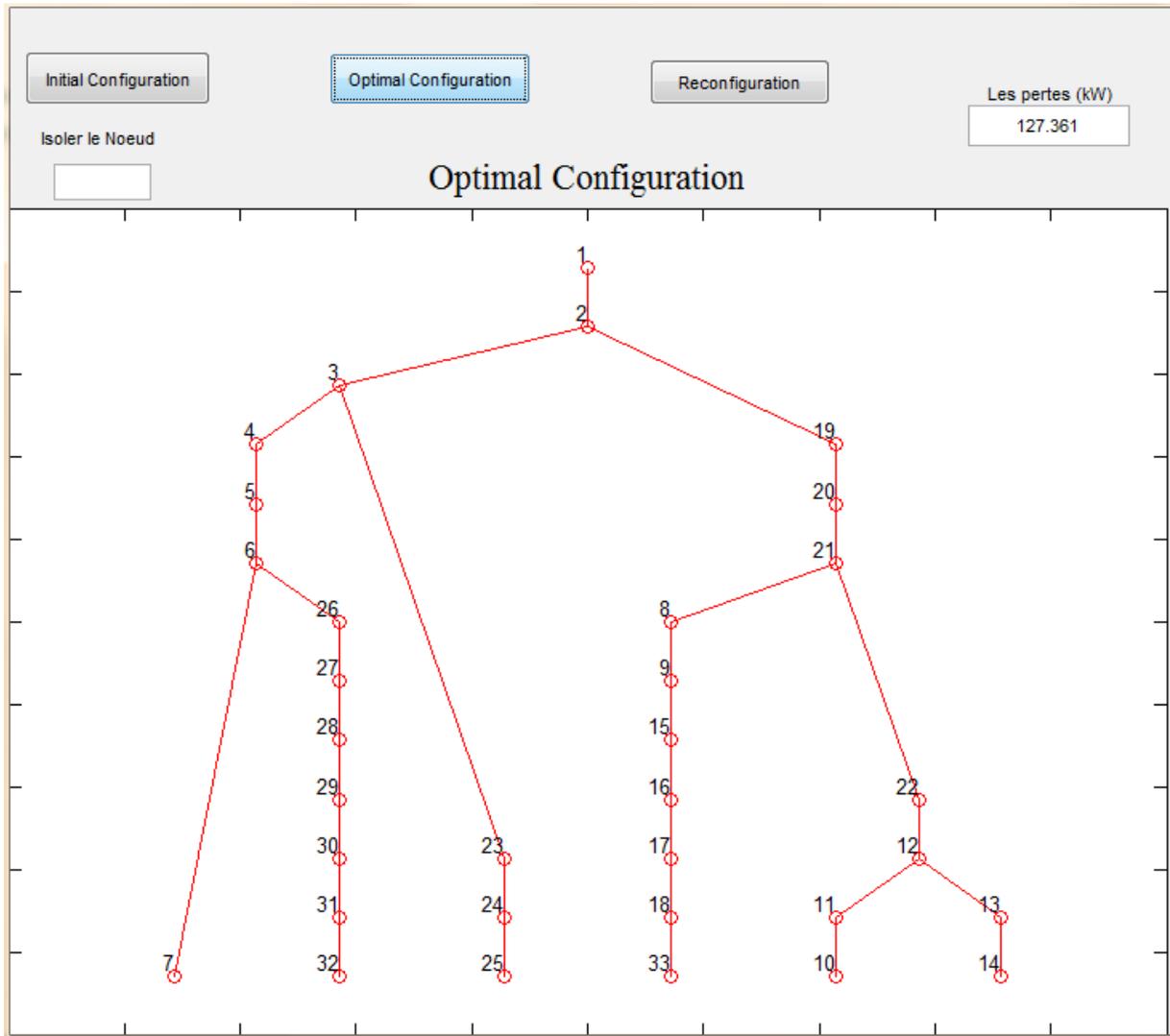


Figure 4.3 La Configuration Optimale

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 :

