

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Electrotechnique
Spécialité Machines électriques

présenté par

KELLOU Ibrahim

&

LAHIANI Mohamed

Optimisation de la reconfiguration d'un réseau de distribution électrique

Proposé par : Dr. BELAZZOUG Messaoud

Année Universitaire 2017-2018

Remerciements

En préambule de ce mémoire nous remercions ALLAH Dieu Le tout puissant qui nous a aidé et nous aidera toujours, pour nous avoir donné la patience et le courage durant toutes ces longues années d'études.

Tout d'abord nous remercions très chaleureusement Monsieur Belazzoug Messaoud qui nous a permis de bénéficier de son encadrement, Les conseils qu'il nous a prodigué, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Nous tenons à remercier sincèrement Monsieur Habib Chelef, ingénieur d'étude à l'école technique de Blida IFEG /SONELGAZ, qui a affiché une totale disponibilité en toute écoute et orientations apportées en tout aide et temps consacrés.

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.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents, ma mère, et mon père qui ont œuvré pour ma réussite, qui m'ont éclairé la route par leur amour, leur soutien, leur compréhension, tous les sacrifices consentis et leurs précieux conseils, pour toute leurs assistances et leurs présences dans ma vie, qu'ils reçoivent à travers ce travail, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

A mes très chères sœurs pour leurs appuis, encouragements permanent et leur soutien moral, qu'elles sachent qu'elles n'ont jamais cessé d'être pour moi un exemple de persévérance, de courage et de générosité.

A mes chers amis avec qui je partage des moments de ma vie au fil du temps, pour leur soutien tout au long du projet.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Ibrahim Kellou

Je dédie ce travail à mes parents, ma mère et mon père, pour leurs patiences, leurs soutiens, leurs amours, et leurs encouragements.

A toute ma famille, amis et mes connaissances.

Mohamed Lahiani

Résumé

ملخص

نظرا لارتفاع عدد مستهلكي الطاقة الكهربائية، يستلزم أن تكون الطاقة الكهربائية المنتجة كافية لتلبية كافة الاحتياجات، وهذا ما دفع الموزعين على التركيز بشكل أكبر على تحسين نوعية وتكلفة الطاقة الكهربائية، وللوصول لهذا الهدف، يجب تقليل من خسائر الطاقة من أجل تحسين صورة ومردود الجهد الكهربائي، وهذا يتطلب إيجاد التكوين الأمثل للشبكة، استنادا على طرق الخوارزميات الوراثية. ويمكن تطبيق هذه الدراسة والتحقق من صحتها على مثال لشبكة توزيع مكونة من 33 عقدة.

الكلمات الرئيسية: تقليل من خسائر الطاقة، صورة ومردود الجهد الكهربائي، التكوين الأمثل للشبكة، الخوارزميات الجينية، شبكة التوزيع.

Abstract

As the number of electricity consumers has increased, the supply of electricity has to be sufficient on demand, and this has prompted the distributors to focus more on the quality and cost of electricity, This goal is to minimize power losses in order to perfect the voltage profile, this requires finding the optimal configuration of the network, based on a meta-heuristic method which is the Genetics Algorithms. This is exploited and studied on an IEEE distribution network with 33 busbars (33 Nodes).

Key words : Minimizing power losses, Voltage profile, Optimal configuration, Meta-heuristic method, Genetics algorithms, Distribution network.

Résumé

Vu que le nombre de consommateurs d'électricité a augmenté, l'énergie électrique fournie doit être suffisante à la demande, et cela a poussé les distributeurs à mieux se focaliser sur la qualité et le cout de l'énergie électrique, et pour arriver à ce but, il faut minimiser les pertes de puissances afin de parfaire le profil de tension, cela exige de trouver la configuration optimale du réseau, se basant sur une méthode méta-heuristique, celle des Algorithmes Génétique. Ceci est exploité et validé sur un réseau de distribution IEEE avec 33 jeux de barre (33 Nœuds).

Mot clés : Minimiser les pertes de puissances, Profil de tension, Configuration optimale, Méthode méta-heuristique, Algorithmes génétiques, Réseau de distribution.

Liste des abréviations

- HT** : Haute tension.
- BT** : Basse tension.
- THT** : Très haute tension.
- HTB** : Haute tension B pour une tension composée supérieure à 50 kV.
- HTA** : Haute tension A pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV.
- BTB** : Basse tension B pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 kV.
- BTA** : Basse tension A pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V.
- TBT** : Très basse tension pour une tension inférieure ou égale à 50 V.
- E.P** : Ecoulement de puissance.
- p.u** : Unité relative.
- (X)_{base}**: Valeur de base d'une variable
- R_{ij}** : La résistance de la branche comprise entre nœud *i* et nœud *j*.
- X_{ij}** : La réactance de la branche comprise entre nœud *i* et nœud *j*.
- Z_{ij}** : L'impédance de la branche comprise entre nœud *i* et nœud *j*.
- V_i** : La tension présente au nœud *i*.
- I_i** : Le courant dans la branche comprise entre le nœud *i* et le nœud *j*.
- P_l** : Puissance active de charge au niveau des nœuds.
- Q_l** : Puissance réactive de charge au niveau des nœuds.
- P_d** : Puissance active en début de branche.
- Q_d** : Puissance réactive en début de branche.
- P_f** : Puissance active en fin de branches.
- Q_f** : Puissance réactive en fin de branche.
- P_{loss}** : Perte active dans la branche.
- Q_{loss}** : Perte réactive dans la branche.
- ut(i,j)** : Matrice qui identifie le numéro de chaque branche entre un nœud *i* et un nœud *j*.
- pos** : Numéro ou bien la position de chaque résistance et réactance dans la configuration.
- ch** : Le chromosome qui représente la configuration sous forme de chaîne de caractère en code binaire.
- a** : Une matrice qui représente l'état de chaque branche (en service ou bien hors service) entre nœud *i* et nœud *j*.
- k** : La somme des éléments colonne de chaque ligne de la matrice *a*.
- ZER** : Vecteur contenant les nœuds finals.
- NOR** : Vecteur contenant les nœuds intermédiaires.
- DIV** : Vecteur contenant les nœuds de dérivation.

Liste des abréviations

- DD** : Vecteur initialement vide, qui se charge avec les nœuds de dérivation.
- LLL** : Compteur qui nous aide à charger le vecteur « **DD** » avec tous les nœuds de dérivation présentes dans la configuration.
- W** : Vecteur se charge avec tous les nœuds liés à chaque nœud de dérivation.
- Vp** : Vecteur contenant les anciennes valeurs de tension.
- nf** : Nœud finale.
- b** : Représente le nœud source par rapport à chaque branche.
- tl** : Représente le nombre de colonnes du vecteur « **DD** ».
- AG** : Algorithmes génétiques.
- F_{obj}(x)** : La fonction objectif.
- F_{max}** : La valeur maximum de la fonction objectif.
- F_{min}** : La valeur minimum de la fonction objectif.
- Fit(x)** : La fonction fitness.
- Fit_{norm}(i)** : Valeur fitness normalisée.
- Fit_{cum}(i)** : Valeur fitness cumulée.
- P** : Nombre varie entre 0 et 1.
- N** : Constant positif.
- nb** : Nombre totale de branches.
- ind** : Nombre d'individus.
- Pc** : Probabilité de croisement.
- Pm** : Probabilité de mutation.
- NS** : Taille de population.
- NB** : Nombre des éléments du chromosome.
- G** : Nombre de génération.
- Gmax** : Nombre max de générations.

Table des matières

Introduction générale	1
1. Généralités sur les réseaux électriques de distributions	3
1.1 Introduction	4
1.2 Historique.....	4
1.3 Définitions.....	5
1.3.1 Réseau électrique	5
1.3.2 Réseau de transport.....	6
1.3.3 Réseau de distribution électrique.....	6
1.4 Les postes sources	6
1.5 Types de réseaux de distributions	7
1.5.1 Réseaux de distribution à moyenne tension	7
1.5.2 Réseaux de distribution à basse tension	7
1.6 Structure de réseaux de distributions	7
1.6.2 Structure générale d'un réseau privé de distribution	7
1.6.2 Structure de la distribution moyenne Tension – HTA.....	9
a. Structure simple dérivation	9
b. Structure en boucle ou coupure d'artère	10
c. Structure double dérivations	11
1.7 Les pertes d'énergies dans un réseau de distribution	12
1.7.1 Les types de pertes dans un réseau de distribution	12
1.7.2 La problématique des pertes de puissances	12
1.8 Conclusion	13
2. Ecoulement de puissance	14
2.1 Introduction	15
2.2 Définition	15
2.3 But de l'écoulement de puissance	15
2.4 Définition de la configuration radiale	16
2.5 Unités relatives	17
2.6 Modélisation des composants du réseau électrique	18
2.6.1 Modélisation du générateur	19
2.6.2 Modélisation des branches	19
2.6.3 Modélisation des charges	20
2.7 Modélisation de l'écoulement de puissance	20
2.7.1 Réseau de distribution ramifiée	20

Table des matières

2.7.2 Dépouillement de la configuration actuelle	20
a. Types de branches	20
b. Puissances dans les branches	21
c. Courant dans les branches	22
d. Tension au niveau des nœuds	22
2.8 Méthode de résolution	23
2.9 Elaboration du modèle de la configuration	23
2.9.1 La matrice « ut »	23
2.9.2 Le chromosome de la configuration « ch »	24
2.9.3 Matrice « a »	24
2.9.4 Dépouillement de la matrice « a »	24
a. Types de nœuds	24
b. Vecteurs contenant les différents nœuds	24
c. Vecteur « DD »	25
d. Le compteur LLL	25
e. Le vecteur « W »	25
2.10 Organigramme de la méthode	25
2.11 Discussion des résultats	29
2.11.1 Réseau IEEE (33 jeux de barres)	29
2.11.2 Données du réseau	30
2.11.3 Résultat de l'écoulement de puissance	34
2.11.4 Analyse des résultats	36
2.12 Conclusion	36
3. Reconfiguration du réseau électrique de distribution	37
3.1 Introduction	38
3.2 Généralités sur la reconfiguration électrique de distribution	38
3.2.1 Définition	38
3.2.3 Les différents régimes	39
3.2.4 Détermination d'une configuration admissible	39
a. Stratégie constructive	40
b. Stratégie destructive	40
c. Stratégie de permutations des branches	41
3.2.5 Optimisation à l'aide de permutation de branches	42
3.3 Optimisation	43

Table des matières

3.3.1 Principe de l'optimisation	43
3.3.2 Fonction objectif de notre système	43
3.3.3 Les contraintes liées à notre système	43
3.3.4 Méthode méta-heuristique	44
3.3.5 Méthode évolutionnaires	45
3.4 Algorithmes génétiques	45
3.4.1 Historique	45
3.4.2 Définition	46
3.4.3 Description des Algorithmes génétiques	48
a. Le codage	48
b. Le décodage	49
c. Evolution	51
d. Sélection	51
e. Croisement	54
f. Mutation	55
3.4.4 Réglage des paramètres des algorithmes génétiques	55
3.3.5 Critère d'arrêt	56
3.4.6 Organigramme de l'algorithme génétique de l'étude	57
3.4.7 Avantages et inconvénients de l'algorithme génétique	58
a. Avantages	58
b. Inconvénients	58
3.5 Conclusion	59
4. Résultat final de la reconfiguration	60
4.1 Introduction	61
4.2 Réseau IEEE (33 nœuds)	61
4.2.1 Données du réseau	62
4.2.2 Configuration initiale	66
a. Chromosome de la configuration initiale	66
b. Structure de la configuration Initiale du réseau	66
d. Résultat de l'écoulement de puissance de la configuration initiale ...	68
4.2.3 Configuration Optimale	69
a. Chromosome de la configuration Optimale	70
b. Structure de la configuration optimale du réseau	70
c. Résultat de l'écoulement de puissance de la configuration optimale ..	72

Table des matières

d. Discussion des résultats	73
4.3 Analyse des résultats de la reconfiguration	74
4.3.1 La tension	74
4.3.2 Les différentes pertes de puissances	75
4.4 Conclusion.....	75
Conclusion générale	76
Références bibliographiques	79

Liste des figures

Figure 1.1 : Ensembles d'infrastructures d'un système électrique	5
Figure 1.2 : Structure d'un réseau de distribution public	6
Figure 1.3 : Structure générale d'un réseau privé de distribution	8
Figure 1.4 : Réseau HTA radial en simple antenne	9
Figure 1.5 : Réseau HTA en boucle	10
Figure 1.6 : Réseau HTA double dérivation	11
Figure 2.1 : Modèles d'un générateur	19
Figure 2.2 : Schéma pi (π) d'une branche	19
Figure 2.3 : Schéma unifilaire d'une branche	19
Figure 2.4 : Modèle de la charge électrique	20
Figure 2.5 : Schéma unifilaire d'une branche	23
Figure 2.6 : Réseau de distribution 33 nœuds	29
Figure 2.7 : Schéma unifilaire du réseau IEEE (33 nœuds)	30
Figure 2.8 : Graphe représentant les différentes tensions des différents nœuds	35
Figure 3.1 : Principe de la Stratégie Constructive	40
Figure 3.2 : Principe de la Stratégie Destructive	41
Figure 3.3 : Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches"	41
Figure 3.4 : Organigramme de l'algorithme génétique	47
Figure 3.5 : Réseau de distribution IEEE (33 nœuds)	48
Figure 3.6 : Sélection par la méthode de la roulette	53
Figure 3.7 : Le croisement simple	54
Figure 3.8 : Le double croisement	54
Figure 3.9 : Le croisement uniforme	54
Figure 3.10 : L'étape de mutation	55
Figure 4.1 : Réseau de distribution IEEE (33 nœuds)	61
Figure 4.2 : Structure de la configuration initiale du réseau IEEE (33 nœuds).	67
Figure 4.3 : Configuration optimale du réseau IEEE (33 nœud)	69
Figure 4.4 : Structure de la configuration optimale du réseau IEEE (33 nœuds)	71
Figure 4.5 : Graphe représentant les différentes tensions des différents nœuds	73
Figure 4.6 : Tensions en ($p.u$) de la configuration initiale et optimale	74
Figure 4.7 : L'évolution des pertes des différentes générations	75

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Résistances et Réactances des différentes branches du réseau IEEE	30
Tableau 2.2 : Les puissances actives et réactives des différents nœuds du réseau IEEE	32
Tableau 2.3 : Résultats de l'écoulement de puissances du réseau IEEE (33 nœuds)	34
Tableau 3.1 : Chromosome de la configuration initial du réseau IEEE (33 nœuds)	49
Tableau 3.2 : Résultat de l'évaluation	52
Tableau 4.1 : Les puissances actives et réactives des différents nœuds	62
Tableau 4.2 : Résistances et Réactances des différentes branches	64
Tableau 4.3 : Chromosome de la configuration initial du réseau IEEE (33 nœuds)	66
Tableau 4.4 : Résultats de l'écoulement de puissances de la configuration initiale du réseau...	68
Tableau 4.5 : Chromosome de la configuration optimal du réseau IEEE (33 nœuds)	70
Tableau 4.6 : Résultats de l'écoulement de puissances de la configuration initiale du réseau .	72

Introduction

Nous sommes dans une époque où l'électricité est un pion essentiel de notre vie quotidienne, donc pour répondre à la consommation de l'électricité croissante, nous sommes dans l'obligation de construire des centrales électriques capables de produire de l'électricité en grande quantité et de bonne qualité pour répondre aux besoins des consommateurs, permettant la fabrication d'électricité à partir d'énergie renouvelable ou bien non renouvelable, une fois que nous avons de l'électricité, elle doit être transmise aux consommateurs et cela concerne plus exactement successivement le réseau de transport et le réseau de distribution, c'est-à-dire qu'après la production de cette dernière elle doit être transportée, une étape qui concerne le réseau de transport et que ce dernier garantit l'acheminement de l'électricité entre les producteurs et les distributeurs.

Le réseau de distribution a comme rôle principal de 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 aucune coupures possibles ; tout cela revient à l'amélioration des performances des réseaux électriques de distribution et donc par la minimisation des pertes de puissance. Une des solutions possibles pour minimiser les pertes et améliorer les performances des réseaux électriques de distributions est en la reconfiguration du réseau de distribution.

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 », sachant que la structure du réseau doit être maillée, et tout cela en appliquant la stratégie de la permutation des branches pour pouvoir obtenir une toute nouvelle structure qui respecte et considère les contraintes d'arborescences posées.

Nous savons que la reconfiguration du réseau électrique de distribution est nécessaire mais pas suffisante pour améliorer ses performances : aussi pour pouvoir compléter la notion de reconfiguration, nous nous devons d'optimiser cette configuration en utilisant une méthode évolutive Darwinienne qui est celle des Algorithmes génétiques.

Introduction générale

Nous allons traiter ce que nous avons mentionné précédemment dans notre étude sur un réseau électrique de distribution IEEE avec 33 jeux de barres (33 nœuds) et cela en trois étapes, qui sont :

- La modélisation du réseau et calcul de l'écoulement de puissance qui nous donne les différents paramètres utilisés (Courants, tensions et les pertes de puissances),
- Dépouillement du réseau (Connaitre la structure du réseau, les différentes ramifications, précisions des branches qui peuvent être modifiées d'après leurs états, et déterminer les différentes contraintes liées à notre système),
- Enfin, l'optimisation du réseau électrique IEEE (33 nœuds) par les Algorithmes génétiques en cherchant la configuration optimale de ce dernier.

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux électriques de distribution

1.1 Introduction

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 de distribution. Nous présenterons l'organisation structurelle du réseau électrique dans leur ensemble et plus particulièrement les réseaux de distribution moyenne tension.

1.2 Historique [1]

Les premières centrales électriques ont été construites au XIX^{ème} 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 a 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 XX^{ème} 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 dimensionnés, il en résulte une qualité de l'électricité très inégale.

Chapitre 1 : Généralités sur les Réseaux électriques de distribution

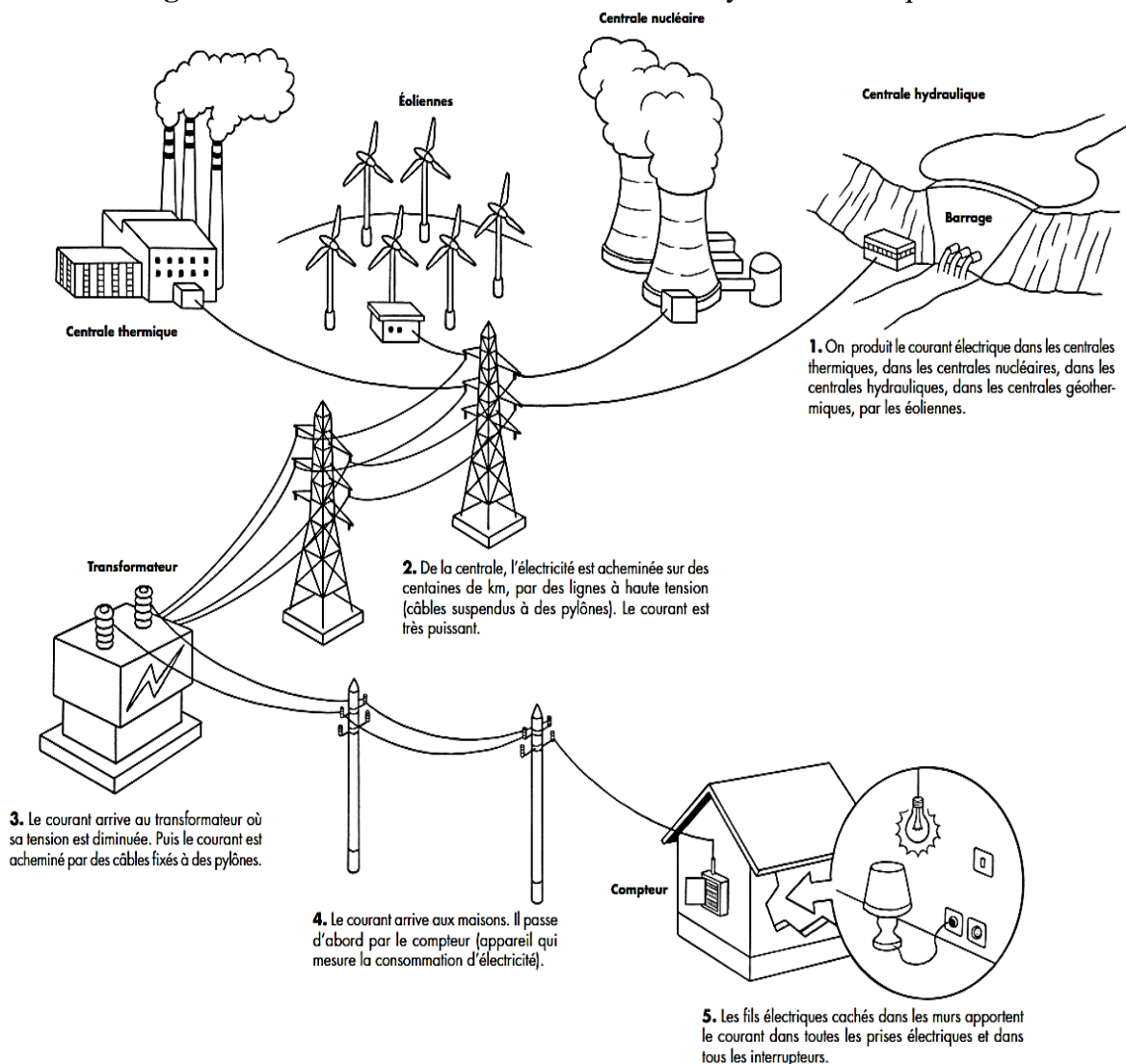
Enfin, l'année 1946 marque un véritable tournant dans l'histoire de l'électrification puisque c'est cette année qu'est votée la loi N° 46-628 nationalisant la production, le transport et la distribution de l'électricité telle que nous le connaissons aujourd'hui.

