République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Dr. YAHIA FARES De MEDEA
Faculté De Technologie

Département du Génie Electrique



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Réseaux Electriques

Thème

La reconfiguration des réseaux électriques de distribution par la méthode de Baran

Thème proposé et dirigé par :

Pr. K. SEBAA

Etudie par :

TAIBAOUI Amel

MIHOUB Hasna

Promotion 2019-2020

Remerciement

Au terme de ce modeste travail, nous aimerons d'abord exprimer toute notre gratitude au bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience, la santé durant toutes ces années d'études.

Nous remercions très chaleureusement Monsieur K.SEBAA, professeur à l'Université Dr.Yahia Farès de MEDEA qui nous a permis de bénéficier de son encadrement, Les conseils qu'il nous a prodigué, son soutien , la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et gratitude à monsieur A.HAMIOUD Pour son suivi et ses conseils, tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également tous les enseignants et assistants de l'université Dr.Yahia Farès de MEDEA, qui nous ont suivis tout au long de nos études , particulièrement ceux du département de technologie .

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles, nos parents, tous nos proches et amis, qui nous ont accompagnés, aidés, soutenus et encouragé tout au long de la conception de notre mémoire.

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail

À mes très chers parents pour leurs patiences, leurs soutiens, leurs amours.

À mes très chères sœurs Bouchra, Houria, Racha, Ahlem, Assia.

À mon frère Taki

À ma chère deuxième famille

À mes deux grandes familles

À mes fidèles amies

À mes professeurs et mes collègues de promo 2020

AMEL

الملخص

لا يزال البحث عن الحل الأمثل لمشكل ضياع الطاقة الكهربائية في شبكات التوزيع الكهربائية مستمر في تقدم، نجد من بين الحلول الأكثر فعالية من حيث الكفاءة والتكلفة ايجاد التخطيط الأنسب للشبكة. تتبنى هذه المذكرة دراسة تقريبية لإعادة تشكيل النظام بالاعتماد على البرمجة التربيعية. تهدف هذه الدراسة إلى تقليص ضياع الطاقة لتحسين مردود التوتر على مستوى شبكة التوزيع بتحديد أفضل اختيار ممكن لحالات تبديل الشبكة التي تؤدي إلى أفضل تنسيق لأنظمة الحماية الخاصة بها. يتم التطبيق على شبكة توزيع من 33 عقدة IEEE33.

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

Abstract

The search for the optimal solution to the problem of energy loss in the electrical distribution networks continues to progress, we find among the most effective solutions in terms of efficiency and cost an optimal configuration of network. This work adopts an approximate study of reconfiguring the system based on the quadratic programming to reduce energy losses to improve the tension profile at the distribution network, by determining the best possible choice of network switching states that lead to the best coordination of their protection systems applied on distribution network of 33 nodes IEEE33.

Key Words: reconfiguring System, Tension profile, Energy Loss, Quadratic Programming.

Résumé

La recherche de la solution optimale au problème des pertes d'énergie électrique dans les réseaux de distribution continue de progresser, nous trouvons parmi les solutions les plus efficaces en termes d'efficacité et de coût la configuration optimale du réseau. Ce travail adopte une étude approximative de reconfiguration du système basée sur la programmation quadratique en vue de réduire les pertes d'énergie, améliorer le profil de tension au niveau du réseau de distribution, en déterminant le meilleur choix possible d'états de commutation du réseau qui conduisent à la meilleure coordination de leurs systèmes de protection Appliqué à un réseau de distribution de 33 nœuds IEEE33.

Mots clés : reconfiguration du système, profil de tension, perte d'énergie, programmation quadratique.

Liste Des Figures

CHAPITRE I

Figure I-1 : Schéma simplifié d'un réseau électrique……Page 04
Figure I-2 : Technologie d'un poste isolée dans l'aire……Page 08
Figure I-3 : Technologie d'un poste à isolation gazeuse SF6……Page 09
Figure I-4 : Technologie des cabines mobiles……Page 09
Figure I-5 : structure générale d'un réseau privé de distribution……Page 11
Figure I-6 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB……Page 12
Figure I-7 : alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB……...Page 13
Figure I-8 : Alimentation double antenne - double jeu de barres d'un poste de livraison HTB……Page 14
Figure I-9 : Alimentation en simple dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT…… Page 15
Figure I-10 : Alimentation en coupure d'artère d'un poste de livraison HTA à comptage BT…… Page 16
Figure I-11 : Alimentation en double dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT……Page17
Figure I-12 : Structure radiale des réseaux électrique……Page18
Figure I-13 : Structure bouclée des réseaux électrique……Page 19
Figure I-14 : Structure maillée des réseaux électrique…… Page 19

CHAPITRE II

Figure II-1 : Modèle d'une ligne de transmission……...page 24

CHAPITRE III

Figure III-1 : Principe de la Stratégie Constructive……...Page 34
Figure III-2 : Principe de la Stratégie Destructive……Page 35
Figure III-3 : Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches". …... Page 35

CHAPITRE IV

Figure IV-1 : Structure initiale de réseau IEEE33 nœuds……... Page 46
Figure IV-2 : structure radiale ramifiée du réseau IEEE33 (état initiale). ……Page 47
Figure IV-3 : Nouvelle topologie de réseau IEEE33 nœuds……Page 52
Figure IV-4 : structure radiale ramifiée du réseau IEEE33 (état initiale). ……Page 53

CHAPITRE II

Tableau II-1: Tableau des domaines des tensions…… page 22

CHAPITRE IV

Tableau IV-1 : commutateurs ouverts dans la configuration initiale…… Page 47

Tableau IV-2 : Les valeurs des résistances et réactances des lignes……. Page 48

Tableau IV-3 : Les puissances active et réactive au nœuds……. Page 49

Tableau IV-4 Données de la configuration initiale……... Page 50

Tableau IV-5 : Données de la reconfiguration optimale…… Pages 51-52

Tableau IV-6 : commutateurs ouverts pour la reconfiguration……. Page 53

Tableau IV-7 : Données de la reconfiguration optimale……... Page 54

Tableau IV-8 : différence des pertes de puissance totale (avant et après la reconfiguration) ……. Page 55

Liste des abréviations

Abréviation	C'est à dire
HTB	Haut tension classe B (Réseau)
HTA	Haut tension classe A (Réseau)
HT	Haut tension (Réseau)
MT	Moyen tension (Réseau)
BT	Basse tension (Réseau)
BTB	Basse tension classe B (Réseau)
BTA	Basse tension classe A (Réseau)
TBT	Très basse tension (Réseau)
Un	La tension nominale
p_i	La Puissance active au nœud i
q_i	La puissance réactive au nœud i
v_i	Amplitude de tension au nœud i
v_o	La tension initiale
$\bar{z}$	L'impédance complexe de la ligne
x_{ij}	Réactance de ligne du bus i à j
r_{ij}	Résistance de ligne du bus i à j
$\bar{I}_{ij}$	Le courant de la ligne i à j
λ_k	Déplacement à chaque itération
p_i^L	Charge de puissance active au bus i
q_i^L	Charge de puissance réactive au bus i
V_j^2	Amplitude de la tension quadratique au bus j
v_i^2	Amplitude de la tension quadratique au bus i
p_{ij}	Flux de puissance active du bus i vers j
q_{ij}	Flux de puissance réactive du bus i vers j
B	L'ensemble des bus
w	L'ensemble des lignes
QP	Programmation quadratique
X	Solution
Vmin	Tension minimale au réseau
Vmax	Tension maximale au réseau
P loss	Les pertes de puissance
$\boldsymbol{z_{ij}}$	Variable d'orientation de ligne continue
$\boldsymbol{y_{ij}}$	Variable du commutateur discret
S	Switch (interrupteur)

Table des matières

Introduction Générale ……. Page 01

Chapitre I : Généralités, concepts de base et notions sur les réseaux électriques

I.1 Introduction ……. Page 03

I.2 Historique …… Page 03

I.3 Les réseaux électriques ……..……. Page 04

I.4 Différents types de réseaux électriques …… Page 05

I.4.1 Réseaux d'interconnexion et de transport……. Page 05

I.4.2 Réseaux de répartition…… Page 05

I.4.3Réseaux de distribution……... Page 05

I.5 Type de réseaux de distributions……... Page 06

I.5.1 Réseaux de distribution à moyenne tension……. Page 06

I.5.2 Réseaux de distribution à basse tension…… Page 06

I.6 Les postes électriques…… Page 06

I.6.1 Les postes électriques de distribution……. Page 06

I.6.2 Postes électriques de transport……... Page 07

I.7 Les architectures de réseaux……. Page 10

I.7.1 Structure générale d'un réseau privé de distribution……...Page 10

I.7.2 Les postes de livraison HTB…….. Page 12

I.7.3 Les postes de livraison HTA……. Page 15

I.8 Différentes structures des réseaux……Page 17

I.9.conclusion……. Page 20

CHAPITRE II : l'écoulement de puissance dans les réseaux de distribution

II.1 Introduction. ……Page 21

II.2 Définition. ……Page 21

II.2.1 But de l'étude de l'écoulement de puissance. …….. Page 21

II.3 Gamme des tensions utilisées par le groupe Sonelgaz. ……Page 22

II.4 Gestion des réseaux de distribution. ……..Page22

II.5 Les pertes d'énergies dans un réseau de distribution. ……Page22

II.5.1 Les types de pertes dans un réseau de distribution. ……....Page22

II.5.2 La problématique des pertes de puissances. ……...Page 23

II.6 Modélisation des branches et des charges. ……Page 24

II.6.1 Modélisation des branches. ……Page 24

II.6.2 Modélisation des charges. ……..Page24

Table des matières

II.6.3 Équations de base. ……...Page25
II.7 Conclusion. ……Page28
CHAPITRE III : Notion de reconfiguration et méthodes d'optimisation
III.1 Introduction…… Page 29
III.2 Notions de Reconfiguration …… Page 29
III.3 La reconfiguration du réseau de distribution ……..…… Page 29
III.4 Les déférents régimes …… .Page 31
III.5 Modèle mathématique du processus de reconfiguration …… Page 32
III.5.1 Technique de programmation quadratique …… Page 32
III.6 Méthodes et stratégies de reconfiguration ……... Page 33
III.7 Avantage de reconfiguration ……... Page 36
III.8 Optimisation …… ..Page 36
III.8.1 Méthodes d'optimisation déterministes ……... Page 36
III.8.2 Paramètres d'optimisation ……Page 39
III.9 Méthode de Baran ……... Page 41
III.10 Conclusion …… Page 43
Chapitre IV : Simulation, Analyse des résultats.
IV.1 Introduction. ……... Page 44
IV.2 Les Equations DistFlow. ……..Page 44
IV.3 Modèles convexes. ……..Page 45
IV.4 Réseau IEEE 33 nœuds. ……..Page 46
IV.5 Partie simulation…… Page 46
IV.5.1 La configuration initiale ……... Page 46
IV.5.2 Tableaux des données …… Page 48
IV.5.3 Résultats des données pour la configuration initiale …… ..Page 50
IV.5.4 La reconfiguration ……... Page 51
IV.5.6 Résultats des données d'après la reconfiguration ……... Page 53
IV.6 interprétations des résultats …… Page 55
IV.7 conclusion ……... Page 56
Conclusion générale …… Page57

Dans notre vie quotidienne l'électricité est un point essentiel. Alors, pour répondre à la consommation de l'électricité croissante, nous sommes obligés de construire des centrales électriques capables de produire de l'électricité en grande quantité et de bonne qualité, permettant la fabrication d'électricité à partir d'énergie renouvelable ou bien non renouvelable, Les centrales de la production de l'énergie électrique se trouvent généralement dans des endroits éloignés par rapport aux différents points de consommation.

L'électricité circule depuis le lieu où elle est fabriquée jusqu'à l'endroit où elle est consommée, par l'intermédiaire d'un réseau de lignes électriques aériennes ou souterraines. Ce réseau électrique permet de transporter et de distribuer l'électricité sur l'ensemble du territoire de pays et même vers d'autres pays voisins.

Nous trouvons des postes de transformation de l'énergie aux bords des villes qui assurent l'évacuation de l'énergie produite vers les clients finaux, ces postes sont construits pour baisser la tension (Haute tension) et la rendre moyenne tension MT (HTA). Après, nous trouvons des lignes électriques (HTA) qui sortent de ces postes et qui se dispersent dans les villes, les villages, les zones rurales, et les zones industrielles. Ces lignes doivent être commandées et contrôlées.

L'architecture d'un réseau de distribution électrique est plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise.

La consommation d'électricité croissante avec la propagation et expansion de l'urbanisation, pour cela nous devons structurer des meilleurs réseaux électriques ou améliorer les anciennes structures pour transmettre de l'électricité sans pertes .

Une des solutions possibles pour minimiser les pertes et améliorer les performances des réseaux électriques de distributions est la reconfiguration du réseau de distribution. Pour satisfaire la demande d'électricité des consommateurs avec une bonne qualité, faible chute de tension pour avoir une bonne stabilité et amélioration du profil de tension, et une continuité de service sans aucunes coupures possibles.

Nous pouvons identifier la notion de reconfiguration d'un réseau électrique de distribution caractérisé par ses différents régimes et cela en modifiant sa structure à savoir changer l'état topologique des interrupteurs c'est-à-dire certaines branches étant à l'état initial « Hors service » deviennent « En service » et d'autres branches étant à l'état initial « En service » deviennent « Hors service ».

Pour pouvoir compléter la notion de reconfiguration du réseau électrique de distribution, nous devons optimiser cette configuration en utilisant la méthode de Baran, cette dernière est basée sur « Distflow equations ». Dont l'objectif est de réduire les pertes de puissance dans le réseau

Notre travail repose sur le thème « La reconfiguration des réseaux électriques de distribution par la méthode de Baran »,

Le présent mémoire est structuré comme suit : trois parties théoriques et une partie de simulation ; Dans le premier chapitre, nous avons présenté d'une manière générale les concepts et les notions de base sur les réseaux électriques. Ensuite, le deuxième chapitre concerne l'écoulement de puissance dans le réseau de distribution, Le troisième chapitre consacré aux Notions de reconfiguration et méthodes d'optimisation. Nous allons voir l'analyse des résultats de simulation dans le chapitre quatre, finalement notre travail se termine par une conclusion générale.

