الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique

Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme

de Master en Électrotechnique

Option : Réseaux Électriques

THEME

Reconfiguration optimale des réseaux de distribution par l'optimisation convexe

Préparé et présenté par,

BENTOUATI MAHFOUD

BESSERI BOUBAKER ACHRAF

Proposé et dirigé par,

Pr. K.SEBAA

Année universitaire 2017-2018

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 K.SEBAA, Professeur à l'université Dr. Yahia Farés de MEDEA de nous avoir encadré durant notre mémoire. Nous le remercions pour sa disponibilité et 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. ABDI, Docteur à l'université Dr. Yahia Farés de MEDEA, pour avoir accepté de présider le jury.

Nos remerciements vont aussi à Monsieur Y.TAMI et Monsieur N. IKHLEF ECHOUF Docteur à l'université Dr. Yahia Farés de MEDEA, 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 et 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.

الملخص

إن الحد من الخسائر في شبكة التوزيع الكهربائي كان ولا يزال موضوع العديد من البحوث .يعتبر إيجاد التخطيط الأنسب للشبكة أحد الحلول الأكثر فعالية من حيث الكفاءة والتكلفة .في موضوع هذه المذكرة دراسة تقريبية لإعادة تخطيط النظام بالاعتماد على ا البرمجة التربيعية 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 nœuds)

كلمات ومفاتيح :تقليص ضياع الطاقة، إعادة تخطيط النظام، مردود التوتر، البرمجة التربيعية.

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 quadratic programming 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, quadratic programming

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 la programmation quadratique 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, la programmation quadratique

Chapitre I

Figure I.1 Composants Principales d'un système électrique 06

Figure I.2 Structure radiale des réseaux électrique.....07

Figure I.3 Structure maillée des réseaux électrique.....09

Figure I.4 Modèle d'une ligne de transmission.....10

Chapitre II

Figure II.1 Principe de la Stratégie Constructive.....25

Figure II.2 Principe de la Stratégie Destructive.....26

Figure II.3 Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches".....26

Figure II.4 Exemple d'optimums local et global.....31

Figure II.5 Exemples d'ensembles convexe (a) et non convexe (b).....32

Figure II.6 fonction convexe.....33

Figure II.7 fonction logarithmique « barrière ».....37

Chapitre III

Figure III.1 La configuration initiale du réseau étudié 46

Figure III.2 La topologie du réseau IEEE33 dans la reconfiguration optimale.....53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 Les puissances active et réactive aux nœuds.....44

Tableau III.2 La matrice line data.....45

Tableau III.3 Données de la configuration initiale.....47

Tableau III.4 Les Commutateurs ouverts de Réseau initia.....48

Tableau III.5 Données de la reconfiguration optimale.....52

Tableau III.6 Les Commutateurs ouverts dans la reconfiguration optimale.....53

Tableau III.7 Résultats des pertes pour les deux configurations.....54

Tableau III.8 Données final après la reconfiguration..... 55

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.
$\bar{z}_{ij}$	L'impédance complexe de la ligne du bus *i* à *j*
p_i	La puissance active de la charge au nœud i.
q_i	La puissance réactive de la charge au nœud i.
v_0	La tension nominale.
v_i	La tension au nœud i.
r_{ij}	Résistance de la ligne du bus *i* à *j*.
x_{ij}	Réactance de la ligne du bus *i* à *j*.
δ_j	L'angle de jeu de barre d'extrémité de réception.
δ_i	L'angle de jeu de barre d'extrémité de réception.
λ_k	C'est le déplacement à chaque itération
QP	Programmation Quadratique.
QCP	Programmation quadratiquement contrainte.
SOCP	Programmation de cônes de deuxième ordre.
p_{ij}	Flux de puissance active du bus *i* à *j*.
q_{ij}	Flux de puissance réactive du bus *i* à *j*.
p_i^L	Charge de puissance active au bus *i*.
q_i^L	Charge de puissance réactive au bus *i*.
v_i^2	Amplitude de la tension quadratique au bus *i*.
v_j^2	Amplitude de la tension quadratique au bus j.
B	Ensemble de bus.
B^F	Sous-ensemble de bus qui sont des sous-stations.
$B \backslash B^F$	Sous-ensemble de bus qui ne sont pas des sous-stations.
p_i^F	Puissance active du bus *i* de la sous-station.

q_i^F	Puissance réactive du bus *i* de la sous-station.
W	Ensemble de lignes
W^s	Ensemble de lignes avec des commutateurs.
$W \backslash W^s$	Ensemble de lignes sans interrupteurs
y_{ij}	Variable de commutateur discret.
z_{ij}	Variable d'orientation de ligne continue.
M	Paramètre disjonctif.
X	solution.
S	Switch (Interrupteur).

Table des matières

Liste des figures……..…….....i
Liste des tableaux……..…….....ii
Nomenclatures.....iii
Table des matières…….....iv
Introduction Générale …….....01

Chapitre I : Ecoulement de puissance dans le réseau de distribution par la méthode de Baran

I.1/Introduction.....05

I.2/Généralités sur les réseaux électriques de distribution.....06

I.2.1/ Fonction des réseaux de distribution.....06
I.2.2/ Différentes structures des réseaux.....07
a) Structure radiale.....07
b) Structure bouclée.....08
c) Structure maillée.....08
I.2.3/ Architecture des réseaux de distribution.....09
I.2.4/ Gestion des réseaux de distribution.....09

I.3/ Contexte théorique.....10

I.3.1/ Modélisation des branches et des charges.....10
I.3.1.1/ Modélisation des branches.....10
I.3.1.2/ Modélisation des charges 11
I.3.1.3/ Équations de base.....11

I.4/ Méthode de Baran 15

I.4.1/Définition Les équations DistFlow 15
I.4.2/ Formulation du problème 16
I.4.3/ Les pertes par effet de Joule 17

I.5/ Conclusion.....17

Chapitre II : reconfiguration optimal par l'optimisation convexe

II.1/ Introduction.....19

II.2/ Notions de Reconfiguration.....20

II.2.1/Système de distribution radial.....21
II.2.2/ La reconfiguration du réseau de distribution.....21
II.2.3/Modèle mathématique du processus de reconfiguration.....23
II.2.4/Méthodes et stratégies de reconfiguration.....24
II.2.5/ Avantage de reconfiguration.....27

II.3/ Positionnement de notre problématique.....27

II.4/Cadre général de l'optimisation mathématique.....29

II.4.1/Conceptualisation d'un modèle.....29
II.4.2/Forme générale.....30
II.4.3/ Définitions et terminologie.....30
a) Optimum local.....31
b) Optimum global.....31
c) Ensemble convexe.....32
d) Fonction convexe.....33
e)Importance de la convexité.....34

II.5/ Classification des problèmes.....34

II.6/ Méthodes d'optimisation déterministes.....35

II.6.1/ Méthode du gradient.....35
a)Formulation mathématiques.....36
b)Avantages et inconvénients.....36
II.6.2/Méthode de Newton.....37
II.6. 3 / Méthode du point intérieur.....37
II.6.4/ Technique de programmation quadratique.....38

II.7/Conclusion 39

Chapitre III : Simulation et Analyse des Résultats

III.1/ Introduction.....41

III.2/ Modèles convexes de distribution ,Reconfiguration du système.....41
III.2.1 Les Equations DistFlow.....43

III.3./Présentation du réseau IEEE 33 nœuds.....44
III.3.1/ la configuration initial.....46
III.3.1.1/Les résultats obtenus dans la configuration initial 47
III.3.2/la reconfiguration optimale.....48
III.3.2.1/Modèle convexe 48
III.3.2.2/ Les résultats obtenus âpres la reconfiguration.....54

III.4/Interprétation des résultats.....56

III.8/ Conclusion.....57

Conclusion Générale.....58

Bibliographie.....61

Introduction générale

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

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 [1].

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].

Pour réduire les pertes actives dans les réseaux de distribution, nous proposons de reprendre la méthode de M. Taylor (MIT) qui est une méthode conventionnelle basée sur une nouvelle formulation du problème de la reconfiguration.

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 ont été utilisées avec succès pour trouver des solutions sous-optimales rapidement. La programmation quadratique qui est la méthode utilisée dans ce mémoire, a été utilisé pour trouver des solutions optimales. Les sociétés de services publics d'électricité ont actuellement besoin d'un programme ou un algorithme qui peut être appliqué à leurs grands systèmes de distribution triphasés déséquilibrés [3].

Le travail est structuré en deux chapitres théoriques et une étude de cas. Dans le premier chapitre 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 et expliquer la méthode de Baran.

Le deuxième chapitre est dédié 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…).

La dernière partie dans le 2eme chapitre a pour sujet l'optimisation où nous allons présenté les outille d'optimisation utilisée. Puis les paramètres d'optimisation et la fonction objective avec ses contraintes. Nous avons écris les définitions de (optimum local, optimum global, Ensemble convexe et la fonction convexe avec Importance de la convexité). Pour la Classification des problèmes nous avons choisi la méthode d'optimisation.

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 I

Ecoulement de puissance dans le réseau de distribution par la méthode de Baran

I.1/Introduction

L'écoulement de puissance 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.

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 dépend des lois de base da la méthode de Baran.

I.2/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 il est différent de leur topologie, niveaux de tension, dimension, exploitation, etc.

Il est différent également dans leurs objectifs et donc par les acteurs qui vont intervenir dans l'un ou l'autre [3].

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, d'ont les conditions sont de respecter les paramètres de qualité de la fourniture, l'un d'eux est la continuité de fourniture de l'électricité.

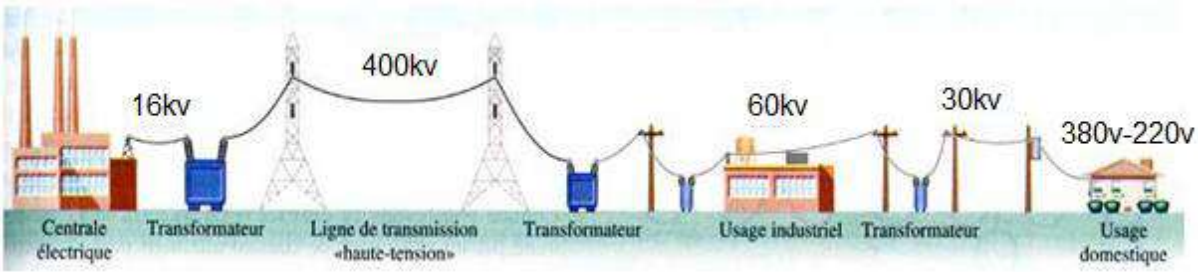


Figure I.1 Composants Principales d'un système électrique

I.2.1/ 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 bas tension (BT).

- un réseau moyen tension (MT).

A l'approche des usagers, les puissances à distribuer sont faibles d'où de la BT, mais pour alimenter il faut un nombre d'usagers important, il est nécessaire, 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 [4].

I.2.2/ Différentes structures des réseaux

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

- Structure radial.
- Structure bouclée.
- Structure maillé.

a) 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.