1.3 Définitions

1.3.1 Réseau électrique

Un réseau électrique est un ensemble d'appareils ou d'ensemble d'infrastructures destinés à produire, transporté, distribué et l'utilisation de l'électricité ce qui est d'acheminer de l'énergie électrique à partir de centres de production vers les consommateurs.

Figure 1.1 : Ensembles d'infrastructures d'un système 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

Chapitre 1 : Généralités sur les Réseaux électriques de distribution

variables. Ces exigences nécessitent la permanence du transport et la mise à disposition de l'énergie par un réseau de distribution [2].

1.3.2 Réseau de transport

Les réseaux de transport assurent le transport de l'énergie électrique sur de grandes distances. Afin de minimiser, entre autre, les pertes joules sur les lignes ces réseaux sont à très haute tension (de 63 kV à 400 kV) [3]. Par conséquent, de manière générale, les réseaux de transport, comparativement aux réseaux de distribution, sont très supervisés afin de pouvoir effectuer des contrôles de la tension, de la fréquence, la répartition des flux de puissance et des coûts de production [3].

1.3.3 Réseau de distribution électrique

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.

Ils sont constitués de deux types de réseaux : le réseau moyenne tension (HTA) avec un niveau de 10 kV et 30 kV connecté au réseau de transport, et le réseau basse tension (BT) de tension de 0.4 kV [3].

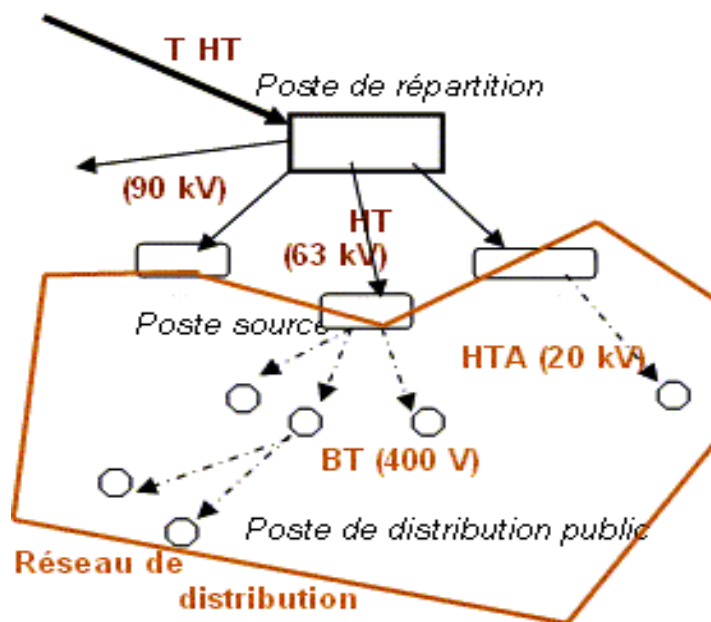


Figure 1.2 : Structure d'un réseau de distribution public.

1.4 Les postes sources

Les postes-sources sont à l'interface du réseau de transport et du réseau de distribution. Ils convertissent les tensions du réseau de transport (90, 63 kV ou 225 kV) en tension de distribution (en général 20 kV). Et ils contribuent [3] :

Chapitre 1 : Généralités sur les Réseaux électriques de distribution

1. À la mesure des flux d'énergie (équipements de comptage d'énergie),
2. Au changement tarifaire par la télécommande centralisée (175 Hz),
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 ré-enclenchement automatique, de réglage de la tension et de compensation du réactif.

1.5 Type de réseaux de distributions

1.5.1 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) [2],

- 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.

1.5.2 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) [2] :

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

1.6 Structure de réseaux de distributions

1.6.1 Structure générale d'un réseau privé de distribution

Dans le cas général avec une alimentation en HTB, un réseau privé de distribution comporte [4] :

- 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,

Chapitre 1 : Généralités sur les Réseaux électriques de distribution

- Des transformateurs HTA / BT,
- Des tableaux et des réseaux basse tension,
- Des récepteurs basses tensions.

Nous avons la figure ci-dessous (**Figure 1.3**) qui montre la structure générale d'un réseau privé de distribution [4] :

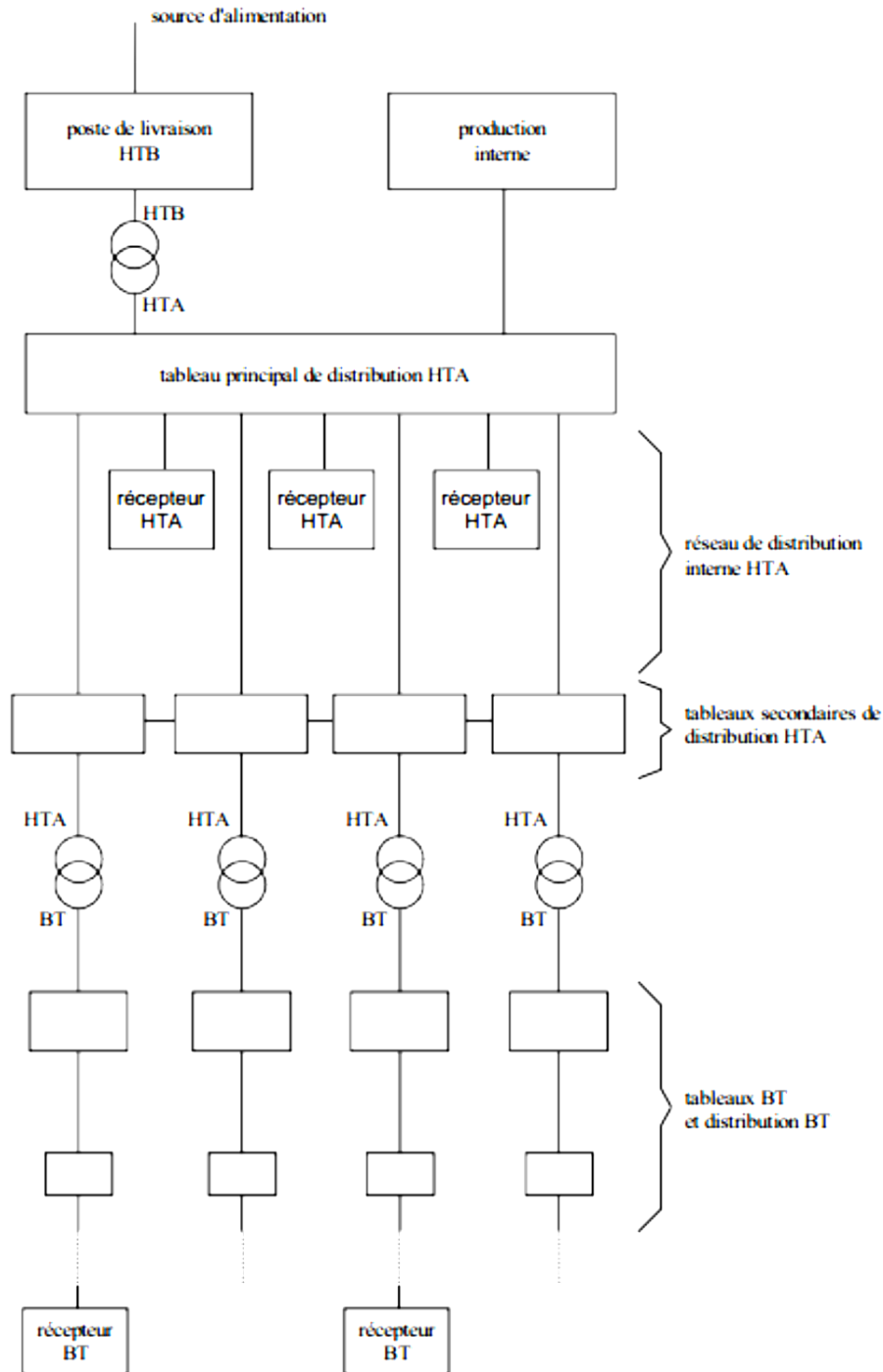


Figure 1.3 : structure générale d'un réseau privé de distribution.

1.6.2 Structure de la distribution moyenne Tension – HTA

Les points de départ pour les réseaux de distributions sont les postes sources, Ils comportent des transformateurs HTB/HTA à partir desquels la HTB est distribuée en triphasé sans neutre et entre 5 et 33 kV (souvent 20kV). La partie HTA est constituée de cellules « arrivée », « couplage » et « départ » [4].

A partir de ces départs, nous réalisons des schémas :

- En « **Antenne** » ou « **Simple dérivation** »,
- En « **Boucle** » ou « **Coupure d'Artère** »,
- En « **Double dérivation** ».

De là, nous avons les figures ci-dessous qui représentant les différentes structures HTA :

a. Structure en simple dérivation

Le raccordement dit simple dérivation (ou Simple alimentation ou antenne) est préconisé lorsque les exigences de continuité d'alimentation sont faibles. Elle est très souvent retenue pour les réseaux en zone rurale et à faible densité de population [2].

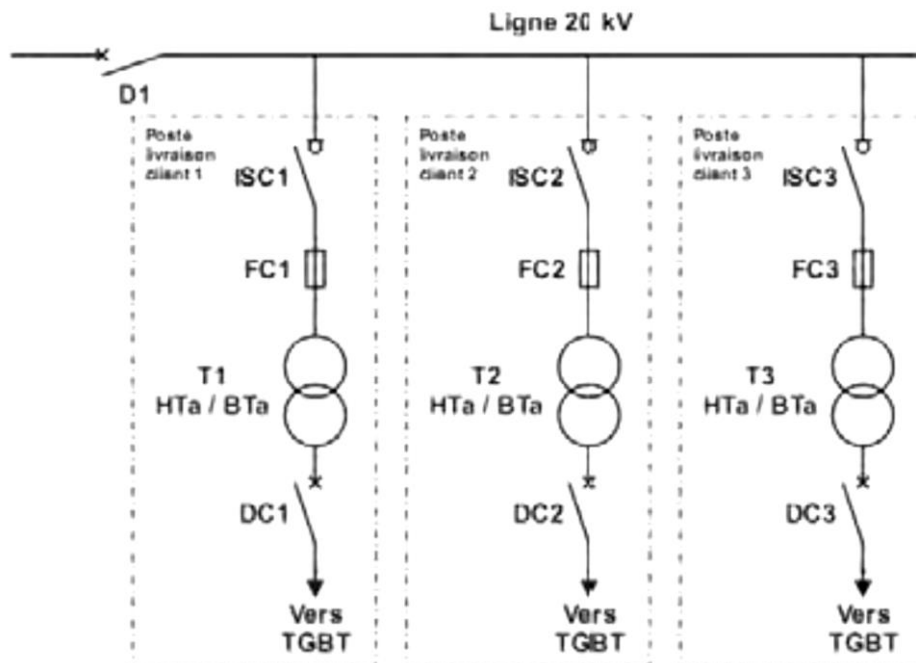


Figure 1.4 : réseau HTA radial en simple antenne.

Le poste de livraison est raccordé au réseau public de distribution au moyen d'une seule canalisation. Il est équipé d'un interrupteur et d'un dispositif de protection HTA, qui protège le réseau des défauts provenant de l'installation de l'utilisateur consommateur [5]

Chapitre 1 : Généralités sur les Réseaux électriques de distribution

- **Avantage** : économique,
- **Inconvénient** : tout défaut ou intervention sur le réseau provoque la coupure de toute l'utilisation située en aval.

b. Structure en boucle ou coupure d'artère

Préconisée pour les réseaux très étendus, avec des extensions futures importantes. Le réseau est réalisé à partir d'une seule ligne d'alimentation qui relie tous les postes de distribution et qui constitue une boucle ouverte comprenant un point d'ouverture. Tous les postes de distribution ou de livraison sont équipés de deux points d'ouverture, reliés en même temps à la ligne d'alimentation. En cas de défaut sur une partie du réseau ou sur la boucle, les postes qui sont privés d'électricité vont être alimentés par l'autre côté de la boucle grâce à la fermeture de son point d'ouverture [5].

Le réseau en coupure d'artère est utilisé en milieu urbain et surtout en souterrain [5].

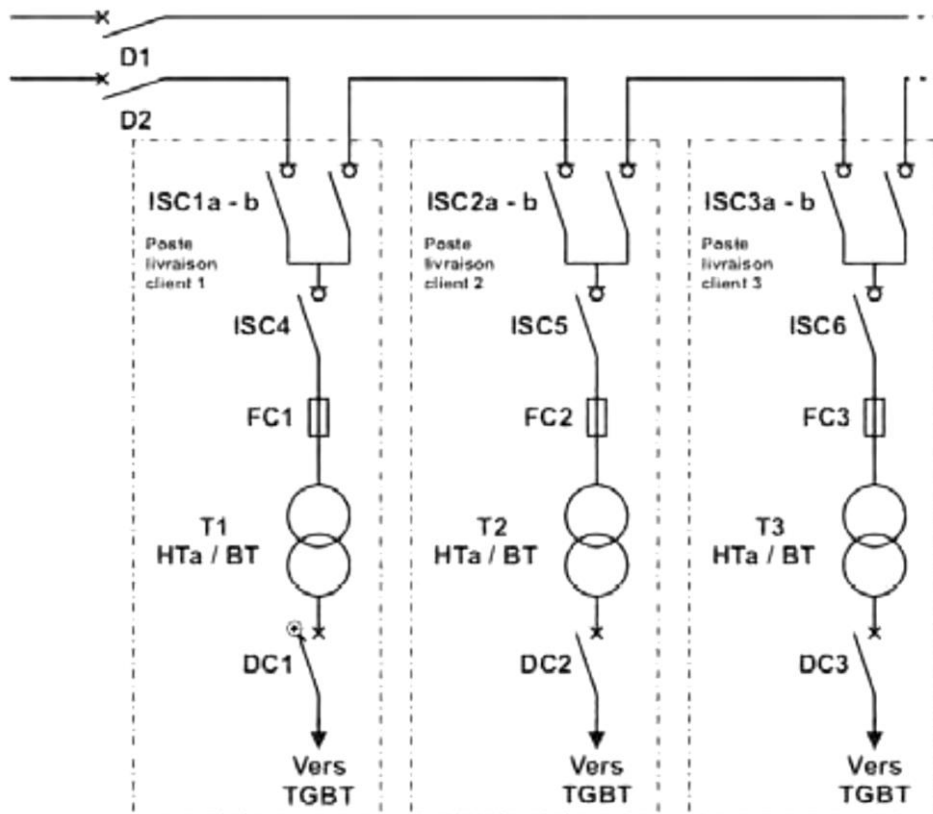


Figure 1.5 : Réseau HTA en boucle.

- **Avantages** : il assure une très bonne continuité de service,
- **L'inconvénient** majeur est coûteux

Chapitre 1 : Généralités sur les Réseaux électriques de distribution

a. Structure double dérivation

Chaque client relié à 2 postes source différents. Il y a permutation automatique en cas de défaut sur l'un des postes sources utilisée dans les grandes agglomérations pour les « grands consommateurs »

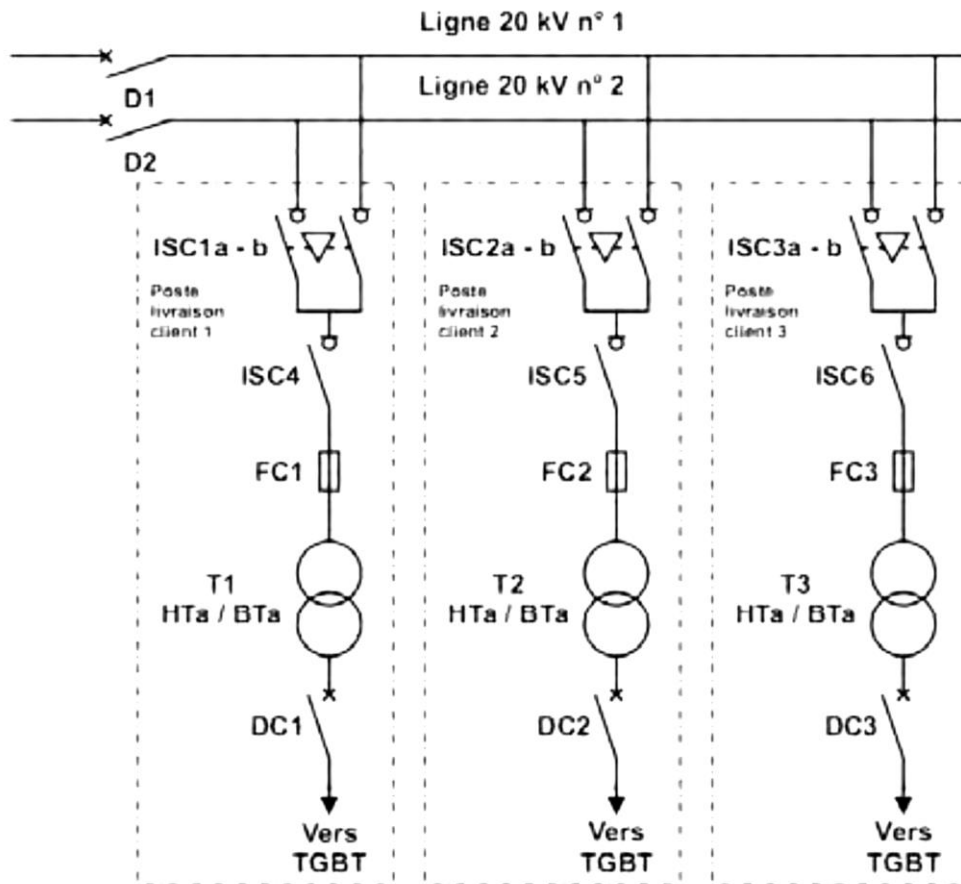


Figure 1.6: Réseau HTA double dérivation.

Le poste de livraison est desservi par deux câbles posés en parallèle, l'un de fonctionnement normal et l'autre de secours. Il est équipé [5] :

- De deux interrupteurs,
- D'un permutateur à manque de tension, qui autorise le basculement automatique de l'alimentation du poste, du câble de fonctionnement normal en défaut sur le câble de secours,
- D'un dispositif de protection HTA, qui protège le réseau des défauts provenant de l'installation de l'utilisateur de l'énergie [5].

Remarque : Un **permutateur** est un quadripôle permettant le croisement de deux lignes électriques. Il est principalement utilisé pour augmenter le nombre de commandes d'un va-et-vient.

- **Avantage** : Sécurité d'alimentation c'est-à-dire il assure une très bonne continuité de service,
- **Inconvénient** : Cout élevé.

1.7 Les pertes d'énergies dans un réseau de distribution

1.7.1 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 [6].

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 [6].

1.7.2 La problématique des pertes de puissances

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 [7].

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

Chapitre 1 : Généralités sur les Réseaux électriques de distribution

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 [6].

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 incluses dans les charges d'exploitation du réseau [6].

1.8 Conclusion

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'utilisateur 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. Les réseaux étant présents en de nombreux points du domaine public, les pertes actives et réactives constituent la composante principale des pertes de distribution [8]. Ces pertes sont causées par le courant qui circule dans les lignes. Donc la sécurité d'alimentations vis-à-vis des consommateurs est un élément clé du système pour une bonne continuité du service.

Chapitre 2

Écoulement de puissance

2.1 Introduction

Tout réseau électrique se divise en trois parties essentielles en : lignes et câbles électriques, générateurs d'énergie électrique et consommateurs [9]. L'écoulement de puissance (E.P) ou l'écoulement de charge est la solution pour les conditions de fonctionnement normal d'un réseau électrique [10] et qui nous permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique afin d'assurer une exploitation efficace, c'est-à-dire conforme aux normes techniques. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes [11]. Les pertes et les courants s'en déduisent, et pour cela nous sommes dans le besoin 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.

Les méthodes de calcul de l'écoulement de puissance les plus souvent utilisées nommées comme étant des méthodes Newtoniennes, comme la méthode de Newton-Raphson, Newton-Raphson découplée rapide, et aussi les méthodes Jacobi, comme la méthode de Gauss et Gauss-Seidel [10], mais en voyant la complexité des configurations de certains réseaux électriques de distribution, c'est-à-dire le nombre de lignes et de nœuds, nous allons utiliser une technique de double balayage (technique de chute de tensions), qui est mieux adaptée à notre étude, donc dans ce chapitre nous allons mieux analyser et exploiter les différentes étapes de cette technique

2.2 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 capacité du système pour le transfert d'énergie des sources de génération vers les charges sans surcharger les lignes de transport et en déterminant l'adéquation de la régulation de tension par les capacités ou réactances shunts [10].

2.3 But de l'étude de l'écoulement de puissance

But de l'écoulement de puissance, Il est résumé dans les points suivants [11] :

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

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

2.4 Définition de la configuration radiale

Haque en 1996 a proposé une méthode itérative qui s'applique aussi bien aux réseaux radiaux qu'aux réseaux faiblement maillés. Il convertit alors le réseau s'il est maillé, en un réseau radial en brisant les mailles créant ainsi des nœuds fictifs dont le nombre est égale à celui des boucles et ou les puissances qui y circulant sont négatives. Ensuite, il détermine les tensions des nœuds et leurs phases à l'origine en balayant la ligne en montée et en descente [12].

La distribution radiale est un des types de la distribution d'énergie ou l'énergie est délivrée de la branche principale vers les sous-branches et puis cette énergie est délivrée à partir de ces sous-branches de la même manière. C'est la configuration la moins couteuse mais la moins fiable d'autre part [8].

Le réseau électrique radial est un système de distribution dont la puissance est distribuée vers les consommateurs individuels à partir des postes de transformation, le système radial ressemble à une branche d'un arbre avec une ligne principale connectée à des séries de petit circuit [8].