Chapitre I :
Généralités, concepts de base et notions sur les réseaux électriques

I.1 Introduction :

Les réseaux électriques (transport et distribution) ont pour rôle d'acheminer l'énergie des sites de production vers les lieux de consommation, avec des étapes de baisse du niveau de tension dans des postes de transformation.

Les réseaux de distributions Contrairement aux réseaux de transport et répartition, présentent plusieurs architectures une grande diversité de solutions techniques selon les pays concernés, ainsi que selon la densité de population. Afin de mieux comprendre les enjeux et les besoins qui ont motivé cette étude, nous consacrerons ce chapitre à la présentation générale du réseau électrique. Nous présenterons l'organisation structurelle du réseau électrique dans leur ensemble et plus particulièrement les réseaux de distribution.

Dans cette première partie, nous allons étudier (Les réseaux électriques et ces Différents types, Les postes électriques, Les architectures et les différentes structures des réseaux).

I.2 Historique [1]

Les premières centrales électriques ont été construites au XIXème siècle par des industries pour s'autoalimenter en courant continu. L'usage public de l'électricité n'a réellement débuté qu'après l'Exposition Universelle de 1881. Les premières concessions municipales de production et de distribution d'électricité sont alors faites à des entreprises privées ou à des régies municipales pour l'éclairage public et l'alimentation de particuliers. Le courant alternatif s'est généralisé avec l'évolution technologique qui a permis d'adapter les tensions à des puissances importantes grâce aux transformateurs.

Le début du XXème siècle connaît un développement rapide, mais anarchique de l'industrie électrique en zone urbaine. Les options techniques sont prises de manière non concertée entre les différentes concessions et la mise en œuvre incohérente rendra difficile l'unification du réseau. Ainsi, Paris utilisera en 1945 plusieurs types de distribution électrique : continu ; alternatif monophasé ou biphasé. Le courant continu ne disparaîtra que dans les années 1960. L'électrification rurale reste avant la première guerre mondiale à la traîne à cause de la faible densité de raccordement et donc du fort coût d'investissement. Entre les deux guerres, de nombreuses communes rurales vont se regrouper en syndicats intercommunaux d'électricité pour créer des réseaux de distribution ruraux qui se regrouperont petit à petit pour former des poches de plus en plus grandes. L'électrification rurale est très intense pendant cette période. En effet la proportion de la population ayant accès à l'électricité est

passée de 58% en 1918 à 83% en 1929. Cependant, les réseaux créent à cette période sont souvent sous dimensionnes, il en résulte une qualité de l'électricité très inégale.

Enfin, l'année 1946 marque un véritable tournant dans l'histoire de l'électrification puisque c'est cette année qu'est votée la loi N° 46-628 nationalisant la production, le transport et la distribution de l'électricité telle que nous le connaissons aujourd'hui.

I.3 Les réseaux électriques :

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, le transport, et à la distribution de l'énergie électrique depuis les centrales de Production jusqu'aux clients les plus éloignées [2]

Le réseau de transport a pour fonction d'acheminer l'énergie des centres de production vers les points de consommation ou points de livraison. Il est composé de lignes aériennes ou souterraines formant une Etoile maillée reliant différents points du territoire permettant de mutualiser les moyens de production qui alimentent les clients finaux.

Ce réseau est constitué de nœuds électriques appelés « postes » dont la fonction est triple.

- L'aiguillage des lignes de même tension entre elles.
- L'évacuation de l'énergie des sources de production vers le réseau.
- La liaison entre les réseaux de tensions différentes.

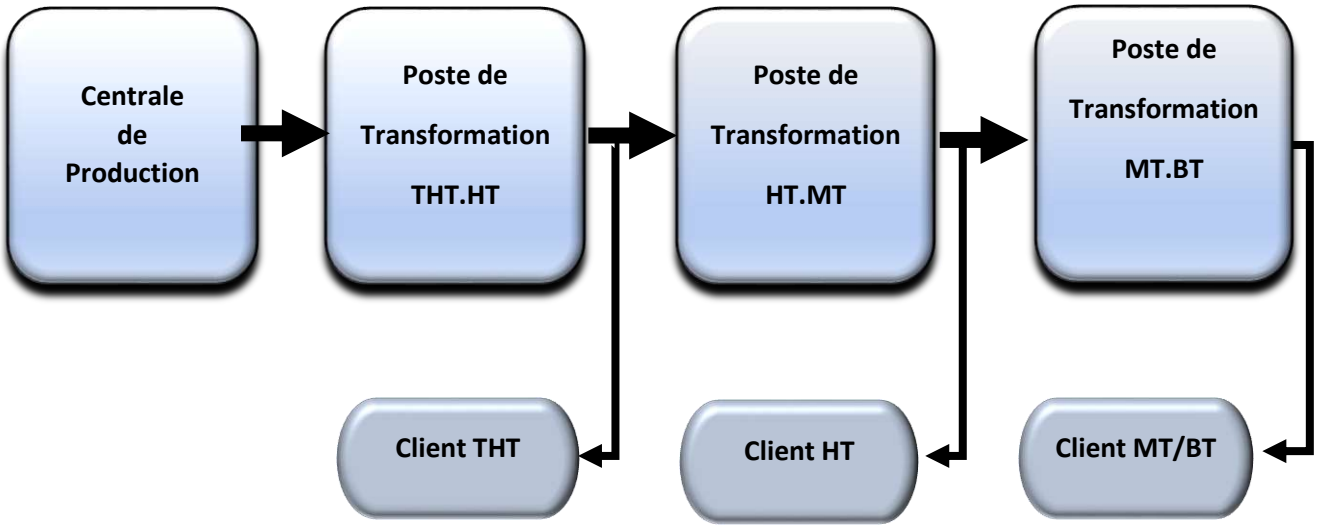


Figure I-1 : Schéma simplifié d'un réseau électrique.

L'électricité est une énergie souple et adaptable mais elle est difficilement stockable, alors que la consommation des clients et la coïncidence de la demande sont constamment variables. Ces exigences nécessitent la permanence du transport et la mise à disposition de l'énergie par un réseau de distribution [3].

I.4 Différents types de réseaux électriques :

Suivant le trajet de l'énergie depuis sa production jusqu'à son utilisation, il y a successivement différents types de réseaux dont les missions sont définies par [2] :

I.4.1 Réseaux d'interconnexion et de transport :

Ces réseaux assurent le transport et l'interconnexion de l'énergie électrique en très haute tension et en haute tension vers les points de consommation et de répartition. Ces réseaux comprennent les centrales de production ainsi que les lignes et les postes de transformation, leurs rôles sont :

- Collecter l'énergie électrique produite par les centrales et de transporté vers les zones de consommation (fonction transport).
- Permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production, et assurer une compensation des différents alias (fonction interconnexion). Les tensions de ces dernières sont comprises entre **(60 à 400 KV)**.

I.4.2 Réseaux de répartition :

Ces réseaux comprennent les lignes de transport et les postes de transformation intermédiaires entre le réseau de transport et le réseau de distribution. Ce sont des réseaux à haute tension, dont le rôle est de répartir l'énergie électrique au niveau régional. Ils peuvent être aériens ou souterrains. Les échelons de tensions nécessaires sont actuellement de 60 KV à 90 KV.

I.4.3Réseaux de distribution :

Les réseaux de distributions sont des réseaux d'alimentation de l'ensemble de la clientèle, c'est-à-dire qu'ils constituent l'architecture la plus importante du système électrique. Ils assurent la distribution de l'énergie électrique au niveau local [4].

Ils ont pour rôle de fournir aux réseaux d'utilisation la puissance dont ils ont besoin. Ils utilisent deux tensions [2] :

- Des lignes à moyenne tension (MT ou HTA) alimentées par des postes HT/MT et fournissant de l'énergie électrique, soit directement aux consommateurs importants soit aux différents postes MT/BT.
- Des lignes à basse tension qui alimentent les usagers soit en monophasé soit en triphasée. Les réseaux MT font pratiquement partie, dans leur totalité des réseaux de distribution.

I.5 Type de réseaux de distributions :

I.5.1 Réseaux de distribution à moyenne tension :

Les lignes moyennes tension permettent le transport de l'électricité à l'échelle locale vers les petites industries HTA (30 et 10 kV le plus répandu) [1],

- Neutre à la terre par une résistance,
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens,
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains,
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

I.5.2 Réseaux de distribution à basse tension :

Les lignes basse tension sont les plus petites lignes du réseau, Ce sont celles qui nous servent tous les jours pour alimenter nos appareils ménagers BT (230 / 400 V) :

- Neutre directement à la terre,
- Réseaux de type radial, maillés et bouclés.

I.6 Les postes électriques :

I.6.1 Les postes électriques de distribution :

Les postes électriques de distribution vont servir de lien entre les lignes électriques et les consommateurs. Leur rôle principal est de transformer l'électricité à haute tension en électricité à basse tension pour qu'elle puisse être consommée par tous. Ces infrastructures sont donc des éléments du réseau électrique servant à la distribution de l'électricité.[5]

Elles sont composées de trois éléments principaux :

I.6.1.A Le transformateur :

Comme son nom l'indique, il est chargé de convertir l'électricité à haute tension en une électricité à basse tension. Le but étant que l'électricité soit prête pour les réseaux de distribution qui l'achemineront vers les foyers.

I.6.1.B Les disjoncteurs :

Ils préservent le réseau de possibles surcharges causées éventuellement par la foudre ou des ruptures électriques avec des branches d'arbres. Ils permettent de couper une partie du réseau pour éviter tout danger et isoler une partie plutôt que de voir une grande portion du réseau mis hors tension de façon incontrôlée.

I.6.1.C Les sectionnaires :

Ils orientent le courant dans le poste.

Les postes électriques servent aussi à l'interconnexion entre les lignes de même tension. Cela permet de répartir l'énergie sur les différentes lignes issues du poste. Ces postes ont aussi un rôle de surveillance du réseau : la tension de celui-ci et l'intensité dans les lignes sont surveillées via des transformateurs de mesure, de tension et de courant.

Les postes électriques se trouvent donc aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution. Et ils contribuent [1] :

1. À la mesure des flux d'énergie (équipements de comptage d'énergie),
2. Au changement tarifaire par la télécommande centralisée,
3. À la sûreté du réseau de transport par le système de délestage,
4. À la qualité et à la continuité de l'alimentation électrique par les systèmes de réenclenchement automatique, de réglage de la tension et de compensation du réactif.

I.6.2 Postes électriques de transport :

Le poste de transformation électrique permet d'orienter l'électricité selon les besoins des consommateurs et les capacités de transit des lignes électriques. Élévation ou diminution de la tension. La tension apportée par le réseau est modifiée par un ou plusieurs transformateurs qui sont abrités dans un poste de transformation. Puis, à partir de postes électriques, elle est successivement abaissée d'un niveau de tension à un autre, jusqu'à la tension d'utilisation du réseau de distribution.

Il existe trois technologies principales pour les postes électriques haute tension :

I.6.2.1 La technologie isolée dans l'air :

Dite aussi conventionnelle. Dans ce cas, les conducteurs électriques hautes tensions sont séparées par une distance d'air qui en assure l'isolation. Ces postes peuvent être réalisés en extérieur, ou bien en bâtiment. Cette variante permet de réduire les dimensions du poste, les équipements haute-tension, notamment les isolateurs, étant à l'abri des intempéries et de la pollution [2].



Figure I-2 : Technologie d'un poste isolée dans l'aire.

I.6.2.2 La technologie à isolation gazeuse :

Dite aussi blindée ou GIS (Gaz Insulated Switchgear). Dans ce cas, les conducteurs électriques sont encapsulés dans une enveloppe métallique remplie d'un gaz, l'hexafluorure de soufre (SF6), dont les propriétés diélectriques très supérieures à celles de l'air permettent de réduire les distances d'isolation entre chaque organe de l'installation [2].

La technologie dite blindée possède des avantages techniques par rapport à la technologie dite conventionnelle. Une analyse du coût du cycle de vie, en intégrant les aspects de coût du terrain, investissement, fiabilité, maintenance (détection de fuite) et finalement recyclage du gaz SF6 et démantèlement peut montrer qu'elle est finalement globalement moins chère.



Figure I-3 : Technologie d'un poste à isolation gazeuse SF6**.**

I.6.2.3 La technologie des cabines mobiles :

C'est un type a une large utilisation on Algérie dit cabine mobile, un sou station électrique montée sur des remorques mobile pour qu'elle soit transportable d'un site à un autre pour les besoins de l'exploitation en générale, elle est constituée d'un module tête blindé (travée ligne), une remorque HT (le transformateur de puissance), et un module HTA (MT), leur installation et facile sou les lignes de transport selon le besoin.



Figure I-4 : Technologie des cabines mobiles.

I.7 Les architectures de réseaux [6] :

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.