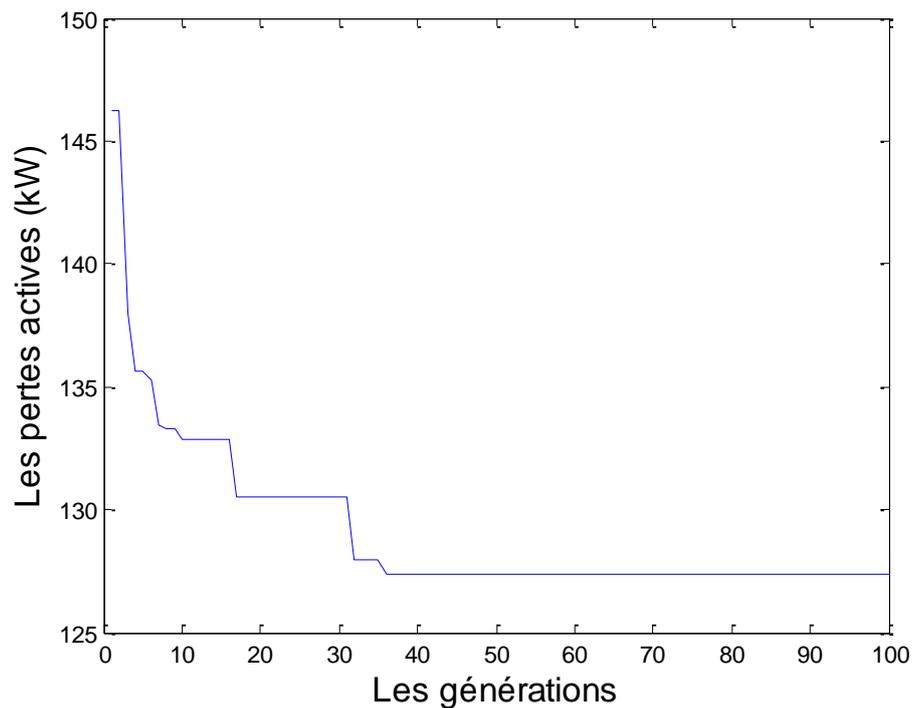


Figure 4.4 L'évolution des pertes en fonction des générations

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.

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.

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.

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.

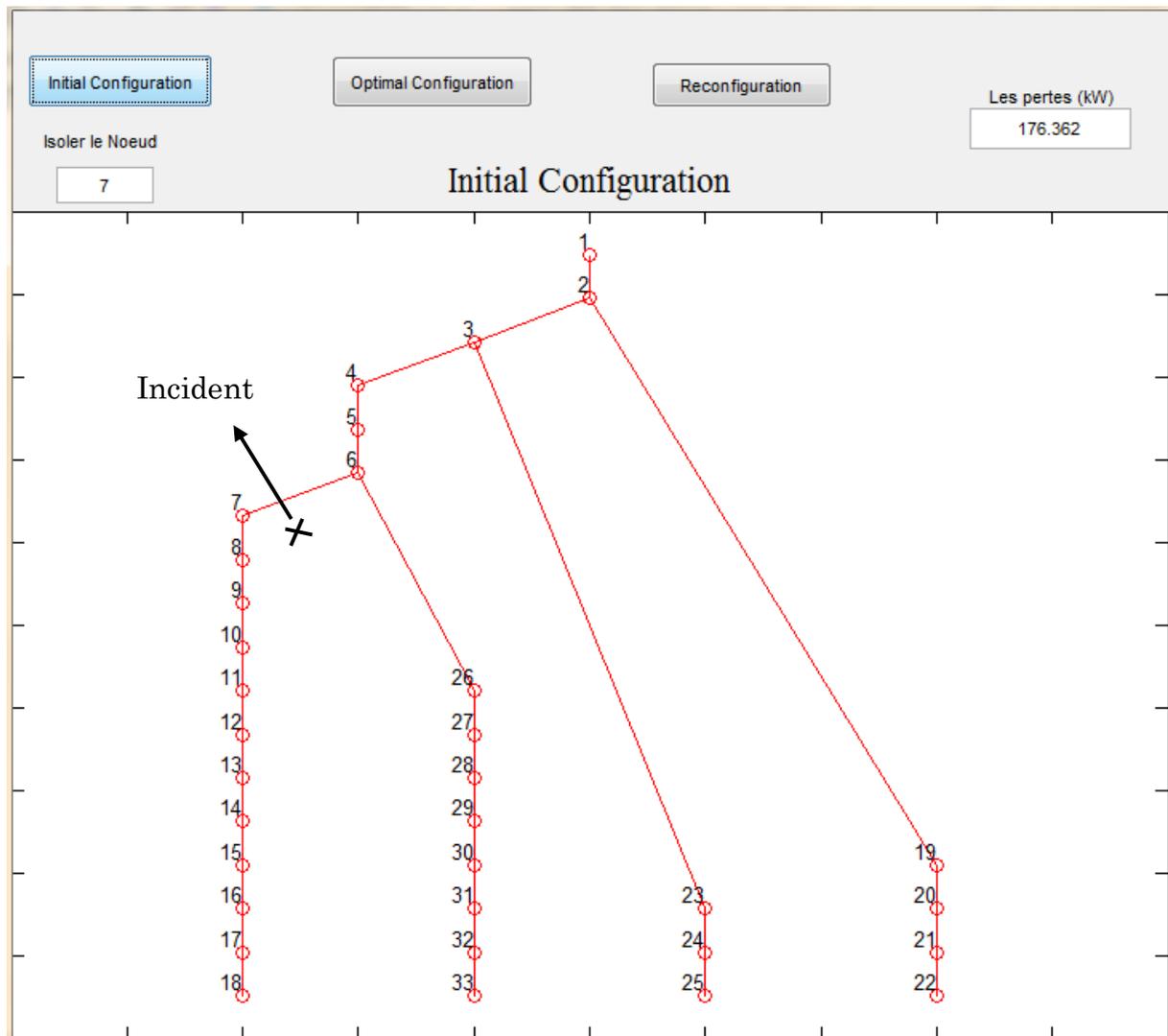


Figure 4.5 Cas d'incident sur la ligne alimentant le nœud 7

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 :