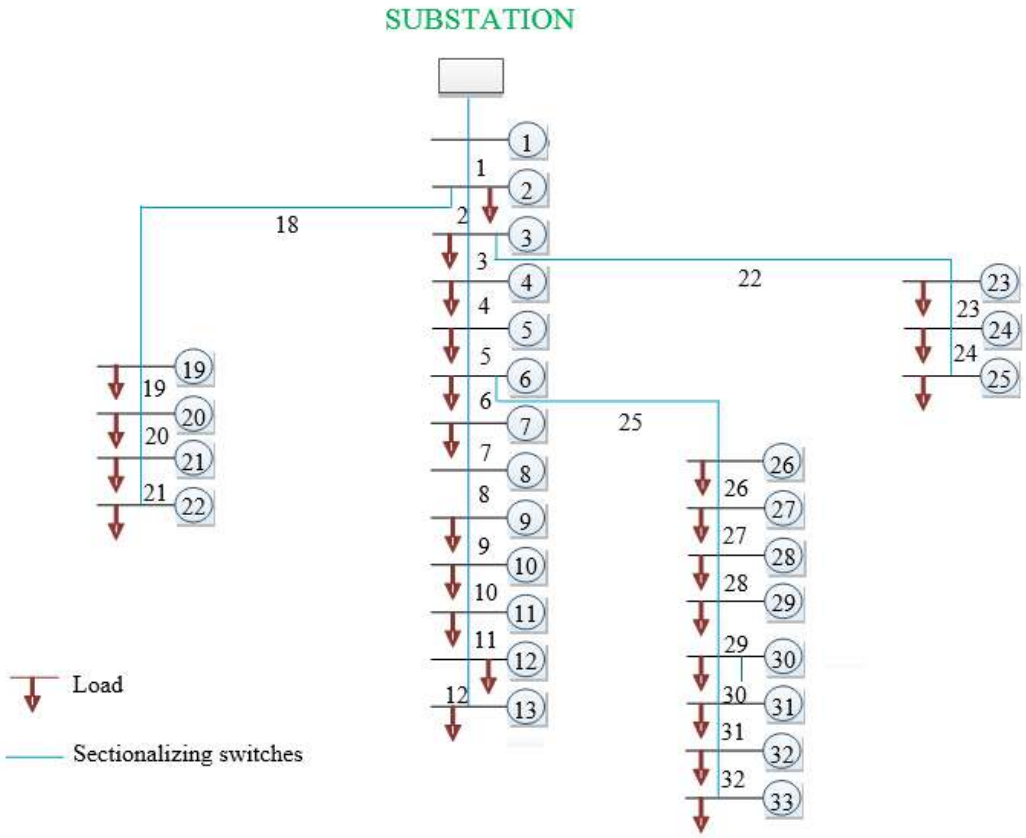


Figure I.2 Structure radiale des réseaux électrique

- La structure radiale peut être :

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.

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'arrêt de la première.

b) Structure bouclée

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

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

c) 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 réunis à leurs deux extrémités d’appareils de coupure, l'isolant en cas d’arrêt. Présente une meilleure sécurité au prix le plus élevé [4].

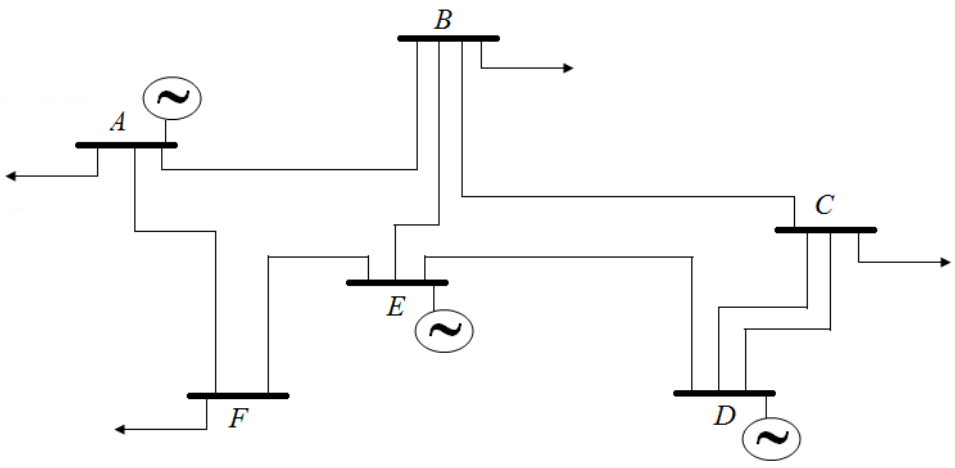


Figure I.3 Structure maillée des réseaux électrique

I.2.3/ Différents niveau de tension existent dans les 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 [5].

La nouvelle norme en vigueur en Algérie 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.

I.2.4/ 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 [6].

I.3/ Contexte théorique

La partie suivante explique le contexte théorique de l'algorithme de l'écoulement de puissance de réseau électrique utilisé dans ce travail.

I.3.1/ Modélisation des branches et des charges

I.3.1.1/ 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.

Il est supposé que le réseau de distribution triphasé est équilibré et peut être représenté par un schéma équivalent d'une seule ligne (branche).

La capacité entre ligne et terre au niveau de tension d'alimentation est faible et donc négligée **[7].**

Un modèle simple d'une ligne de distribution , qui a été utilisée dans l'algorithme, est montré dans la Figure (I.4) :

$$\bar{z}_{ij} = r_{ij} + j\, x_{ij} \tag{I.1}$$

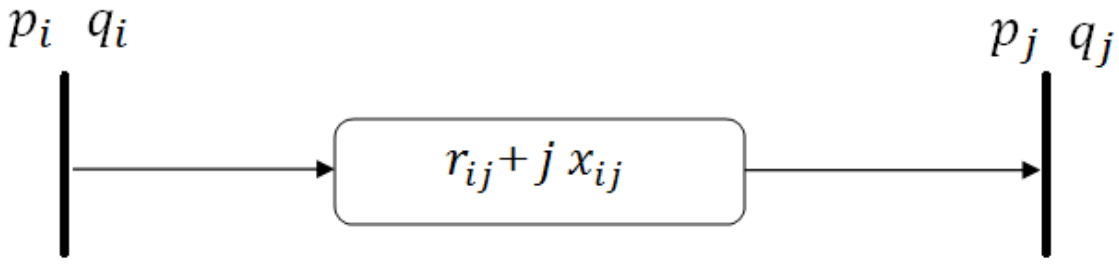


Figure I.4 Schéma unifilaire d'une ligne de distribution

I.3.1.2/ 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 :

$$p_i = p_{Oi}\left(\frac{v_i}{v_o}\right)^{\alpha} \tag{I.2}$$

$$q_i = q_{Oi}\left(\frac{v_i}{v_o}\right)^{\beta} \tag{I.3}$$

Où :

- p_{Oi} et q_{Oi} sont les puissances actives et réactives nominales.
- v_o est la tension nominale.
- p_i et q_i sont la puissance active et réactive de la charge au noeud « 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.

I.3.1.3/ Équations de base

Un certain nombre de méthodes de calcul de l'écoulement de puissance utilise des équations récursives sous différentes formes considérant d'extrémité d'envoi (*i*) ou l'extrémité de réception (*j*).

Ces équations sont proposées dans [8] et seront également utilisés dans ce travail :

- La tension de jeu de barre d'extrémité de réception considérant les puissances d'extrémité d'envoi de la ligne est donnée ci-dessous:

$$v_j^2 = v_i^2 - 2\left(r_{ij}p_i + x_{ij}q_i\right) + \frac{\left(r_{ij}^2+x_{ij}^2\right)}{V_j^2}\left(p_i^2 + q_i^2\right) \qquad \text{(I.4)}$$

Avec :

v_i^2 Amplitude de la tension quadratique au bus i.

v_j^2 Amplitude de la tension quadratique au bus j.

r_{ij} Résistance de la ligne du bus i à j .

x_{ij} Réactance de la ligne du bus i à j .

p_i Puissance active de la charge au nœud i .

q_i puissance réactive de la charge au nœud i .

a) démonstration de l'équation de base

* d'âpre le modèle d'une ligne de distribution on a :

$$\bar{v}_j = \bar{v}_i - (r_{ij} + jx_{ij})\bar{I}_{ij} \qquad \text{(I.5)}$$

Étape 01

On a :

$$s_i^* = \bar{v}_i^*.\bar{I}_{ij} \qquad \text{(I.6)}$$

Alors :

$$v_j^2 = v_i^2 + \left(r_{ij} + jx_{ij}\right)^2 I_{ij}^2 - 2\bar{v}_j\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)\bar{I}_{ij} \quad \text{(I.7)}$$

$$v_j^2 = v_i^2 - 2\bar{v}_j\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)\bar{I}_{ij} + \frac{\left(r_{ji}^2 + x_{ij}^2\right)}{v_i^2} I_{ij}^2 v_i^2 \quad \text{(I.8)}$$

$$v_j^2 = v_i^2 - 2\bar{v}_j\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)\frac{s_i^*}{v_i^*} + \frac{\left(r_{ji}^2 + x_{ij}^2\right)}{v_i^2}\frac{s_i^{*2}}{v_i^*} v_i^2 \quad \text{(I.9)}$$

$$v_j^2 = v_i^2 - 2\frac{\bar{v}_j}{v_i^*}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)s_i^* + \frac{\left(r_{ji}^2 + x_{ij}^2\right)}{v_i^2} s_i^{*2} \quad \text{(I.10)}$$

$$v_j^2 = v_i^2 - 2\frac{\bar{v}_i}{v_i^*}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)s_i^* + \frac{\left(r_{ji}^2 + x_{ij}^2\right)}{v_j^2}\left(p_j^2 + q_j^2\right) \quad \text{(I.11)}$$

Étape 02

- d'âpres Les équations (I.4) et (I.11) on a :

$$-2\frac{\bar{v}_j}{v_j^*}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)j = -2\left(r_{ij}p_i + x_{ij}q_i\right) \quad \text{(I.12)}$$

On pose :

$$-2\left(r_{ij}p_i + x_{ij}q_i\right) = X \quad \text{(I.13)}$$

Alors:

$$X = -2\frac{\bar{v}_j}{v_j^*}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)\left(p_i - jq_i\right) \quad \text{(I.14)}$$

On a:

$$\bar{v}_j = j(cos\delta + jsin\delta) \quad \text{(I.15)}$$

$$v_j^* = v_j(cos\delta - jsin\delta) \quad \text{(I.16)}$$

Alors:

$$X = 2\bar{v}_j\left[\frac{1}{j}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)\left(p_i - jq_i\right)\right] \quad \text{(I.17)}$$

$$X = 2\bar{v}_j \left[\frac{v_j(cos\delta + jsin\delta)\left(r_{ij}p_i + jx_{ij}q_i\right) + j\left(r_{ij}p_i + jx_{ij}q_i\right)}{v_j(cos\delta + jsin\delta)v_j^*} \right] \quad (I.18)$$

On pose :

$$\alpha = r_{ij}p_i \quad (I.19)$$

$$\beta = x_{ij}q_i \quad (I.20)$$

$$X = -2\bar{v}_j \left[\frac{(cos\delta + jsin\delta)(\alpha + j\beta)}{(cos\delta + jsin\delta)(cos\delta - jsin\delta)v_j} \right] \quad (I.21)$$

On a:

$$(cos\delta + jsin\delta)(cos\delta - jsin\delta) = 1 \quad (I.22)$$

Alors:

$$X = -2v_j \left[\frac{(cos\delta + jsin\delta)(\alpha + j\beta)}{v_j} \right] \quad (I.23)$$

$$X = -2(cos\delta + jsin\delta)(\alpha + j\beta)(cos\delta + jsin\delta) \quad (I.24)$$

$$X = -2(cos\delta + jsin\delta)[(\alpha cos\delta - \beta sin\delta) + j(\beta cos\delta + \alpha sin\delta)] \quad (I.25)$$

$$X = -2[\alpha cos^2\delta - \beta\, cos\,\delta\, sin\delta + j\beta cos\delta sin\delta + \alpha sin^2\delta] \quad (I.26)$$

$$X = -2[\alpha cos^2\delta + \alpha sin^2\delta] \quad (I.27)$$

$$X = -2\alpha[cos^2\delta + sin^2\delta] \quad (I.28)$$

$$X = -2\alpha \quad (I.29)$$

- D'âpre L'équation (I. 19) On a :

$$X = -2\left(r_{ij}p_i + jx_{ij}q_i\right) \quad \text{(I.30)}$$

- D'âpre (l'étape 1) résultat et (l'étape 2) on a réussie de démontriez l'équation de base.

- La tension de jeu de barre d'extrémité réceptif considère les puissances d'extrémité de réception de la ligne, est donnée ci-dessous:

$$v_j^2 = -\left(r_{ij}p_j + x_{ij}q_j - \frac{V_i^2}{2}\right)^2 + \sqrt{\left(r_{ij}p + x_{ij}q_j - \frac{V_i^2}{2}\right)^2 - \left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right)\left(p_i^2 + q_i^2\right)} \quad \text{(I.31)}$$

- En utilisant la valeur de tension de jeu de barre d'extrémité de réception, l'angle de jeu de barre d'extrémité de réception peut être calculé par l'équation donnée ci-dessous:

$$\delta_j = \delta_i - cos^{-1}\left(\sqrt{1 - \left(\frac{x_{ij}p_j + r_{ij}q_j}{v_i v_j}\right)^2}\right) \quad \text{(I.32)}$$

Avec :

δ_j L'angle de jeu de barre d'extrémité de réception.

δ_i L'angle de jeu de barre d'extrémité de réception.