Le système radial peut avoir une source ou bien plusieurs sources d'énergie dans la même région. Un défaut au niveau des lignes de distribution peut causer l'interruption du système et par conséquent ce dernier ne peut plus être restauré jusqu'à ce que le défaut soit arrangé. Seulement un chemin existe entre chaque client et le poste de distribution autrement dit l'écoulement de puissance est assuré à travers un seul chemin pour chaque nœud (charge), si ce dernier est interrompu, le client n'est plus alimenté. De ce fait, la reconfiguration du système de distribution peut être un outil très utile pour la gestion de la distribution d'énergie [8].

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

Le problème de la reconfiguration est un problème d'optimisation non-linéaire, il peut être posé pour une variété d'objectifs comme nous pouvons le résoudre en utilisant beaucoup de techniques différentes [8].

2.5 Unités relatives [10]

Les grandeurs d'un système d'énergie électrique telles que la tension, le courant la puissance et l'impédance sont souvent exprimés en unités relatives ou en pourcentage par rapport à une grandeur de base de référence donnée (Système *p.u* : per unit).

Un des avantages notables de l'utilisation du système d'unités relatives est que, grâce à un choix judicieux des grandeurs de base, le schéma transformateur est considérablement simplifié. Ainsi le transformateur idéal peut être éliminé, de telle sorte que les tensions, les courants, les impédances et les admittances convertis en unités relatives ne changent pas lorsqu'elles sont rapportées du primaire au secondaire et inversement. Cela est un avantage considérable pour des réseaux importants.

Un autre avantage de l'utilisation des unités relatives est que les impédances exprimées en unités relatives, des équipements électriques de même types, sont comprises dans un intervalle de valeurs étroites lorsque les grandeurs nominales de ces équipements sont prises comme grandeurs de base. Grâce à cette particularité, les données des impédances en unités relatives, peuvent rapidement faire l'objet d'une vérification de leur ordre de grandeurs par un œil averti, pour se prémunir des risque d'erreurs.

Les grandeurs en unités relatives sont déterminées la manière suivante :

Grandeur en (p.u) = grandeur actuelle / grandeur base

$$\Rightarrow I (p.u) = \frac{I}{I_{base}}; V (p.u) = \frac{V}{V_{base}} \quad (2.1)$$

Pour pouvoir convertir toutes les grandeurs électriques en *p.u*, il faut se fixer de manière arbitraire deux grandeurs indépendantes de base en un point donné du système électrique. Généralement le choix se porte sur une tension simple V_{base} et la puissance monophasée S_{base} .

Afin que les lois électriques restent valides dans le système d'unités relatives, les relations suivantes devront être utilisées pour déterminer le reste des grandeurs de base :

$$P_{base} = Q_{base} = S_{base} \quad (2.2)$$

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{V_{base}} \quad (2.3)$$

$$Z_{base} = R_{base} = X_{Base} = \frac{V_{base}}{I_{base}} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}} \quad (2.4)$$

Remarque : Si la tension de base est donnée en kV et la puissance en kVA alors, cette impédance (Z_{base}) est donnée par :

$$Z_{base} = R_{base} = X_{base} = \frac{10^3 V_{base}^2}{S_{base}} \quad (2.5)$$

Nous déduisons que la résistance en ($p.u$) est égale à :

$$R(p.u) = \frac{R}{Z_{base}} \quad (2.6)$$

Et pour la réactance, nous avons aussi :

$$X(p.u) = \frac{X}{Z_{base}} \quad (2.7)$$

Et pour l'impédance en ($p.u$), on a :

$$Z(p.u) = \frac{Z}{Z_{base}} , \quad (2.8)$$

Ou bien

$$Z(p.u) = R(p.u) + jX(p.u) , \quad (2.9)$$

Et pour les puissances de charge, nous avons :

$$P(p.u) = \frac{P}{S_{base}} \quad (2.10)$$

$$Q(p.u) = \frac{Q}{S_{base}} \quad (2.11)$$

2.6 Modélisation des composants du réseau électrique

Les éléments qui interviennent dans le problème de répartition des charges sont ceux qui sont exposés à des hautes tensions et à des forts courants, à savoir : générateurs de puissance (Machine synchrone), charges électriques, lignes de transports, transformateurs de puissances et compensateurs statiques.

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

2.6.1 Modélisation du générateur

Le générateur est considéré comme le cœur du réseau électrique, il assure la production de l'énergie électrique demandé par le consommateur, Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants [11].

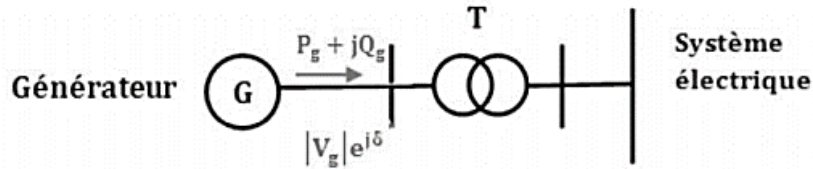


Figure 2.1 : Modèles d'un générateur.

2.6.2 Modélisation des branches

Les lignes de transmission de l'énergie électrique entre les nœuds i et j généralement représentée par le schéma équivalent par phase de type pi (π) comme indiqué sur la figure ci-dessous (Figure 2.2) [11] :

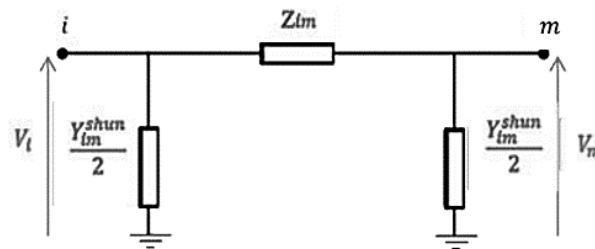


Figure 2.2: Schéma pi (π) d'une branche.

Remarque : Les admittances shunts sont négligeables du fait que la ligne est de moyenne tension et cela est représenté dans la figure ci-dessous (Figure 2.3) [7] :

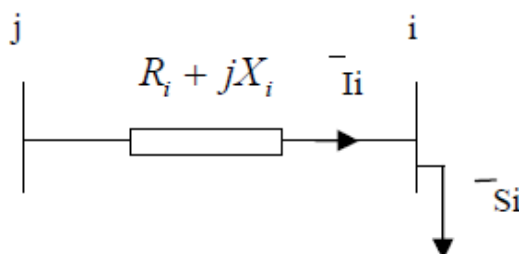


Figure 2.3 : Schéma unifilaire d'une branche.

2.6.3 Modélisation des charges

La charge électrique est souvent modélisée sous forme d'une impédance qui consomme de la puissance active et réactive constantes figure (4). Cette charge représente souvent des postes de répartition (sous stations) qui alimentent des réseaux de distribution [11].

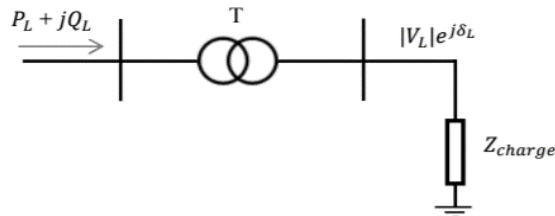


Figure 2.4 : Modèle de la charge électrique

2.7 Modélisation de l'écoulement de puissance

Dans notre étude, nous nous concentrons sur un réseau électrique de distribution, qui est caractérisé par une configuration radiale, et nous prendrons comme exemple un réseau avec des ramifications, car ce sont les réseaux électriques les plus fréquents.

2.7.1 Réseau de distribution ramifiée

Il est appelé ainsi car il possède topologiquement une structure d'arbre. Pour ce type de réseau, à partir d'une ligne principale, nous mettons en relation plusieurs ramifications secondaires, il a l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité (en cas de rupture d'une ligne principale tous les abonnés situés à l'aval seront privés d'électricité).

2.7.2 Dépouillement de la configuration actuelle

a. Types de branches

Nous avons trois types de branches, finale, intermédiaire et branche-dérivation.

- **La branche finale** est celle que nous trouvons à chaque fin de ramification, elle est distinguée des autres branches, car c'est par elle que nous commençons notre calcul des différentes puissances et des pertes.
- **La branche intermédiaire**, est une branche qui est lié entre deux nœuds qui ne sont pas des nœuds de dérivations ou bien des nœuds finaux, nous pouvons la trouver dans la ligne principale ou dans

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

différentes ramifications, nous calculons ses puissances et ses pertes après avoir calculé celle d'une branche finale ou d'une autre branche intermédiaire.

- **La branche dérivation** est une branche qui est lié à deux ou plusieurs branches différentes, nous calculons ses puissances et ses pertes, après avoir calculé celle de toutes les autres branches liées à elle.

b. Puissances dans les branches

Le calcul des puissances est un préalable à la détermination des tensions des nœuds. Ce sont des puissances en fin de branche, les pertes de puissance dans ces dernières et les puissances en début de branche.

A. Puissance en fin de branche

Comme nous l'avons précédemment vu, nous avons trois types de branche, finale intermédiaire et branche ramifications :

➤ **Branche finale**

Si nous avons une branche finale alors les puissances active et réactive en fin de branche sont données par :

$$P_f = P_l \quad (2.12)$$

$$Q_f = Q_l \quad (2.12)$$

- P_l et Q_l sont les puissances actives et réactives d'un nœud final.

➤ **Branche intermédiaire**

Si nous avons une branche intermédiaire les puissances active et réactive en fin de branche sont données par :

$$P_f = P_l + P_{d+1} \quad (2.13)$$

$$Q_f = Q_l + Q_{d+1} \quad (2.13)$$

- P_{d+1} et Q_{d+1} sont les puissances actives et réactives en début de la prochaine branche.

➤ **Branche sources-ramifications**

Nous avons vu dans les précédentes relations, les puissances finales, active et réactive, pour des branches terminale et non terminale, dans le cas suivant, nous avons les relations pour une branche liée à deux ou plusieurs dérivation et sont déterminée comme il suit :

$$P_f = P_l + \sum_1^n P_d \quad (2.14)$$

$$Q_f = Q_l + \sum_1^n Q_d \quad (2.14)$$

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

- En prenant 'n' comme le nombre de branches qui sont reliées avec le nœud de dérivation.

B. Pertes actives et réactives dans les branches

Nous prenons R et X comme résistance et réactance d'une branche quelconque, et donc les pertes actives et réactives pour n'importe quelle branche, données par :

$$P_{loss} = R * \frac{P_f^2 + Q_f^2}{V^2} \quad (2.15)$$

$$Q_{loss} = X * \frac{P_f^2 + Q_f^2}{V^2} \quad (2.15)$$

- V est la tension complexe du nœud terminal de la branche étudiée.

C. Puissance en début de branche

Pour une branche quelconque, les puissances active et réactive en début de branche données par les expressions suivantes :

$$P_d = P_f + P_{loss} \quad (2.16)$$

$$Q_d = Q_f + Q_{loss} \quad (2.16)$$

c. Courant dans les branches

Le courant complexe circulant dans une branche quelconque est obtenu par l'expression suivante :

$$I = \frac{P_d - jQ_d}{V^*} \quad (2.17)$$

- V est la tension du nœud terminale de la branche.

d. Tension au niveau des nœuds

Après le calcul des courants, nous pouvons maintenant calculer les nouvelles valeurs de tensions :

$$V_j = V_i - Z_{ij} * I_{ij} \quad (2.18)$$

- Sachant que i représente les nœuds au début de branche et j représente les nœuds en fin de branches comme il est montré dans la figure ci-dessous :

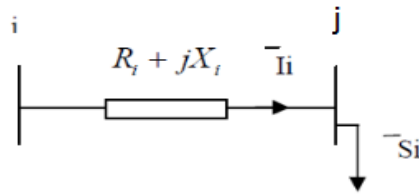


Figure 2.5 : Schéma unifilaire d'une branche

2.8 Méthode de résolution

Le calcul de l'écoulement de puissances se fait avec la méthode de chute de tensions, c'est une méthode itérative dont le principe consiste à calculer les puissances en fin de branche, les pertes de puissances actives et réactives, les puissances en début de branche et les courants au niveau de chaque branche et c'est le balayage en montée c'est-à-dire du nœud final jusqu'au nœud source, initialement tous ces calculs se font avec des valeurs de tensions constantes pour tous les nœuds ($V=1 \text{ p.u}$) [7], donc après le calcul des courants nous déterminons les nouvelles valeurs de tensions des différents nœuds avec un balayage en descente c'est-à-dire du nœud initial au nœud final, et nous les utilisons pour calculer les nouvelles valeurs du courant et des différentes puissances de la 2^{ème} itération et ainsi de suite.

Ce processus se déroulera jusqu'au moment où nous obtenons des tensions qui ne varient d'une itération à une autre que d'une petite différence fixée au préalable et que nous appelons la précision ou la tolérance (ϵ).

2.9 Elaboration du modèle de la configuration

2.9.1 La matrice « ut »

C'est une matrice qui identifie le numéro de chaque branche de la configuration, et cela est présenté par la relation suivante :

$$\langle ut(i, j) = pos \rangle$$

Sachant que

- 'i' représente les nœuds au début de branche,
- 'j' représente les nœuds en fin de branches,
- 'pos' représente le numéro d'identification de la branche entre le nœud i et j

Exemple : Pour identifier la 2^{ème} branche, qui se trouve entre le nœud 2 et le nœud 3 :

$$ut(2,3) = 2 ;$$

$$\text{Sachant que } \langle pos = 2 \rangle$$

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

2.9.2 Le vecteur « ch »

C'est un vecteur (ch) qui contient des 'uns' et des 'zéros', pour identifier la branche si elle est « en service » ou bien « hors service », et cela représente notre configuration, comme par exemple pour le réseau de distribution IEEE (33 nœuds), la configuration initiale de ce dernier est :

$$ch = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$$

- Dans ce réseau, 32 branches sont en service et 5 autres doivent être hors service afin d'assurer l'alimentation de tous les nœuds.

2.9.3 Matrice « a »

Dans cette matrice, les lignes représentent les nœuds sources, et les colonnes représentent les nœuds liés aux nœuds sources, et elles contiennent des uns et des zéros, tel que :

- « 1 », entre nœud source (**i**) et nœud terminal (**j**) d'une branche, ce qui montre que notre branche (**ij**) est en service.
- « 0 », nous montre que notre branche (**ij**) est hors service ou bien qu'elle n'existe pas.

2.9.4 Dépouillement de la matrice « a »

a. Types de nœuds

Cette matrice a pour but de nous donner les paramètres essentiels de l'état de notre configuration, comme pour détecter si le nœud est final, intermédiaire ou bien de dérivation, nous faisons la somme des colonnes de chaque ligne, que nous appellerons ensuite « k », tel que :

- Si « $k=0$ », c'est un nœud final.
- Si « $k=1$ », c'est un nœud intermédiaire.
- Si « $k \geq 2$ », c'est un nœud de dérivation.

b. Vecteurs contenant les différents nœuds

Après avoir détecté chaque type de nœud, nous les classons dans trois différents vecteurs tel que :

- NOR(**i**) => pour les nœuds intermédiaires.

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

- ZER (i) => pour les nœuds finaux.
- DIV (i) => pour les nœuds de dérivations.

Après avoir chargé les trois différents vecteurs, nous commençons le calcul des puissances (P_f , Q_f , P_{loss} , Q_{loss} , P_d et Q_d) pour les branches liées aux nœuds finaux qui se trouvent dans le vecteur « **ZER(i)** », et les branches qui viennent après les branches finales, jusqu'à ce que nous arrivons aux nœuds de dérivations, et nous chargeons ces derniers (nœuds de dérivations) dans un vecteur vide, que nous nommerons « **DD** ».

c. Vecteur « DD »

C'est un vecteur initialement vide, ou nous chargeons ensuite les nœuds de dérivations.

Remarque : Le vecteur « **DIV(i)** » contient tous les nœuds de dérivations, nous l'utilisons pour vérifier si le nœud est un nœud de dérivation ou pas, et le vecteur « **DD** » se charge aussi avec les nœuds de dérivations, nous l'utilisons parce qu'il nous aide à mieux identifier la configuration et à classifier les nœuds de dérivations suit la configuration.

d. Le compteur LLL

LLL est un compteur qui nous aide à charger le vecteur « **DD** » avec tous les nœuds de dérivations de la configuration, si le nombre de ces derniers augmente, il faudra élever ce compteur pour ne pas rater aucunes dérivations mais il ne faut pas dépasser une certaine valeur qui dépend de la configuration car le temps de calcul augmente.

e. Le vecteur « W »

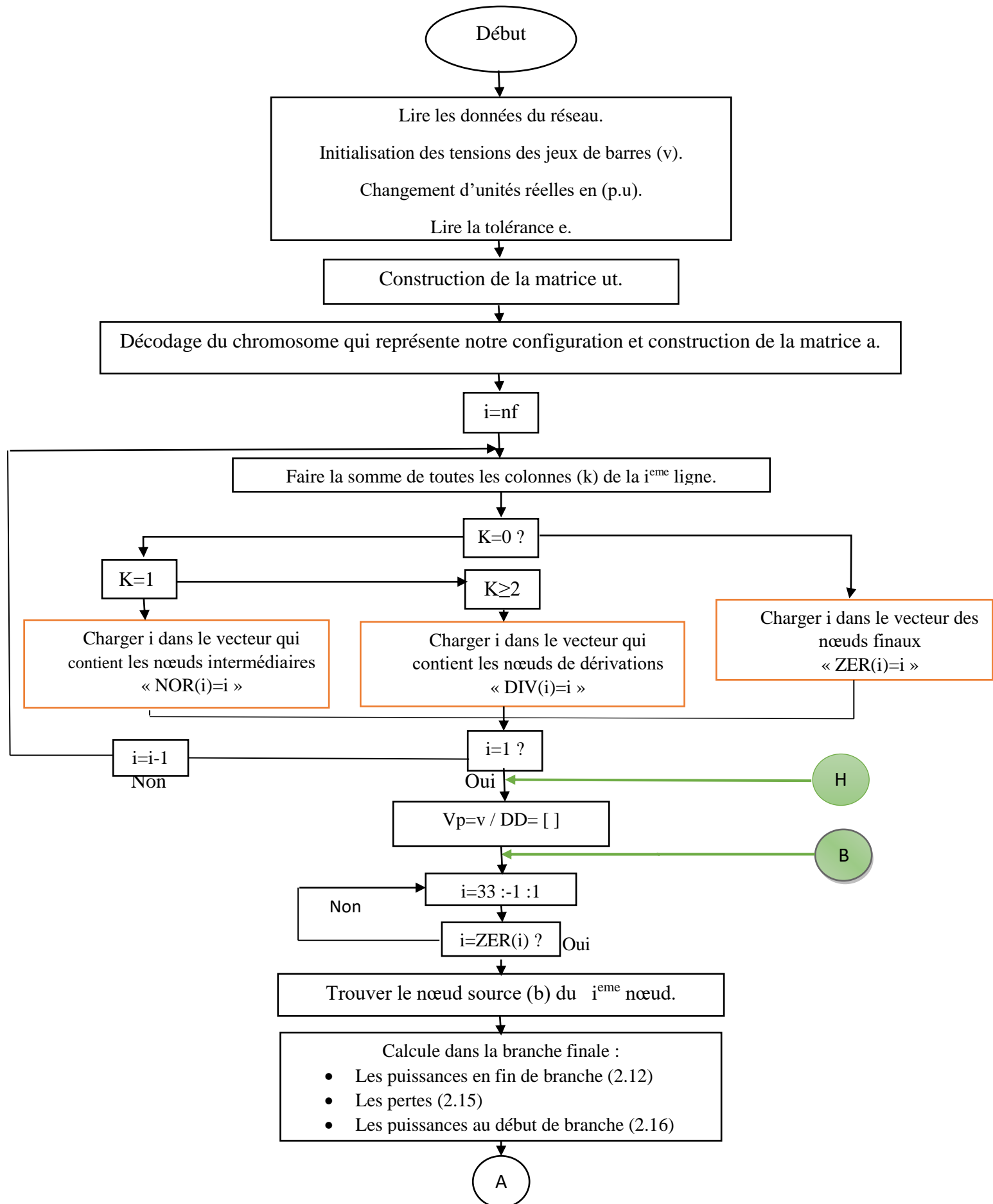
C'est un vecteur initialement vide, ou nous l'utilisons après avoir détecté les nœuds de dérivation, nous le chargeons avec les nœuds qui sont liés à ces derniers.

Remarque : « **nf** » représente le nœud final, « **b** » représente le nœud source de chaque branche, et « **tl** » représente le nombre de colonnes du vecteur « **DD** ».