I.7.1 Structure générale d'un réseau privé de distribution :

Dans le cas général avec une alimentation en HTB, un réseau privé de distribution comporte (voir Figure I-5) :

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

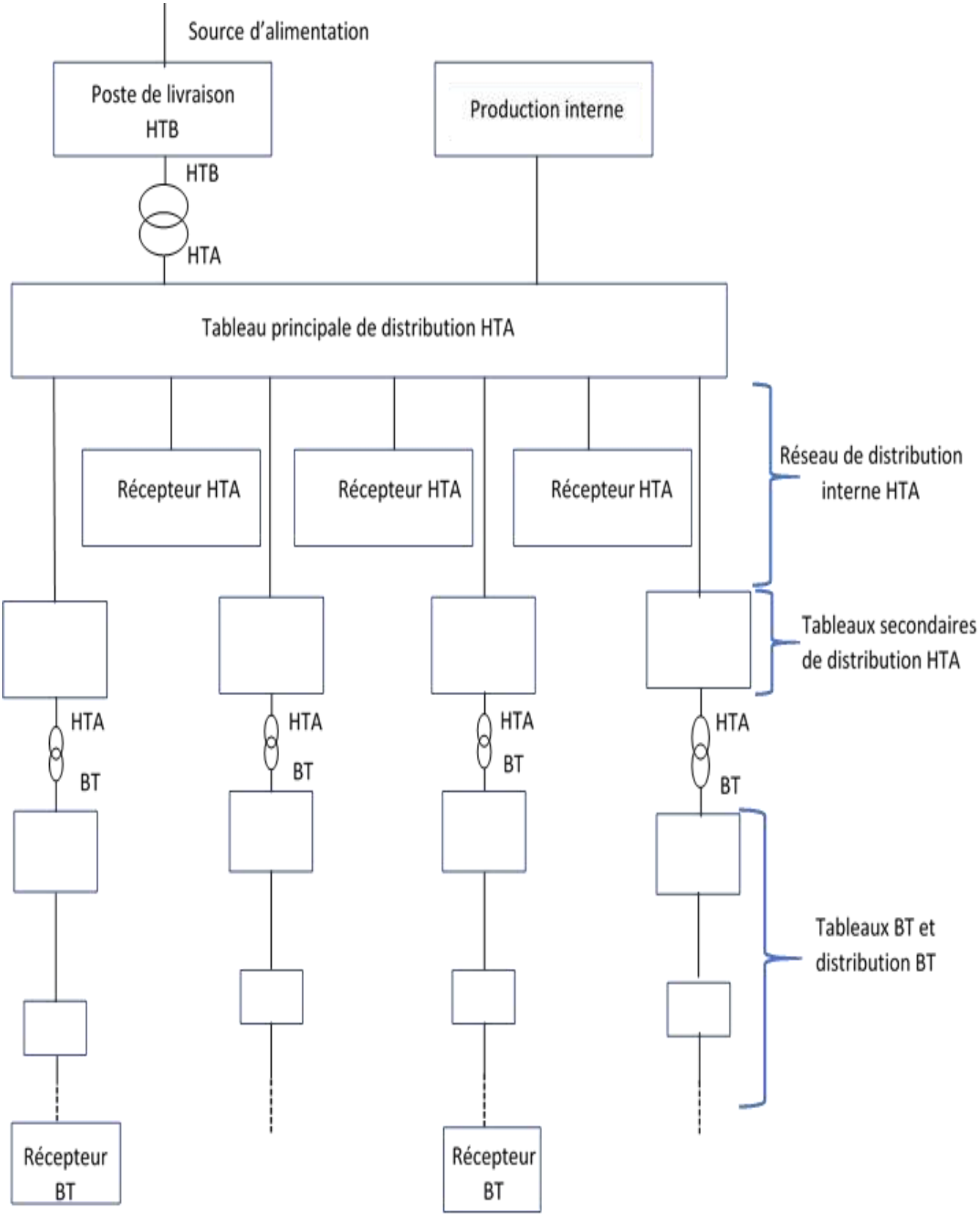


Figure I-5 : structure générale d'un réseau privé de distribution.

I.7.2 Les postes de livraison HTB :

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

- d'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB
- d'autre part, la borne aval du ou des transformateurs HTB / HTA

Les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés sont les suivants :

- **Simple antenne** (voir Figure I-6)

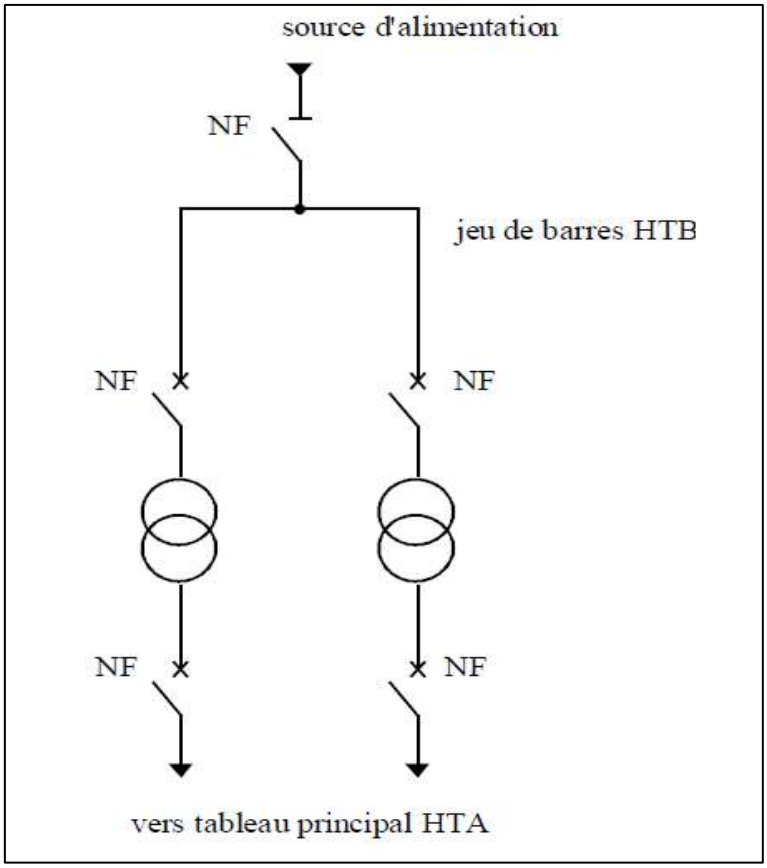


Figure I-6 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB.

➔ **Avantage :** Coût minimal.

➔ **Inconvénient :** Disponibilité faible.

- **Double antenne** (voir Figure I-7)

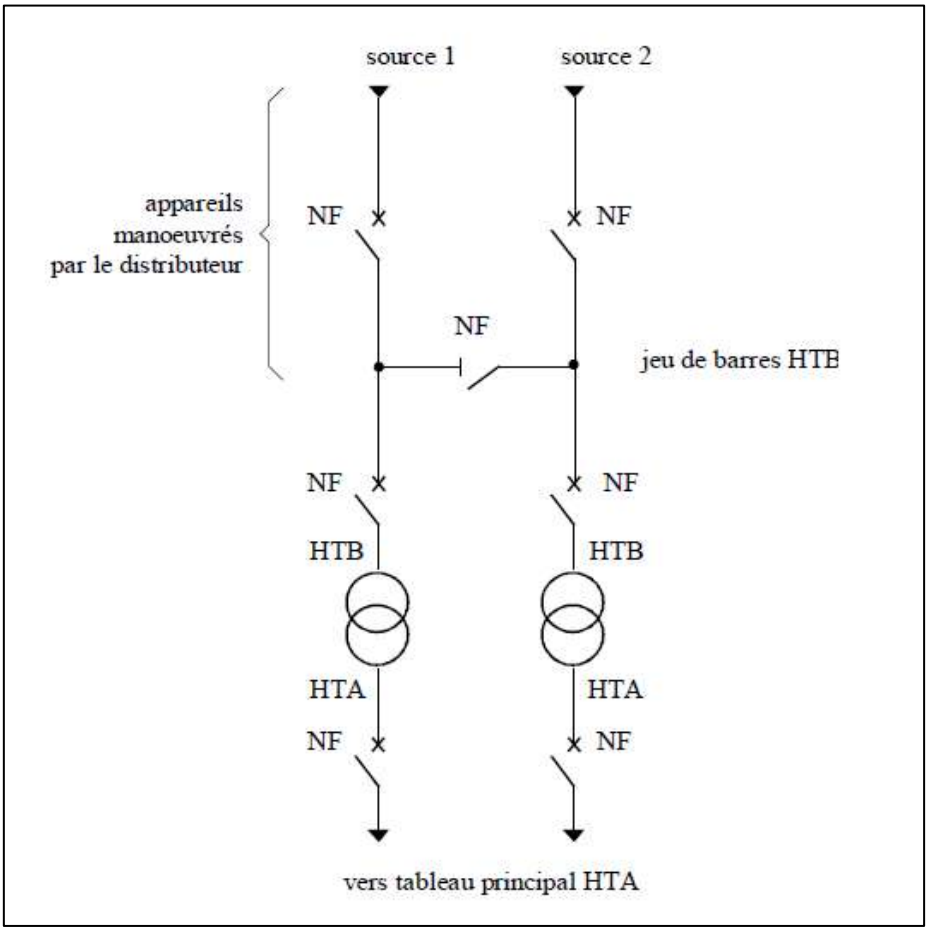


Figure I-7 : alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB **.**

➔ **Mode d'exploitation :**

- normal : Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage.
  Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément.
- perturbé : En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

➔ **Avantages :**

- bonne disponibilité, dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau
- maintenance possible du jeu de barres, avec un fonctionnement partiel de celui-ci

➔ **Inconvénients :**

- solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne.
- ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance de celui-ci.

- **Double antenne - double jeu de barres** (voir Figure I-8)

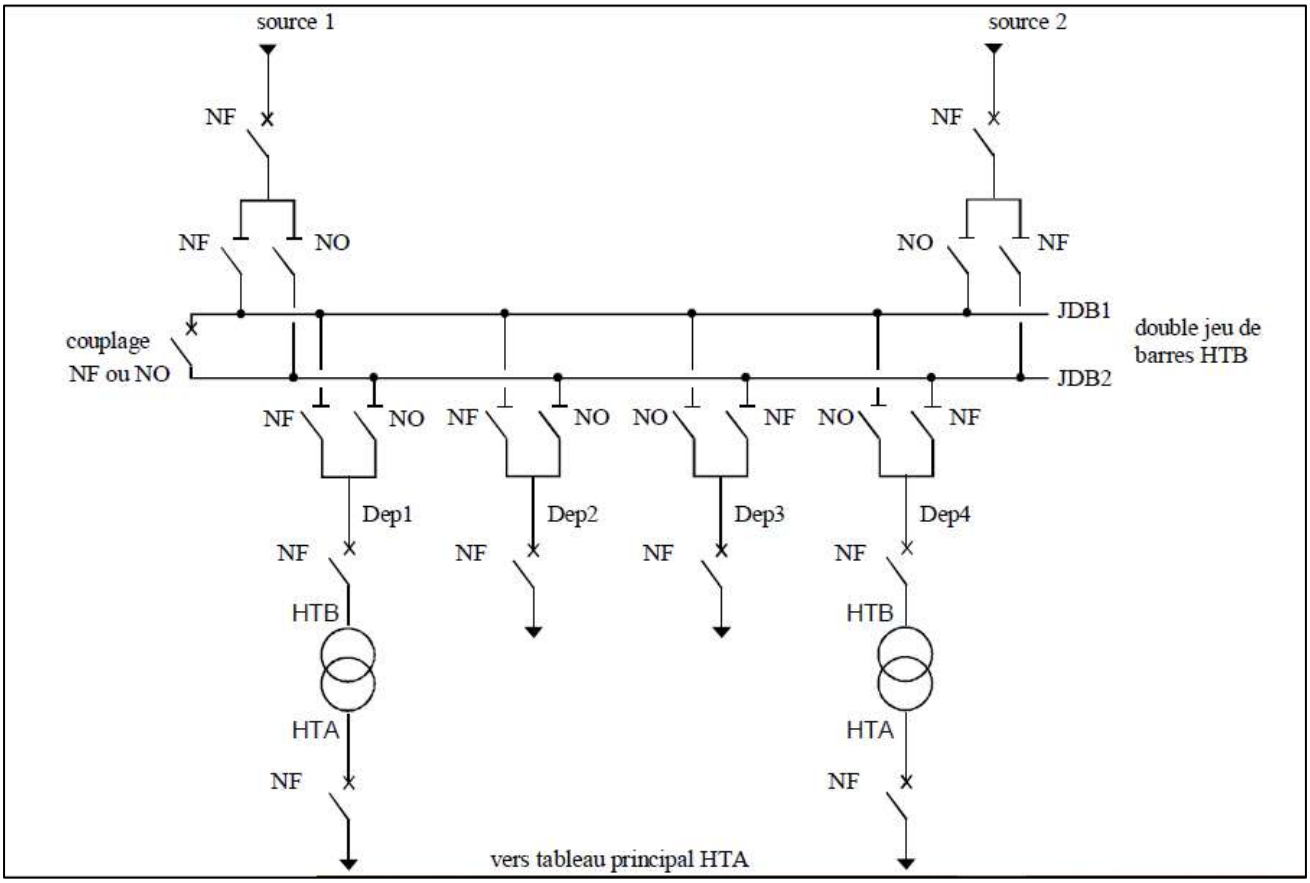


Figure I-8 : Alimentation double antenne - double jeu de barres d'un poste de livraison HTB**.**

➔ **Mode d'exploitation :**

- normal : La source 1 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB1 et les départs Dep1 etDep2. La source 2 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB2 et les départs Dep3 etDep4.

Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.

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

➔ **Avantages :**

- bonne disponibilité d'alimentation
- très grande souplesse d'utilisation pour l'affectation des sources et des charges, et pour la maintenance des jeux de barres
- possibilité de transfert de jeu de barres sans coupure (lorsque les jeux de barres sont couplés, il est possible de manœuvrer un sectionneur si son sectionneur adjacent est fermé).

➔ **Inconvénient :**

- surcoût important par rapport à la solution simple jeu de barres.