Les pertes de lignes et entre les jeux de barre d'extrémité d'envoi et de réception peuvent être calculés en utilisant les équations (I.7) et (I.8):

$$ploss_{ij} = r_{ij}\frac{\left(p_j^2 + q_j^2\right)}{v_j^2} \quad \text{(I.33)}$$

$$qloss_{ij} = x_{ij}\frac{\left(p_j^2 + q_j^2\right)}{v_j^2} \quad \text{(I.34)}$$

I.4/ Méthode de Baran

M. Baran a écrit dans son article [9] que l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radial peut être décrit par un ensemble des équations récursives, appelées les équations DistFlow, qui utilisent la puissance active, la puissance réactive et l'amplitude de tension v_i à l'extrémité d'envoi d'une branche (p_i,q_i ,v_i) respectivement pour exprimer les mêmes quantités au réception de l'extrémité de la branche comme suit.

I.4.1/ Définition des équations DistFlow

Nous utiliserons largement les équations DistFlow pour les réseaux radiales [9]. p_{ij} et q_{ij} indiquant la puissance active et réactive au bus (*i)* allant à (*j*), v_i est l'amplitude de tension, les charges actives et réactives au bus i sont exprimées en p_i^L et q_i^L.

Notez que p_{ij}et q_{ij} ne le font pas égal p_{ji} et q_{ji} , puisque v_i n'apparaît jamais dans notre formulation, nous considérons v_i^2comme une variable elle-même. Soit B l'ensemble des bus, W un ensemble des lignes, et r_{ij} et x_{ij} sont la résistance et la réactance de ligne. Sauf indication contraire, les contraintes à indice i unique sont terminées tous dans B, et les contraintes à double indice (*i, j*) sont terminées en W.

Les équations DistFlow sont données par :

$$\sum_{k:(i,k)\in W} p_{ik} = p_{ji} - r_{ij}\,\frac{\left(p_{ji}^2 + q_{ji}^2\right)}{v_j^2} - p_i^L \qquad (\text{I.}35)$$

$$\sum_{k:(i,k)\in W} q_{ik} = q_{ji} - x_{ij}\,\frac{\left(p_{ji}^2 + q_{ji}^2\right)}{V_j^2} - q_i^L \qquad (\text{I.}36)$$

$$v_i^2 = v_j^2 - 2\left(r_{ij}p_{ji} + x_{ij}q_{ji}\right) + \left(r_{ji}^2 + x_{ij}^2\right)\frac{\left(P_{ji}^2 + q_{ji}^2\right)}{V_j^2} \qquad (\text{I.}37)$$

I.4.2/ Formulation du problème

L'écoulement de puissance dans le réseau électrique de distribution génère des pertes, Ces pertes doivent être identifiées puis éliminer 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.

I.4.3/ 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 qui apparaissent dans les équations DistFlow (I.35) (I.36).

Pour minimiser les pertes dans un réseau de distribution il doit être une reconfiguration optimale par l'optimisation convexe.

I.5/ Conclusion

Dans ce chapitre, d’abord nous avons donnés une généralité sur le réseau de distribution et la modélisation de branches et des charger avec les équations de base pour étudier l'écoulement de puissance dans ce réseau.

En fait, M.Baran nous a donné la méthode d'écriture des équations DistfFlow à travers les équations de base de ce réseau électrique, qui génère un problème dans l’écoulement de puissance qui sont les pertes, qui apparaissent dans les équations DistFlow.

En fin, sachant qu'il ya ce problème des pertes nous allons travailler pour le minimises. c'est ce que nous vairons dans le prochain chapitre.

CHAPITRE II

Reconfiguration optimal par l’optimisation

convexe

II.1/ Introduction

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-linaire en nature [10].

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.

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 » [11].

Nous allons maintenant proposer un modèle complet pour le problème de la reconfiguration optimal des réseaux de distribution. Au-delà de la problématique liée à la manière de représenter en coordonnées polaires ou cartésiennes, le modèle proposé est en quelque sorte basé sur la manière de voir les liens qui existent entre les différents composants du réseau. On parlera d’une autre forme de modélisation.

En effet, au lieu de partir sur les modèles habituels d'expression des équations de répartitions de charge, à savoir le modèle bidirectionnel en coordonnées polaires et le modèle nodal en coordonnées cartésiennes, nous utiliserons le modèle d’équations de Baran [9] encore appelées « Distflow en anglais» pour exprimer ces liens.

Ce que nous utiliserons dans notre étude pour résoudre le problème du premier chapitre, minimiser les pertes de puissance totale dans le réseau de distribution IEEE 33noeuds et obtenir le meilleur schéma pour ce réseau.

II.2/ Notions de Reconfiguration

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].

II.2.1/ 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 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.

II.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 [12], ainsi que l'amélioration du profil de tension.

La reconfiguration du réseau entraine 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 [13]. 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.

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 [13]:

- 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 rende difficile l'analyse et la visualisation des résultats [12].

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 du réseau radial 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 [14].

II.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 :

- Une fonction objectif.
- Des Contraintes d'égalité

- Des Contraintes d'inégalité.

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.

II.2.4/ Méthodes et stratégies de reconfiguration

Les méthodes de recherche dans l'espace des solutions peuvent être classées dans deux catégories [15] :

- 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 et la programmation quadratique 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 [6] :

a) 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 II.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.

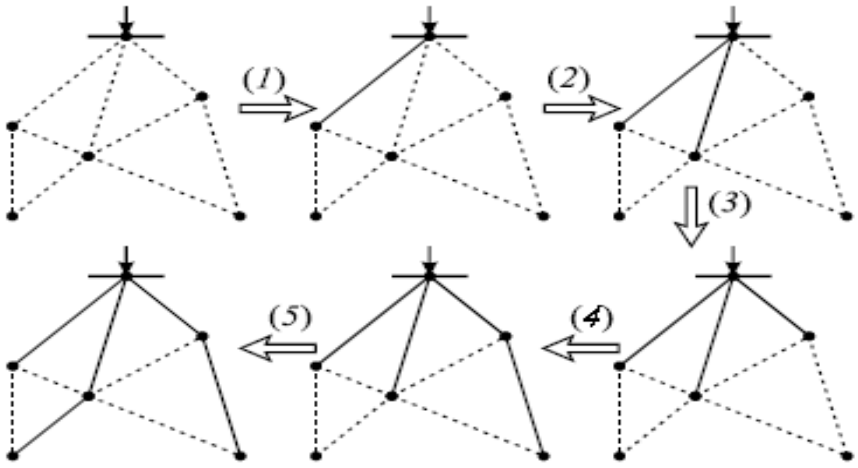


Figure II.1 Principe de la Stratégie Constructive

b) 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 II.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 objective peut être positive ou négative. Le choix sur les branches candidates est selon la variation pour l'objectif de reconfiguration.

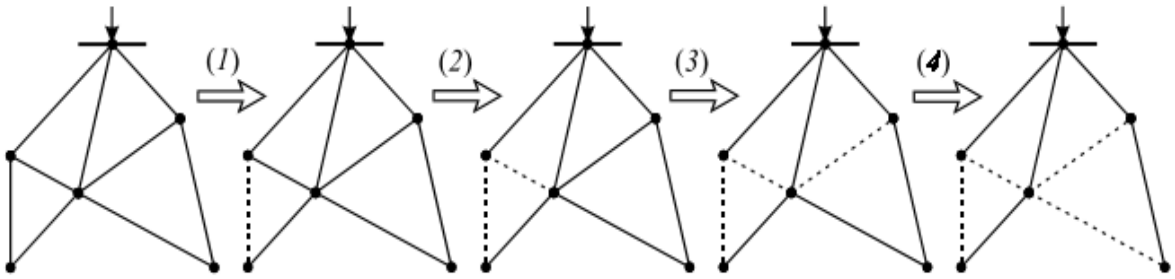


Figure II.2 Principe de la Stratégie Destructive

c) 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 II.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.

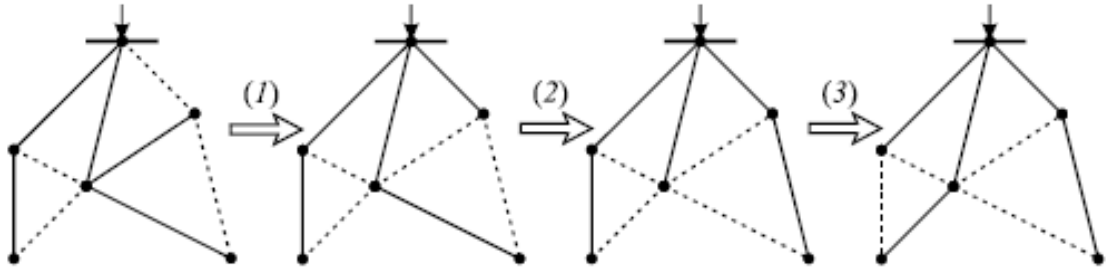


Figure II.3 Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches"

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.

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.

II.2.5/ 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.

II.3/ Positionnement de notre problématique

Un des critères de la planification de l'architecture de réseau que l'on prend en compte est la somme des pertes techniques sur la période de vie du projet.

Dans cette thèse, nous présentons les modèles de l'architecture du réseau de distribution ayant comme objectif la minimisation des pertes.

L'acheminement de l'énergie doit être réalisé en minimisant les pertes Joule (dissipation d'énergie électrique sous forme de chaleur : $p_J = RI^2$) en respectant les limites du courant sur les branches utilisées.

Le modèle physique exact du Problème de Répartition Optimale des Flux de Puissance (OPF – Optimal Power Flow : le modèle et la description des méthodes de résolution sont présentés dans [16]), couramment utilisé, et extrêmement complexe – l'objectif et les contraintes sont non-linéaires. Le réseau électrique donné est représenté sous forme de graphe planaire connexe et on cherche la structure arborescente optimale.

Pour cela, il faut introduire les variables binaires et ajouter les contraintes linéaires dans le modèle physique d'OPF. On obtient ainsi un modèle pour la recherche de topologie optimale.

Ce problème a été au centre d'efforts de recherches importants de nombreux chercheurs qui ont abouti à plusieurs méthodes de résolution approximative. Ces méthodes comprennent diverses familles d'algorithmes heuristiques et méta heuristiques comme les algorithmes génétiques [17], les algorithmes de recherche tabous [18], ainsi que les méthodes fondées sur la programmation mathématique [19].

Dans l'une des méthodes [1], les équations de Load Flow [9] ont été relaxées pour obtenir les modèles approximatifs en variables mixtes de la programmation quadratique et conique.

Dans cette thèse, pour le cas de la minimisation des pertes dans le réseau, nous posons les problématiques suivantes :

- développer, formuler et résoudre un modèle du problème de la recherche d'une structure arborescente optimale pour la minimisation des pertes dans un réseau existant.
- développer, formuler et résoudre un modèle pour le problème la conception d'une nouvelle architecture de réseau où les pertes sont minimales.

Pour la première partie, il repose sur une nouvelle formulation d'OPF qui est une relaxation convexe exacte [20]. Nous le formulons en termes de programmation quadratique dans le (Chapitre III). Bien que le modèle soit convexe et que nous puissions appliquer les méthodes d'optimisation convexe efficaces, nous montrons que le problème a pour cas particulier le problème de flot arborescent avec les pertes quadratiques minimales, qui est un problème difficile.

II.4/ Cadre général de l'optimisation mathématique

Un système est constitué d'un ensemble d'éléments qui interagissent entre eux suivant des principes et/ou des règles. A l'instar du système électrique, dans beaucoup de domaines (finance, informatique, biologie etc.), on cherche à comprendre, exprimer les interactions entre les différents éléments du système en soi. Cette compréhension permet d'identifier les

voies et les moyens afin d'atteindre les objectifs fixés (ex : optimiser les pertes Joule dans le réseau de distribution).

Ainsi, pour exprimer l'ensemble ou une partie des caractéristiques et des fonctionnalités du système, on a recourt très souvent à la modélisation.

II.4.1/Conceptualisation d'un modèle

En effet, la modélisation d'un système consiste à exprimer tout ou une partie des relations entre les différents éléments du système. Suivant le domaine d'application, le modèle peut être physique (ex: réseau de distribution à échelle réduite [21] de la plateforme pour émuler le comportement d'un réseau réel) ou abstrait (ensemble de fonctions mathématiques liant les différents éléments du système). La construction d'un modèle est un exercice à part entière.