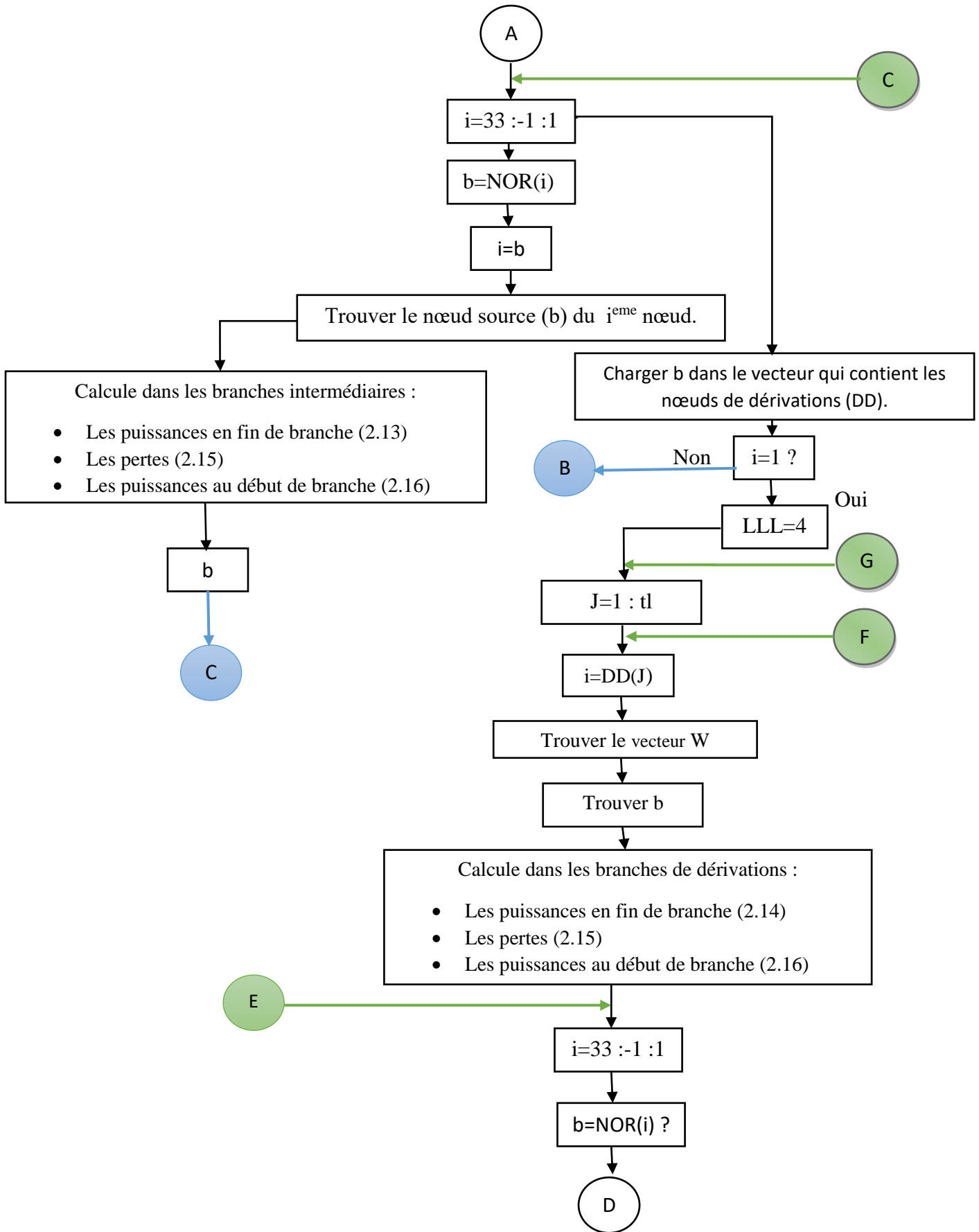
2.10 Organigramme de la méthode

Comme notre étude porte sur des réseaux avec ramifications, nous avons créé un organigramme spécifié pour ça, qui utilise toute les ressources précédentes :

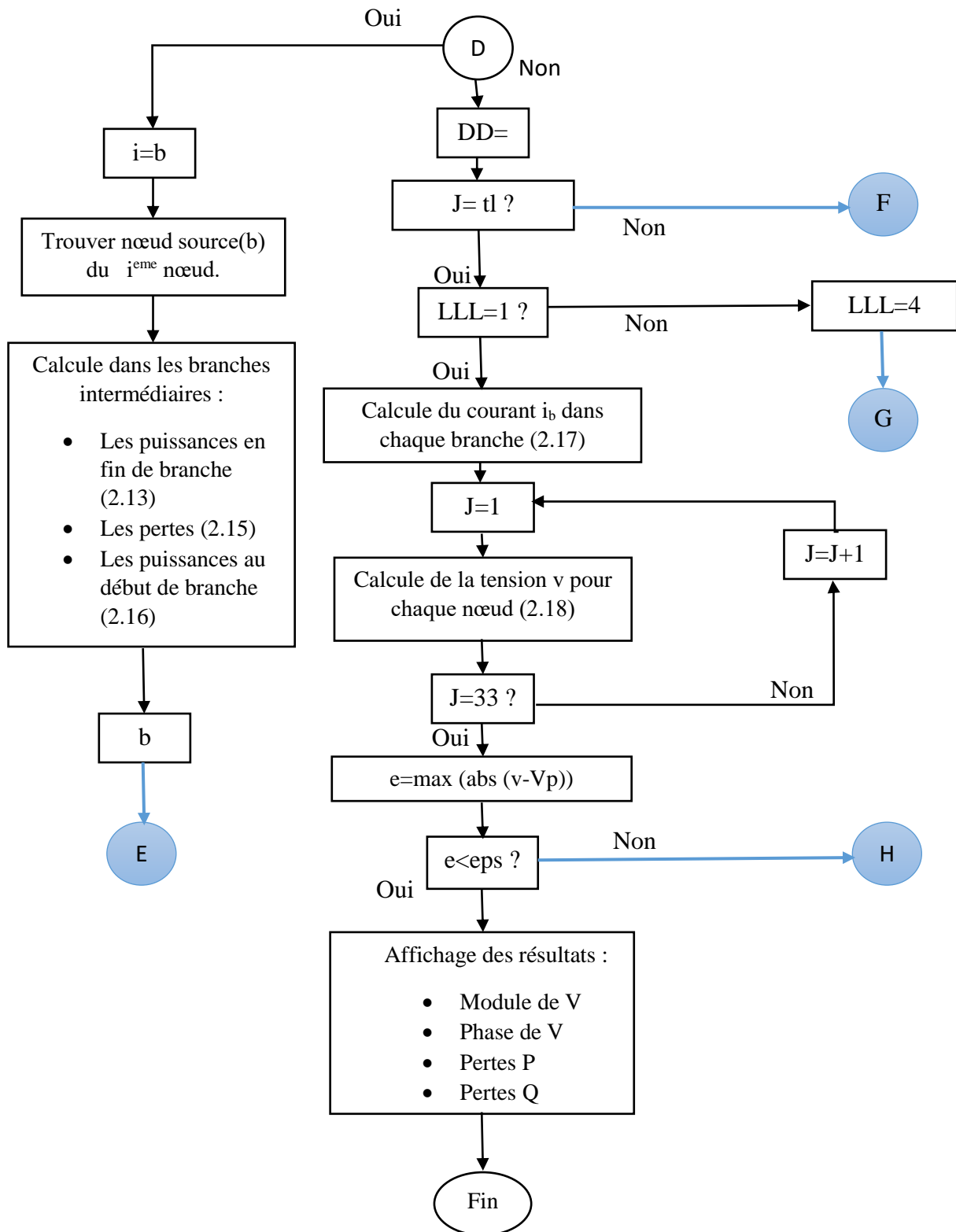
Chapitre 2 : Ecoulement de puissance



Chapitre 2 : Ecoulement de puissance



Chapitre 2 : Ecoulement de puissance



2.11 Discussion des résultats

2.11.1 Réseau IEEE (33 jeux de barres)

Pour notre étude, nous avons pris comme exemple, un réseau ramifié, car ce sont les réseaux les plus fréquents dont plusieurs ramifications sont liées à la ligne principale, le réseau IEEE comporte 33 nœuds (ou bien 33 jeux de barres), en ayant en tout 37 branches, dont 32 sont en service et 5 autres doivent être hors service.

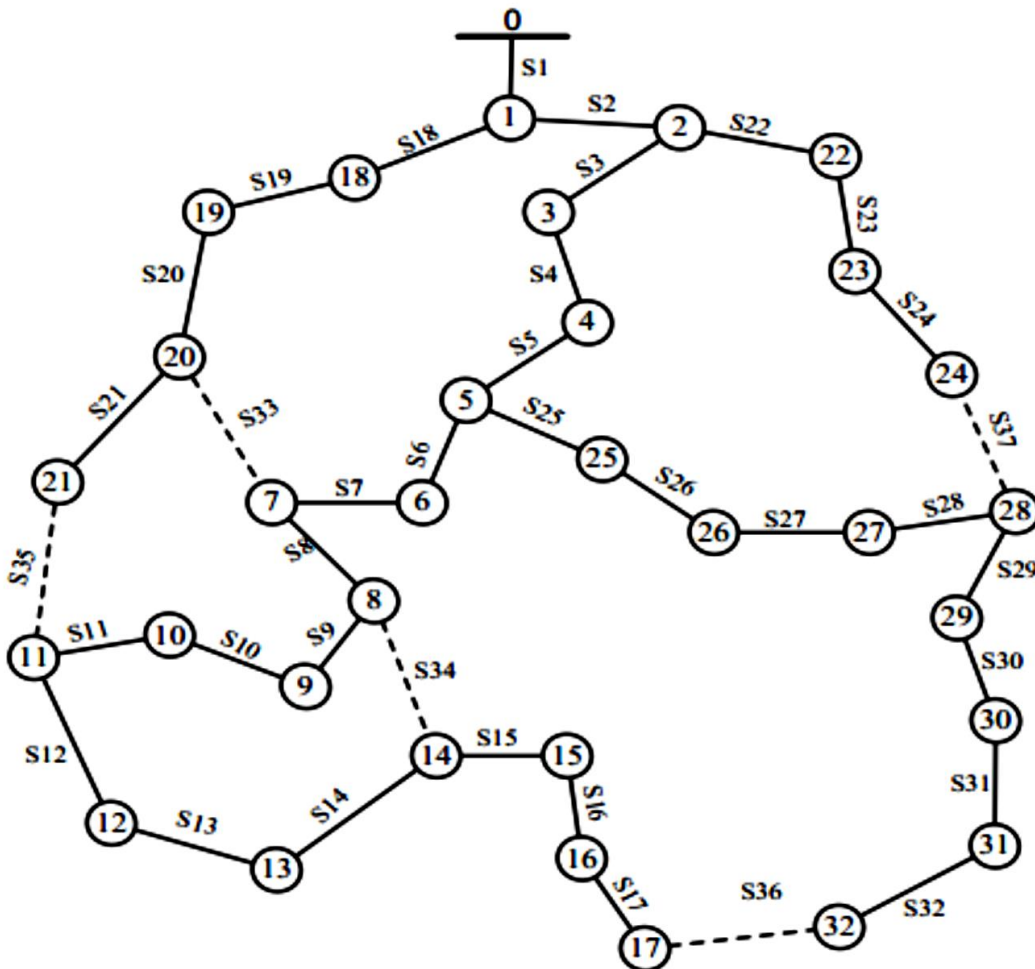


Figure 2.6 : Réseau de distribution 33 nœuds.

Remarque : Pour mieux comprendre ou bien analyser notre le réseau IEEE (33 nœuds) dans son état initial, la figure ci-dessous montre notre réseau sans les lignes hors service :

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

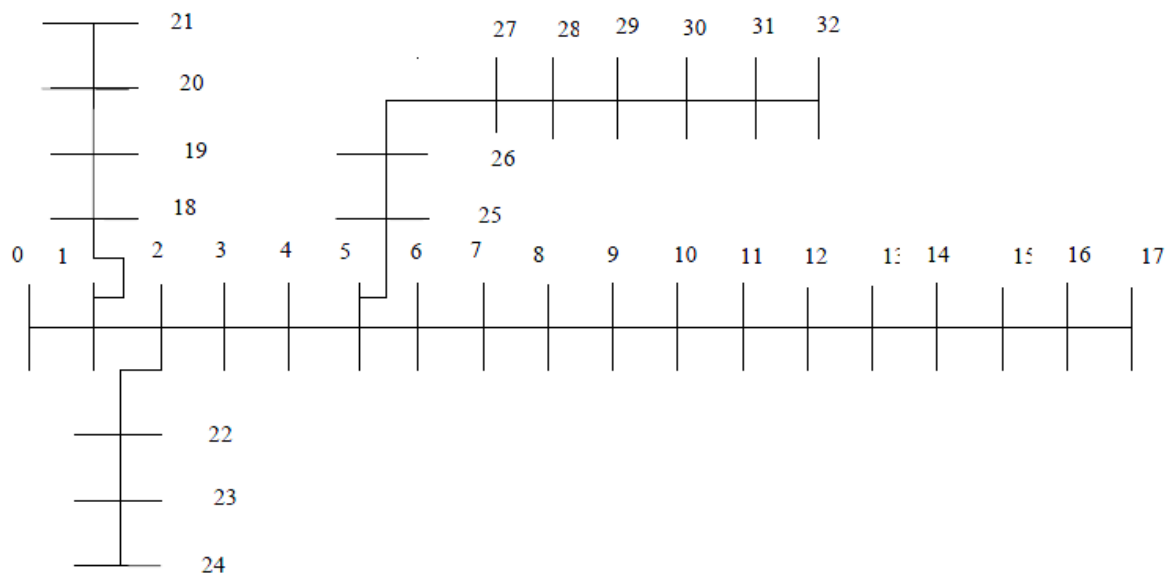


Figure 2.7 [7] : Schéma unifilaire du réseau IEEE (33 nœuds).

2.11.2 Données du réseau [7]

Le travail est fait en unités relatives et par conséquent nous choisissons les tensions estimées de tous les jeux de barres avec un module égal à 1 et un argument égale à 0. Les tensions de base et les puissances de base sont 12.66 kV et 2300 kVA et une tolérance de 0.0001 pu a été considérée. Les résistances et les réactances de notre réseau pour les 37 branches, sont incluses dans le tableau suivant :

N° de la branche	Nœud source	Nœud récepteur	R(Ω)	X(Ω)
1	1	2	0.092200	0.047000
2	2	3	0.493000	0.251100
3	3	4	0.381100	0.194100
4	4	5	0.187200	0.618800
5	5	6	0.711400	0.235100
6	6	7	1.030000	0.740000

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

7	7	8	0.196600	0.065000
8	8	9	0.374400	0.123800
9	9	10	1.468000	1.155000
10	10	11	0.541600	0.712900
11	11	12	0.591000	0.526000
12	12	13	0.746300	0.545000
13	13	14	1.289000	1.721000
14	14	15	0.732000	0.574000
15	15	16	0.164000	0.156500
16	16	17	1.504200	1.355400
17	17	18	0.409500	0.478400
18	2	19	0.366000	0.186400
19	19	20	0.708900	0.937300
20	20	21	0.451200	0.308300
21	21	22	0.898000	0.709100
22	3	23	0.819000	0.707000
23	23	24	0.896000	0.701100
24	24	25	0.203000	0.103400
25	6	26	1.044000	0.740000
26	26	27	0.284200	0.144700

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

27	27	28	1.059000	0.933700
28	28	29	0.804200	0.700600
29	29	30	0.507500	0.258500
30	30	31	0.974400	0.963000
31	31	32	0.310500	0.361900
32	32	33	0.341000	0.530200
33	25	29	0.500	0.500
34	8	21	2.000	2.000
35	12	22	2.000	2.000
36	9	15	2.000	2.000
37	18	33	0.500	0.500

Tableau 2.1 : Résistances et Réactances des différentes branches du réseau IEEE.

Remarque : la partie en gris du tableau précédent (tableau 2.1) représente les branches hors service de la configuration initiale.

- Les puissances actives et réactives de notre réseau sont incluses dans le tableau suivant :

Nœuds	Puissances actives (kW)	Puissances réactives (kW)
1	00	00
2	100	60
3	90	40
4	60	30

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

5	200	100
6	200	100
7	60	20
8	45	30
9	60	35
10	60	35
11	120	80
12	60	10
13	60	20
14	60	20
15	90	40
16	90	40
17	90	40
18	90	40
19	120	80
20	90	40
21	90	50
22	420	200
23	60	20
24	420	200

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

25	60	25
26	60	20
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	200	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40

Tableau 2.2 : Les puissances actives et réactives des différents nœuds du réseau IEEE.

2.11.3 Résultat de l'écoulement de puissance

Après avoir étudié l'écoulement de puissance de notre réseau IEEE (33 jeux de barres), nous avons eu les résultats suivants et qui sont les pertes et les différentes tensions en (*p.u*) ; ces derniers sont dans le tableau suivant :

N°du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)	N°du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)	N°du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)
1	1.000	0	12	0.9263	-0.0077	23	0.9803	0.0005
2	0.9970	0.0003	13	0.9231	-0.0085	24	0.9765	-0.0004
3	0.9842	0.0016	14	0.9172	-0.0121	25	0.9764	-0.0004
4	0.9763	0.0028	15	0.9148	-0.0128	26	0.9433	0.0015

Chapitre 2 : Ecoulement de puissance

5	0.9669	-0.0046	16	0.9143	-0.0130	27	0.9408	0.0025
6	0.9548	-0.0007	17	0.9117	-0.0139	28	0.9291	0.0039
7	0.9465	-0.0023	18	0.9114	-0.0141	29	0.9208	0.0053
8	0.9452	-0.0021	19	0.9949	0.0003	30	0.9172	0.0071
9	0.9429	-0.0018	20	0.9905	-0.0020	31	0.9130	0.0057
10	0.9331	-0.0043	21	0.9885	-0.0023	32	0.9121	0.0052
11	0.9292	-0.0066	22	0.9852	-0.0030	33	0.9118	0.0051
Les pertes actives (kW)	193.6107							
Les pertes réactives (kVAR)	142.0894							

Tableau 2.3 : Résultats de l'écoulement de puissances du réseau IEEE (33 nœuds).

Et la figure suivante (**Figure 2.8**) représente le graphe des différentes tensions en ($p.u$) du précédent tableau (**Tableau 2.3**) de chaque nœud :

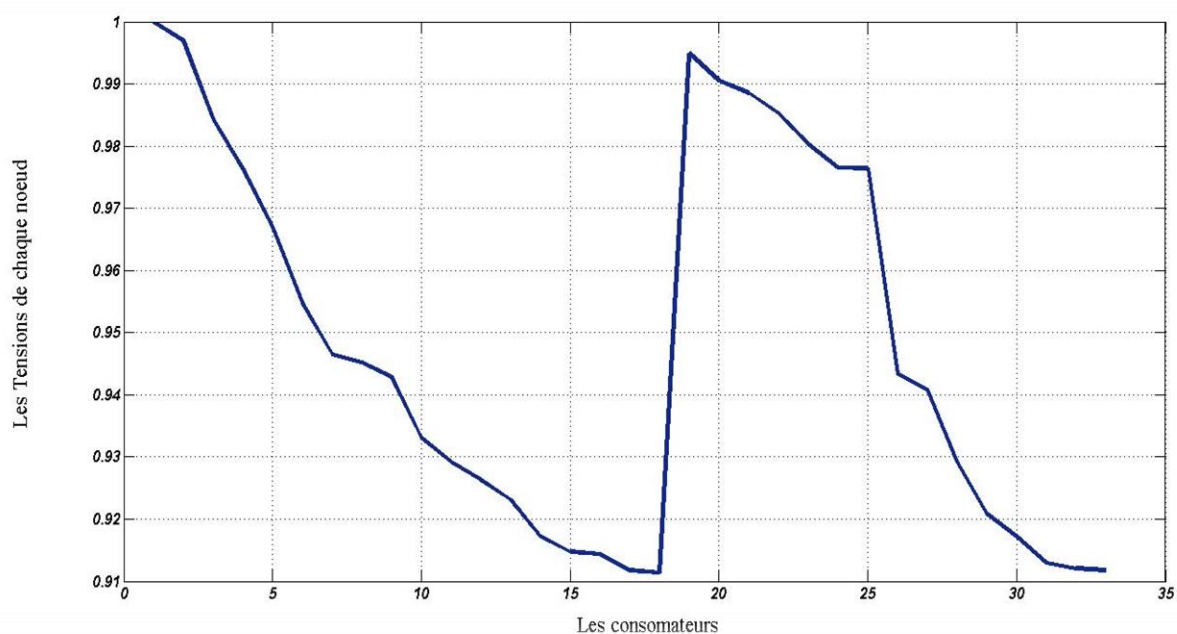


Figure 2.8 : Graphe représentant les différentes tensions des différents nœuds

2.11.4 Analyse des résultats

Après avoir étudié l'écoulement de puissance du réseau IEEE (33 nœuds), nous avons obtenu les différents résultats (**Tableau 2.3**), contenant les différentes tensions en (p.u) de chaque nœud illustré par la précédente figure (**Figure 2.8**), et les différentes pertes c'est-à-dire actives et réactives. La tension maximale et minimale sont respectivement égales à 0.9970 (p.u) et 0.9114 (p.u), les pertes actives et réactives sont respectivement égales à 193.6107 kW et 142.0894 kVAR, de là nous remarquons que dans l'état initial de ce réseau les pertes sont élevées, et notre but est de les minimiser à travers une autre configuration qui assure l'alimentation de tous les nœuds avec le minimum des pertes possibles.

2.12 Conclusion

Selon ce qui précède, et afin d'analyser le réseau électrique, nous devons calculer l'écoulement de puissance, en utilisant la technique du double balayage (ou bien la chute de tension) qui a comme avantage de vite s'adapter à la complexité de n'importe quelle configuration par rapport aux autres méthodes, et en exploitant tous les paramètres du système ; nous avons pu détecter certains points complexes du réseau électrique et nous allons utiliser le calcul de l'écoulement de puissance lors de l'optimisation que nous allons effectuer par la suite.

Chapitre 3

Reconfiguration du réseau électrique de distribution

3.1 Introduction

L'exploitation des réseaux électriques pose de nombreux problèmes d'ordre technique et économique. L'exploitant du réseau doit assurer en tout temps et en tout 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 [13], et pour arriver à ce point, nous sommes dans l'obligation de minimiser les pertes de puissances, dans le but est d'arriver à la stabilité du réseau en le reconfigurant en l'optimisant par les Algorithmes génétiques. L'optimisation de l'écoulement de puissance consiste à répartir les puissances actives et réactives demandées entre les différentes centrales interconnectées dans un réseau électrique avec un coût minimal. Cette distribution doit évidemment respecter les limites de production des centrales et les capacités de transport des lignes électriques et des transformateurs, la variable à optimiser est donc le coût de production [14]. Donc dans ce chapitre nous allons mieux expliquer et exposer les différentes étapes de la reconfiguration et l'optimisation du réseau électrique de distribution.