I.7.3 Les postes de livraison HTA :

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

- **Simple dérivation** (voir Figure. I-9)

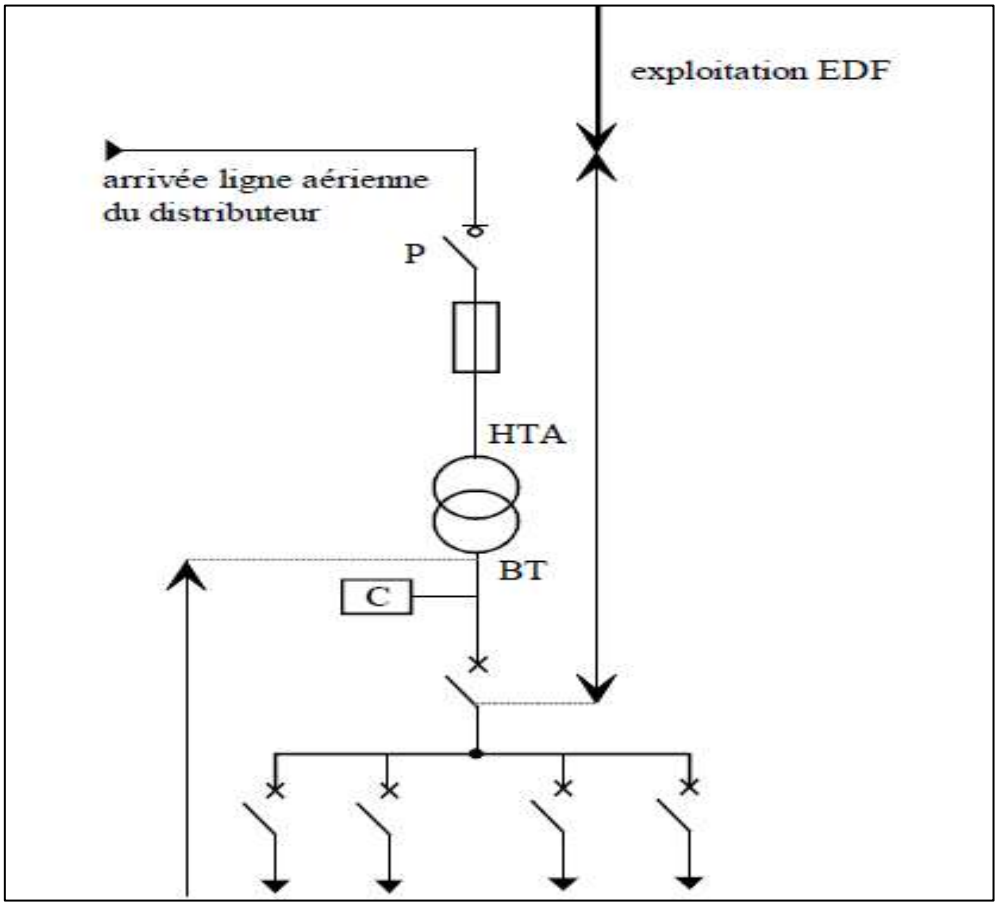


Figure I-9 : Alimentation en simple dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT.

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

- **Coupure d'artère** (voir Figure I-10)

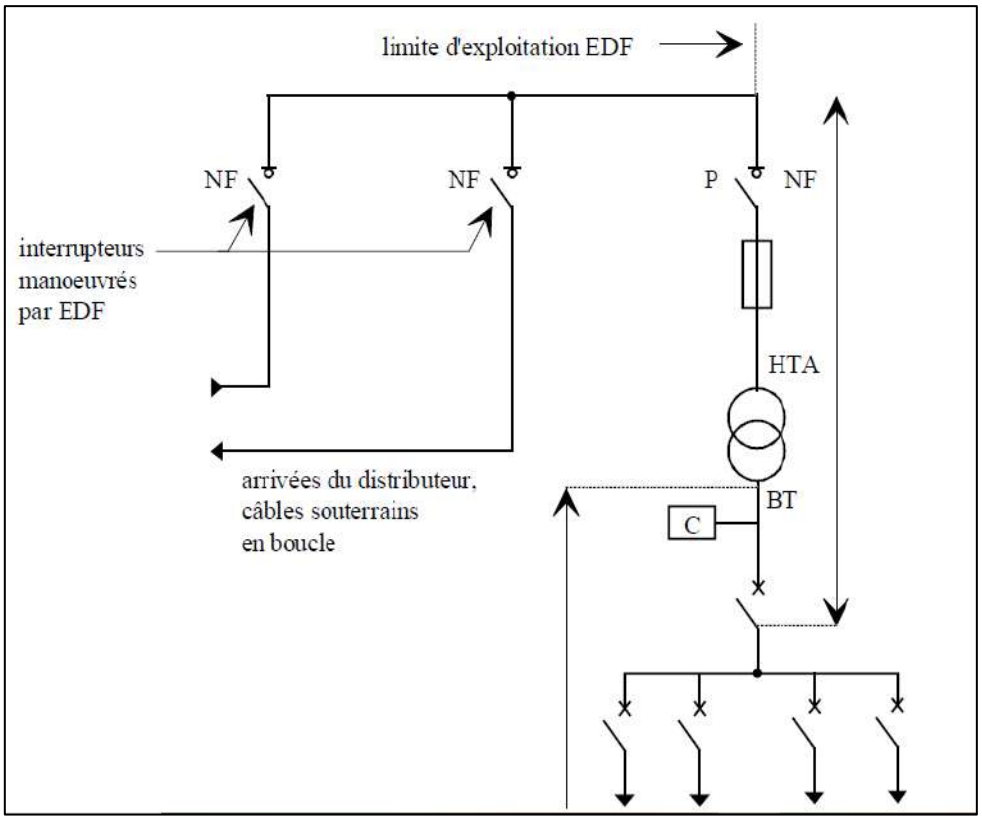


Figure I-10 : Alimentation en coupure d'artère d'un poste de livraison HTA à comptage BT.

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

- **Double dérivation**

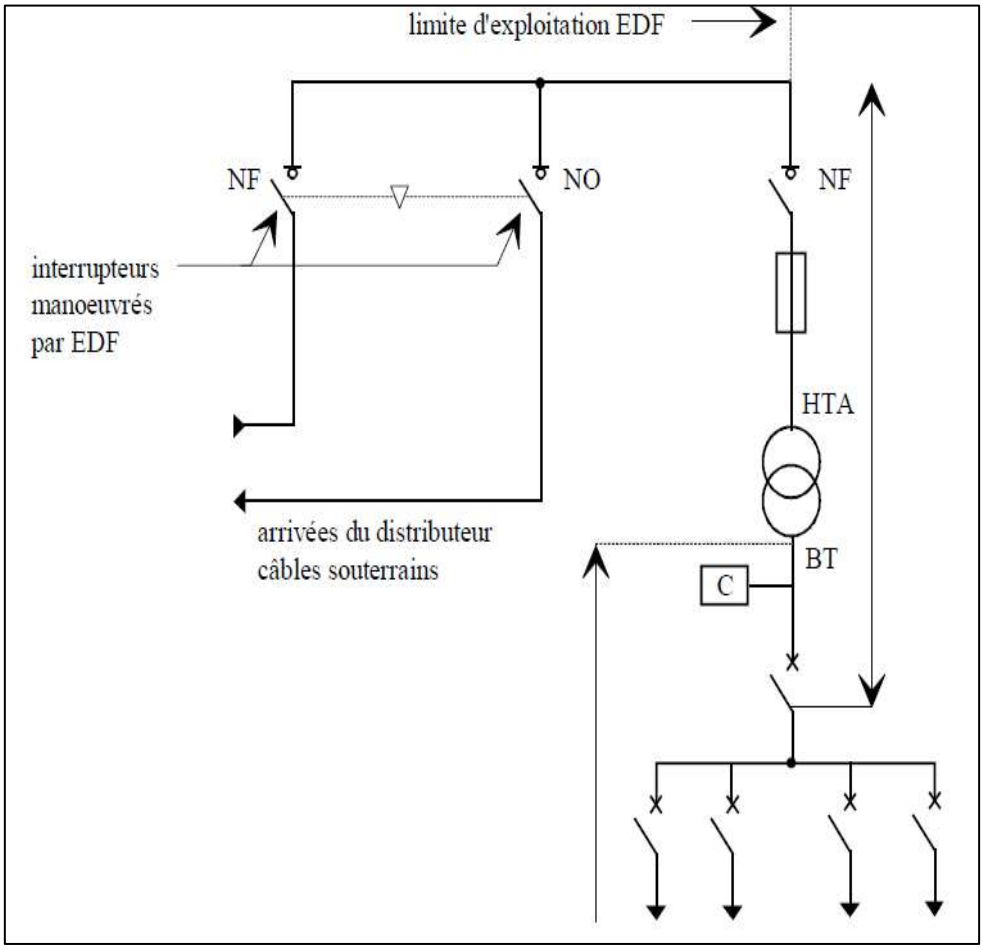


Figure I-11 : Alimentation en double dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT.

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

I.8 Différentes structures des réseaux [7] :

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

- ➔ Structure radiale.
- ➔ Structure bouclée.
- ➔ Structure maillée.

I.8.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.

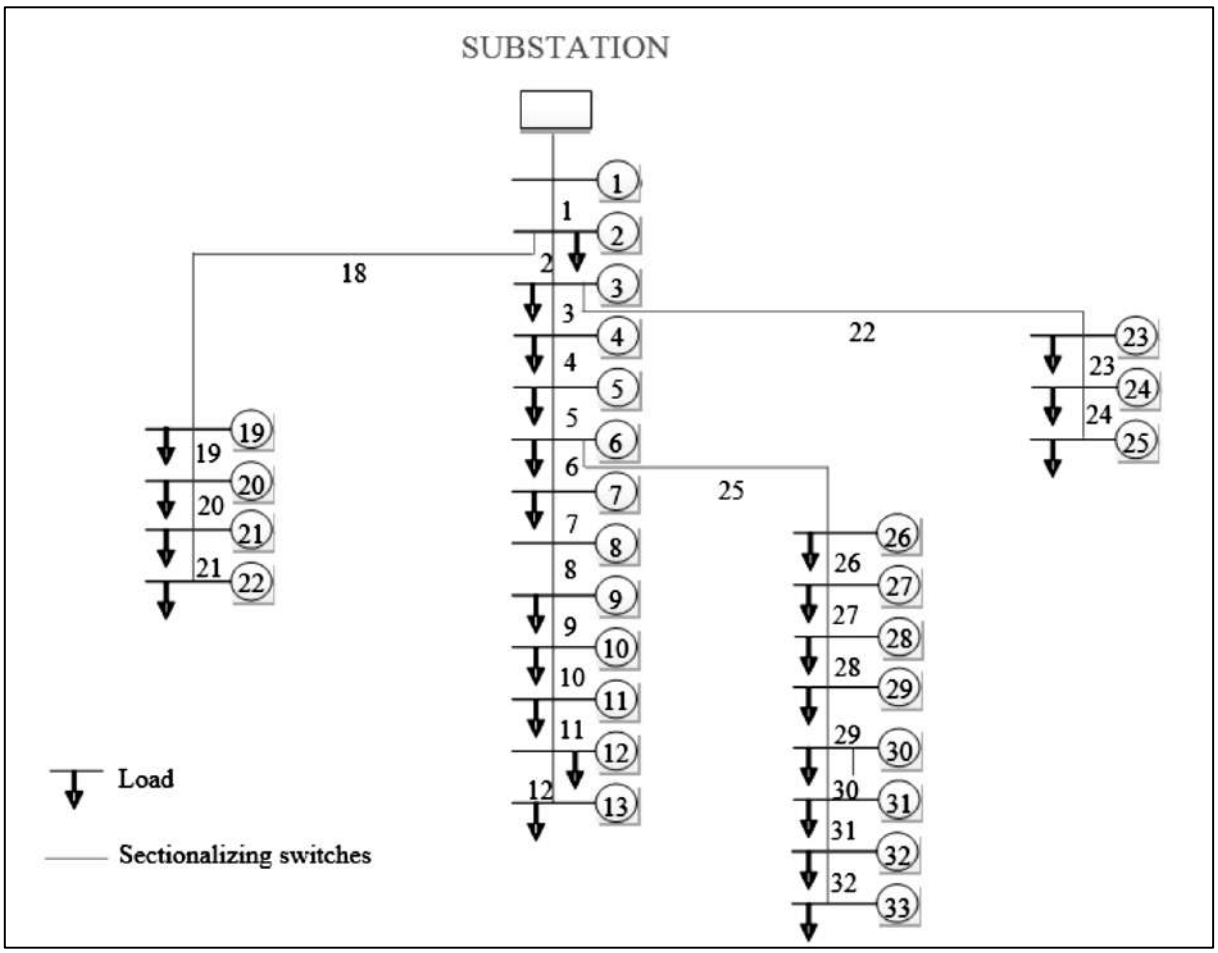


Figure I-12 : Structure radiale des réseaux électrique**.**

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'avarie de la première.

I.8.b) Structure bouclée :

Chaque ligne dessert en cascade un certain nombre de postes, ceux-ci sont munis à l'entrée et à la sortie d'un appareil l'isolement du tronçon compris entre deux postes :

➔ Meilleure sécurité d'alimentation.

➔ Cout du réseau plus grand.

➔ Souvent utilisée pour les réseaux de répartition.

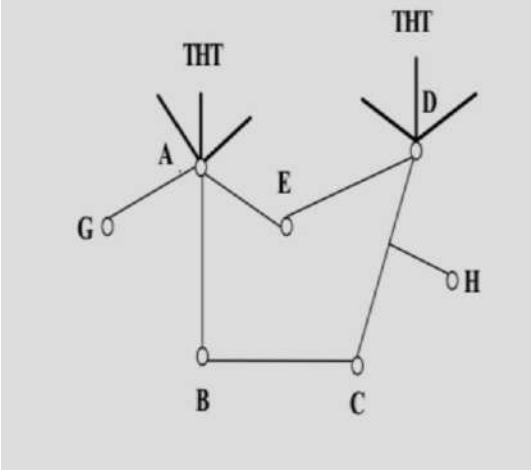


Figure I-13 : Structure bouclée des réseaux électrique**.**

I.8.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 munis à leurs deux extrémités. D'appareils de coupure, les isolants en cas d'avarie. Présente une meilleure sécurité au prix le plus élevé [3].