La Programmation Mathématique (PM) offre la possibilité de décrire un modèle de manière abstraite comme l'atteste la définition de Liberti [22]: « La Programmation Mathématique est un langage descriptif pour formaliser les problèmes d'optimisation à l'aide de paramètres, de variables de décision, de fonctions objectifs et de contraintes ».

Classification : Programmation mathématique

Inconnues = entiers	⟶	Optimisation combinatoire
		Programmation en nombres entiers
Inconnues = réels	⟶	Optimisation continue
		Programmation linéaire (LP)
		Programmation non linéaire (NLP)
Inconnues = entiers et réels	⟶	Programmation quadratique mixte

II.4.2/Forme générale

Un problème d'optimisation ou un modèle de programmation mathématique est défini de manière générale comme suit [23]:

$$\begin{cases} \min f_0(x) \\ f_i(x) = b_i, i = 1, \dots\dots, n \\ f_j(x) \leq b_j, j = 1, \dots\dots, m \\ x \in X \end{cases} \qquad \text{(II.1)}$$

Avec :

- f_k des fonctions dépendant des variables x et des paramètres du problème, $k \in N$.
- L'ensemble X est le domaine de définition des variables (généralement $X \subseteq R^l$).
- le vecteur $x = (x_1, ., x_l)$ défini les variables décisionnelles ou d'optimisation du problème.
- $f_0 : X \rightarrow R$ désigne la fonction objectif
- $f_k : X \rightarrow R$ représentent les contraintes associées au problème a $b_k \in R$.

La minimisation est définie de manière analogue.

II.4.3/ Définitions et terminologie :

La résolution du problème de l'équation (II.1) consiste à trouver un point x qui donne la plus petite valeur de la fonction f_0 en respectant l'ensemble des contraintes associées. Tout point x appartenant à X et vérifiant les contraintes d'inégalité et d'égalité est une solution faisable ou réalisable. Lorsqu'il n'existe aucune solution réalisable, on dit que le problème est infaisable. Pour mieux comprendre la démarche suivie pour résoudre nos problèmes d'optimisation, nous rappelons ci-dessous quelques définitions et théorèmes, sans oublier la terminologie utilisée tout au long de ce manuscrit. Soit $x^* \in V$ une solution du problème (II.1) et qui satisfait toutes les contraintes de ce dernier.

a) Optimum local

La solution $x^* \in V$ (avec $V \subseteq X$) est un optimum local si et seulement si $\forall x \in V$, $f_0(x^*) \leq f_0(x)$. Le sous ensemble V définit le voisinage de x^* La notion d'optimum local est donc relative à un voisinage.

En effet, on pourrait trouver un autre voisinage $V' \subseteq X$ où il existerait une meilleure solution que x^*, donc un meilleur optimum pouvant, éventuellement, être global.

b) Optimum global

La solution $x^* \in X$ est un optimum global si et seulement si $\forall x \in X,\ f_0(x^*) \leq f_0(x)$. En d'autres termes, on ne peut pas trouver une meilleure solution que x^* sur tout l'ensemble X. La Figure (II.4) illustre la différence entre ces deux notions. On peut voir que l'optimum global se trouve bien dans le voisinage V' au lieu de celui de V.

L'une des difficultés majeures à laquelle est confrontée la communauté mathématique est la suivante : comment trouver l'optimum global d'un problème et assurer son optimalité ? Cette question peut être appréciée suivant un autre angle : comment choisir l'algorithme le plus efficace pour trouver et prouver l'optimum global ?

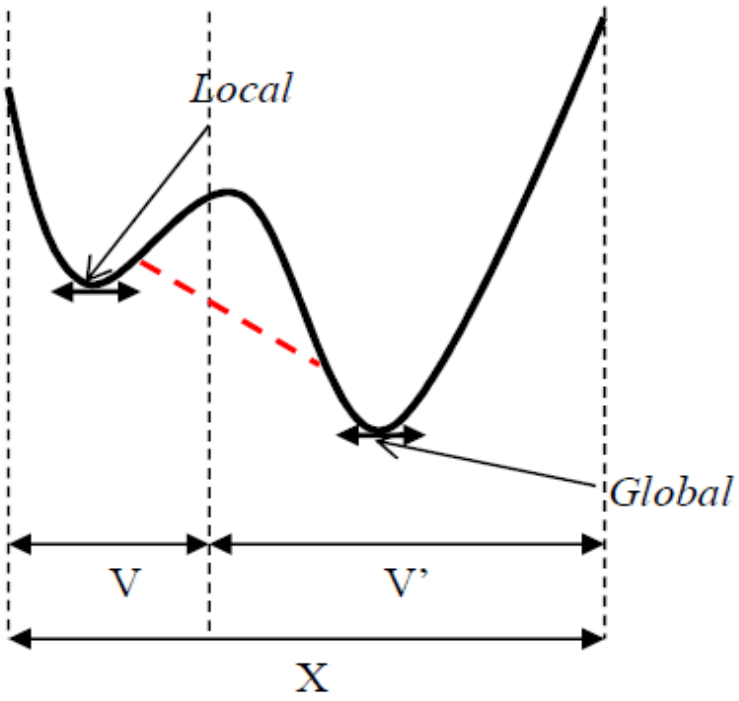


Figure II.4 Exemple d'optimums local et global

La fonction objective est-elle convexe ?

Fonctions d'une variable: la fonction est convexe si la deuxième dérivée est toujours non-négative.

fonctions des multiples variables: Il faut considérer la matrice dite Hessian, qui comporte toutes les deuxièmes dérivées partielles.

la fonction f(x):Rn ⟵ R1 est convexe si sa Hessian
$\nabla_2 f(x) \in R^n \times R^n$ est toujours positive semi-définie.

compliqué. vous allez apprendre beaucoup plus dans l'avenir.
maintenant. nous remarquerons que:
1/ $\nabla_2 f(x) = 2Q$ est toujours vrai pour les problèmes quadratique.
2/ il y quelque faits simples sur les fonctions convexes qui nous seront utiles.

c) Ensemble convexe

Un ensemble $X \subseteq R^n$, est convexe lorsque pour tout couple de point (x, y) appartenant à l'ensemble X, le segment entre ces deux points appartient à X. En d'autres termes :

$$\forall x, y \in X \quad et \quad \forall \theta / 0 \leq \theta \leq 1, \qquad \theta \cdot x + (1-\theta) \cdot y \in X.$$

Les exemples fournis par la Figure (II.5) décrivent la notion d'ensemble convexe. En effet, en posant $z = \theta \cdot x + (1-\theta) \cdot y$, on s'aperçoit qu'il peut exister un z hors du contour de l'ensemble X pour les ensembles non convexes.

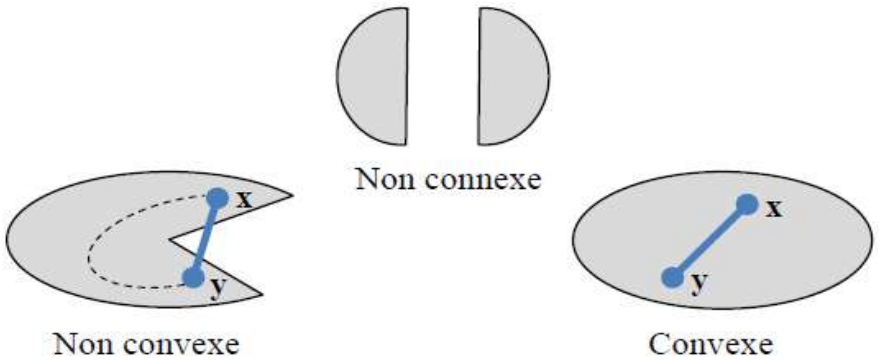


Figure II.5 Exemples d'ensembles convexe (a) et non convexe (b)

d) Fonction convexe

Les fonctions $f_k : X \to R$ définies sur l'ensemble convexe $X \subseteq R^n$ sont dites convexes si :

$$\forall x, y \in X ,$$

$$\forall \alpha, \beta \in [0,1] / \alpha + \beta = 1,$$

$$f_k\ (\alpha \cdot x + \beta \cdot y) \leq \alpha . f_k\,(x) + \beta\ f_k\,(y)$$

- La fonction f_k est concave si $\{ -f_k \}$ est convexe.

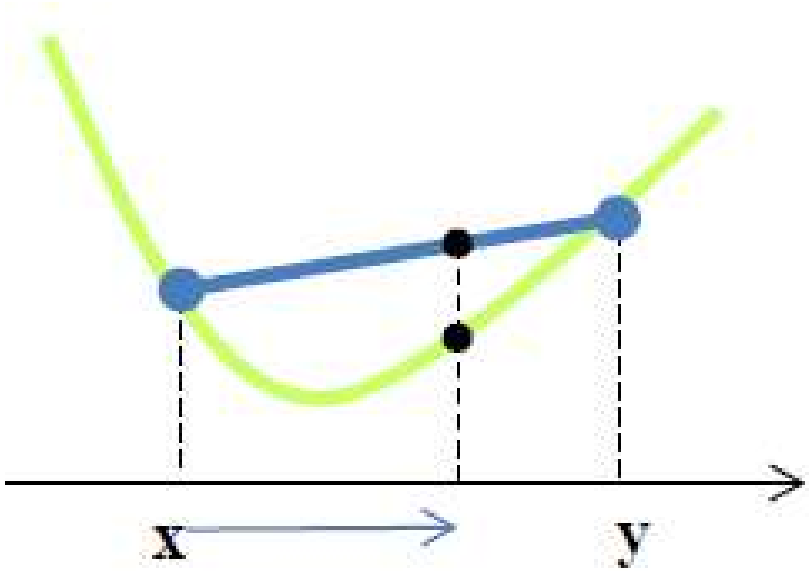


Figure II.6 fonction convexe

La Figure (II.5) illustre l'interprétation géométrique d'ensembles convexe et non convexe par rapport à la notion d'optimums local et global. On comprend aisément que pour qu'une fonction soit convexe, pour tout segment de deux points appartenant à sa courbe (Définition II-4), il faut que le tracé de la fonction f_k entre ces points reste entièrement en dessous. Ce qui n'est pas le cas sur la Figure (II.4), car la courbe de la fonction est au-dessus du segment rouge (en pointillés) reliant deux points. Au-delà de cette illustration, il est intéressant de faire quelques commentaires comme le rappelle. Si la fonction $f_k\ (x)$ est convexe, alors les contraintes de la forme $f_k\ (x) \leq b_k$ sont convexes. Cependant les inégalités de la forme : $f_k\ (x) \geq b_k$ ne sont pas en général convexes sauf dans les cas où $f_k\ (x)$ est linéaire. De plus, si l'ensemble des solutions faisables X est défini par des contraintes convexes, alors il est convexe aussi. On peut rajouter que la somme de deux fonctions convexes est convexe. Les références [23] couvrent largement les notions relatives à la convexité. On parle d'optimisation convexe dans le cas où le problème (équation (II-1)) respecte les propriétés suivantes:

- Les fonctions f_k sont convexes.
- L'ensemble X est convexe.

Théorème (II-1) [23]. Soit le problème de l'équation (II-1), tout optimum local est un optimum global lorsqu'on est dans le cadre de l'optimisation convexe, i.e., les fonctions f_k et l'ensemble X sont convexes.

e)Importance de la convexité

Théorème (II-1) prouve l'importance de la convexité pour un problème d'optimisation. En effet, dans le cadre de l'optimisation convexe, une fois qu'un optimum est trouvé, on est assuré de ne pas pouvoir en trouver un meilleur. A contrario de l'optimisation des problèmes non convexes où aucune certitude n'est apportée sur l'optimalité de la solution obtenue. Pour plus de détails sur ces notions, le lecteur pourra se reporter à la référence [23] relative aux conditions d'optimalité de Karush-Kuhn-Tucker (KKT).

II.5/ Classification des problèmes

Suivant la forme des fonctions f_k, de x et de X, le problème général de l'équation (II.1) est de nature différente. Ainsi, on peut le classer en familles suivant plusieurs critères [25] :

- Suivant la nature de la solution (optimisation locale ou globale).
- Suivant la nature de la fonction objectif et des contraintes (optimisation sous ou sans contraintes ou de problème de complémentarité linéaire).
- Suivant le type de décisions à prendre, i.e. sur les variables décisionnelles.