3.2 Généralités sur la reconfiguration du réseau électrique de distribution

De nombreux procédés ont été utilisés pour réduire les pertes de puissance active et réactives dans les réseaux électriques, par exemple, l'augmentation de la section des conducteurs, le réglage de prise de transformateur, et l'installation des condensateurs. En dehors de ceux-ci, un fonctionnement efficace qui peut améliorer la performance des systèmes de distribution est la reconfiguration du réseau [3].

En général, le processus de reconfiguration d'un réseau électrique de moyenne tension est associé à la recherche d'une topologie radiale permettant la distribution de l'énergie de la façon la plus efficiente possible. Normalement cette recherche topologique est atteinte en optimisant le réseau sous l'objectif de la minimisation des pertes actives du système [15], et le principe de reconfiguration du réseau électrique de distribution est de changer la topologie du notre système qui est basés sur plusieurs interrupteurs localisés dans certains points de notre réseau, due au grands nombre de ces derniers, la détermination de configurations optimal pour atteindre notre objectif n'est résolu que par la méthode d'optimisations traditionnel.

3.2.2 Définition

La reconfiguration d'un système physique quelconque consiste à modifier la configuration courante par le changement des liaisons fonctionnelles entre les éléments

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

composant, dans le but d'améliorer le régime de fonctionnement pour les indicateurs de performances du système. Pour le cas particulier des réseaux électriques de distributions, la reconfiguration concerne le changement de configuration d'exploitation par la modification de l'état topologique (en service ou hors service) de certaines branches de notre réseau [16].

L'application du processus de reconfiguration est possible seulement pour le réseau dont la structure est maillée, sa composition pouvant être changé à condition de respecter la contrainte d'arborescence.

3.2.3 Les différents régimes [16]

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 [8].

3.2.4 Détermination d'une configuration admissible

L'existence d'une configuration d'exploitation admissible est le premier obstacle qui se pose lorsqu'il s'agit de diriger la recherche d'une configuration optimale de reprise de service suite à un événement modifiant les données du réseau telle qu'une panne subite. Ce problème

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

se pose également lors de la planification. En effet, lorsqu'une entreprise modifie certains éléments de son réseau, ceux-ci sont généralement inutilisables durant un certain laps de temps. Dans un tel cas, il est nécessaire, de prévoir une configuration de rechange lors de l'exécution des travaux et donc, en premier lieu, de déterminer si une configuration d'exploitation admissible existe [17].

a. Stratégie constructive

Elle se base sur l'idée de construire la configuration recherchée, de manière progressive à partir d'un graphe qui est constitué uniquement de branche ouvert et de « n » nœuds îlotés [18], et en y insérant de chaque étape une et une seule branche judicieusement choisit [17], pour connecter un nœud îlotés au sous réseau qui est déjà relié avec la racine de l'arbre, donc la configuration finale est obtenu en $(n-1)$ étapes.

Remarque : îlotés qui est du verbe « îloter », et c'est faire fonctionner (une partie d'un circuit électrique) de façon séparée du reste.

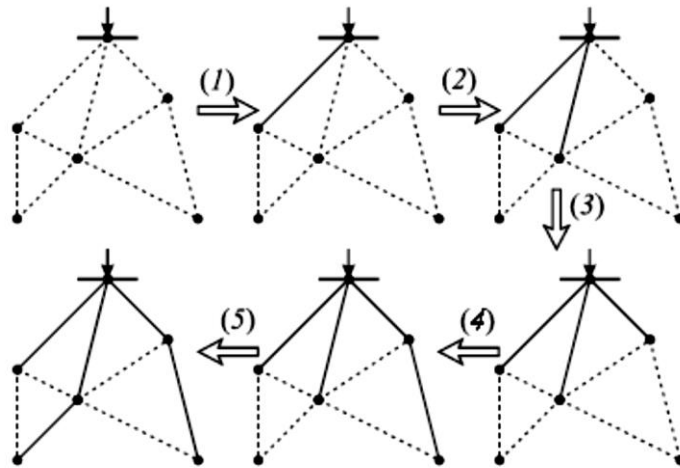


Figure 3.1 [8] : Principe de la Stratégie Constructive.

b. Stratégie destructive

Elle consiste à procéder selon une démarche inverse à celle de l'approche constructive, le choix pour la configuration initiale est un réseau complètement maillé et les étapes vers la configuration recherchée sont obtenues par l'ouverture d'une branche appropriée sans séparer le réseau en deux parties [18], la configuration finale obtenu lorsque le réseau aura une structure radiale sans la présence des mailles.

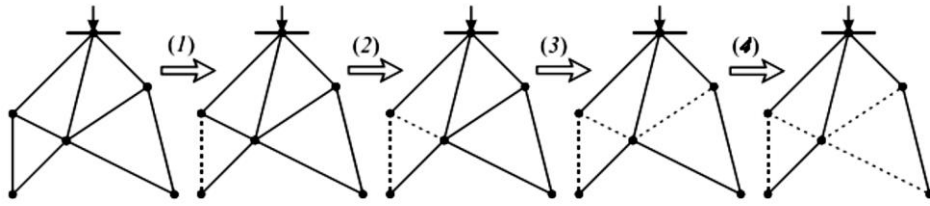


Figure 3.2 [8] : Principe de la Stratégie Destructive.

c. Stratégie de permutations des branches

Elle se base sur un point de départ, qui est au faite une configuration qui respecte la contrainte d'arborescence [18], et pour trouver la configuration optimale nous passons par des étapes ou le réseau garde toujours son arborescence afin de transiter d'une étape vers un autre ,nous effectuons des transferts de branches (quelques branches hors services deviennent en services et d'autre en services deviennent hors services) .Nous choisissons le transfert de branches de ce réseau qui ont le plus de pertes et qui garde l'arborescence du réseau. Si aucun transfert de charge ne réduit suffisamment le critère spécifié, la recherche est arrêtée et la dernière configuration est déclarée en tant que configuration optimale par rapport à ses configurations précédentes.

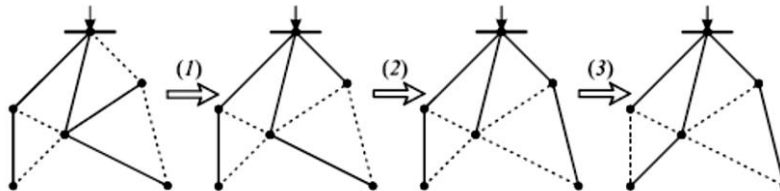


Figure 3.3 [8] : Principe de la Stratégie de type "Permutation de branches"

- Les stratégies **constructive** et **destructive** ont l'inconvénient que la décision d'ouvrir ou de fermer une branche est un choix irrévocable qui peut se révéler inadapté à une étape ultérieure, mais ces problèmes peuvent être surmontés par **la stratégie des permutations** de branches qui n'interdit pas la réouverture d'une branche qui était fermée à une étape précédente et cette dernière a d'autre avantage tel que de parcourir des topologies pendant l'optimisation qui ont toutes une configuration arborescente. Ainsi, nous avons la possibilité de vérifier à chaque instant les contraintes par rapport aux courants et aux tensions et aussi un autre avantage qui résulte du fait que chaque

étape itérative représente une réalité physique, c'est-à-dire un transfert de charges d'un départ vers un autre.

3.2.5 Optimisation à l'aide de permutation de branches

Dans cette partie du chapitre, nous allons décrire d'une manière plus détaillée la méthode effectuant des transferts de charges pour l'optimisation de la topologie, quel que soit le régime d'exploitation. Le choix du critère selon lequel nous effectuerons l'optimisation apparaîtra comme décisive dans une application en régime normal ou en régime d'incident.

○ Principe de la méthode

La stratégie de permutations de branches que nous pouvons aussi appelée « Méthode de transfert de charges » vu que l'on permute l'état ouvert/fermé de deux branches. Cette permutation est effectuée tout en respectant la contrainte d'arborescence du réseau. En fermant une branche ouverte, nous créons une boucle. Afin de respecter la contrainte d'arborescence, la boucle doit être éliminée par l'ouverture d'une branche quelconque de la boucle. Pour une branche ouverte, il existe $(n-1)$ permutations possibles, (n) étant égal au nombre de branches dans la boucle créée par la fermeture de la branche ouverte. Ainsi, pour chaque branche ouverte non-verrouillée du réseau, nous avons un ensemble de permutations possibles qui permettent un changement de la topologie arborescente. Afin de connaître l'influence de ces transferts de charges, il est nécessaire de calculer les variables qui déterminent le critère à optimiser (courants dans les branches et tensions nodales) suite aux transferts. Pour ce faire, nous pourrions par exemple effectuer un écoulement de puissance pour chaque nouvelle topologie et comparer les pertes Joule avant et après le transfert [18].

Le couple de branches qui réduit le plus un critère donné va être choisi pour effectuer le changement effectif de la topologie. Lorsqu'aucun couple ne permet l'amélioration de la fonction objectif, le processus d'optimisation est interrompu et la dernière topologie trouvée est considérée comme optimum local par rapport à toutes les configurations parcourues jusqu'alors. Cette façon d'explorer l'espace des solutions est qualifiée de purement descendante car elle n'accepte que des solutions qui sont meilleures par rapport à la configuration courante [18].

3.3 Optimisation

3.3.1 Principe de l'optimisation

Le problème d'optimisation est dans le but de minimiser ou maximiser une fonction objectif [9] tout en respectant l'ensemble des contraintes imposées dans le système étudié jusqu'à l'optimum par différents procédés, autrement dit c'est de rechercher, parmi un ensemble de solutions possibles, la solution qui rend notre fonction objectif minimale ou maximale, cette fonction objectif peut être un coût que nous voulons minimiser ou bien une production que nous voulons maximiser le plus possible...etc. Où grâce à ce processus, par un modèle mathématique nous pouvons identifier et faire évoluer certaines variables de notre système tout en respectant certaines conditions que nous avons-nous même imposées, qui sont propres à notre système.

3.3.2 Fonction objectif de notre système

La fonction objectif $f_{obj(x)}$ est la fonction à optimiser en cherchant son maximum $f_{max(x)}$ ou bien son minimum $f_{min(x)}$, out dépend de l'ensemble des propriétés désirables pour le problème d'optimisation. Elle permet de mesurer l'efficacité de la solution. La pertinence des solutions potentielles dépend essentiellement de la formulation de cette fonction [8].

Où notre fonction objectif a été essentiellement définie par les précédentes recherches que nous avons faites, ou nous avons conclu par la suite que les pertes actives étaient trop élevées et donc par le processus suivant nous voulons les minimiser car en général ils représentent des coûts supplémentaires pour les exploitants, et par là les pertes par effets joules sont exprimés par la fonction objectif suivante :

$$f_{obj(x)} = \min\left(\sum_{n=1}^{nb} R_n \cdot I_n^2\right) \quad (3.1)$$

- Sachant que dans cette situation, « nb » représente le nombre total de branches que nous avons dans notre configuration.

3.3.3 Les contraintes liées à notre système

Comme nous l'avons précédemment mentionnée, pour pouvoir optimiser un système quelconque certaines contraintes doivent être appliquées, pour qu'il marche à la perfection et déterminer la minimisation de notre fonction objectif, donc voici les contraintes qui sont liées à notre étude :

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

- **Contrainte n°1** : La branche lié au nœud source doit être toujours en service, pour assurer l'alimentation de notre de réseau.
- **Contrainte n°2** : Elle concerne essentiellement le chromosome qui identifie la configuration, et il faut que nous y trouvons 32 branches en services et 5 autres hors services, c'est-à-dire 32 éléments du chromosome soient égalent à « **1** » et 5 autres soient égale à « **0** », et cette contrainte assurent l'alimentation de tous les nœuds.
- **Contrainte n°3** : Lorsque dans une maille, une branche hors service devient en service, il faut qu'une autre branche de la même maille devient hors service, et cela pour ne pas avoir de boucle fermé dans notre réseau. (Et il faut qu'une seule branche devienne hors service et non deux ou plus).
- **Contrainte n°4** : Dans une configuration quelconque avec 'N' nœuds et B branches, la relation ci-dessous doit être toujours vérifié :

$$N = B + 1 \quad (3.2)$$

- Et cette contrainte est nécessaire mais pas suffisante pour éviter les mailles
- **Contrainte n°5** : Il faut que chaque nœud ait un seul nœud source, car grâce à cette contrainte, que maintenant nous sommes sûr qu'il n'y ait pas de mailles dans notre configuration (tout en respectant les précédentes contraintes c'est-à-dire la 3^{eme} et 4^{eme} contrainte).
- **Contrainte n°6** : La tension de chaque nœud doit varier entre deux valeurs minimale et maximale, sans qu'elle soit égale à une de ces deux dernières.
- **Contrainte n°7** : Le courant de chaque branche ne doit pas dépasser la valeur maximale.

3.3.4 Méthode méta-heuristique

Les méthodes stochastiques s'appuient sur des mécanismes de transition aléatoire. Ces méthodes ont une capacité à trouver l'optimum global du problème. Contrairement à la plupart des méthodes déterministes, elles ne nécessitent aucune connaissance particulière sur la fonction objectif. Par ailleurs, elles constituent une alternative pour traiter les problèmes d'optimisation de grande taille. Cependant, elles nécessitent un volume calculatoire important pour atteindre la solution du problème. Ces méthodes stochastiques sont connues aussi par le terme de méta-heuristique et qui s'inspirent des phénomènes biologiques, physiques et

éthologiques. Nous distinguons des méthodes utilisant une population de solutions et celles qui ne manipulent qu'une seule solution à la fois. Ces méthodes peuvent être réparties en deux classes [19] :

- Les méthodes de voisinage,
- Les méthodes évolutionnaires.

3.3.5 Méthode évolutionnaires

Le principe des méthodes évolutionnaires est de faire déplacer un ensemble de solutions vers l'optimum. Cette évolution se fait à partir de transformations et de coopérations entre les individus qui représentent chacun une solution de l'espace de recherche. Parmi ces méthodes, nous distinguons essentiellement les algorithmes génétiques, les colonies de fourmis et l'algorithme d'essaims particulaires [19].

3.4 Algorithmes génétiques

Cette technique part du principe évolutif de la sélection naturelle de Darwin. Celle-ci énonçait que les individus les plus aptes à survivre (les « meilleurs ») se reproduiront plus souvent et auront plus de descendants [20]. Ainsi, la qualité du pool génétique de la population sera augmentée, les gènes plus efficaces deviendront plus fréquents, la population s'améliore

Une métaphore biologique prend son inspiration dans le mécanisme de la sélection naturelle et la génétique de l'évolution ; cette métaphore prend la forme d'algorithme de recherche appelé « L'algorithme Génétique » [21].

3.4.1 Historique [22]

L'utilisation d'algorithmes génétiques, dans la résolution de problèmes, est à l'origine le fruit des recherches de John Holland (1975). C'est au livre de Goldberg (1989) que nous devons leur popularisation. Leurs champs d'application sont très vastes. Outre l'économie, ils sont utilisés pour l'optimisation de fonctions (De Jong (1980)), en finance (Pereira (2000)), en théorie du contrôle optimal (Krishnakumar et Goldberg (1992), Michalewicz, Janikow et Krawczyk (1992) et Marco et al. (1996)), ou encore en théorie des jeux répétés (Axelrod (1987)) et différentiels (Özyildirim (1996, 1997) et Özyildirim et Alemdar (1998)). La raison de ce grand nombre d'application est claire : simplicité et efficacité. Bien sûr d'autres techniques d'exploration stochastique existent, la plus connue étant le recuit simulé (simulated annealing – voir Davis (1987) pour une association des deux méthodes).

3.4.2 Définition

Un AG est un algorithme stochastique itératif qui utilise une population d'individus représentant les solutions potentielles du problème d'optimisation à résoudre, il appartient à la famille des algorithmes méta-heuristiques [23].

Les algorithmes génétiques sont une méthode d'optimisation basée sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique [11]. La solution optimale est cherchée à partir d'une population de solutions en utilisant des processus aléatoires. La recherche de la meilleure solution est effectuée en créant une nouvelle génération de solutions par application successive, à la population courante, de trois opérateurs : la sélection, le croisement et la mutation. Ces opérations sont répétées jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit atteint.

Il est nécessaire de définir quelques termes de bases rencontrés dans la littérature :

- **Individu** : Dans notre cas, un individu est une solution qui représente une configuration de notre système, et qui est proportionnelle à notre étude
- **Chromosome** : Solution potentielle du problème sous une forme codée ou bien sous forme de chaîne de caractères, comme nous l'avons définie dans le précédent chapitre cette solution est codée sous forme binaire.
- **Population** : Ensemble fini de d'individus ou bien de solutions.
- **Gène** : caractère d'un chromosome, dans notre cas un gène représente un bit (1 ou 0) qui nous montre respectivement qu'une branche est en service ou bien hors service.
- **Fitness** : terme anglo-saxon qui désigne la fonction d'évaluation d'un individu. Cette fonction est liée à la fonction à optimiser et permet de définir le degré de performance d'un individu (donc d'une solution).

Pour résumer, Lerman et Ngouenet (1995) distinguent 4 principaux points qui font la différence fondamentale entre ces algorithmes et les autres méthodes [22] :

- Les algorithmes génétiques utilisent un codage des paramètres, et non les paramètres eux-mêmes,
- Les algorithmes génétiques travaillent sur une population de points, au lieu d'un point unique,
- Les algorithmes génétiques n'utilisent que les valeurs de la fonction étudiée, pas sa dérivée, ou une autre connaissance auxiliaire.

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

- Les algorithmes génétiques utilisent des règles de transition probabilistes, et non déterministes.

D'une manière générale, un algorithme génétique manipule les solutions potentielles d'un problème donné afin d'atteindre la solution optimale ou une solution jugée satisfaisante. Un algorithme génétique fait évoluer une population de gènes en utilisant les mécanismes de sélection naturelle et de la génétique de l'évolution. Il utilise une fonction coût basée sur un critère de performance pour calculer une « qualité d'adéquation » (fitness). Les individus les plus « forts » seront à même de se reproduire et auront plus de descendants que les autres. Chaque chromosome est constitué d'un ensemble d'éléments appelés caractéristiques ou gènes. Le but est de trouver la combinaison optimale de ces éléments qui donne une « fitness » maximale. A chaque itération (génération de population), une nouvelle population est créée à partir de la population précédente [24].

La figure suivante (**Figure 3.4**) illustre l'organigramme de l'algorithme génétique pour mieux le résumer :

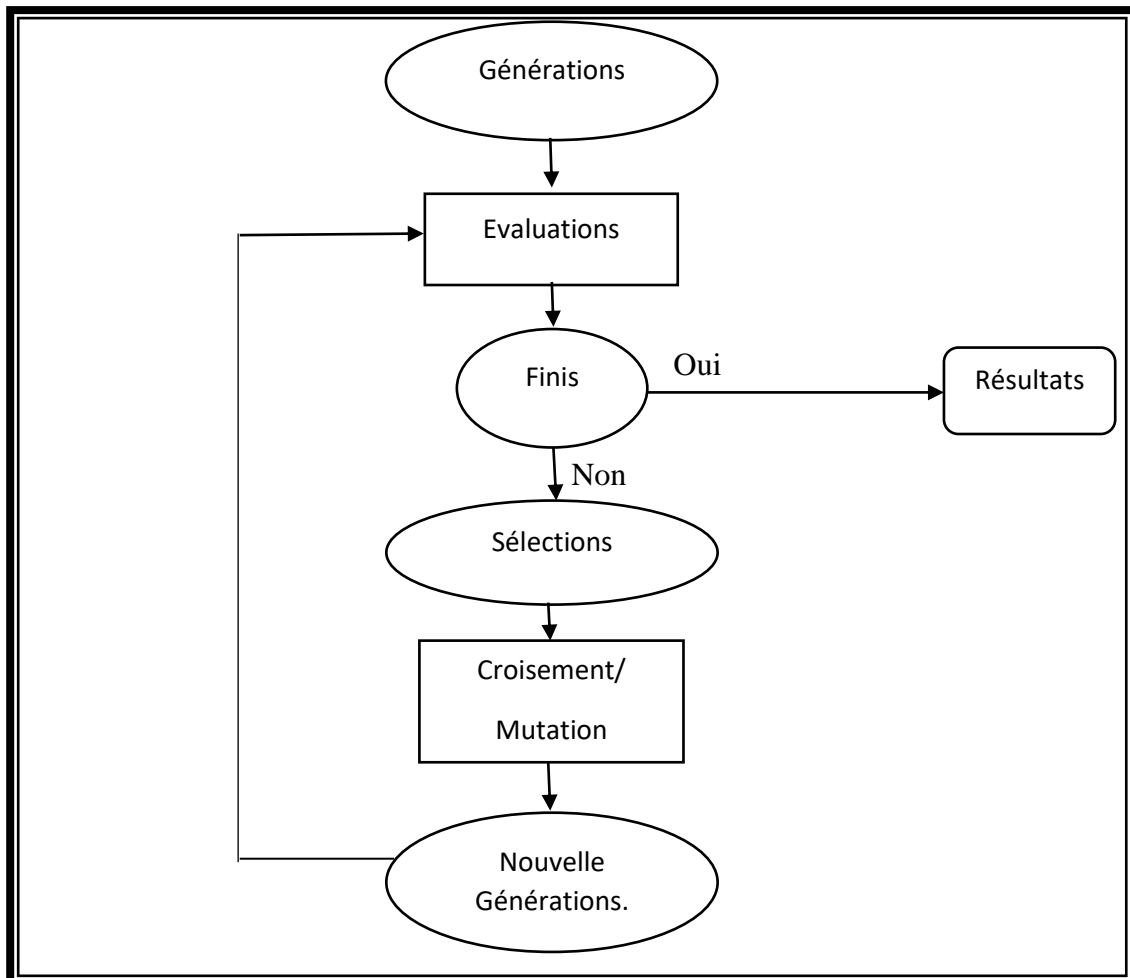


Figure 3.4 : Organigramme de l'algorithme génétique.