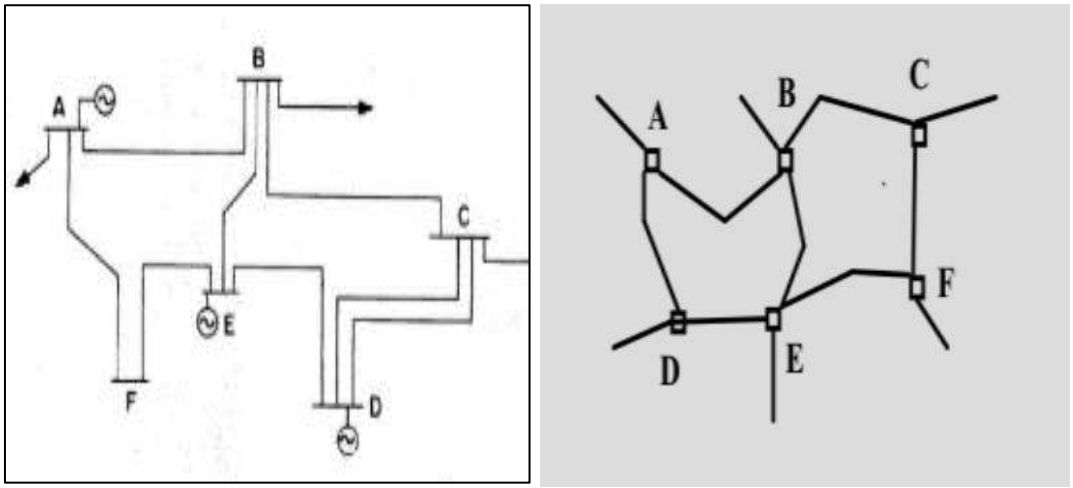


Figure I-14 : Structure maillée des réseaux électrique.

I.9.conclusion :

Les réseaux étant présents en de nombreux points du domaine public ; Dans ce chapitre, on a donné un aperçu général sur l'architecteurs du réseau électrique de distribution, des définitions, les Différents types de réseaux électriques ainsi que les postes électriques sont présentées. En plus nous avons présenté une vue d'ensemble des types des réseaux de distributions.

Le distributeur se doit de fournir le service de transport de l'électricité sur les réseaux de distribution au meilleur niveau de qualité et au meilleur coût dans les conditions de sécurité optimales. En effet, ce sont les réseaux de distribution qui sont à l'origine d'une part essentielle de la qualité effectivement reçue par l'usager aux bornes de son alimentation. En outre, la part HTA et BT des réseaux représente une partie importante du coût total des infrastructures nécessaires à la desserte d'un client.

CHAPITRE II :

l’écoulement de puissance dans les réseaux de distribution

II.1 Introduction

L'écoulement de puissance (E.P) ou l'écoulement de charge est la solution des conditions du fonctionnement normal d'un réseau électrique [19] afin d'assurer une exploitation efficace, c'est-à-dire conforme aux normes techniques. Cet écoulement dépend de plusieurs grandeurs : les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes.

II.2 Définition

Le problème d'écoulement de puissance peut être défini comme étant le calcul des puissances active et réactive de transit dans chaque ligne du réseau électrique ainsi que l'amplitude et la phase de tension de chaque nœud pour des conditions de génération et de charges spécifiées.

L'information obtenue à partir d'une étude d'écoulement de puissance qui peut être utilisée pour tester la capabilité du système pour le transfert d'énergie des sources de génération vers les charges sans surcharge r les lignes de transport et en déterminant l'adéquation de la régulation de tension par les capacités ou réactances shunts [1].

II.2.1 But de l'étude de l'écoulement de puissance :

But de l'écoulement de puissance, Il est résumé dans les points suivants [20] :

i. Assurer l'équilibre entre la production et la demande d'énergie électrique

(L'amélioration de dépense de l'électricité, production d'énergie selon le besoin).

ii. Ne pas dépasser les valeurs limites (la stabilité théorique, selon la durée d'utilisation).
iii. Il faut conserver les tensions de jeu de barre entre les limites théoriques.
iv. Planification de réseau (à partir de calcul de la charge).
v. Augmenter la sécurité de fonctionnement des réseaux par une bonne stratégie d'EP (Ecoulement de puissance) avant les perturbations.

II.3 Gamme des tensions utilisées par le groupe Sonelgaz :

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (Sonelgaz) définit les niveaux des tensions alternatives comme suit [2] :

Domaines de tension		Valeur de la tension composée nominale (Un en Volts)	
		Tension Alternatif	**Tension Continu**
Très basse tension (TBT)		Un ≤50	Un ≤ 120
Basse tension (BT)	BTA	50 ≤ Un ≤500	120 ≤ Un ≤750
	BTB	500 ≤ Un ≤ 1000	750 ≤ Un ≤1500
Haut tension (HT)	HTA	1000 ≤ Un ≤50000	1500 ≤Un ≤75000
	HTB	Un >50000	Un >75000

Tableau II-1: Tableau des domaines des tensions.

II.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 [7].

II.5 Les pertes d'énergies dans un réseau de distribution :

II.5.1 Les types de pertes dans un réseau de distribution :

Les pertes d'énergie dans un réseau de distribution d'électricité sont de deux types : **les pertes techniques** et **les pertes non-techniques**. Les pertes non-techniques proviennent de consommations d'énergie non enregistrées. Ces pertes résultent de vols d'énergie ou d'erreurs de comptage et/ou de profilage. Dans certains pays en voie de

développement, ces pertes peuvent représenter jusqu'à 50% de la quantité d'électricité injectée dans le réseau notamment en raison de problème de corruption [21].

Les pertes techniques ont, elles aussi, des origines diverses. Elles peuvent provenir de pertes en ligne (développées plus bas) mais aussi de pertes liées à la transformation haute tension (HT)/basse tension (BT). Ces pertes apparaissent dans les transformateurs HT/BT et proviennent de **"pertes par effet Joule**" et de **"pertes fer".** Les "pertes fer" dépendent de la tension et de la fréquence d'alimentation, des matériaux utilisés et sont décomposées en pertes par courants de Foucault et pertes par hystérésis Comme les pertes présentes dans les transformateurs, les pertes en ligne sont à mettre en relation avec des phénomènes physiques des réseaux de distribution et plus particulièrement avec les pertes thermiques dues à l'effet Joule. Il convient de noter ici que les pertes liées à la distribution d'électricité sont plus importantes que celles constatées lors du transport de l'électricité. En effet, la tension est plus faible au sein d'un réseau de distribution, or le phénomène de pertes thermiques est une fonction décroissante de la tension à laquelle le courant circule. D'autre part, le fait d'utiliser un courant alternatif dans les réseaux de distribution engendre plus de pertes que si les distributeurs utilisaient du courant continu [21].

II.5.2 La problématique des pertes de puissances :

Les pertes de puissances, dues au passage d'un courant dans un conducteur électrique, constituent une préoccupation des exploitants des réseaux électriques. Ces pertes font partie des coûts d'exploitation de réseaux. L'énergie perdue dans l'ensemble des lignes et transformateurs électriques n'est pas une quantité négligeable par rapport à la quantité d'énergie consommée. Une quantité supplémentaire d'énergie doit donc être produite afin de compenser le déficit engendré par les pertes. Il est évident que, d'une certaine manière, le coût des pertes se retrouve finalement sur la facture d'électricité des consommateurs finaux [21]. Les distributeurs d'électricité assurent la compensation des pertes sur leurs réseaux par l'achat de l'énergie auprès des fournisseurs. Ce sont donc les gestionnaires de réseau qui voient apparaître, dans leur bilan financier, les pertes au sein de leur réseau. Les recettes qui permettent de couvrir ces dépenses sont inclues dans les charges d'exploitation du réseau.

II.6 Modélisation des branches et des charges :

II.6.1 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 soit 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.

Un modèle simple d'une ligne de transmission, qui a été utilisée dans l'algorithme, est montré dans la (Figure II.1) :

$$\bar{z} = r_{ij} + j\, x_{ij} \qquad \text{(II.1)}$$

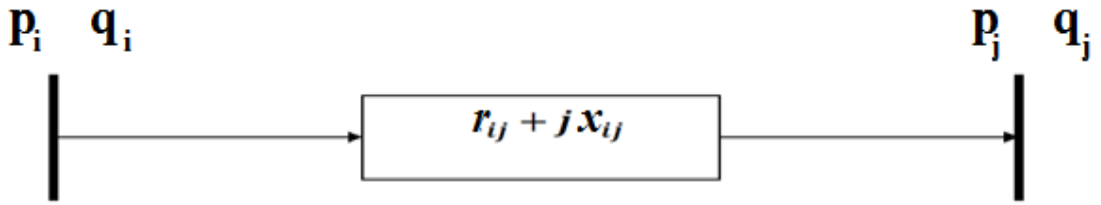


Figure II-1 : Modèle d'une ligne de transmission

II.6.2 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 :

$$p_i = p_{Oi}\left(\frac{v_i}{v_o}\right)^{\alpha} \qquad \text{(II.2)}$$

$$q_i = q_{Oi}\left(\frac{v_i}{v_o}\right)^{\beta} \qquad \text{(II.3)}$$

$$S = Pi + jQi \qquad \text{(II.4)}$$

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 àv_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.

II.6.3 Équations de base

Un certain nombre de méthodes de calcul l'écoulement de puissance utilise des équations récursives sous différentes formes considérant d'extrémité d'envoi(i) ou l'extrémité de réception (j). **[7]**

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

$$v_j^2 = v_i^2 - 2\left(r_{ij}p_i + x_{ij}q_i\right) + \frac{\left(r_{ij}^2+x_{ij}^2\right)}{V_j^2}\left(p_i^2 + q_i^2\right) \qquad \text{(II.5)}$$

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 au nœud i.

q_i Puissance réactive au nœud i.

II.6.3.1 démonstration de l'équation de base :

D'âpres le modèle d'une ligne de transmission on a : $\bar{v}_j = \bar{v}_i - Z\,\bar{I}_{ij}$ (II.6)

D'âpres l'équation (II.1) on remplace Z $\bar{v}_j = \bar{v}_i - (r_{ij} + jx_{ij})\bar{I}_{ij}$ (II.7)

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

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

On a: $s_i^* = \bar{v}_i^*.\bar{I}_{ij}$

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

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

$$v_j^2 = v_i^2 - 2\frac{\bar{v}_i}{v_i^*}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)s_i^* + \frac{\left(r_{ji}^2 + x_{ij}^2\right)}{v_j^2}\left(p_j^2 + q_j^2\right) \quad \text{(II. 12)}$$

D'âpres Les équations (II.5) et (II.12) on a :

$$-2\frac{\bar{v}_i}{v_i^*}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)s_i^* = -2\left(r_{ij}p_i + x_{ij}q_i\right) \quad \text{(II. 13)}$$

On pose : $-2\left(r_{ij}p_i + x_{ij}q_i\right) = X$ (II. 14)

Alors : $X = -2\frac{\bar{v}_i}{v_i^*}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)(p_i - jq_i)$ (II. 15)

On a :

$$\bar{v}_i = v_i(cos\delta + jsin\delta) \quad \text{(II. 16)}$$

$$v_i^* = v_i(cos\delta - jsin\delta) \quad \text{(II. 17)}$$

Alors : $X = 2\bar{v}_i\left[\frac{1}{v_i^*}\left(r_{ij} + jx_{ij}\right)(p_i - jq_i)\right]$ (II. 18)

$$X = 2\bar{v}_i\left[\frac{v_i(cos\delta + jsin\delta)\left(r_{ij}p_i + jx_{ij}q_i\right) + j\left(r_{ij}p_i + jx_{ij}q_i\right)}{v_i(cos\delta + jsin\delta)v_i^*}\right] \quad \text{(II. 19)}$$

On pose :

$$\alpha = r_{ij}p_i \quad \text{(II. 20)}$$

$$\beta = x_{ij}q_i \quad \text{(II. 21)}$$

$$X = -2\bar{v}_i\left[\frac{(cos\delta + jsin\delta)(\alpha + j\beta)}{(cos\delta + jsin\delta)(cos\delta - jsin\delta)v_i}\right] \quad \text{(II. 22)}$$

On a : $(cos\delta + jsin\delta)(cos\delta - jsin\delta) = 1$ (II. 23)

Alors :

$$X = -2v_i\left[\frac{(cos\delta + jsin\delta)(\alpha + j\beta)}{v_i}\right] \quad \text{(II. 24)}$$

$$X = -2(cos\delta + jsin\delta)(\alpha + j\beta)(cos\delta + jsin\delta) \quad \text{(II. 25)}$$

$$X = -2(cos\delta + jsin\delta)[(\alpha cos\delta - \beta sin\delta) + j(\beta cos\delta + \alpha sin\delta)] \quad \text{(II. 26)}$$

$$X = -2[\alpha cos^2\delta - \beta\, cos\,\delta\, sin\delta + j\beta cos\delta sin\delta + \alpha sin^2\delta] \quad \text{(II. 27)}$$

$$X = -2[\alpha cos^2\delta + \alpha sin^2\delta] \quad \text{(II. 28)}$$

$$X = -2\alpha[cos^2\delta + sin^2\delta] \quad \text{(II. 29)}$$

$$X = -2\alpha \quad \text{(II. 30)}$$

$$X = -2\left(r_{ij}p_i + jx_{ij}q_i\right) \quad \text{(II. 31)}$$

Les pertes de lignes et entre les jeux de barre d'extrémité d'envoi et de réception peuvent être calculés en utilisant les équations :

$$ploss_{ij} = r_{ij}\frac{\left(p_j^2 + q_j^2\right)}{v_j^2}$$

$$qloss_{ij} = x_{ij}\frac{\left(p_j^2 + q_j^2\right)}{v_j^2}$$

II.7 Conclusion

Les pertes de puissances, le faible facteur de puissance et la dégradation du profil de la tension sont la conséquence du fort transit de courant dans les réseaux électriques. D'où la nécessite d'avoir un modèle mathématique du système étudié pour pouvoir résoudre le problème de l'écoulement de puissance et nous associons à chaque jeu de barre la puissance active et réactive, pour chaque ligne nous associons la résistance et la réactance. C'est ce que nous allons voire au prochain chapitre.