Nous avons choisi, dans le cadre de ce manuscrit, la dernière catégorie mais nous préciserons si nécessaire les connexions par rapport aux autres classes. Nous présenterons dans la suite les différentes formes de problèmes que l'on rencontrera dans ce manuscrit dans l'optique de mieux situer notre problématique.

Dans la littérature, nous trouvons de nombreuses méthodes d'optimisation conventionnelles (déterministes).

Il est possible de classer ces méthodes en deux grandes catégories : programmation linéaire et programmation non-linéaire.

Le premier groupe traite de la résolution des problèmes parfaitement représentés par un système d'équations linéaires, tandis que la programmation non-linéaire traite les problèmes non-linéaires. Les méthodes déterministes sont basées sur le calcul de la dérivée du problème, ou sur des approximations de cette dernière.

II.6/ Méthodes d'optimisation déterministes

Beaucoup de techniques d'optimisations classiques telles la programmation linéaire et non linéaire, la méthode de gradient, la méthode de newton, la méthode de point intérieur, la programmation quadratique, ont été appliquées pour résoudre le problème d'optimisation liés à la planification et le control des réseaux électriques.

Ces méthodes ayant la propriété de converger vers la solution mathématique exacte « réelle » tout en respectant certaines conditions liées au bon fonctionnement du processus envisagé, ces dernières appelées contraintes d'égalités et d'inégalités.

II.6.1/ Méthode du gradient

Historiquement, les méthodes de gradient sont les plus anciennes. Elles permettent de résoudre des problèmes non linéaires et sont basées sur une hypothèse forte sur la connaissance de la dérivée de la fonction objective en chacun des points de l'espace [24]. Cette méthode peut être classée en deux catégories de premier ordre et de deuxième ordre, le premier ordre basé sur une approximation linière en séries de Taylor avec initialisation de gradient, et le deuxième ordre base sur l'approximation quadratique en séries de Taylor avec initialisation de gradient en utilisant l'Hessien H.

a) Formulation mathématiques

On choisit un point de départ x_0 et on calcule le gradient $\nabla f(x_0)$ en x_0. Comme le gradient indique la direction de plus grand augmentation de *f*, on se déplace d'une quantité λ_0 dans le sens opposé au gradient et on définit le point x_1 :

$$x_1 = x_0 - \lambda_0 \frac{\nabla f(x_0)}{\|\nabla f(x_0)\|} \qquad \text{(II. 2)}$$

Cette procédure est répétée et engendre les points x_0, x_1 ,..., x_k . Ainsi, pas à pas, la distance ente le point d'indice k et l'optimum diminue :

$$x_k + 1 = x_k - \lambda_k \frac{\nabla f(x_k)}{\|\nabla f(x_k)\|} \quad \forall\, k, \lambda_k > 0 \qquad \text{(II. 3)}$$

Avec :

λ_k : C'est le déplacement à chaque itération ;

Si $\lambda_k$est fixé, on parle de méthode de gradient à pas prédéterminé. L'inconvénient de cette procédure est que la convergence est très dépendante du choix du pas de déplacement. La convergence peut être très lente si le pas est mal choisi. L'intérêt principal de cette méthode est de pouvoir se généraliser aux cas de fonctions ne sont pas différentiables.

b) Avantages et inconvénients

L'inconvénient de ces méthodes est que la convergence est ralentie pour certains types de fonctions : les déplacements successifs sont orthogonaux, donc l'algorithme va être piégé si les vallées (s'il s'agit d'une minimisation) sont étroites. Dans le cas des fonctions non convexes, la méthode risque de converger vers un optimum local dépendant du point de départ choisi. Dans des régions plates, ou raides, la convergence sera fortement ralentie.

II.6.2/Méthode de Newton

La méthode de Newton est une méthode très puissante à cause de sa convergence rapide, en particulier si l'estimation initiale de la solution $x^{(0)}$est suffisamment proche de la solution optimale $x^{(*)}$. L'idée de cette méthode est de minimiser, à chaque itération *k*, une approximation quadratique de la fonction objective originale $f\,(x)$ au voisinage de

l'estimation actuelle de la solution $x^{(k)}$ L'approximation quadratique de $f\,(x)$ est obtenue à partir du développement en série de Taylor à l'ordre 2 [1] [15].

$$f(\,x^{\,(k+1)}) = f(\,x^{\,(k)}) + \left[\nabla f(x^{\,(k)}\right]^T + \left[\Delta x^{\,(k+1)}\right] + \left[\Delta x^{\,(k+1)}\right]^T \left[\nabla^2 f(x^{(k)}[\Delta x^{\,(k+1)}]\right] \text{ (II.4)}$$

Ou: *F:* $R_n \rightarrow R_n$ est régulière (au moins différentiable). On cherche donc $x^{(*)}$ tel que : $F(x) = 0$, Pour toute $i = 1, \ldots . n$.

II.6. 3 / Méthode du point intérieur

L'origine, les méthodes de type « Point Intérieur » ont été conçues pour résoudre les problèmes de programmation non linéaire. Des recherches plus approfondies sur ces méthodes ont montré qu'elles donnaient de très bonnes performances en termes de vitesse de convergence pour les problèmes de grande échelle.

L'algorithme présenté dans cette section, connu sous le nom d' « algorithme primal-dual » est l'un des plus utilisé. Le principe de cette méthode est de rajouter à la fonction objective une fonction logarithmique « barrière » incluant des contraintes et qui décroît progressivement au fil de l'optimisation pour tendre vers 0.

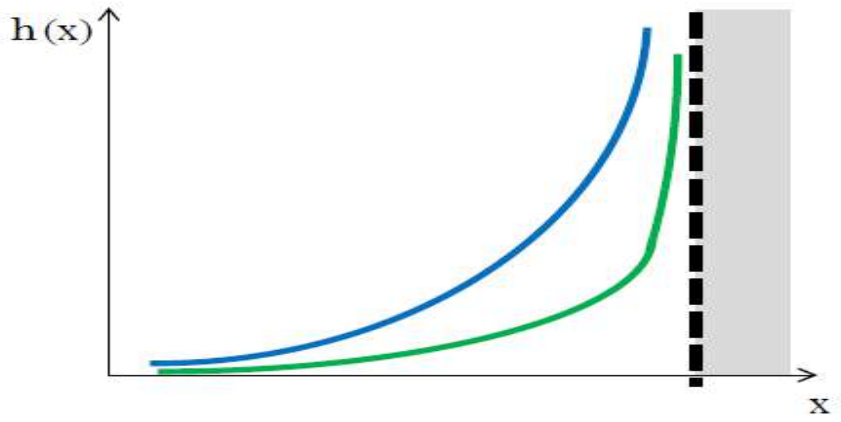


Figure II.7 fonction logarithmique « barrière »

Typiquement, considérons un problème de la forme [1]:

$$\min f(x) \qquad avec\ h(x) \geq 0 \qquad \text{(II.5)}$$

On peut théoriquement transformer ce problème contraint, en incorporant les contraintes d'inégalités dans la fonction objective, en un problème non contraint:

$$\min f_u\,(x, \mu^k) avec \quad f_u(x, \mu^k) = f(x) - \mu^k \sum_i ln\, h_i\,(x) \qquad \text{(II. 6)}$$

Où $\mu^k > 0$ est un paramètre de pénalisation qui tend vers 0 au fil des itérations par remise à jour appropriée. Le choix de la valeur initiale de μ_0 ainsi que sa procédure de remise à jour doivent être choisis de manière judicieuse pour éviter les problèmes de divergence.

II.6.4/ Technique de programmation quadratique

Cette technique est une classe spéciale de la programmation non linéaire où la fonction objective est une approximation quadratique avec des contraintes linéaires. Ces techniques utilisent les dérivées du deuxième ordre pour améliorer la vitesse de convergence ainsi que la procédure quasi- Newtonienne, ou une approximation du Hessien est faite. Cependant, dans les méthodes quasi- Newtoniennes la matrice Hessien réduite construite itérativement est une matrice pleine, ce qui peut rendre ces méthodes trop lentes si le nombre de variables est important.

Soit $x \in R^n$. n s'agit de minimiser une fonction objective de la forme suivante :

$$f(x) = \frac{1}{2} X^T Q_X + C^T X \qquad \text{(II. 7)}$$

Avec :

Gradient : $g(x) = Q_X + C$

Hessien : $H(x) = Q$

Q est une matrice symétrique. Dans le cas où elle est semi-définie positive, la fonction f est convexe et le problème a au moins une solution (s'il existe un point satisfaisant les contraintes). Si Q est définie positive, f est strictement convexe et il existe une unique solution.

Hessien : Différentiabilité oredre2

f fonction deux fois différentiable de R^n dans R

Hessien de f en x : $H(x)=\nabla^2 f(x)$

$$H(x): R^n \longrightarrow R^{n.n}$$

$$H(X)=\left(\frac{\partial^2 f(x)}{\partial X_i \partial X_j}\right)_{i.j=1\ldots n} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial X_1} & \frac{\partial^2 f(x)}{\partial X_1 \partial X_n} \\ \frac{\partial^2 f(x)}{\partial X_n \partial X_1} & \frac{\partial^2 f(x)}{\partial^2 X_n} \end{pmatrix}$$

Dans la programmation quadratique, la fonction-objectif est quadratique et les contraintes sont linéaires ou quadratiques. Si toutes les (certaines) variables sont supposées entières on parle de la programmation en nombres entiers (programmation mixte). Dans le cas où les données (ou une partie) sont des variables aléatoires, la solution du problème d'optimisation est recherché par des méthodes de programmation stochastique [25].

II.7/Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'expliquer certains points sur la façon de minimiser les pertes et d'ouvrir le problème présenté au chapitre I en faisant cela une reconfiguration optimal dans le réseau de distribution par l'optimisation convexe.

Pour cela, d'abord nous avons donnes un Notions de Reconfiguration et un Cadre général de l'optimisation mathématique ou une programmation mathématique.

En suit, nous avons écrives les définitions de (optimum local, optimum global, Ensemble convexe et la fonction convexe avec Importance de la convexité). Pour la Classification des problèmes et choisir la méthode d'optimisation.

En fin, nous avons écrit quelques méthodes d'optimisation déterministes avec des explications pour choisir la méthode appropriée et les utiliser dans le dernier chapitre pour résoudre le problème de pertes.

CHAPITRE III

Simulation et analyse des résultats

III.1/ Introduction

En effet, au lieu de partir sur les modèles habituels d'expression des équations de répartitions de charge, à savoir le modèle bidirectionnel en coordonnées polaires et le modèle

nodal en coordonnées cartésiennes, nous utiliserons le modèle d'équations de Baran [2] encore appelées « Distflow en anglais» pour exprimer ces liens.

Ces équations ont été initialement développées par Baran et Wu pour résoudre le problème de répartition de charge (problème d'optimisation ou un modèle de programmation mathématique) dans un premier temps, mais elles ont aussi servi à résoudre les problèmes du placement optimal de la reconfiguration toujours par les mêmes auteurs avec des algorithmes heuristiques.

Elles sont reprises plus récemment par bon nombre d'auteurs pour résoudre différents problèmes d'optimisation, dont les plus récents concernent l'Optimum Power Flow « la reconfiguration par Taylor [1]» avec des simplifications qui affectent la solution finale, c'est ce que nous utiliserons dans cette mémoire.

Pour cela, nous avons choisi et étudié le réseau de distribution IEEE 33noeud et l'application de la reconfiguration optimale par l'optimisation convexe et en développant des programmes précis dans le logiciel Matlab pour résoudre le problème du premier chapitre, minimiser les pertes de puissance totale et obtenir le meilleur schéma pour ce réseau.

III.2/ Modèles convexes de distribution, Reconfiguration du système

La reconfiguration du système de distribution implique de choisir la combinaison d'interrupteurs ouverts et fermés qui optimise certains critères de performance tout en conservant la topologie de réseau radiale [1], [2].

La reconfiguration était à l'origine traité avec les procédures d'échange de succursales [1], suivi de algorithmes génétiques [3]-[4], recuit simulé [5], et autres heuristiques [6]-[7].

De telles approches sont populaires en raison de leur large applicabilité, par exemple, les modèles de la boîte noire, mais à son tour peut négliger la structure du problème intrinsèque cela serait utile dans des problèmes plus importants.