3.4.3 Description des algorithmes génétiques

Dans cette partie, nous allons mieux détailler les différentes étapes de l'algorithme génétiques :

a. Le codage

Le codage des individus un paramètre important de la méthode. Ceux-ci sont représentés sous forme de chaînes contenant des caractères ou gènes d'un alphabet prédéterminé. Il existe différentes façons de coder une solution. Le codage doit être adapté au problème afin de limiter la taille de l'espace de recherche en produisant des solutions valides le plus souvent possibles lors de l'application des opérateurs de recherche. La représentation doit être telle que les opérateurs de recherche soient efficaces pour produire les solutions recherchées avec une bonne probabilité.

Le codage le plus utilisé en pratique est le codage binaire dans lequel chaque solution est représentée par une chaîne de 0 et 1 [25].

Pour ce qui concerne notre étude, nous appliquons le codage des différentes configurations sous forme de chromosomes, constitués de gènes, et ces derniers représentent les différentes branches, tel qu'il a été mentionnée dans le précédent chapitre, le « 1 » pour une branche en service, et « 0 » pour une branche hors service, comme par exemple, pour notre réseau IEEE (33 nœuds), sa configuration initiale est définie de la sorte :

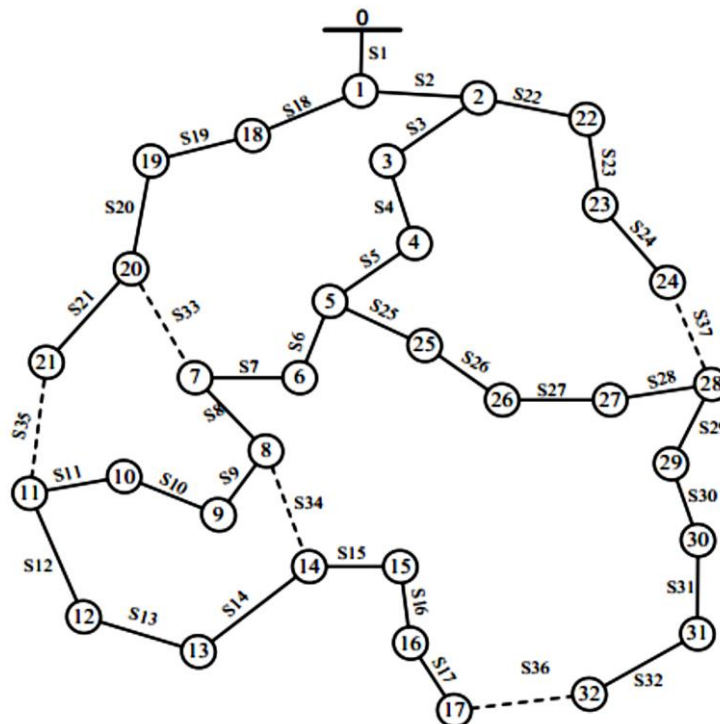


Figure 3.5 : Réseau de distribution IEEE (33 nœuds)

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

Et le tableau suivant (tableau 3.1), représente le chromosome de la configuration initiale du réseau étudié, tel que de B1 jusqu'à B32 montrent que les branches sont en service, et de B33 jusqu'à B37 montrent que les branches sont hors services.

Remarque : Les cases du tableau en gris sont pour les branches « en service », et les cases écrites en rouges et entourée par le jaune sont pour les branches « hors services ».

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

B30	B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37
1	1	1	0	0	0	0	0

Tableau 3.1 : Chromosome de la configuration initiale du réseau IEEE (33 nœuds).

b. Le décodage

Comme nous l'avons précédemment montré, le codage nous aide à représenter les différentes configurations sous formes d'un chromosome, donc nous procédons maintenant à la phase du décodage, pour mieux interpréter la configuration et pour faire les différents calculs, elle consiste à former la matrice « **a** » à partir d'un chromosome, en comptant sur plusieurs autres opérations.

Donc le décodage du chromosome pour la configuration initiale, nous donne automatiquement la matrice « **a** », tel que :

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

```
01000000000000000000000000000000000000
001000000000000000000001000000000000000
00010000000000000000000000010000000000
00001000000000000000000000000000000000
00000100000000000000000000000000000000
00000010000000000000000000000010000000
00000001000000000000000000000000000000
00000000100000000000000000000000000000
00000000010000000000000000000000000000
00000000001000000000000000000000000000
00000000000100000000000000000000000000
00000000000010000000000000000000000000
00000000000001000000000000000000000000
00000000000000100000000000000000000000
00000000000000010000000000000000000000
00000000000000001000000000000000000000
00000000000000000100000000000000000000
00000000000000000010000000000000000000
00000000000000000001000000000000000000
00000000000000000000100000000000000000
00000000000000000000010000000000000000
00000000000000000000001000000000000000
00000000000000000000000100000000000000
00000000000000000000000010000000000000
00000000000000000000000001000000000000
00000000000000000000000000100000000000
00000000000000000000000000010000000000
00000000000000000000000000001000000000
00000000000000000000000000000100000000
00000000000000000000000000000010000000
00000000000000000000000000000001000000
00000000000000000000000000000000100000
00000000000000000000000000000000010000
00000000000000000000000000000000001000
00000000000000000000000000000000000100
00000000000000000000000000000000000010
00000000000000000000000000000000000001
00000000000000000000000000000000000000
```

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

Remarque : En ayant la matrice « **a** », nous avons la possibilité d’avoir plus de détails sur la configuration de notre système, comme par exemple pour les différentes ramifications (écrites en rouge), et ces nœuds terminaux (écrits en bleus), comme il a été précisé dans le précédent chapitre, donc à partir de ça, nous entamerons maintenant les différents calculs.

c. Evaluation

L’évaluation consiste à mesurer la performance de chaque individu de la population. Nous utilisons pour cela une fonction directement liée à la fonction objectif (fonction à optimiser) appelée fonction fitness. C’est une fonction réelle positive qui reflète la force de l’individu. Un individu ayant une grande valeur fitness représente une bonne solution au problème, alors qu’un individu ayant une faible valeur fitness représente une solution médiocre. Dans le cas d’un problème de minimisation, la fonction fitness peut être obtenue en utilisant une des formulations suivantes [24]:

$$Fit(x) = N - f_{obj}(x) \quad \text{Si } f_{obj}(x) \geq N \quad (3.3)$$

Sinon $Fit(x) = 0$ (N est une constante positive)

$$Fit(x) = \frac{1}{f_{obj}(x)} \quad (3.4)$$

$$Fit(x) = -f_{obj}(x) \quad (3.5)$$

Remarque : Dans notre étude, nous avons utilisé la 2^{ème} relation (dont la référence est (3.4))

d. Sélection

La sélection ou reproduction consiste à sélectionner un individu au sein de la population puis à le recopier dans la nouvelle population. La sélection se fait au moyen d’une fonction fitness ou fonction d’adaptation qui est calculée pour chaque individu de la population. La probabilité de reproduire un individu dépend directement de la valeur de sa fonction objectif. Ainsi, un individu présentant une bonne valeur de la fonction objectif aura plus de chance d’être sélectionné, sans que les individus paraissent moins intéressants ne soient complètement laissés pour compte. Il existe différentes façons d’effectuer la sélection des individus à reproduire. Les principales méthodes sont [25] :

- Le tirage de roulette (ou bien de la roue biaisée) qui consiste à donner à chaque individu une probabilité d’être sélectionné d’une manière proportionnelle à sa performance,

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

- La sélection par le rang qui fait une sélection en utilisant une roulette dont les secteurs sont proportionnels aux rangs des individus,
- La sélection par tournoi qui consiste à tirer N individus au hasard et à reproduire les meilleures.

Pour notre étude, nous avons utilisé la méthode de la roulette où chaque chromosome sera dupliqué dans une nouvelle population proportionnellement à sa valeur d'adaptation. Son principe est d'associer à chaque individu une portion d'une roue dont la surface dépend uniquement de sa valeur fitness [24]. et elle peut être exprimé en trois étapes :

A. Normaliser la fonction fitness, par la formule suivante :

$$fit_{norm}(i) = \frac{fitness(i)}{\sum_{j=1}^{ind} fitness(j)} \quad (3.6)$$

- ind=Nombre d'individus.

Remarque : La somme des valeurs fitness normalisées est toujours égale à 1.

B. Calculer la probabilité de sélection des valeurs de la fonction fitness, par la formule suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_s(i) = P_s(i-1) + fit_{norm}(i) \\ P_s(0) = 0 \end{array} \right. \quad i=1,2,\dots, ind \quad (3.7)$$

Le tableau ci-dessous illustre une partie de notre étude comme exemple, en ayant 8 individus :

N° individu	Pertes actives (kW)	Fitness	Fit _{norm}	Ps
1	193.6107	0.0052	0.0964749536	0.0964749536
2	174.7625	0.0057	0.1057513915	0.2022263451
3	154.3107	0.0065	0.120593692	0.3228200371
4	133.0698	0.0075	0.1391465677	0.4619666048
5	130.5830	0.0077	0.1428571429	0.6048237477

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

6	147.9987	0.0068	0.1261595547	0.7309833024
7	138.3521	0.0072	0.133580705	0.8645640074
8	136.5710	0.0073	0.1354359926	1

Tableau 3.2 : Résultat de l'évaluation.

- A partir du résultat du précédent tableau (tableau 3.2), nous allons illustrer nos différents individus, en occupant chacune d'elle une surface proportionnelle à leurs valeurs **Ps** dans une roulette (**Figure 3.6**).

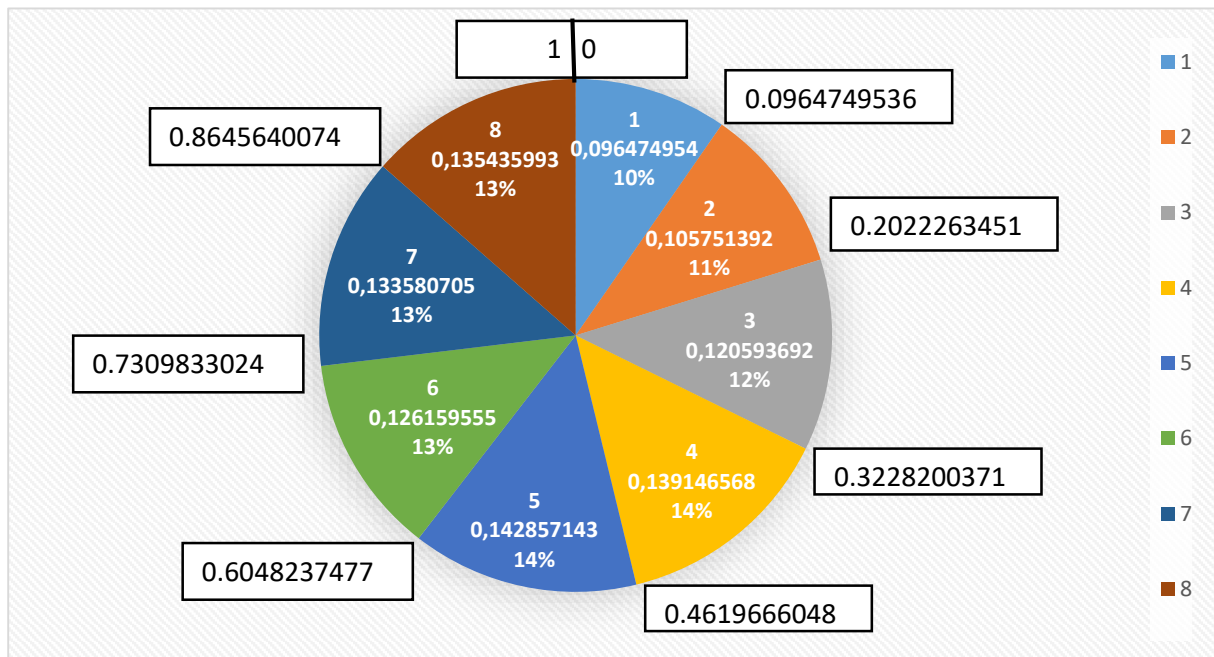


Figure 3.6 : Sélection par la méthode de la roulette.

La sélection du point de vue technique se fait en tournant la roulette N fois, c'est-à-dire le nombre d'individus, après l'arrêt de la roulette, le point de départ tombe sur un individu aléatoire, et grâce à cette procédure, ce dernier sera sélectionné. Du point de vue pratique c'est-à-dire du côté programmation, cette tâche est effectuée en générant huit nombres aléatoires, entre l'intervalle de 0 et 1, si un nombre se trouve entre 0 et 0.0964749536, le 1^{er} individu est automatiquement sélectionné, si un autre nombre se trouve entre 0.0964749536 et 0.2022263451 le 2^{ème} individu est sélectionné et ainsi de suite.

Donc nous pouvons déduire que, plus la valeur **Ps** d'un individu est grande, plus il a de fortes chances d'être sélectionné.

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

e. Croisement

L'opérateur croisement est appliqué sur des paires d'individus tirés aléatoirement. Il consiste en un échange partiel de leurs caractéristiques. Par ce biais, les gènes sont transférés d'un individu à l'autre et chacun des deux nouveaux individus hérite partiellement des caractéristiques de ses parents. Les positions à croiser sont tirées aléatoirement. Plusieurs opérateurs de croisement ont été développés (illustré dans les figures ci-dessous). Ils se différencient par la manière de tirer les positions d'échanges. Nous distinguons [25] :

- Le croisement simple qui consiste à tirer une position au hasard et à échanger les caractéristiques des deux individus à partir de ce point,
- Le double croisement pour lequel l'échange a lieu entre deux positions tirées aléatoirement,
- Le croisement uniforme qui introduit un masque croisement généré de manière aléatoire.

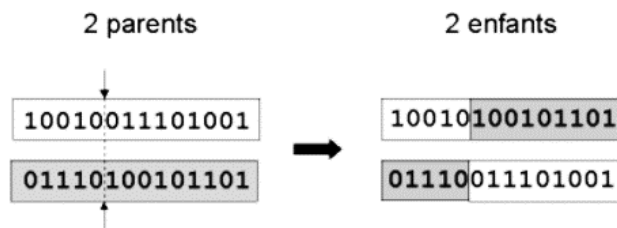


Figure3.7[26] : Le croisement simple.

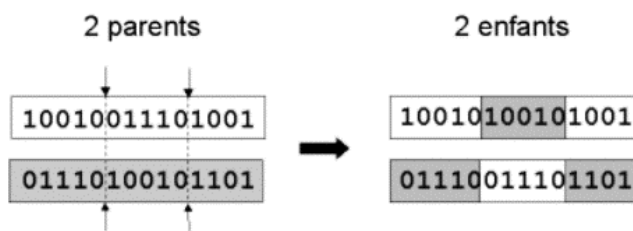


Figure 3.8 [26] : Le double croisement.

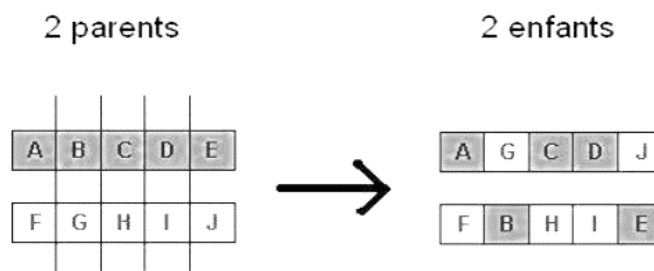


Figure 3.9 [26] : Le croisement uniforme.

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

Après avoir choisis deux individus (Parents), nous prendrons aléatoirement un nombre P , qui varie entre 0 et 1, et nous le comparons à la probabilité de croisement P_c , tel que :

- Si $P > P_c$, les parents seront recopiés dans la nouvelle génération, c'est-à-dire nous ne ferons pas l'étape de croisement,
- Si $P \leq P_c$, nous appliquons le croisement sur les chromosomes différents parents, et nous donnons comme résultat deux enfants, qui ces derniers remplaceront leurs parents dans la nouvelle génération.

f. Mutation

La mutation nous permet à élargir notre espace de recherche en générant plusieurs autres divers individus et qui consiste à modifier les gènes de chaque chromosome tel que 1 devient un 0 et 0 devient 1.

Après avoir choisis l'individu, nous prenons aléatoirement un nombre P , qui varie entre 0 et 1, et nous le comparons à la probabilité de mutation P_m , tel que :

- Si $P > P_m$, le gène de l'individu en question reste comme il est, et la mutation n'aura pas lieu,
- Si $P \leq P_m$, la mutation se produit, et les gènes de l'individu seront modifiés et aura comme résultat un nouvel individu.

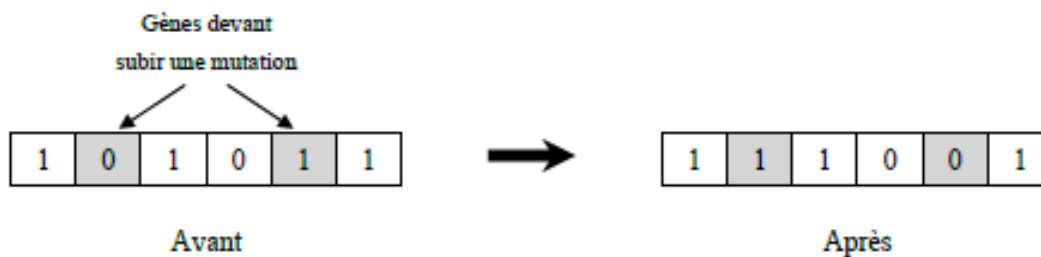


Figure 3.10 [24] : L'étape de mutation.

3.4.4 Réglage des paramètres des algorithmes génétiques

L'élaboration d'un algorithme génétique nécessite le réglage de certains paramètres. Ce réglage a une influence sur la convergence de l'algorithme génétique et les résultats obtenus. Cependant, il n'existe pas de règle spécifique pour ajuster les paramètres d'un AG, et ils sont souvent choisis de manière empirique. Quelques remarques sont alors à soulever [24] :

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

- **Probabilité de croisement** : Plus elle est grande et plus elle favorise la recombinaison des individus tout en favorisant de tomber dans un optimum local. Les valeurs usuelles pour ce paramètre varient entre 0.6 à 0.95,
- **Probabilité de mutation** : elle doit être assez faible par rapport à Celle du croisement de manière à ne pas perturber l'évolution de l'algorithme. Une valeur élevée transformera l'algorithme en une recherche aléatoire, alors qu'une valeur très faible rendra impossible l'extraction des optima locaux. Les valeurs usuelles pour ce paramètre varient de 0.001 à 0.2,
- **Taille de la population** : augmenter la taille de la population permet d'augmenter sa diversité et réduit la probabilité d'une convergence prématurée vers un optimum local, mais en même temps elle augmente le temps nécessaire pour converger vers les régions optimales de l'espace de recherche

3.3.5 Critère d'arrêt

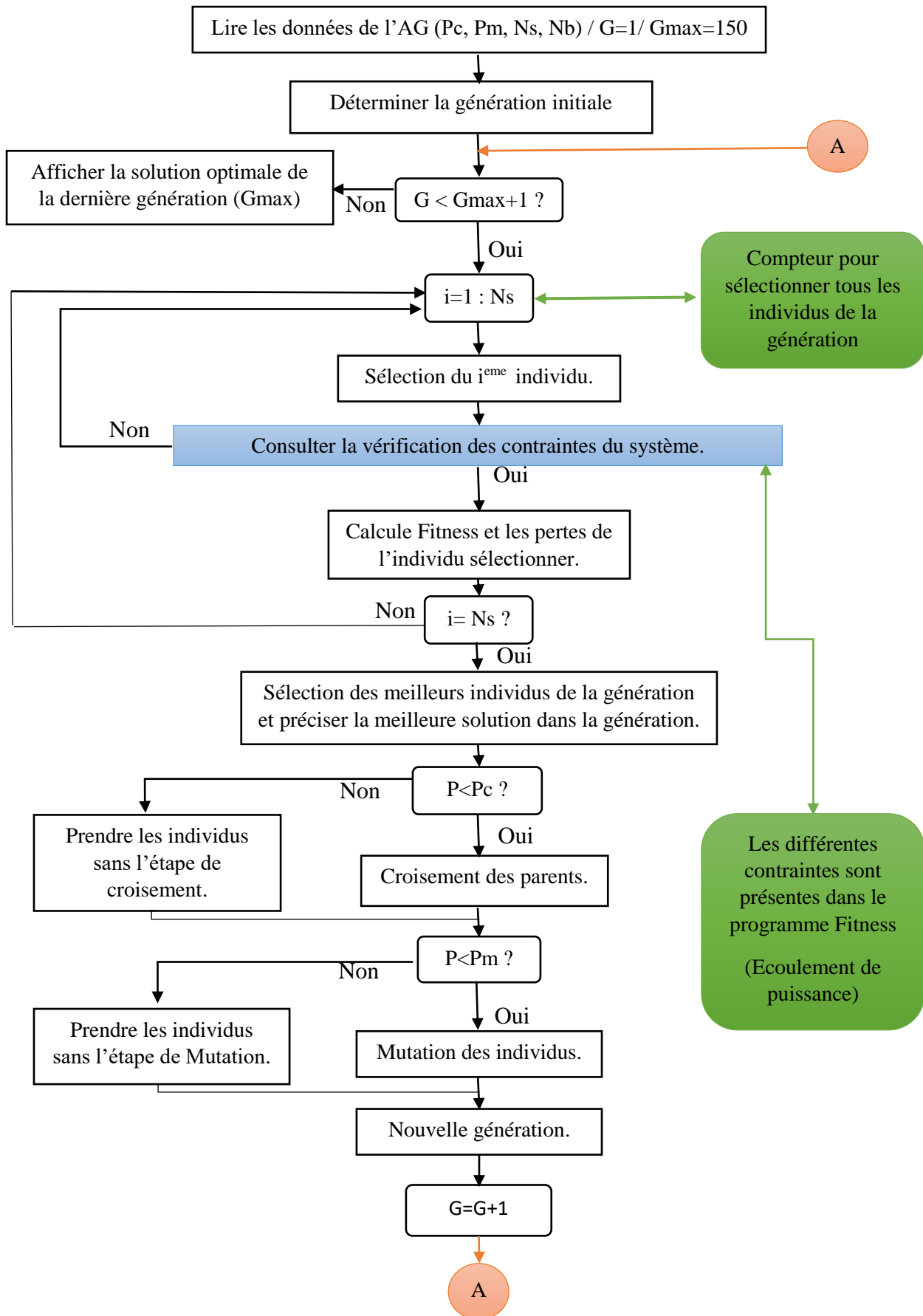
Nous pouvons procéder à l'arrêt de notre recherche par différentes façons ou plutôt critères pour mieux atteindre notre résultat optimal :

1. Lorsque la recherche nous donne un résultat qui comble nos attentes, l'algorithme arrête sa procédure d'évolution,
2. La procédure de recherche est arrêtée lorsque le nombre courant d'itération devient égal à la valeur maximale d'itérations préalablement déterminée,
3. Le programme de recherche de l'algorithme s'arrête s'il n'y a pas d'évolution ou bien amélioration pendant un certain nombre de génération.