Chapitre III :

Notion de reconfiguration et méthodes d'optimisation

III.1 Introduction :

Ce 3ème chapitre traite la notion de reconfiguration et d'optimisation avec ces méthodes ; il présente aussi l'essentiel de notre travail « la méthode de Baran ».

L'exploitation des réseaux électriques impose plusieurs problèmes d'ordre technique et économique. L'exploitant du réseau doit assurer en tout temps et lieu la couverture de l'énergie demandée, de garantir une qualité acceptable de la puissance livrée et de procurer une sécurité d'alimentation élevée avec un coût aussi faible que possible [10].

III.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.

III.3 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, ainsi que l'amélioration du profil de tension [7].

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

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

- 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 [9].

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

Les réseaux électriques de distribution sont construits d'une manière à être à la fois maillés et interconnectés. Toutefois, ils sont arrangés pour être radiaux pendant le

fonctionnement, leurs configurations peuvent être modifiées suite à des commutations, manuelles ou bien automatiques, de telle sorte que toutes les charges soient alimentées avec le minimum des pertes.

La reconfiguration soulage également la surcharge des composants du réseau, cette reconfiguration est effectuée à travers la fermeture des commutateurs de sectionnement (normalement fermées) et l'ouverture des tie-switches (normalement ouvertes) et de manière à maintenir la radialité du réseau afin que toutes les charges soient alimentées, le problème qui se pose est pour déterminer l'état des interrupteurs du réseau de telle sorte que la réduction des pertes soit atteinte [9].

III.4 Les déférents régimes :

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 [11].

III.5 Modèle mathématique du processus de reconfiguration :

Le processus de reconfiguration des réseaux électriques de distribution peut être considéré comme un problème d'optimisation.

III.5.1 Technique de programmation quadratique (QP) :

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 [7].

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

$$f(x1, \dots\dots, x_n) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} q_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \qquad \text{(III. 1)}$$

Sous les contraintes :

$$g_k(x) = \sum_{i=1}^{n} a_{ij}\, x_i \leq 0 \qquad k \in 1, \dots\dots\dots, m \qquad \text{(III. 2)}$$

Ce problème s'exprime sous forme matricielle :

$$f(x) = \frac{1}{2} X^T Q_X + C^T X \qquad \text{(III. 3)}$$

$$g_k(x) = Ax \leq 0 \qquad k \in 1, \dots\dots, m \qquad \text{(III. 4)}$$

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.

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 recherchée par des méthodes de programmation stochastique [7].

Les critères utilisés couramment dans la fonction objective 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.

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.

III.6 Méthodes et stratégies de reconfiguration :

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

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

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

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

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

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

Les méthodes heuristiques de reconfiguration peuvent utiliser trois stratégies de reconfiguration [9] :

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 III.1). Le nombre des étapes nécessaires pour obtenir la configuration finale est donné par le nombre des nœuds consommateurs.

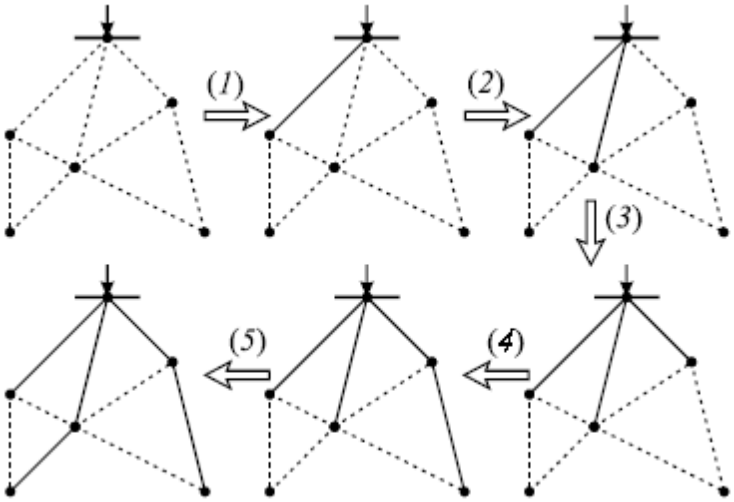


Figure III-1 : Principe de la Stratégie Constructive.

Stratégie de type « destructive » : caractérisée par le fait que toutes les branches de la configuration initiale se trouvent dans l'état « en service ». Par le passage successif de certaines branches dans l'état « hors service » on obtient la configuration finale arborescente désirée (Figure III.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 choix sur les branches candidates est selon la variation pour l'objectif de reconfiguration.

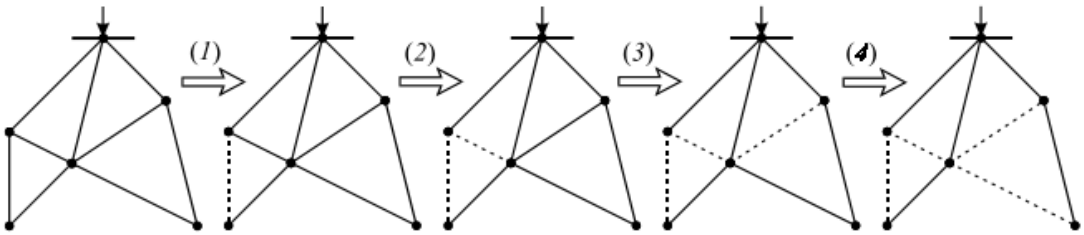


Figure III-2 : Principe de la Stratégie Destructive.

Stratégie de type « permutation de branches » : caractérisée par le fait que la configuration initiale est arborescente et au fil du processus le caractère arborescent doit être gardé tout le temps. Pour transiter d'une configuration arborescente à l'autre, on passe une branche dans l'état « en service » en formant ainsi une maille. Pour garder le caractère arborescent, une branche de cette maille est passée dans l'état « hors service » (Figure III.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.

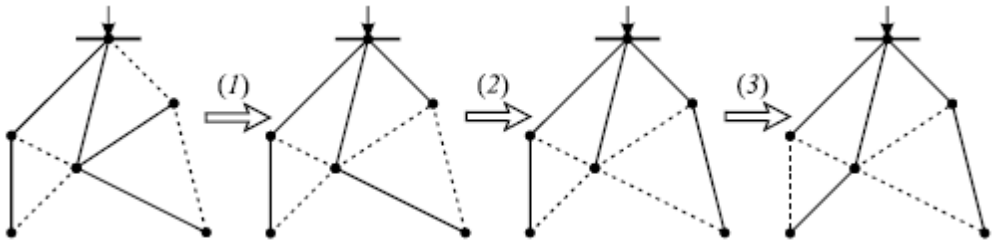


Figure III-3 : Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches".

III.7 Avantage de reconfiguration :

- ✓ Transmission Électrique Efficace.
- ✓ La reconfiguration de réseau améliore la stabilité de tension du système.
- ✓ Le perfectionnement de la stabilité de tension peut être réalisé sans n'importe quel coût additionnel impliqué pour l'installation des condensateurs et de l'équipement relatif de commutation.

III.8 Optimisation :

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

III.8.1 Méthodes d'optimisation déterministes :

Beaucoup de techniques d'optimisation classiques tels 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 [7].

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.

III.8.1.1 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. 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 [7].

8.1.1.a) Formulation mathématiques :

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

$$x_1 = x_0 - \lambda_0 \frac{\nabla f(x_0)}{\|\nabla f(x_0)\|} \qquad \text{(III. 5)}$$

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

$$x_k + 1 = x_k - \lambda_k \frac{\nabla f(x_k)}{\|\nabla f(x_k)\|} \quad \forall\, k, \lambda_k > 0 \qquad \text{(III. 6)}$$

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.

8.1.1.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.

III.8.1.2 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 [7].

$$f\left(x^{(k+1)}\right) = f\left(x^{(k)}\right) + \left[\nabla f(x^{(k)}\right]^T + \left[\Delta x^{(k+1)}\right] + \left[\Delta x^{(k+1)}\right]^T \left[\nabla^2 f(x^{(k)}[\Delta x^{(k+1)}]\right] \quad \textit{(III.7)}$$

Où : *F : 7TRn →Rn* est régulière (au moins différentiable). On cherche donc $x^{(*)}$ tel que : *F(x) = 0*, Pour toute *i = 1,….n.*

III.8.1.3 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.

Typiquement, considérons un problème de la forme :

$$\min f(x) \qquad avec\ h(x) \geq 0 \tag{III.8}$$

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

$$min\, f_u\,(x, \mu^k) avec \quad f_u(x, \mu^k) = f(x) - \mu^k \sum_i ln\, h_i\,(x) \tag{III. 9}$$

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 μ0 ainsi que sa procédure de remise à jour doivent être choisis de manière judicieuse pour éviter les problèmes de divergence.

III.8.2 Paramètres d'optimisation :

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

Résoudre un problème d'optimisation, c'est-à-dire recherche parmi un ensemble de solutions qui vérifient des contraintes données, la (ou les) solution(s) qui rend (ent) minimale (ou maximale) une fonction mesurant la qualité de cette solution. Cette fonction est appelée fonction objective ou fonction évaluation.[9]

III.8.2.1 La fonction objective :

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

Cette fonction permet de mesurer l'efficacité de la solution. La pertinence des solutions potentielles dépend essentiellement de la formulation de cette fonction. En

effet, quelle que soit sa définition, l'algorithme convergera vers un optimum de cette fonction. Elle doit donc exprimer le plus fidèlement possible sous forme mathématique le ou les objectifs à atteindre.

III.8.2.2 Les contraintes imposées :

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

III.8.2.2.1 La structure du réseau doit être radiale

Cette contrainte est relative aux variables de décision du problème d'optimisation. Elle indique la conservation de l'arborescence du schéma d'exploitation recherché et, pour des raisons de protection contre les surintensités de courant dans branches, n'admet aucune tolérance, c'est-à-dire aucune maille dans ce schéma [14]. Dans un arbre avec A nœuds et B branches, l'équation suivante doit être toujours vérifiée : $\boldsymbol{A}=\boldsymbol{B}+\mathbf{1}$ (III.10)

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

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

III.8.2.2.2 Tous les consommateurs doivent être alimentés

Parmi les objectifs du fournisseur de l'électricité l'assurance de la continuité du service c.-à-d. tous les consommateurs doivent être alimenté à tout moment et ne pas isoler une charge donnée, pour vérifie cette condition il faut juste assurer que l'équation (III.10) soit vérifiée [9].

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

III.8.2.2.3 Le profil de tension doit être admissible

Par ailleurs, les exploitants doivent, pour des raisons qualitatives de l'énergie délivrée, garantir une tension aussi proche que possible de la tension nominale en chaque point de consommation soit en chaque nœud du réseau. L'écart maximal toléré peut varier d'une entreprise à une autre selon les moyens de compensations disponibles (condensateurs, autotransformateur survolteur-dévolteur, …). En général, la valeur absolue de cet écart varie entre 5 et 10% selon le régime de fonctionnement normal ou défaillant du réseau [15].

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

III.8.2.3 Les algorithmes évolutionnaires :

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

Les différents types des algorithmes évolutionnaires :

- Les algorithmes génétiques
- Les stratégies d'évolution
- La programmation évolutionnaire

III.9 Méthode de Baran

M. Baran a écrit dans sa d'article [1] que l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radial peut être décrit par un ensemble des équations récursives, appelées DistFlow équation, qui utilisent la puissance active, la puissance réactive et 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 à la réception de l'extrémité de la branche comme suit.

III.9.1 Les équations DistFlow (DistFlow Equations)

On va utiliser essentiellement les équations DistFlow pour les réseaux radiaux. Laissez p_{ij},et q_{ij}, dénoter la puissance active et réactive au bus *(i)* allant à *(j)*, v amplitude de tension, et *PL (i)* et *QL (i)* charges actives et réactives au bus i.

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

Les équations DistFlow sont données par :

$$\sum_{k:(i,k)\in W} p_{ik} = p_{ji} - r_{ij}\,\frac{\left(p_{ji}^2 + q_{ji}^2\right)}{v_j^2} - p_i^L \qquad \text{(III. 11)}$$

$$\sum_{k:(i,k)\in W} q_{ik} = q_{ji} - x_{ij}\,\frac{\left(p_{ji}^2 + q_{ji}^2\right)}{V_j^2} - q_i^L \qquad \text{(III. 12)}$$

$$v_i^2 = v_j^2 - 2\left(r_{ij}p_{ji} + x_{ij}q_{ji}\right) + \left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right)\frac{\left(P_{ji}^2 + q_{ji}^2\right)}{V_j^2} \qquad \text{(III. 13)}$$

III.10 Conclusion

La reconfiguration du réseau de distribution entraine une modification au niveau de la structure topologique des lignes de distribution, en vue de minimiser les pertes, d'améliorer le profil de tension et assurer une protection.

Le processus qu'on appelle l'optimisation a pour objectif de donner les propriétés les plus désirables d'un système.

Ce chapitre se termine par la définition de la méthode qu'on va programmer prochainement, il traite aussi les équations DistfFlow à travers les équations de base de ce réseau électrique, néanmoins elle génère un problème à l'écoulement de puissance.

Chapitre IV :
Simulation, Analyse des résultats.

IV.1 Introduction :

Le réseau de distribution IEEE 33 nœuds a été proposé dans notre sujet afin d'étudier l'efficacité du processus de reconfiguration dans les réseaux électriques de distribution.

Les équations Distflow ont été initialement développées par Baran et Wu pour résoudre le 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.

Concernent l'optimisation qu'est pour le but de minimisation des pertes de puissance totale de ce réseau IEEE33 nœuds, nous avons utilisé l'application de la reconfiguration optimale par l'optimisation convexe [17] (la solution qui été affecter récemment à partir de « la reconfiguration par Taylor » l'Optimum Power Flow).

Dans cette étude, nous avons utilisé MATLAB pour exécuter le programme de configuration du réseau IEEE33 nœuds.