À cette fin, à l'article [1], M .Taylor et M. Hover ont travaillé à la formulation et au développement de nouveaux nombres quadratiques programmation (QP) [8], programmation quadratiquement contrainte (QCP) [9], et la programmation du cône de second ordre (SOCP) [10] pour la reconfiguration. Lorsque toutes les variables sont continues, des problèmes dans

ces classes sont toujours convexes et admettent hautement efficace et fiable algorithmes polynomiaux [9].

Cependant plusieurs algorithmes de programmation, tels que branchés-et-liés, maintenir excellente performance lorsque les limites calculables sont efficaces disponible, par conséquent, il doit y avoir beaucoup de variables stables dans la relaxation, et cela implique l'utilisation du terme convexe dans ce travail.

Dans [11], une programmation non linéaire mixte la formulation a été résolue en utilisant la décomposition de Benders [12], dans le même esprit, nous résolvons mixte-entier, non linéaire mais formulations convexes. Nous résumons les algorithmes disponibles pour chaque cadre dans les sections (III-A et III-C) [1].

Nos formulations s'étendent de la reconfiguration à de nombreux problèmes d'optimisation du réseau radial, tels que dimensionnement et emplacement des condensateurs [20] et génération décentralisée [21]. Deux caractéristiques distinguent en particulier notre méthode de la plupart des approches antérieures.

Le premier est la commodité. Les modèles peut être résolu en utilisant largement disponible, puissant commercial logiciel, laissant à l'utilisateur uniquement la programmation du modèle contourner l'algorithme.

Bien qu'il y ait beaucoup de paramètres de tenable dans le logiciel standard, paramètres par défaut et automatique la sélection des paramètres conduit généralement à de bonnes performances sans intervention de l'utilisateur.

De même, les points de départ sont acceptés par l'utilisateur, mais s'ils ne sont pas disponibles sont créés automatiquement.

Deuxièmement, les algorithmes utilisés garantissent une optimalité globale dans chaque approximation, ce qui n'est pas le cas de la plupart des méthodes d'optimisation heuristiques. Comme on le verra dans les résultats sectionner, Ces solutions peuvent nécessiter un temps de calcul considérable et fournir ainsi des solutions de base utiles, qui peuvent être utilisé comme des solutions de démarrage en temps réel plus rapide.

Alternativement, les exigences d'optimalité peuvent être détendues systématiquement, fournissant des solutions sous-optimales fortes en temps réduit. En ce qui concerne, des

améliorations substantielles être réalisable au-delà de nos résultats actuels. En particulier, peu est connu sur quelles exigences d'optimalité sont les plus efficaces pour se détendre et l'amélioration des algorithmes avec des suppositions raisonnables.

Pour y parvenir, nous entamons le processus de programmation et fournissons des résultats à partir des éléments suivants :

III.2.1 Les équations DistFlow

Les équations DistFlow sont données par :

$$\sum_{k:(i,k)\in W} p_{ik} = p_{ji} - r_{ij}\,\frac{\left(p_{ji}^2 + q_{ji}^2\right)}{v_j^2} - p_i^L \qquad \text{(III. 1)}$$

$$\sum_{k:(i,k)\in W} q_{ik} = q_{ji} - x_{ij}\,\frac{\left(p_{ji}^2 + q_{ji}^2\right)}{V_j^2} - q_i^L \qquad \text{(III. 2)}$$

$$v_i^2 = v_j^2 - 2\left(r_{ij}p_{ji} + x_{ij}q_{ji}\right) + \left(r_{ji}^2 + x_{ij}^2\right)\frac{\left(P_{ji}^2+q_{ji}^2\right)}{V_j^2} \qquad \text{(III. 3)}$$

Sur la base de ces équations, nous avons choisi un réseau de distribution 33nœud adopté dans IEEE et commencé à travailler sur eux.

III.3/ 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). Les tensions sont placées 1 pu.

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

Nœud *i*	p_i^L **(kW)**	q_i^L **(kVAr)**	**Nœud** *i*	p_i^L **(kW)**	q_i^L **(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			

Tableau III.1 Les puissances active et réactive aux nœuds

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

N° Branche	**Nœud amont** ***(i)***	**Nœud aval** ***(j)***	***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 lignes Hors Service				
33	8	21	0.5000	0.5000
34	9	15	2.0000	2.0000
35	12	22	2.0000	2.0000
36	18	33	2.0000	2.0000
37	25	29	0.5000	0.5000

Tableau III.2 La matrice line data

III.3.1/ la configuration initial

a) Etape 01 :

Nous avons utilisé Le logicielle Matlab pour programmé un programme d'après la méthode de M.Barane par l'utilisation des équations DistFlow, qui faire le calcule numérique sur le réseau IEEE33 « initial configuration » .

Lors de l'exécution du programme, nous aurons la configuration initiale qui trouvera les valeurs des tensions , les puissances active p_{ij}, les puissances réactive q_{ij} des lignes, qui sont représenter dans le Tableau (III.3), et la valeur des pertes totale qui est égale a

Ploss= 202.63 kW que l'on a vue diminué dans notre travaille aux prochaines étapes.

- ce schéma représente l'êta initial du réseau IEEE33 nœuds :

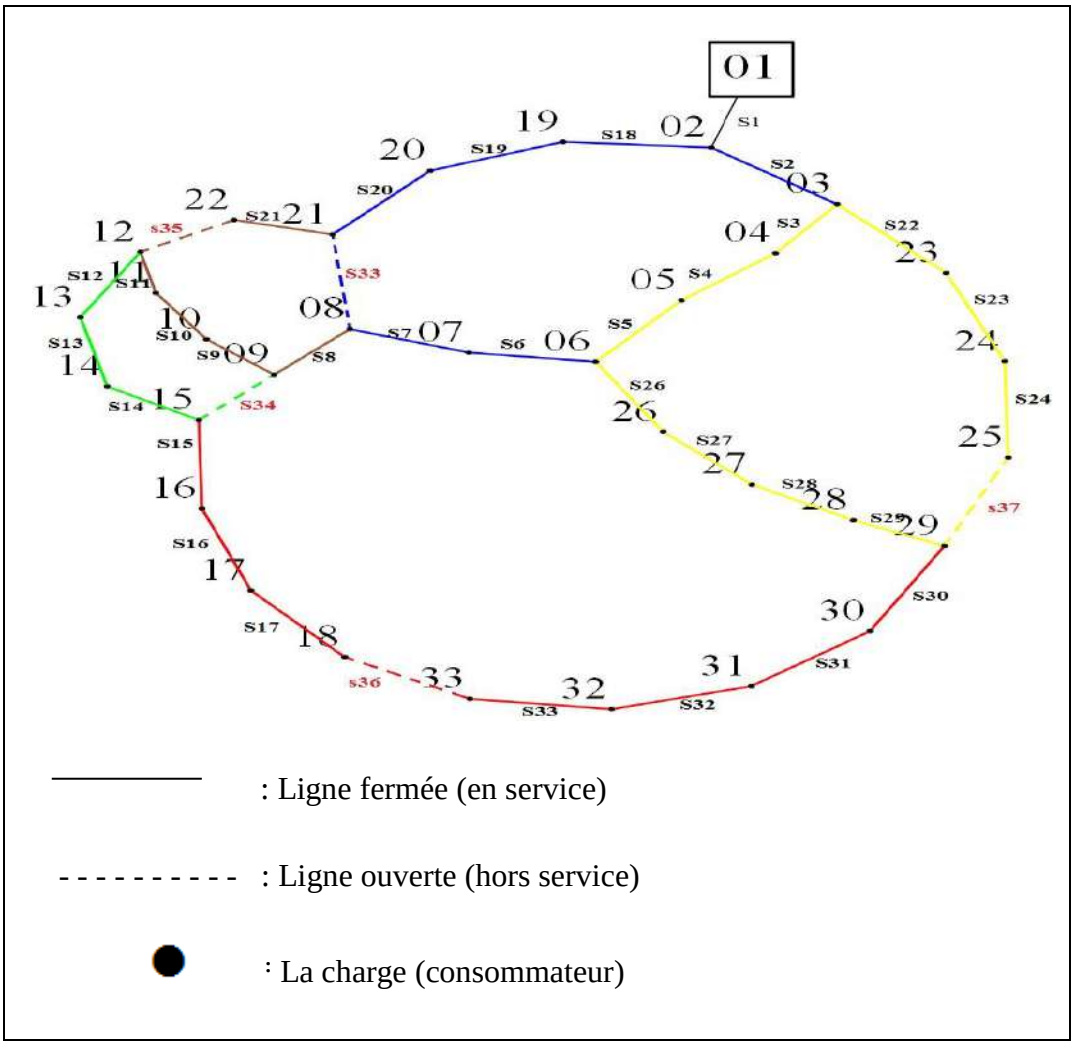


Figure III.1 La configuration initiale du réseau étudié

III.3.1.1/ Les résultats obtenus dans la configuration initial

Lors de l'exécution du programme « initial configuration », nous aurons la configuration initiale qui est illustrée ci-dessous :

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

N° Branche	Voltage (p.u)	Nœud amont (i)	Nœud aval (j)	p_{ij} (pu)	q_{ij} (pu)
1	0.9970	1	2	3.9177	2.4352
2	0.9829	2	3	3.4443	2.2079
3	0.9755	3	4	2.3629	1.6842
4	0.9681	4	5	2.2230	1.5941
5	0.9497	5	6	2.1443	1.5546
6	0.9462	6	7	1.0953	0.5279
7	0.9413	7	8	0.8943	0.4216
8	0.9351	8	9	0.6885	0.3200
9	0.9292	9	10	0.6243	0.2970
10	0.9284	10	11	0.5608	0.2744
11	0.9269	11	12	0.5152	0.2443
12	0.9208	12	13	0.4543	0.2090
13	0.9185	13	14	0.3917	0.1719
14	0.9171	14	15	0.2709	0.0909
15	0.9157	15	16	0.2106	0.0806
16	0.9137	16	17	0.1503	0.0604
17	0.9131	17	18	0.0901	0.0400
18	0.9965	2	19	0.3611	0.1611
19	0.9929	19	20	0.2710	0.1209
20	0.9922	20	21	0.1801	0.0802
21	0.9916	21	22	0.0900	0.0401
22	0.9794	3	23	0.9396	0.4573
23	0.9727	23	24	0.8464	0.4051
24	0.9693	24	25	0.4213	0.2010
25	0.9477	6	26	0.9508	0.9736
26	0.9452	26	27	0.8882	0.9473
27	0.9337	27	28	0.8248	0.9206
28	0.9255	28	29	0.7535	0.8907
29	0.9219	29	30	0.6257	0.8183
30	0.9178	30	31	0.4218	0.2118
31	0.9169	31	32	0.2702	0.1403
32	0.9166	32	33	0.0600	0.0400
Les lignes Hors Service					
33	0	25	29	0	0
34	0	8	21	0	0
35	0	12	22	0	0
36	0	9	15	0	0
37	0	18	33	0	0

Tableau III.3 Données de la configuration initiale

- Le tableau suivant donne les Commutateurs ouverts dans le Réseau initial :

Réseau radial	Réseau initial

Commutateurs Ouverts	Switch S33 Switch S34 Switch S35 Switch S36 Switch S37

Tableau III.4 Les Commutateurs ouverts de Réseau initial

III.3.2/la reconfiguration optimale

a) Etape 02 :

Ici, nous utilisons la programmation quadratique par les équations simplifiées DistFlow « la technique proposée dans le chapitre I » et les bases de l'optimisation convexe qui sont expliquer dans le chapitre II.

Nous avons écrit un programme pour résoudre et minimiser les pertes dans la configuration initiale basée sur les informations de M. Joshua Taylor dans le modèle convexe [1].

III.3.2.1/Modèle convexe :

a)Programmation quadratique :

Ici, nous utilisons les équations DistFlow simplifiées [1], qui sont obtenu en supprimant tous les termes quadratiques, en supprimant la contrainte (3), et en fixant les amplitudes de tension à un pu. Soit W^s le sous-ensemble de W avec des commutateurs, B^F dont le sous-ensemble B qui sont sous-stations, p_i^F et q_i^F $(i \in B^F)$ sont des puissances actives et réactives à partir des sous-stations, et M est un disjonctif suffisamment grand paramètre.