Remarque : Dans notre cas, nous avons utilisé le 2^{ème} critère d'arrêt pour mieux vérifier et solidifier notre algorithme, nous avons imposé une certaine limites d'itérations ($G_{max}=150$) c'est-à-dire que la procédure de recherche est arrêtée lorsque le nombre courant d'itération devient égal à la valeur maximale de cette dernière.

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

3.4.6 Organigramme de l'algorithme génétique de l'étude



3.4.7 Avantages et inconvénients de l'algorithme génétique

a. *Avantages*

- ❖ Nous apercevons que les Algorithmes génétiques peuvent converger vers un optimum global (ou bien minimum global), c'est-à-dire une grande capacité à trouver toutes les éventualités possibles,
- ❖ L'AG est une méthode d'optimisation qui peut s'adapter à n'importe quel système que nous voulons absolument optimiser,
- ❖ L'Algorithme génétique se distingue des autres méthodes d'optimisation par ces différents opérateurs, c'est-à-dire la sélection, le croisement et la mutation, ayant comme ça une grande capacité à analyser notre système par ces différentes contraintes, et de là à mieux distinguer et différencier entre les individus proposés,
- ❖ L'Algorithme génétique permet de traiter des espaces de recherche importants,
- ❖ Les AG ne se servent que des valeurs de la fonctionnelle pour optimiser cette dernière, il n'y a pas besoin d'effectuer de coûteux et parfois très complexes calculs [8],
- ❖ Le grand avantage des algorithmes génétiques est qu'ils parviennent à trouver de bonnes solutions sur des problèmes très complexes, et trop éloignés des problèmes combinatoires classiques pour que nous puissions tirer profit de certaines propriétés connues [27],

b. *Inconvénients*

- ❖ Nous ne sommes pas toujours sûrs que la solution trouvée par l'Algorithme génétique soit la meilleure, mais peut être parfois juste une approximation de la solution optimale.
- ❖ Il est imprécis et gourmand en temps de calcul [19], puisqu'ils manipulent plusieurs solutions simultanément. C'est le calcul de la fonction de performance qui est le plus pénalisant, et nous optimisons généralement l'algorithme de façon à éviter d'évaluer trop souvent cette fonction [27].
- ❖ Il peut y avoir un problème des optimums locaux si les paramètres sont mal évalués.
- ❖ Un autre problème surgit lorsque les différents individus se mettent à avoir des performances similaires : les bons éléments ne sont alors plus sélectionnés, et l'algorithme ne progresse plus [27].

Chapitre 3 : Reconfiguration du réseau électrique de distribution

Remarque : Pour notre étude, nous avons utilisé les Algorithmes génétiques pour sa convergence au optimums globaux ou plutôt les minimums globaux et non un optimal local, en ayant le plus d'individus possibles, donc les autres méthodes méta-heuristiques ne sont pas vraiment appropriés à notre cas.

3.5 Conclusion

La technique de reconfiguration a amené d'importants changements dans les réseaux de distribution en bouleversant profondément leur fonctionnement. Un certain nombre d'effets bénéfiques pour le consommateur, le producteur, le régulateur et plus largement la société sont à venir [3]. Et donc après avoir expliqué et analyser les différentes étapes de reconfiguration, nous avons constaté que notre système est caractérisé par un régime normal et que nous pouvons le reconfigurer par la méthode de la permutation des branches, et par la suite nous pouvons l'optimiser par une méthode évolutive, celle des Algorithmes génétiques car ils représentent certains avantages recherchés par rapport aux autres méthodes.

Chapitre 4

Résultat finale de la reconfiguration

4.1 Introduction

Après avoir étudié l'écoulement de puissance du réseau IEEE (33 nœuds) et obtenu les différents résultats (**Chapitre 2**), c'est-à-dire les différentes tensions et pertes, nous avons remarqué que ces derniers étaient élevées, et nous avons constaté à partir des précédentes études (**Chapitre 3**), que nous devons appliquer le processus de reconfiguration sur notre système en l'optimisant avec les algorithmes génétiques, et de là nous avons eu comme résultat une toute nouvelle configuration, avec de nouvelles valeurs, celle des pertes et des tensions.

4.2 Réseau IEEE (33 nœuds)

Le réseau IEEE est un réseau à 33 nœuds (ou bien 33 jeux de barres), ayant 32 branches en services et 5 autres hors service et cela pour assurer l'alimentation de tous les nœuds et pour éviter les boucles fermées, et ce dernier est illustrés dans la figure ci-dessous :

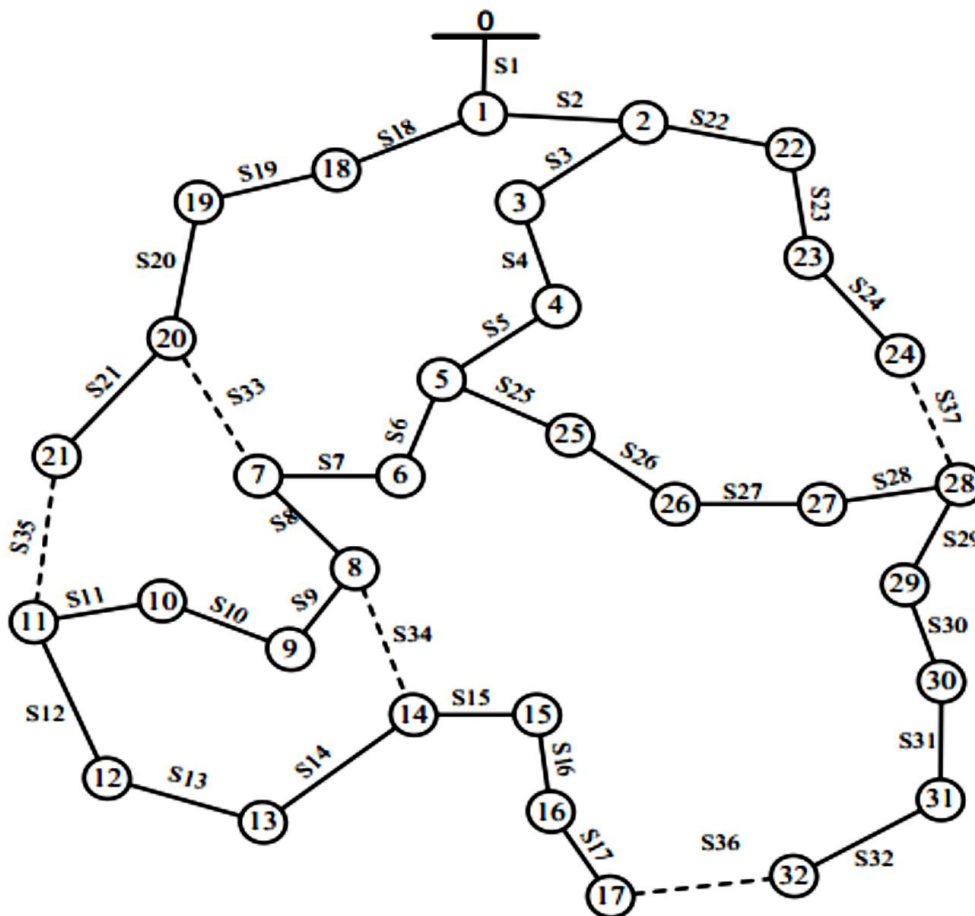


Figure 4.1 : Réseau de distribution IEEE (33 nœuds).

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

4.2.1 Données du réseau

Et il est caractérisé par les différents paramètres sachant que le travail est fait en unités relatives et par conséquent nous avons les tensions estimées de tous les jeux de barres avec un module égal à 1 et un argument égale à 0. Les tensions de base et les puissances de base sont 12.66kV et 2300 kVA et une tolérance de 0.0001 pu a été considérée, et le tableau suivant (**Tableau 4.1**) illustre les différentes puissances de chaque nœud du réseau :

Nœuds	Puissances actives (kW)	Puissances réactives (kW)
1	00	00
2	100	60
3	90	40
4	60	30
5	200	100
6	200	100
7	60	20
8	45	30
9	60	35
10	60	35
11	120	80
12	60	10
13	60	20
14	60	20
15	90	40

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

16	90	40
17	90	40
18	90	40
19	120	80
20	90	40
21	90	50
22	420	200
23	60	20
24	420	200
25	60	25
26	60	20
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	200	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40

Tableau 4.1 : Les puissances actives et réactives des différents nœuds.

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

Le tableau ci-dessous (**Tableau 4.2**) représente les différentes résistances et réactances du réseau :

N° de la branche	Nœud source	Nœud récepteur	R(Ω)	X(Ω)
1	1	2	0.092200	0.047000
2	2	3	0.493000	0.251100
3	3	4	0.381100	0.194100
4	4	5	0.187200	0.618800
5	5	6	0.711400	0.235100
6	6	7	1.030000	0.740000
7	7	8	0.196600	0.065000
8	8	9	0.374400	0.123800
9	9	10	1.468000	1.155000
10	10	11	0.541600	0.712900
11	11	12	0.591000	0.526000
12	12	13	0.746300	0.545000
13	13	14	1.289000	1.721000
14	14	15	0.732000	0.574000
15	15	16	0.164000	0.156500
16	16	17	1.504200	1.355400
17	17	18	0.409500	0.478400
18	2	19	0.366000	0.186400

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

19	19	20	0.708900	0.937300
20	20	21	0.451200	0.308300
21	21	22	0.898000	0.709100
22	3	23	0.819000	0.707000
23	23	24	0.896000	0.701100
24	24	25	0.203000	0.103400
25	6	26	1.044000	0.740000
26	26	27	0.284200	0.144700
27	27	28	1.059000	0.933700
28	28	29	0.804200	0.700600
29	29	30	0.507500	0.258500
30	30	31	0.974400	0.963000
31	31	32	0.310500	0.361900
32	32	33	0.341000	0.530200
33	25	29	0.500	0.500
34	8	21	2.000	2.000
35	12	22	2.000	2.000
36	9	15	2.000	2.000
37	18	33	0.500	0.500

Tableau 4.2 : Résistances et Réactances des différentes branches.

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

4.2.2 Configuration initiale

a. Chromosome de la configuration initiale

On présente la configuration IEEE par le chromosome (défini dans le précédent chapitre) suivant :

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

B30	B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37
1	1	1	0	0	0	0	0

Tableau 4.3 : Chromosome de la configuration initial du réseau IEEE (33 nœuds).

Remarque : Sachant que les cases en gris du tableau sont pour les branches « **en service** », et les cases en jaunes et écrites en rouges sont pour les branches « **hors services** ».

b. Structure de la configuration initiale du réseau

La structure suivante (**Figure 4.2**) illustre notre réseau dans son état initial :

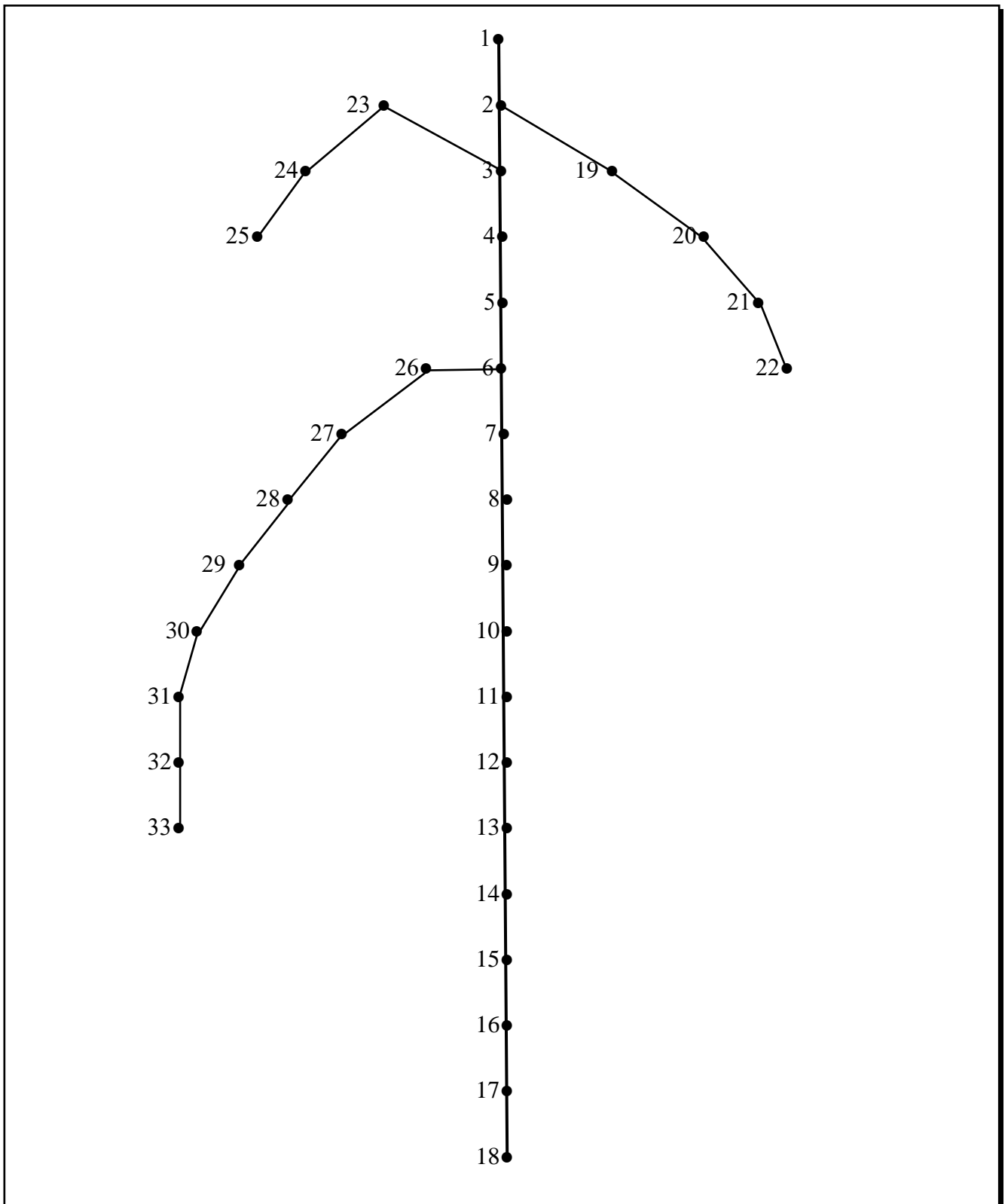


Figure 4.2 : Structure de la configuration initiale du réseau IEEE (33 nœuds).

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

c. Résultat de l'écoulement de puissance de la configuration initial

Nous avons dans le tableau ci-dessous (**Tableau 4.4**) les résultats de l'écoulement de puissance de la configuration initiale du réseau IEEE (33 nœuds), ayant les différentes tensions en (*p.u*) et pertes :

N° du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)	N° du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)	N° du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)
1	1.000	0	12	0.9263	-0.0077	23	0.9803	0.0005
2	0.9970	0.0003	13	0.9231	-0.0085	24	0.9765	-0.0004
3	0.9842	0.0016	14	0.9172	-0.0121	25	0.9764	-0.0004
4	0.9763	0.0028	15	0.9148	-0.0128	26	0.9433	0.0015
5	0.9669	-0.0046	16	0.9143	-0.0130	27	0.9408	0.0025
6	0.9548	-0.0007	17	0.9117	-0.0139	28	0.9291	0.0039
7	0.9465	-0.0023	18	0.9114	-0.0141	29	0.9208	0.0053
8	0.9452	-0.0021	19	0.9949	0.0003	30	0.9172	0.0071
9	0.9429	-0.0018	20	0.9905	-0.0020	31	0.9130	0.0057
10	0.9331	-0.0043	21	0.9885	-0.0023	32	0.9121	0.0052
11	0.9292	-0.0066	22	0.9852	-0.0030	33	0.9118	0.0051
Les pertes actives (kW)		193.6107						
Les pertes réactives (kVAR)		142.0894						

Tableau 4.4 : Résultats de l'écoulement de puissances de la configuration initiale du réseau.

4.2.3 Configuration Optimale

Après avoir étudié l'écoulement de puissance de notre réseau, nous avons constaté que les pertes étaient trop élevées, et nous nous devions de trouver une façon à ce que ces dernières diminuent, et cela en reconfigurant le réseau, qui est caractérisé par un régime normal ou toutes les grandeurs étaient disponibles. De l'étude du réseau nous avons constaté qu'il fallait le reconfigurer par la méthode de la permutation des branches, pour pouvoir surmonter la complexité de notre système qui est défini par plusieurs branches, et après avoir défini les différentes contraintes liées à lui, nous avons commencé l'optimisation du réseau de distribution par les algorithmes génétiques, une méthode évolutive, qui celle-ci contrairement aux autres méthodes d'optimisation nous aide à trouver le minimum global de notre système et non local, au tout début elle évolue la qualité de notre fonction objectif des différents individus que nous avons proposés et de leurs chances de survie, ensuite elle sélectionne les meilleurs pour l'étape de reproduction, après avoir effectué cette dernière, elle remplace l'ancienne population par une nouvelle et ainsi de suite, jusqu'à ce que le processus lié au critère d'arrêt imposé dans notre système s'arrête et nous donne le résultat optimal c'est-à-dire la configuration optimale.

La figure ci-dessous (**Figure 4.3**) illustre la configuration optimale de notre réseau IEEE (33 nœuds) :

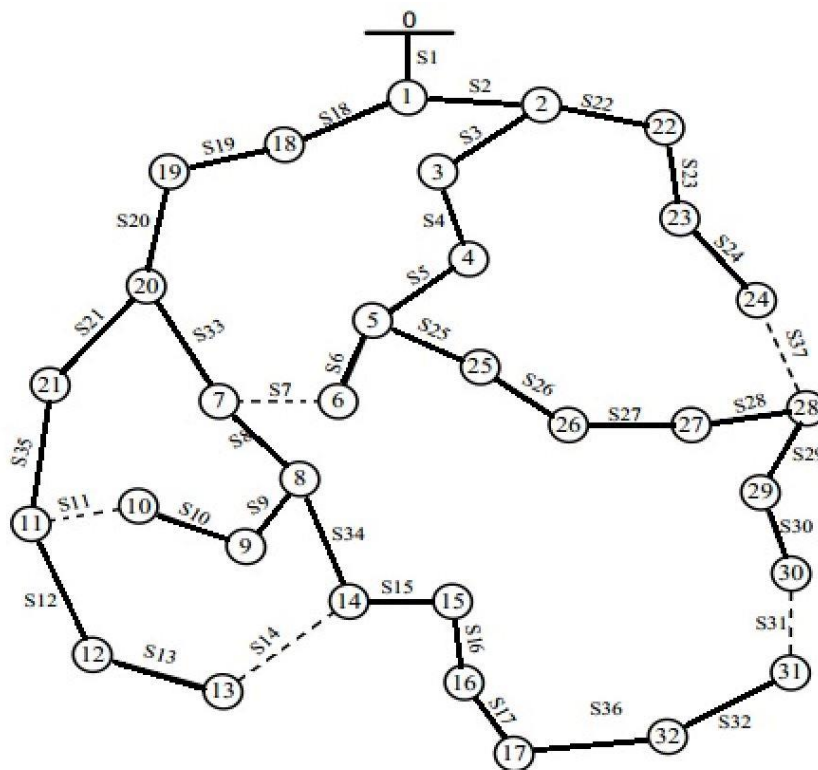


Figure 4.3 : Configuration optimale du réseau IEEE (33 nœud).

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

a. Chromosome de la configuration optimale

Nous présentons la configuration optimale du réseau IEEE (33 nœuds) par le chromosome suivant :

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1

B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

B30	B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37
1	0	1	1	1	1	1	0

Tableau 4.5 : Chromosome de la configuration optimale du réseau IEEE (33 nœuds).