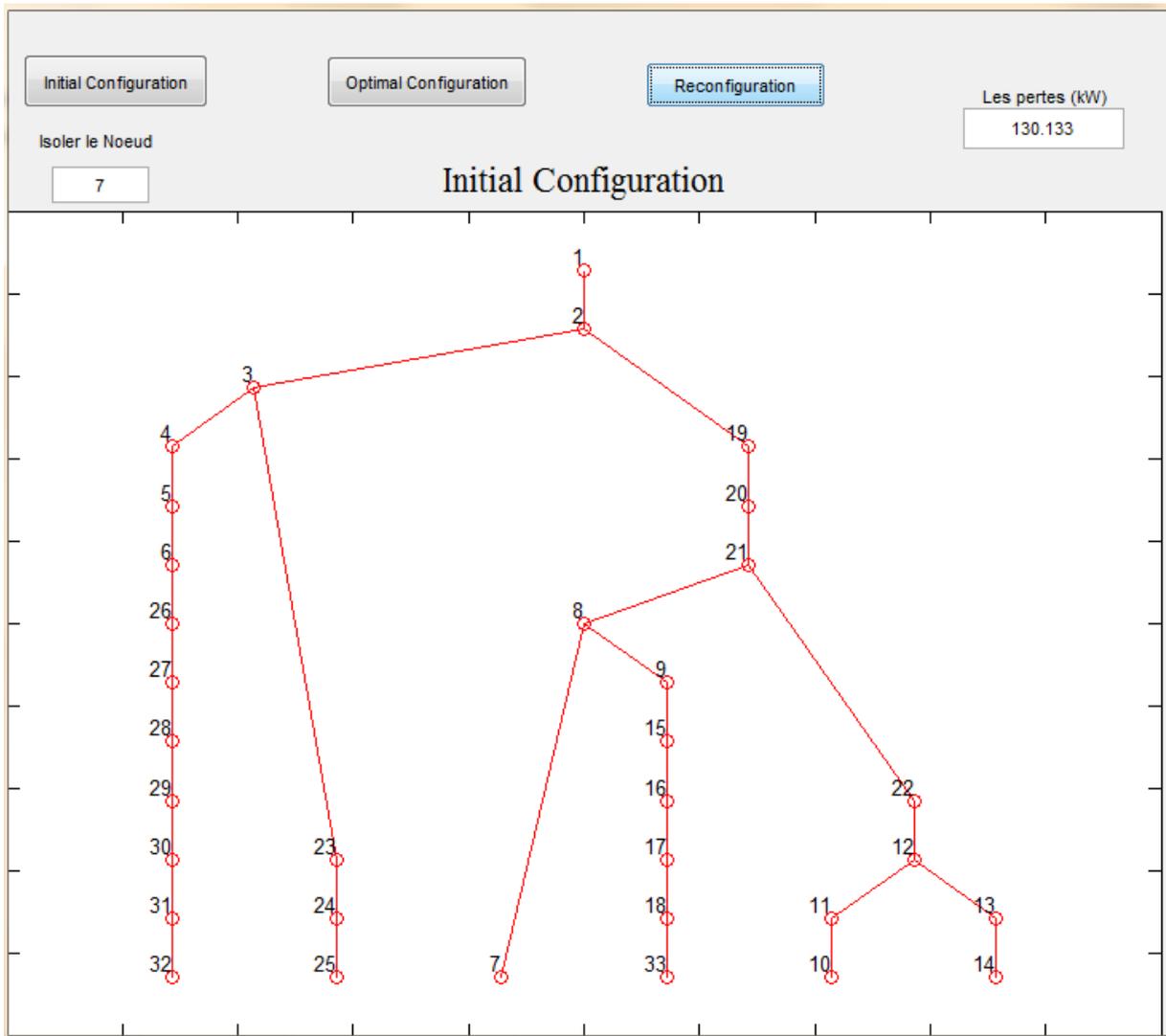


Figure 4.6 La configuration optimale trouvée suite à l'incident

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

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

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.

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.

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 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

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. 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [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] 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.
- [8] S. R. Cherkaoui, «Méthodes heuristiques pour la recherche de configurations optimales d'un réseau électrique de distribution,» LAUSANNE, 1992.
- [9] M. Tolba, «Commande des systèmes d'énergie de puissance par des approches heuristiques modernes,» ENP, Alger.
- [10] 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.
- [11] 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».