Notez que l'ensemble B^F peut contenir plusieurs sous-stations, chacun d'entre eux sera connecté à exactement un arbre avec aucune autre sous-station n'est attachée à celle-ci. Nous obtenons une **QP** mixte [8] pour la minimisation des pertes en couplant l'objectif quadratique :

- La fonction d'objectif est :

$$\min_{p,q,y,z} \sum_{(i,j)} r_{ij}\left(p_{ij}^2 + q_{ij}^2\right) \qquad \text{(III. 4)}$$

➢ Avec l'ensemble des contraintes linéaires (d'égalités et d'inégalités) :

$$\sum_{j:(i,j)\epsilon W} p_{ji} - p_{ij} = p_i^L \ , \ \ i\epsilon \ B/B^F \qquad \text{(III. 5)}$$

$$\sum_{j:(i,j)\epsilon W} q_{ji} - q_{ij} = q_i^L \ , \ \ i\epsilon \ B/B^F \qquad \text{(III. 6)}$$

$$\sum_{j:(i,j)\epsilon W} p_{ij} = p_i^F \ , \ \ i\epsilon B^F \qquad \text{(III. 7)}$$

$$\sum_{j:(i,j)\epsilon W} q_{ij} = q_i^F \ , \ \ i\epsilon B^F \qquad \text{(III. 8)}$$

$$0 \leq p_{ij} \leq M.z_{ij} \qquad \text{(III. 9)}$$

$$0 \leq q_{ij} \leq M.z_{ij} \qquad \text{(III. 10)}$$

$$z_{ij} \geq 0 \qquad \text{(III. 11)}$$

$$z_{if} = 0, \qquad f \in B^f \qquad \text{(III. 12)}$$

$$z_{ij} + z_{ji} = 1, \ (i,j) \in W \backslash W^s \qquad \text{(III. 13)}$$

$$z_{ij} + z_{ji} = y_{ij}, \ (i,j) \in w^s \qquad \text{(III. 14)}$$

$$\sum_{j:(i,j)\epsilon W} z_{ji} = 1 \ , \ \ i\epsilon B \backslash B^F \qquad \text{(III. 15)}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad (i,j) \in w^s \qquad \text{(III. 16)}$$

Nous nous référons à (III.7) - (III.16) comme suit. Deux variables continues z_{ji}et z_{ij} sont associées à chaque ligne désignant la direction, le cas échéant, du flux qui peut se déplacer. A chaque ligne commutée est également associée une seule variable binaire y_{ij}, qui

est nulle si l'interrupteur est ouvert et l'autre fermé. Notez que, puisque cette variable n'est pas directionnelle, le nombre de variables binaires correspond exactement au nombre de commutateurs.

Nous verrons par la suite que, bien que les z_{ij} ne prennent que des valeurs nulles ou unitaires, il n'est pas nécessaire d'imposer qu'elles soient discrètes, et donc elles imposent petit fardeau de calcul.

Ces contraintes de radialité sont presque identiques à celles de [22] et [11]. Cependant, cette formulation est légèrement plus générale en ce sens que toutes les lignes ne doivent pas forcément être des commutateurs candidats, ce qui permet d'économiser un temps de calcul important

Par souci de rigueur et pour tenir compte des différences entre cette formulation radiale et les formulations antérieures, nous montrerons que ce schéma donne toujours une configuration radiale, mais donne d'abord un exemple simple.

Considérons un système à trois bus avec une sous-station au premier et au troisième bus et des lignes commutées entre chacun d'entre eux et le second bus. Alors $z_{21} = z_{23} = 0$ par (III.12), et donc $y_{12} = z_{12}$ et $y_{23} = z_{32}$. Par (III.15), nous savons que $z_{12} + z_{32} = 1$, et donc y_{12} ou y_{32} est nul, ce qui donne une configuration radiale dans laquelle il n'y a pas de chemin entre deux sources. L'argument général ci-dessous s'étend à tous les modèles suivants dans ce document.

exigence : Tout z réalisable doit être des zéros et des uns, et pour chaque sous-station, il décrit les arêtes d'un graphe arborescent non pondéré avec un nœud racine (arbre).

Preuve: nous supposons que y est fixe et que $W^y = \{(i, j) \in W^s : y_{ij} = 1\} \cup W \setminus W^s$, c'est-à-dire l'ensemble des commutateurs fermés et des lignes non commutées. Nous Considérons un chemin à travers W^y commençant à une sous-station, que nous étiquetons bus zéro.

Pour tout $(0, i) \in W^y$, $z_{0i} = 1$, et, par (III.13) - (III.15), $z_{ij} = 1$ pour tout $j \in B \setminus \{0\}$;

nous voyons par induction le chemin que tout z sur un chemin de la sous-station doit être orienté de telle sorte que zéro va "dedans" et un "dehors", et donc pas deux chemins, provenant d'une sous-station peuvent se rencontrer sont de la même sous-station).

Si une boucle est formée qui ne contient pas de sous-station, ses bus ne reçoivent aucun flux, et (III.5) et (III.6) ne peuvent pas être satisfaits. Nous concluons que (z) doit décrire une arborescence pour chaque sous-station. Pour ce faire, W^y doit lui-même être composé d'arbres, et donc tout résultat (y) réalisable dans une configuration radiale.

Nous remarquons qu'il y a plus de variables continues dans la formulation ci-dessus que nécessaire: un seul z est nécessaire pour chaque ligne en raison des contraintes d'égalité (III.13) et (III.14). Cependant, pour faciliter l'exposition et parce que le facteur limitant est le nombre de variables discrètes et non continues, nous avons opté pour la présentation ci-dessus, légèrement moins efficace.

De plus, une flexibilité de modélisation souhaitable est incorporée, par exemple, une ligne (i, j) à travers laquelle la puissance ne peut circuler que dans une direction peut être accommodée en définissant explicitement z_{ij}= 0 ou z_{ji} = 1. Notez que, dans une configuration réalisable, chaque composant connecté doit avoir exactement une sous-station.

Les QP continus ont des ensembles polyédriques réalisables, et ainsi leurs homologues mixtes entiers jouissent d'algorithmes rapides similaires à ceux de la programmation linéaire mixte, à savoir les plans de coupe couplés à des branchements et des liaisons [23].

En outre, ils peuvent être résolus avec presque de la même efficacité [8], et ainsi le modèle QP représente une option pratique pour la reconfiguration en temps réel.

D'après l'exécution du programme nous aurons trouvé des données de la reconfiguration optimale qui sont représentées dans le tableau (III.5) et une nouvelle architecteur de réseau IEEE33 par l'ouverture est fermeture des Commutateurs et connu les chemins des puissances.

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

N° Branche	Nœud amont (i)	Nœud aval (j)	p_{ij} (pu)	p_{ji} (pu)	q_{ij} (pu)	q_{ji} (pu)	z_{ij}	z_{ji}	y_{ij}
1	1	2	3.7150	0	2.3000	0	1.0000	0	1
2	2	3	2.3200	0	1.6300	0	1.0000	0	1
3	3	4	1.3000	0	1.1400	0	1.0000	0	1
4	4	5	1.1800	0	1.0600	0	1.0000	0	1
5	5	6	1.1200	0	1.0300	0	1.0000	0	1
6	6	7	0.2000	0	0.1000	0	1.0000	0	1
7	7	8	0	0	0	0	0	0	0
8	8	9	0.3900	0	0.1500	0	1.0000	0	1
9	9	10	0	0.0000	0	0	0	0	0
10	10	11	0	0.0600	0	0.0200	0	1.0000	1
11	11	12	0	0.1050	0	0.0500	0	1.0000	1
12	12	13	0.1800	0	0.1150	0	1.0000	-0.000	1
13	13	14	0.1200	0	0.0800	0	1.0000	-0.000	1
14	14	15	0	0	0	-0.0000	0	-0.000	0
15	15	16	0.2700	0	0.1200	0	1.0000	0	1
16	16	17	0.2100	0	0.100	0	1.0000	0	1
17	17	18	0.1500	0	0.0800	0	1.0000	0	1
18	2	19	1.2950	0	0.6100	0	1.0000	0	1
19	19	20	1.2050	0	0.5700	0	1.0000	0	1
20	20	21	1.1150	0	0.5300	0	1.0000	0	1
21	21	22	0.4350	0	0.2400	0	1.0000	0	1
22	3	23	0.9300	0	0.4500	0	1.0000	0	1
23	23	24	0.8400	0	0.4000	0	1.0000	0	1
24	24	25	0.4200	0	0.2000	0	1.0000	0	1
25	6	26	0.8600	0	0.9100	0	1.0000	0	1
26	26	27	0.8000	0	0.8850	0	1.0000	0	1
27	27	28	0.7400	0	0.8600	0	1.0000	0	1
28	28	29	0.6800	0	0.8400	0	1.0000	0	1
29	29	30	0.5600	0	0.7700	0	1.0000	0	1
30	30	31	0.3600	0	0.1700	0	1.0000	0	1
31	31	32	0.2100	0	0.1000	0	1.0000	0	1
32	32	33	-0.000	0	-0.000	0	0	0	0
33	25	29	0	0.5900	0	0.2500	0	1.000	1
34	8	21	0.3300	0	0.1300	0	1.0000	0	1
35	12	22	0	0.3450	0	0.2000	-0.000	1.000	1
36	9	15	0.0600	-0.000	0.0400	-0.000	1.0000	0	1
37	18	33	0	0	0	0	0	0	0

Tableau III.5 Données de la reconfiguration optimale

- les Commutateurs ouverts dans le Réseau IEEE33 dans la reconfiguration sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Réseau radial	Réseau Après Reconfiguration
Commutateurs Ouverts	Switch S7 Switch S9 Switch S14 Switch S32 Switch S37

Tableau III.6 Les Commutateurs ouverts dans la reconfiguration optimale

- schéma représente La topologie de réseau IEEE33 nœuds après reconfiguration optimal :

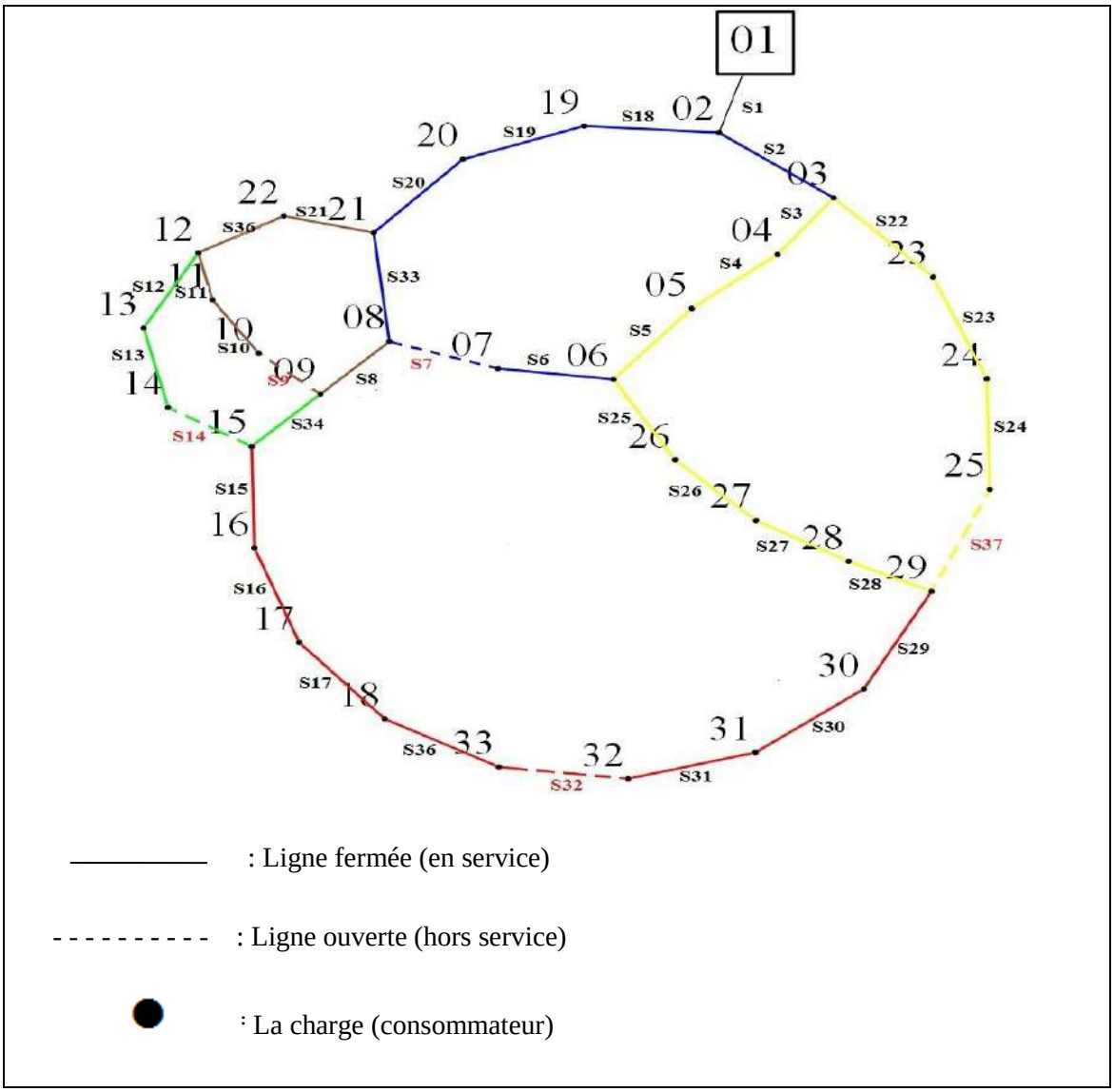


Figure III.2 La topologie du réseau IEEE33 dans la reconfiguration optimale

III.3.2.2/ Les résultats obtenus âpres la reconfiguration

a) Etape 03 :