IV.2 Les Equations DistFlow :

Nous utiliserons largement les équations DistFlow pour les réseaux radiaux [17]. Les p_{ij} et q_{ij} sont la puissance active et réactive au bus i vers j, amplitude de tension v_i, p_i^Let q_i^L charges actives et réactives au bus i.

p_{ij} Et q_{ij} ne pas égal p_{ji} et q_{ji} .

Puisque v_i n'apparaît jamais dans notre formulation, nous considérer v_i^2 comme une variable elle-même. Soit B l'ensemble des bus, W soyez l'ensemble des lignes, r_{ij} et x_{ij} être la résistance de la ligne et la réactance. Sauf indication contraire, les contraintes à indice unique sont terminées tout i en B, et les contraintes à double indice sont sur tous (i, j) dans W.

Les équations DistFlow sont comme suit :

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

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

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

IV.3 Modèles convexes :

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 un radial topologie de réseau [17].

La reconfiguration était à l'origine traité avec les procédures d'échange de succursales, suivi de algorithmes génétiques, recuit simulé, et autres heuristiques, la littérature est vaste.

Lorsque toutes les variables sont continuées, des problèmes dans ces classes sont toujours convexes et admettent hautement efficace et fiable algorithmes polynomiaux [18]. Comme chacun sait, chaque classe devient dur polynomial non déterministe dur (NP-difficile) lorsque certaines variables sont discrètes. Cependant, de nombreux nombres entiers algorithmes de programmation, tels que branchés-et-liés, maintenir Excellente performance lorsque les limites calculables sont efficaces disponible, et il est donc hautement souhaitable d'avoir des polynômes relaxations continues sous-jacentes problèmes.

Les algorithmes utilisés garantissent une optimalité globale dans chaque approximation, ce qui n'est pas le cas de la plupart méthodes d'optimisation heuristiques. Comme on le verra dans les résultats section, ces solutions peuvent en effet exiger une grande quantité du temps de calcul et donc ils fournissent des solutions de base utiles, qui peut être utilisé comme des solutions de démarrage pour plus rapide, en temps réel techniques.

IV.4 Présentation du réseau IEEE 33 nœuds :

Pour notre cas d'étude, le réseau proposé est un système radial de distribution de 12.66 kV avec 33 nœuds et 5 lignes ouvertes qui nous permettent de modifier la topologie du réseau dont l'objectif est de minimiser les pertes de puissance active et améliorer le profil de tension.

IV.5 Partie simulation :

IV.5.1 La configuration initiale :

Le programme de simulation nous permet d'exécuter le calcul numérique des équations Distflow de la méthode de Baran afin de calculer les pertes de puissance dans le réseau proposé (IEEE 33 nœuds).

Le schéma ci-dessous représente la structure du réseau d'étude avant le processus de reconfiguration (état initiale) :

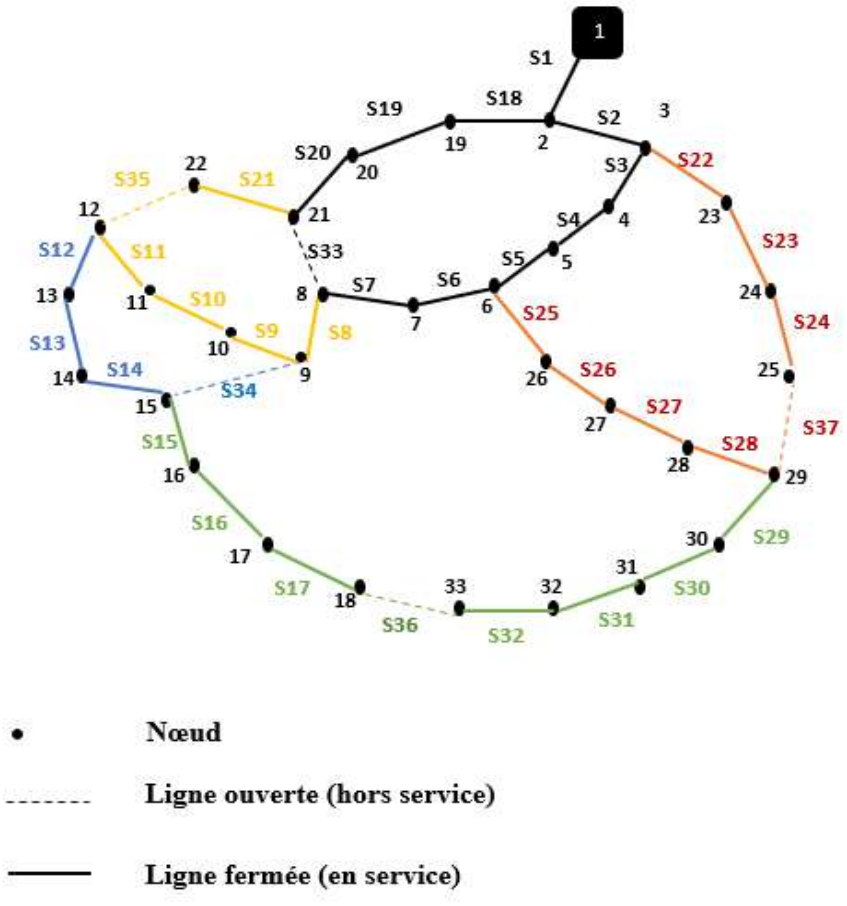


Figure IV-1 : Structure initiale du réseau IEEE33 nœuds.

En ce qui concerne la configuration du réseau d'étude, le tableau suivant présente les commutateurs ouverts initialement :

Switch ouvert	Entre les nœuds
S33	08 et 21
S34	09 et 15
S35	12 et 22
S36	18 et 33
S37	25 et 29

Tableau IV-1 : commutateurs ouverts dans la configuration initiale.

Structure du réseau d'étude (IEEE 33 nœuds) dans son état initial, la figure ci-dessous montre notre réseau sans les lignes hors service

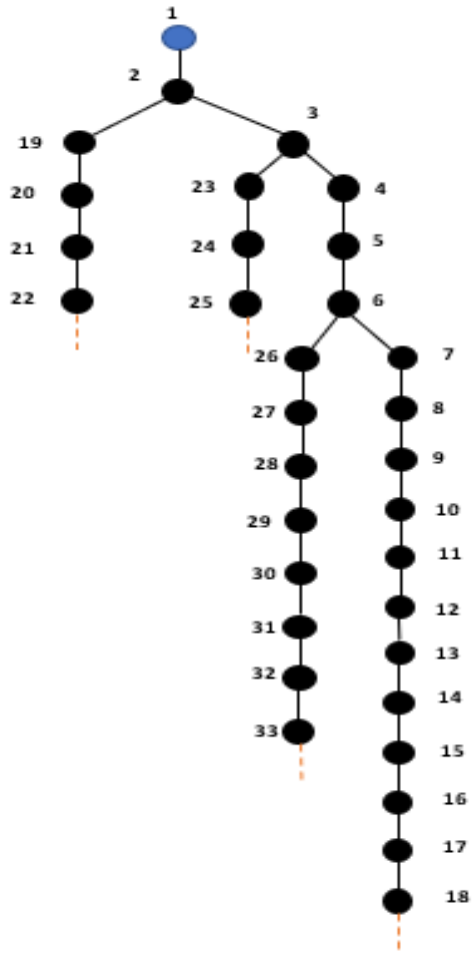


Figure IV-2 : structure radiale ramifiée du réseau IEEE33 (état initiale).

IV.5.2 Tableaux des données :

Le nœud source et nœud récepteur de chaque branche sont présentent dans le tableau suivant avec les valeurs des résistances et réactances des lignes :

Les branches	Nœud source (i)	Nœud récepteur (j)	R (Ω)	X (Ω)
1	01	02	0.0922	0.0470
2	02	03	0.4930	0.2512
3	03	04	0.3661	0.1864
4	04	05	0.3811	0.1941
5	05	06	0.8190	0.7070
6	06	07	0.1872	0.6188
7	07	08	0.7115	0.2351
8	08	09	1.0299	0.7400
9	09	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	02	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	03	23	0.4512	0.3084
23	23	24	0.8980	0.7091
24	24	25	0.8959	0.7071
25	06	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
33	08	21	2.0000	2.0000
34	09	15	2.0000	2.0000
35	12	22	2.0000	2.0000
36	18	33	0.5000	0.5000
37	25	29	0.5000	0.5000

Tableau IV-2 : Les valeurs des résistances et réactances des lignes.

Remarque : les cellules grises impliquent les lignes ouverts (hors service).

Le tableau suivant affiche les valeurs des puissances active P et réactive Q au niveau des nœuds :

Nœud	Puissance active P (W)	Puissance réactive Q(VAr)
1	0	0
2	100000	60000
3	90000	40000
4	120000	80000
5	60000	30000
6	60000	20000
7	200000	100000
8	200000	100000
9	60000	20000
10	60000	20000
11	45000	30000
12	60000	35000
13	60000	35000
14	120000	80000
15	60000	10000
16	60000	20000
17	60000	20000
18	90000	40000
19	90000	40000
20	90000	40000
21	90000	40000
22	90000	40000
23	90000	50000
24	420000	200000
25	420000	200000
26	60000	25000
27	60000	25000
28	60000	20000
29	120000	70000
30	200000	600000
31	150000	70000
32	210000	100000
33	60000	40000

Tableau IV-3 : Les puissances active et réactive au nœuds.

IV.5.3 Résultats des données pour la configuration initiale : Lors de l'exécution du programme dans MATLAB, pour la configuration initiale du système, nous obtenons les résultats des données indiquées dans le tableau ci-dessous :

Branche	Nœud (i)	Nœud (j)	$P_{ij\ loss}$ (pu)	$Q_{ij\ loss}$ (pu)	Voltage(pu)
1	01	02	3.9177	2.4352	0.9970
2	02	03	3.4443	2.2079	0.9829
3	03	04	2.3629	1.6842	0.9755
4	04	05	2.2230	1.5941	0.9681
5	05	06	2.1443	1.5546	0.9497
6	06	07	1.0953	0.5279	0.9462
7	07	08	0.8943	0.4216	0.9413
8	08	09	0.6885	0.3200	0.9351
9	09	10	0.6243	0.2970	0.9292
10	10	11	0.5608	0.2744	0.9284
11	11	12	0.5152	0.2443	0.9269
12	12	13	0.4543	0.2090	0.9208
13	13	14	0.3917	0.1719	0.9185
14	14	15	0.2709	0.0909	0.9171
15	15	16	0.2106	0.0806	0.9157
16	16	17	0.1503	0.0604	0.9137
17	17	18	0.0901	0.0400	0.9131
18	02	19	0.3611	0.1611	0.9965
19	19	20	0.2710	0.1209	0.9929
20	20	21	0.1801	0.0802	0.9922
21	21	22	0.0900	0.0401	0.9916
22	03	23	0.9396	0.4573	0.9794
23	23	24	0.8464	0.4051	0.9727
24	24	25	0.4213	0.2010	0.9693
25	06	26	0.9508	0.9736	0.9477
26	26	27	0.8882	0.9473	0.9452
27	27	28	0.8248	0.9206	0.9337
28	28	29	0.7535	0.8907	0.9255
29	29	30	0.6257	0.8183	0.9219
30	30	31	0.4218	0.2118	0.9178
31	31	32	0.2702	0.1403	0.9169
32	32	33	0.0600	0.0400	0.9166
33	8	21	0	0	0
34	09	15	0	0	0
35	12	22	0	0	0
36	18	33	0	0	0
37	25	29	0	0	0

Tableau IV-4 Données de la configuration initiale.

Lors de l'exécution du programme pour la configuration initiale nous prenons les valeurs de $\mathbf{P_{ij}}$, $\mathbf{Q_{ij}}$ et valeurs de tension qui sont présentées dans le tableau (**Tableau IV-4**) avec (Vmin = 0.9131 pu ; Vmax =0.9970 pu) ; la valeur des pertes totale du système est **P loss totale= 202.6863 KW**.

IV.5.4 La reconfiguration :

L'exécution du programme résoudre le problème d'optimisation et minimise les pertes de puissance dans le réseau IEEE 33noeuds

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

Branche	**Nœud *i***	**Nœud *j***	p_{ji} **(pu)**	p_{ij} **(pu)**	q_{ij} **(pu)**	q_{ji} **(pu)**	z_{ij}	z_{ji}	y_{ij}
1	01	02	3.7150	0	2.3000	0	1.0000	0	1
2	02	03	2.3200	0	1.6300	0	1.0000	0	1
3	03	04	1.3000	0	1.1400	0	1.0000	0	1
4	04	05	1.1800	0	1.0600	0	1.0000	0	1
5	05	06	1.1200	0	1.0300	0	1.0000	0	1
6	06	07	0.2000	0	0.1000	0	1.0000	0	1
7	07	08	0	0	0	0	0	0	0
8	08	09	0.3900	0	0.1500	0	1.0000	0	1
9	09	10	0	0	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	1
13	13	14	0.1200	0	0.0800	0	1.0000	0	1
14	14	15	0	0	0	0	0	0	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	02	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	03	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	06	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	0	0	0	0	0	0
33	08	21	0	0.5900	0	0.2500	0	1.000	1
34	09	15	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	18	33	0.0600	-0.000	0.0400	-0.000	1.0000	0	1
37	25	29	0	0	0	0	0	0	0

Tableau IV.5 : Données de la reconfiguration optimale.