Dans cette étape**,** nous utilisons Les données de la reconfiguration optimale pour faire une modification sur le programme de la configuration initiale :

- l'ouverture et fermeture des lignes
- changement des chemins de puissances

D'après l'exécution du programme nous aurons trouvé les données final Après la reconfiguration optimale qui sont représentées dans le tableau (III.5), et la valeur des pertes totale qui est égale a Ploss= 139.6 kW

- Les Résultats des pertes pour les deux configurations dans le tableau ci-dessous :

	Avant la reconfiguration	**Après la reconfiguration**	**différance**
Les pertes totales (kW)	202.7	139.6	63.1

Tableau III.7 Résultats des pertes pour les deux configurations

- Lors de l'exécution du programme «Après la reconfiguration », nous aurons Les résultats qui sons illustrée ci-dessous :

N° Branche	Voltage (pu)	Nœud Source (i)	Nœud récepteur (j)	p_{ij} (pu)	q_{ij} (pu)
1	0.9917	1	2	3.8546	2.423
2	0.9870	2	3	2.4095	1.6894
3	0.9825	3	4	1.3532	1.1785
4	09782	4	5	1.2257	1.0947
5	0.9673	5	6	1.1590	1.0613
6	0.9667	6	07	02001	0.1002
8	0.9626	8	9	0.3941	0.1537
10	0.9592	11	10	0.0600	0.0200
11	0.9627	12	11	0.1050	0.0500
12	0.9628	12	13	0.1805	0.1155
13	0.9631	13	14	0.1201	0.0801
15	0.9605	15	16	0.2711	0.1211
16	0.9597	16	17	0.2106	0.1008
17	0.9532	17	18	0.1502	0.0801
18	0.9514	2	19	1.3331	0.6469
19	0.9485	19	20	1.2409	0.0648
20	0.9475	20	21	1.1328	0.5485
21	0.9951	21	22	0.4389	0.2442
22	0.9782	03	23	0.9395	0.4572
23	0.9736	23	24	0.8464	0.4050
24	0.9702	24	25	0.4213	0.2010
25	0.9834	6	26	0.8858	0.9297
26	0.9768	26	27	0.8235	0.9036
27	0.9735	27	28	0.7607	0.8771
28	0.9655	28	29	0.6911	0.8486
29	0.9632	29	30	0.5645	0.7729
30	0.9527	30	31	0.3612	0.1712
31	0.9451	31	32	0.2101	0.1001
33	0.9419	21	8	0.5997	0.2594
34	0.9385	9	15	0.3328	0.1329
35	0.9378	22	12	0.3477	0.2026
36	0.9472	18	33	0.0600	0.0400
Les interrupteurs ouverts					
07	0	7	8	0	0
09	0	9	10	0	0
14	0	14	15	0	0
32	0	32	33	0	0
37	0	25	29	0	0

Tableau III.8 Données final après la reconfiguration

III.4/ Interprétation des résultats

Nous constatons à partir des résultats de la configuration initiale et la reconfiguration 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 reconfiguration optimale correspond à l'ouverture des interrupteurs suivants : S7, S9, S14, S32 et S37.

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

- Pour la configuration initiale : **202.7 (KW)**
- Pour la reconfiguration : **139.6 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 63 (kW) pour notre cas d'étude.

En analysant les résultats des tableaux présentés ci-dessus Tableaux (III.5)-(III.8), 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.

Pour ces deux (la configuration initiale et la reconfiguration 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.

III.5/ Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié le problème de la reconfiguration optimale de réseau de distribution IEEE 33 nœuds avec l'objectif de la minimisation des pertes, ainsi que la relaxation convexe de ce problème proposé dans [1], qui est exacte pour les réseaux radiaux. Elle a été formulée en termes de programmation quadratique.

Nous avons d'abord introduit une configuration initiale sur le réseau de distribution iEEE33 où il y avait des pertes et donc nous avons écrit un programme optimal basé a une fonction d'objectif non linéaire défini les pertes minimiser et un ensembles des contraintes linéaire (égalités et inégalités) est appelé la reconfiguration optimal.

En suit, âpres l'exécution de programme dans le logiciel standard Matlab, a donné un résultat efficace qui nécessite l'ouverture de certaines branches et la fermeture des autre, ce qui est de minimiser les pertes inévitablement.

En fin de compte, nous avons atteint notre objectif après l'ouverture et la fermeture de certaines des branches proposées par le programme de la reconfiguration optimal par l'optimisation convexe et minimiser les pertes de 202.7 kW à 139.6 kW.qui sont les même que celle obtenues par M.Taylor [1], donc notre programme a réussi.

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 implique 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 directement, à chaque étape de l'exploration de l'ensemble des solutions possibles, non seulement la contrainte d'arborescence mais également les deux autre 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 programmations quadratiques. 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.

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 avons retrouvée 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

[1] J. A. Taylor et F. S. Hover, « Convex Models of Distribution System Reconfiguration » IEEE Transactions on Power Systems, 2012.

[2] T. Ion, « Reconfiguration des réseaux électriques de distribution urbaine dans le contexte l'ouverture du marché » LAUSANE SUISSE, 2003. Thèse de doctorat

[3] N. Hadj Saïd, " La distribution d'énergie électrique en présence de production décentralisé ", elipse, 2001.

[4] A.Chouikh et S.Youssef, « Electrification d'une région rurale» (projet de fin d'études-USTHB) 1982. Thèse de magistère

[5] Rapport, «Guide de conception des réseaux électriques industriels» Schneider Electric, 2006.

[6] S. R. Cherkaoui, «Méthodes heuristiques pour la recherche de configurations optimales d'un réseau électrique de distribution,» LAUSANNE, 1992. Thèse de doctorat

[7] K. Tidjani , « Pénétration des énergies renouvelables dans les réseaux de distribution » (projet de fin d'études- Univ-Médea) 2015.

[8] B. Venkatesh and R. Ranjan: "Data Structure for Radial Distribution System Flow Analysis", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. Vol 150 No.1 January 2003.

[9] M. E. Baran et F. Wu, « Optimal Capacitor Placement on radial distribution systems » *IEEE Transactions Power Delivery*, vol. 4, January 1989.

[10] 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.

[11] M. Tolba, «Commande des systèmes d'énergie de puissance par des approches heuristiques modernes,» ENP, Alger, 2010. Thèse de magistère

[12] 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.

[13] 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.

[14] A. Bessalah et A. Hamioud , « Etude de la Reconfiguration des Réseaux Electriques de Distribution » thése , Juin 2015.

[15] S. R. Rayapudi, V. Sadhu, N. Lakshmi et R. R. Manyala, « Optimal Network Reconfiguration of large-Scale Dsitribution System Using Harmony Search Algorithm » *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 26, n° 13, August 2011.

[16] E. Gladkikh. « Optimisation de l'architecture des réseaux de distribution d'énergie électrique » . Energie électrique. Université Grenoble Alpes, 2015.

[17] H. D. Souza, «Distribution network reconfiguration using genetic algorithms with sequential encoding: Subtractive and additive approaches,» *IEEE Transactions Power Systems,* vol. 26, n° 2, p. 582–593, 2011.

[18] C. Castro et M. Guimaraes, «Reconfiguration of distribution systems for loss reduction using tabu search,» chez *Proc. 15th Power Syst. Computation,* Aug 2005.

[19] M. S. Lobo, L. Vandenberghe, S. Boyd et H. Lebret, «Applications of second-order cone programming,» *Linear Algebra and Its Applications,* vol. 284, pp. 193-228, 1998.

[20] S. Touré, E. Gladkikh, R. Caire, W. Bienia, Y. Bésanger et B. Raison, « Optimal Reconfiguration of Distribution Networks : Convex Model by Reformulation» *PowerTech,* 2015.

[21] A. Berger et M. Grigni, «Minimum Weight 2-Edge-Connected Spanning Subgraphs in Planar Graphs» *Automata, Languages and Programming,* vol. 4596, pp. 90-101, 2007.

[22] J. V. Bernhard Korte, Optimisation combinatoire, Théorie et algorithmes, Paris Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag France, 2010.

[23] S. Touré, «Optimisation des réseaux: "réseau actif et flexible" (thèse doctorat)» Grenoble, 2014.

[24] Alain Berro, «Optimisation multiobjectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique», thèse présentée à l'université des sciences sociales toulouse I 2001.

[25] H.-D. Chiang and R. Jean-Jumeau, "Optimal network reconfigurations in distribution systems—I: A new formulation and a solution methodology," *IEEE Trans. Power Del,* vol. 5, no. 4, pp. 1902–1909, Oct 1990.

[26] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, and T. Ishihara, "Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum re-configuration," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 1044–1051, Aug. 1992.

[27] H. D. de Macedo Braz and B. A. de Souza, "Distribution network reconfiguration using genetic algorithms with sequential encoding: Subtractive and additive approaches," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26 no. 2, pp. 582–593, May 2011.

[28] H.-C. Chang and C.-C. Kuo, "Network reconfiguration in distribution systems using simulated annealing," *Electric Power Syst. Res.*, vol. 29, no. 3, pp. 227–238, 1994 [Online]. Available: http://www.sciencedirect. com/science/article/pii/0378779694900183

[29] J.-P. Chiou, C.-F. Chang, and C.-T. Su, "Variable scaling hybrid differential evolution for solving network reconfiguration of distribution systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 668–674, May 2005.

[30] C. Ababei and R. Kavasseri, "Efficient network reconfiguration using minimum cost maximum flow-based branch exchanges and random walks-based loss estimations," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 1, pp. 30–37, Feb 2011.

[31] D. Bienstock, "Computational study of a family of mixed-integer quadratic programming problems " *Math. Program.*, vol. 74, pp. 121–140, 1996.

[32] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*. New York: Cambridge Univ. Press, 2004.

[33] M. S. Lobo, L. Vandenberghe, S. Boyd, and H. Lebret, "Applications of second-order μ cone programming," *Linear Algebra and Its Applications*, vol. 284, pp. 193–228, Nov. 1998.

[34] H. Khodr, J. Martinez-Crespo, M. Matos, and J. Pereira, "Distribution systems based on OPF using Benders decomposition," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 24, no. 4, pp. 2166–2176, Oct 2009.

[35] J. F. Benders, "Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems," *Numerische Mathematik*, vol. 4, pp. 238–252, 1962 [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/ BF01386316

[36] M. Baran and F. Wu, "Optimal capacitor placement on radial distribution systems," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 1, pp. 725–734, Jan 1989.

[37] G. Celli and F. Pilo, "Optimal distributed generation allocation in mv distribution networks," in *Proc. 22nd IEEE Power Eng. Soc. Int. Conf. PICA Innovative Computing for Power*, pp. 81–86 , 2001.

[38] K. Butler, N. Sarma, and V. Ragendra Prasad, "Network reconfiguration for service restoration in shipboard power distribution systems,"*IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 16, no. 4, pp. 653–661, Nov 2001.

[39] A. Schrijver, *Theory of Linear and Integer Programming*. NewYork: Wiley, Jun 1998.