IV.5.4.a Structure du réseau après la reconfiguration : Ce schéma représente la structure après la reconfiguration (configuration optimale) du réseau IEEE33 :

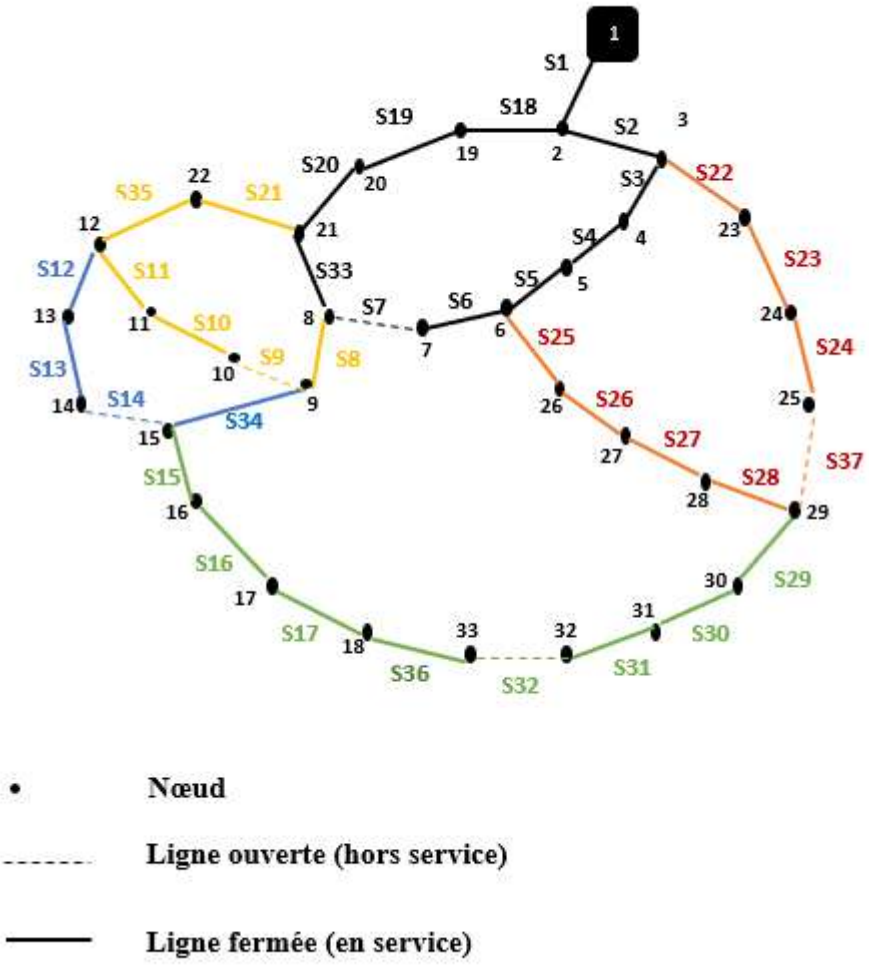


Figure IV-3 : Nouvelle topologie de réseau IEEE33 nœuds (au reconfiguration).

Dans la nouvelle topologie du réseau IEEE33 nœuds le tableau suivant présente les commutateurs ouverts :

Switch ouvert	Entre les nœuds
S7	07 et 08
S9	09 et 10
S14	14 et 15
S32	32 et 33
S37	25 et 29

Tableau IV-6 : commutateurs ouverts pour la reconfiguration.

Structure du réseau d'étude (IEEE33 nœuds) après le processus de reconfiguration, la figure ci-dessous montre le réseau optimal sans les lignes hors service :

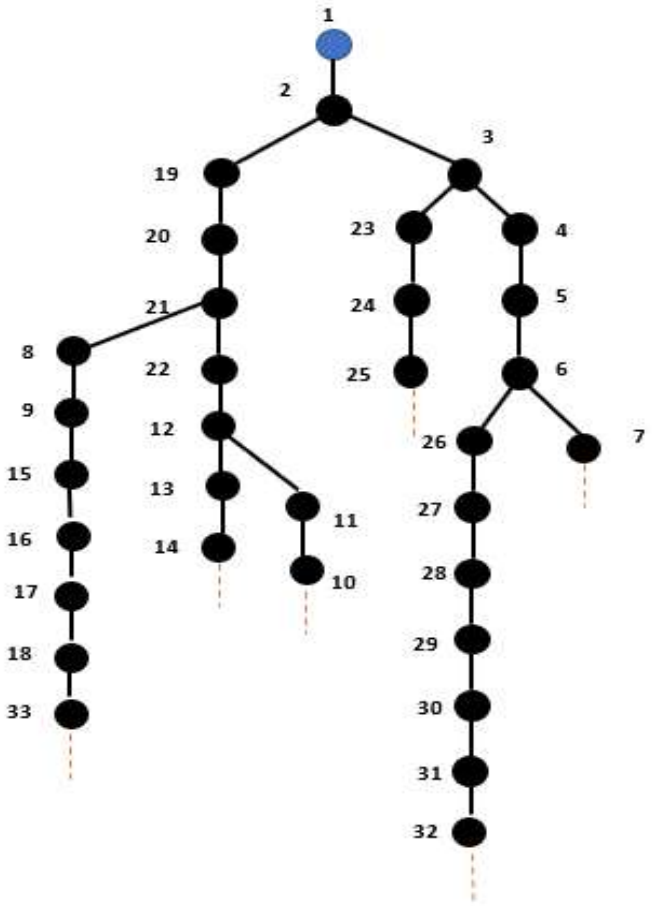


Figure IV-4 : structure radiale ramifiée du réseau IEEE33 (état finale).

IV.5.6 Résultats des données après la reconfiguration :

De part de l'exécution du programme pour la configuration optimale du système, nous obtenons les résultats des données indiqués dans le tableau ci-dessous :

Branche	Nœud (i)	Nœud (j)	$P_{ij\ loss}$ (pu)	$Q_{ij\ loss}$(pu)	Voltage (pu)
1	01	02	3.8546	2.4023	0.9971
2	02	03	2.4095	1.6894	0.9870
3	03	04	1.3532	1.1785	0.9825
4	04	05	1.2257	1.0947	0.9782
5	05	06	1.1590	1.0613	0.9673
6	06	07	0.2001	0.1002	0.9667
33	21	08	0.5997	0.2594	0.9626
8	08	09	0.3941	0.1537	0.9592
10	11	10	0.0600	0.0200	0.9627
11	12	11	0.1050	0.0500	0.9628
35	22	12	0.3477	0.2026	0.9631
12	12	13	0.1805	0.1155	0.9605
13	13	14	0.1201	0.0801	0.9597
34	09	15	0.3328	0.1329	0.9532
15	15	16	0.2711	0.1211	0.9514
16	16	17	0.2106	0.1008	0.9485
17	17	18	0.1502	0.0801	0.9475
18	02	19	1.3331	0.6469	0.9951
19	19	20	1.2409	0.6048	0.9782
20	20	21	1.1328	0.5485	0.9736
21	21	22	0.4389	0.2442	0.9702
22	03	23	0.9395	0.4572	0.9834
23	23	24	0.8464	0.4050	0.9768
24	24	25	0.4213	0.2010	0.9735
25	06	26	0.8858	0.9297	0.9655
26	26	27	0.8235	0.9036	0.9632
27	27	28	0.7607	0.8771	0.9527
28	28	29	0.6911	0.8486	0.9451
29	29	30	0.5645	0.7729	0.9419
30	30	31	0.3612	0.1712	0.9385
31	31	32	0.2101	0.1001	0.9378
36	18	33	0.0600	0.0400	0.9472
7	07	08	0	0	0
9	09	10	0	0	0
14	14	15	0	0	0
32	32	33	0	0	0
37	25	29	0	0	0

Tableau IV-7 : Données de la configuration optimale.

Lors de l'exécution du programme pour la nouvelle topologie du réseau IEEE33 nous prenons les nouvelles valeurs de $\mathbf{P_{ij}}$, $\mathbf{Q_{ij}}$ et valeurs de tension qui sont présentées dans le tableau (**Tableau IV-5**) avec (Vmin = 0.9378 pu ; Vmax =0.9971 pu) ; la valeur des pertes totale du système est **P loss totale=139.5543kW**.

IV.6 interprétations des résultats :

D'après les résultats trouvés, nous constatons l'amélioration du régime de fonctionnement du réseau d'étude en minimisant la somme des pertes de puissance.

La somme des pertes de puissance calculée pour les deux configurations (initiale et optimale) est représentée dans le tableau ci-dessous :

	Totale des pertes (kW)
Configuration initiale	**202.6863**
Configuration optimale	**139.5543**
La différence	**63.1320**

Tableau IV-8 : différence des pertes de puissance totale (avant et après la reconfiguration)

Pour les deux configuration initiale et optimale, nous devons assurer la fermeture des 32 interrupteurs afin d'assurer l'alimentation de tous les consommateurs.

Les interrupteurs S33, S34, S35, S36 et S37 sont ouverts initialement (configuration initiale) tandis que la configuration optimale correspond à l'ouverture des interrupteurs (S7, S9, S14, S32 et S37).

L'objectif principal de la reconfiguration est de réduire les pertes de puissance ; dans notre cas d'étude, le changement de la topologie du réseau nous a permis de réduire les pertes de puissance avec un écart de 63 kW (configuration initiale : 202.69 kW, configuration optimale : 139.55 kW).

Concernant les valeurs de tension et des puissances (active et réactive) dans les lignes, l'amélioration du profil de tension a été constaté par rapport les données initiales. À ce propos, 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, nous constatons que la stabilité de tension est améliorée si les pertes de puissances actives globales du système sont réduites au minimum.

IV.7 conclusion :

Ce dernier chapitre a été consacré pour la simulation (exécution des programmes MATLAB) et l'analyse de leurs résultats dans un réseau de distribution IEEE 33 nœuds. Les résultats trouvés sont jugés satisfaisants pour la réduction des pertes de puissance et l'amélioration du profil de tension.

En ce qui concerne notre étude, les résultats simulés pour un réseau IEEE 33 nœuds ont bien montré l'efficacité de la reconfiguration dans les réseaux électriques de distribution aux termes de la minimisation des pertes et l'amélioration du régime de fonctionnement d'une façon générale

Dans notre étude, nous avons atteint notre objectif après la modification de la topologie du réseau. Cette reconfiguration optimise la somme des pertes de 202.68 kW à 139.58 kW.

Parmi les solutions qui répandent le problème des pertes de puissance et d'énergie électrique dans les réseaux de distribution nous avons vu la reconfiguration dans notre projet, cette dernière est un outil simple et efficace pour améliorer le fonctionnement des réseaux électriques de distribution, 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 premièrement une généralité, concepts de base et notions sur les réseaux électriques et tous ce qui concerne leur différents structures et architectures.

Par la suit, nous avons présenté l'écoulement de puissance et également les méthodes d'optimisation et reconfiguration.

La méthode du Baran qui se base sur les équations Distflow est utilisée pour résoudre les problèmes des réseaux radiaux, ces équations calculent les trois grandeurs essentielles puissance active P, puissance réactive Q et la tension V.

La reconfiguration c'est un changement topologique de structure initiale du certain réseau électrique, si initialement cette première configuration perdre plus d'énergie électrique, ce changement concerne la modification d'état des commutateurs soit ouverts ou bien fermés.

Cette étude, nous a permis de concevoir une procédure d'optimisation basée sur la programmation quadratique. Elle propose les Cinque meilleurs lignes pour les mis hors service (interrupteur ouvert) parmi les 37 branches du réseau IEEE33 nœuds.

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. 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.

Bibliographies :

[1] Kellou Ibrahim et Lahiani Mohamed « Optimisation de la reconfiguration d'un réseau de distribution électrique » (mémoire de fin d'étude de master), université de Blida, 2018.

[2] Hafsi Abdelkader et Bechouat Kadour « CALCUL DES PROTECTIONS HTB », (mémoire de fin d'étude de master), UNIVERSITE LARBI TEBESSI de TEBESSA ,2018.

[3] Patrik Jacob, « Réseau de distribution : Distribution de l'énergie », Vol 1, Académie D'Aix Marseille, Avril 2014.

[4] Ketfi Nadhir « Contribution à la gestion des réseaux de distribution en présence de génération d'énergie dispersée », (Thèse de Doctorat en Sciences) Université de Batna,Décembre 2014.].

[5] https://www.killmybill.be/fr/infrastructures-reseau-electrique/.

[6] Guide de conception des réseaux électriques industriels T & D 6 883 427/A

http://ww2.ac-poitiers.fr/electrotechnique/sites/electrotechnique/IMG/pdf/Guide_de_conception_reseaux_Schneider_top.pdf

[7] Besseri Boubaker Achraf et Bentouati Mahfoud « Reconfiguration optimal des réseaux de distribution par l'optimisation convexe », (mémoire de fin d'étude de master), université de Dr.Yahia Fares Medea ,2018 .

[8] 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.

[9] Bessalah Abdelwahide et Hamioud Abderrahmane « Etude de la Reconfiguration des Réseaux Electriques de Distribution », (Mémoire de Fin d'Etudes) Ecole Nationale Polytechnique, 2015.

[10] Bencheikh Abdelhak, Derouiche Abdelghani, « Etude de l'écoulement de puissance sur un réseau électrique en présence des systèmes FACTS », (Master Académique) Université Kasdi Merbah Ouargla,Juin 2016.

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

[12] 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.

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

[14] A.Rouhani, R. M. Habib et A. G. Morteza, «Reconfiguration of Distribution Network Based on a Genetic,» Current Trends in Technology and Science, n° 18, 2014

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

[16]article http://read.pudn.com/downloads76/sourcecode/app/288029/%E6%A0%91%E7%8A%B6%E7%BD%91%E7%9A%84%E6%BD%AE%E6%B5%81%E7%AE%97%E6%B3%95/(IEEE33)Network%20reconfiguration%20in%20distribution%20systems%20for%20loss%20reduction%20and%20load%20balancing.pdf

[17] J.A Taylor et F.S. Hover, « Convex Models of Distribution System Reconfiguration » IEEE Transaction on Power system ,2012.

[18] M.E Baran et F.Wu, « Optimal Capacitor Placment on Radial Distribution System » IEEE Transaction Power Delivery,vol 4,janury1989.

[19]Abdelhafid Hellal, Mohamed Boudour, « Génie electrique : Fondamentaux et concepts de base », Editions pages bleus internationales,2010.

[20] : Ahmed Ould Nagi « Optimisation de l'écoulement de puissance par algorithmes : AG et PSO-TVAC. » (Mémoire de Fin d'Etudes) Université Mohamed Khider Biskra, 2014.

[21] : Mathias Laffont « Pertes d’énergie dans les réseaux de distribution d’électricité », Juin 2009.