Remarque : Sachant que les cases en bleu du tableau représentent les branches « **en service** », et les cases en orange et écrites en rouges représentent les branches « **hors services** ».

b. Structure de la configuration optimale du réseau

Nous pouvons simplifier la configuration optimale du réseau IEEE (33 nœuds) par la figure ci-dessous (**Figure 4.4**) :

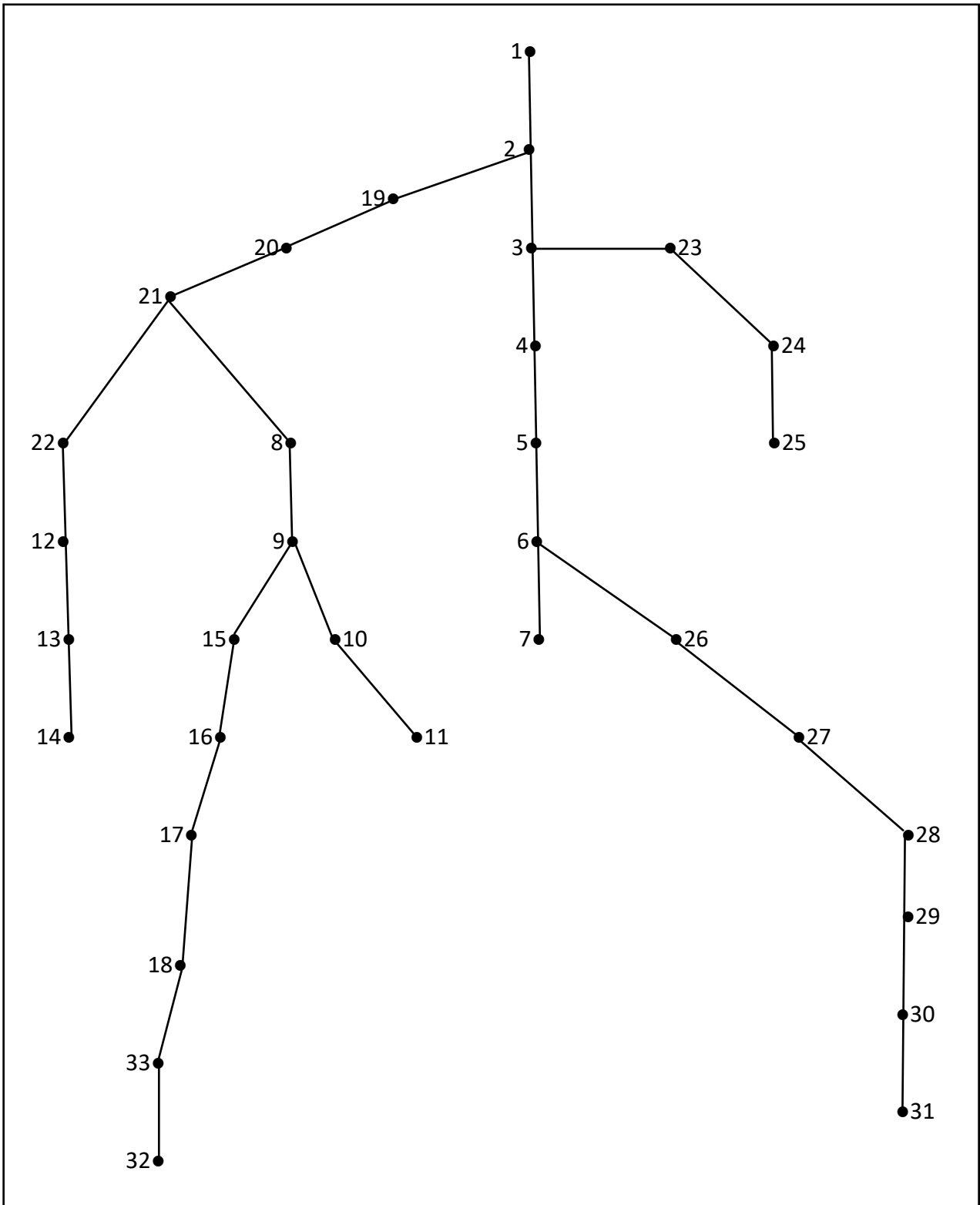


Figure 4.4 : Structure de la configuration optimale du réseau IEEE (33 nœuds).

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

c. Résultat de l'écoulement de puissance de la configuration optimale

Nous avons dans le tableau ci-dessous (**Tableau 4.5**) les résultats de l'écoulement de puissance de la configuration optimale du réseau IEEE (33 nœuds), ayant les différentes tensions en (*p.u*) et pertes :

N° du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)	N° du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)	N° du nœud	Tension V (<i>p.u</i>)	Phase de V (<i>rad</i>)
1	1.000	0	12	0.9646	-0.0103	23	0.9852	0.0005
2	0.9971	0.0003	13	0.9639	-0.0105	24	0.9814	-0.0004
3	0.9891	0.0016	14	0.9631	-0.0110	25	0.9813	-0.0004
4	0.9848	0.0028	15	0.9526	-0.0127	26	0.9651	0.0048
5	0.9773	-0.0005	16	0.9517	-0.0130	27	0.9633	0.0057
6	0.9736	0.0024	17	0.9452	-0.0149	28	0.9548	0.0078
7	0.9731	0.0023	18	0.9437	-0.0156	29	0.9488	0.0097
8	0.9676	-0.0087	19	0.9916	0.0003	30	0.9465	0.0114
9	0.9651	-0.0082	20	0.9785	-0.0063	31	0.9451	0.0109
10	0.9625	-0.0085	21	0.9722	-0.0072	32	0.9373	-0.0180
11	0.9617	-0.0088	22	0.9676	-0.0086	33	0.9382	-0.0175
Les pertes actives (kW)		130.5830						
Les pertes réactives (kVAR)		103.4994						

Tableau 4.6 : Résultats de l'écoulement de puissances de la configuration initiale du réseau.

Chapitre 4 : Résultat final de la reconfiguration

- La figure suivante (**Figure 4.5**) représente le graphe des différentes tensions en ($p.u$) du précédent tableau (**Tableau 4.4**) de chaque nœud de la configuration optimale :

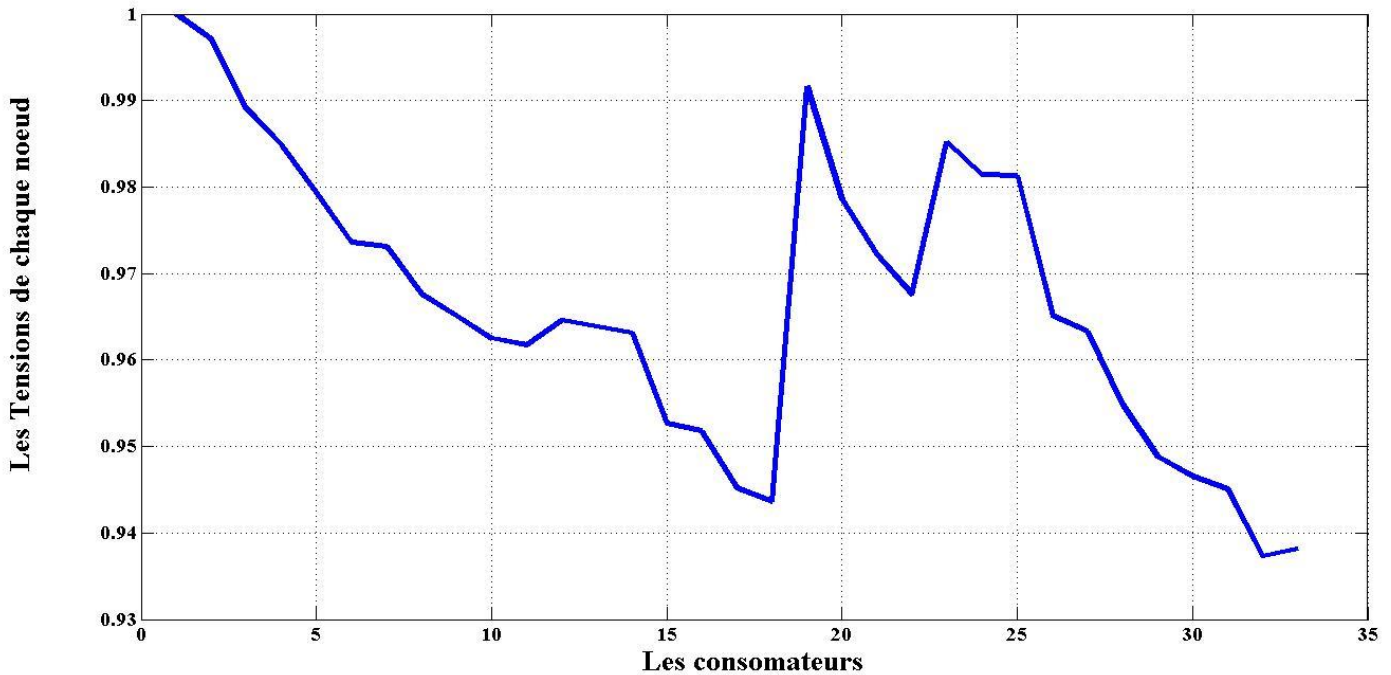


Figure 4.5 : Graphe représentant les différentes tensions des différents nœuds.

d. Discussion des résultats

Après avoir appliqué les algorithmes génétiques sur notre réseau, qui nous a permis de trouver la configuration optimale de ce dernier, dont les résultats de son écoulement de puissance sont dans le précédent tableau (**Tableau 4.4**), contenant les différentes tensions de chaque nœud illustré par la précédente figure (**Figure 4.5**), et les différentes pertes c'est-à-dire actives et réactives. La tension maximale et minimale sont respectivement égales à 0.9971 ($p.u$) et 0.9373 ($p.u$), les pertes actives et réactives sont respectivement égales à 130.5830 kW et 103.4994 kVAR,

Remarque : En analysant les précédents tableaux (**Tableau 4.4** et **Tableau 4.6**) et la précédente figure (**Figure 4.5**), nous remarquons un changement brusque de la tension, c'est-à-dire elle augmente d'un coup, d'un nœud à un autre. De là nous déduisons que ce dernier est le début d'une ramification.

4.3 Analyse des résultats de la reconfiguration

4.3.1 La tension

La figure ci-dessous (**Figure 4.6**) illustre les différentes valeurs de tension en (*p.u*) au niveau des consommateurs pour les deux configurations, initiale et optimale. La différence entre les deux graphes revient principalement au changement de la configuration du réseau, c'est-à-dire le nombre de ramifications, le déplacement et le positionnement de chacune d'elle,

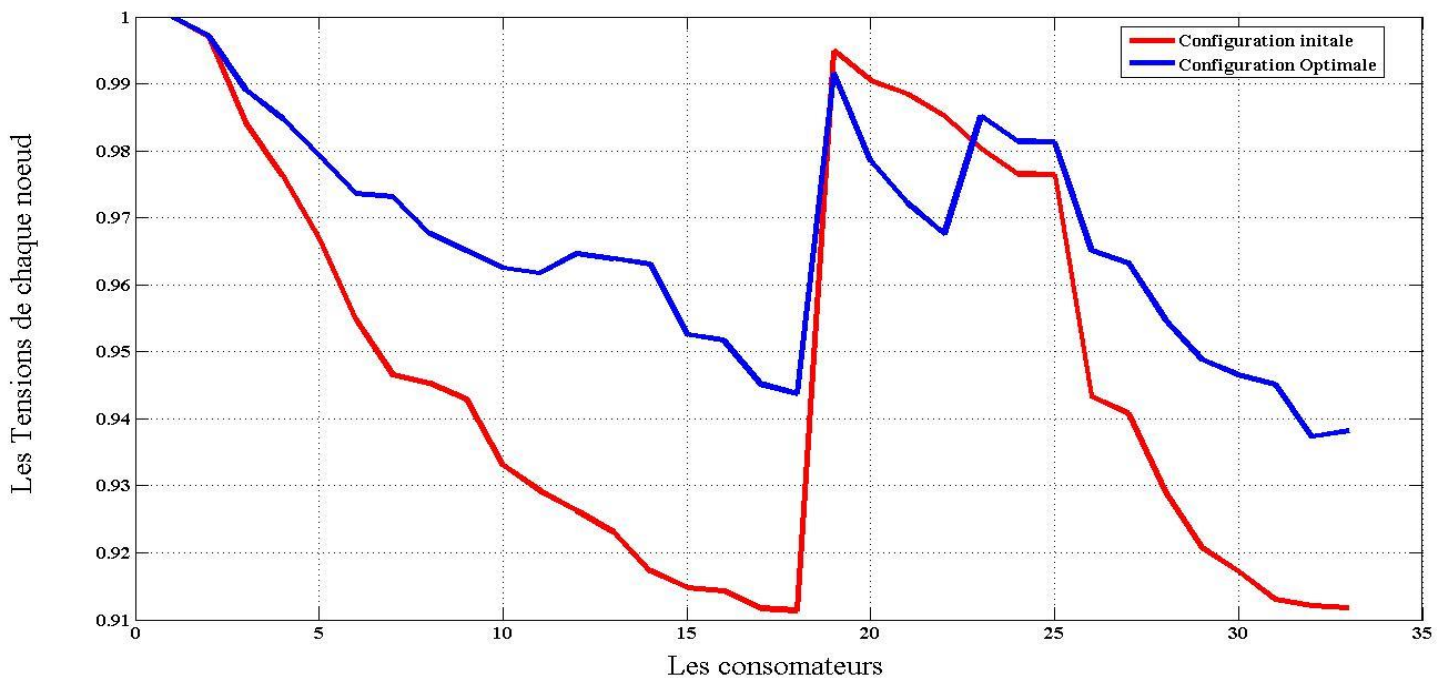


Figure 4.6 : Tensions en (*p.u*) de la configuration initiale et optimale.

Il est remarquable que le profil de tensions de la configuration optimale soit plus stable tel que l'écart des valeurs maximum et minimum de la tension est inférieur par rapport à l'écart des valeurs de la configuration initiale, c'est-à-dire que la chute de tension au niveau du réseau à diminuer, et donc lors de la minimisation des pertes y'a moins de chutes de tension et y'a plus de stabilité par rapport au cas initiale.

4.3.2 Les différentes pertes de puissances

La figure suivante (**Figure 4.7**) illustre les pertes des différentes générations :

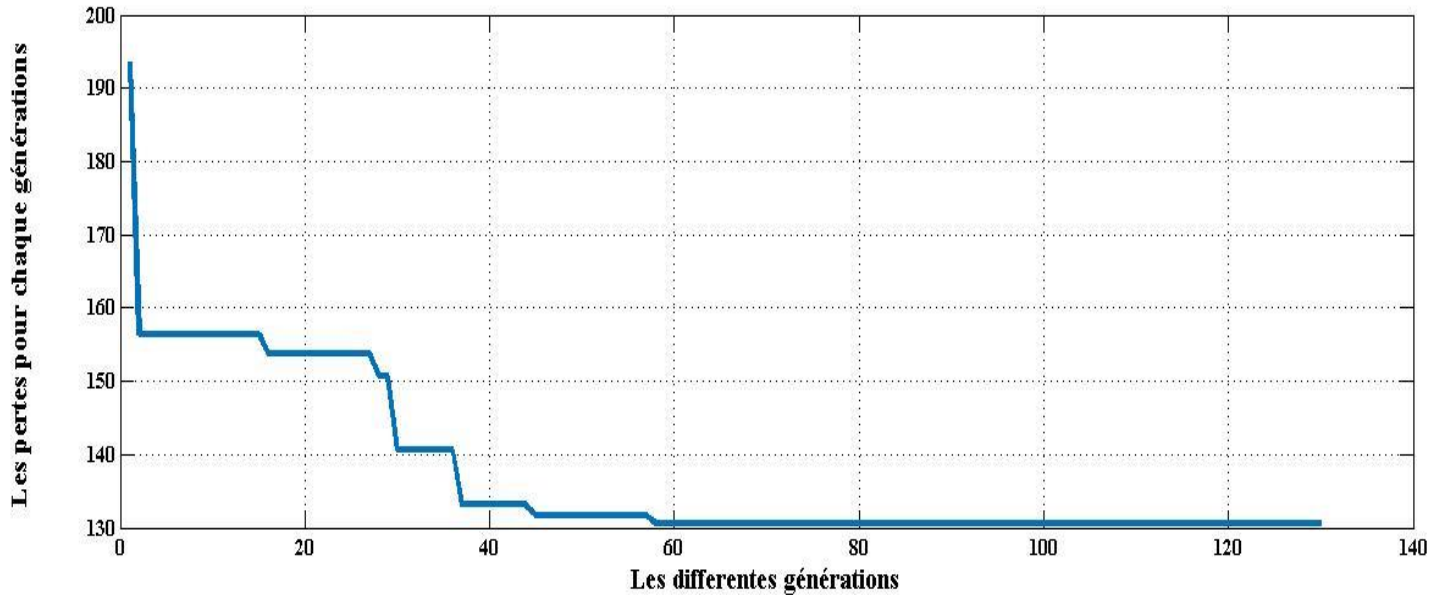


Figure 4.7 : L'évolution des pertes actives des différentes générations.

La précédente figure (**Figure 4.7**) montre l'évolution des pertes d'une génération à une autre, tel que la génération initiale nous donne comme pertes actives et réactives 193.6107 kW et 142.0894 kVAR, et ces dernières avaient diminué jusqu'aux valeurs optimales de 130.5830 kW et 103.4994 kVAR.

4.4 Conclusion

Les résultats obtenus pour cette étude, nous montrent que le changement de la topologie du réseau nous avait permis de réduire les pertes pour notre système, les écarts entre l'initiale et l'optimale pour les pertes actives et réactives sont respectivement de **63.0277 kW** et **38.59 kVAR**, soit une réduction de **32.65 %** pour les pertes actives et l'avantage de la réduction de ces derniers nous permet l'évolution de la sécurité du réseau en d'état d'activité en ayant plus de stabilité au niveau de la tension, ce qui fait que l'objectif de cette étude, celui de l'optimisation de la reconfiguration du réseau de distribution électrique est atteint.

Conclusion

Nous avons présenté et exploiter dans notre travail une méthode pour l'amélioration des performances du réseau de distribution électrique, celle de la reconfiguration basée sur la stratégie de la permutation des branches, s'appuyant sur les méta-heuristiques dont l'objectif est la minimisation des pertes de puissances et l'amélioration du profil de tension (ou bien la stabilité de la tension), et tout cela nous assure la sécurité pendant le fonctionnement du réseau électrique. Et pour pouvoir arriver à ce point finale, nous somme passer par plusieurs études.

Par le principe du processus de notre étude, nous avons présenté l'organisation structurelle du réseau électrique dans leur ensemble et les différentes architectures du réseau électriques et nous avons présenté en générale les causes de l'affaiblissement des performances du réseau, plus exactement les pertes de puissances.

Par la suite, nous avons entamer l'étude de l'écoulement de puissance du réseau électrique proposée, basé sur une méthode itérative qui est celle du double balayage (méthode de chute de tension), elle est exécutée en deux phases dont la première qui représente un balayage en montant c'est-à-dire du nœud final jusqu'au nœud source suivit du calcules des différentes puissances, les pertes actives et réactives et le courant, et la deuxième qui consiste à représenter le balayage en descente des nœuds sources jusqu'au nœuds finaux , et cela pour déterminer les différentes tensions de chaque nœud. Tout cela suivit du dépouillement de la configuration, et c'est de mettre en valeur chaque partie de cette dernière, et suivit aussi d'un organigramme qui s'adapte au changement de n'importe quelle configuration du réseau, plus exactement l'étude de l'écoulement de puissance en fonction de n'importe quelle configuration possible. De là nous avons comme résultat essentiel les pertes de puissances, que nous avons pris comme fonction objectif à optimiser pour la suite de notre étude.

Après l'étude de l'écoulement de puissance du réseau, nous avons étudier en générale la reconfiguration du réseau électrique de distribution, c'est-à-dire les différents régimes possibles et différentes stratégies lié à la reconfiguration, de là nous avons constaté que notre système est illustré par un régime normale car toute les données sont présentes, et nous avons déduis que la stratégie de la permutation des branches, la méthode la mieux adapter pour la reconfiguration de notre système car c'est une méthode systématique qui nous aide à transiter d'une configuration à une autre. De là nous avons étudier les généralités de l'optimisation, en distinguant la fonction objectif et les différentes contraintes liés à notre système.

Conclusion générale

Ensuite nous avons finaliser l'optimisation par l'étude en générale la méthode méta-heuristique évolutive celle des algorithmes génétiques, en définissant ces différents paramètres, avantages et ses inconvénients qui s'adapte à notre étude. Et d'après ce que nous avons déduis précédemment, nous avons appliqué les algorithmes génétiques utilisant l'approche des permutations de branches afin dont l'objectif est de trouver la configuration optimale c'est-à-dire la configuration qui nous donne le moins de pertes possibles tout en respectant l'ensemble des contraintes posées.

Finalement, d'après le résultat obtenu, nous sommes passées d'une configuration initiale avec des pertes de puissances élevés et une tension instable à une configuration optimale dont les pertes de puissance moins élevés et une tension plus stable, et donc le résultat optimal nous montre l'efficacité du processus de reconfiguration au termes de la réduction des pertes de puissances et d'amélioration du profil de tension, et cela représente un grand avantage de point vue économique et technique.

Références bibliographiques

- [1] : Nadir GHANEMI « Etude de la tenue aux courant de court-circuit pour le raccordement d'une production décentralisée au réseau MT », (Thèse de Magister) Université Mentouri de Constantine ,2008.
- [2] : Patrik Jacob, « Réseau de distribution : Distribution de l'énergie », Vol 1, Académie D'Aix Marseille, Avril 2014.
- [3] : 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.
- [4] : Rapport, « Guide de conception des réseaux électriques industriels, » Schneider Electric, 2006.
- [5] : HB MELEC « Distribution HTA », vol 1, P n°26, Mai 2006.
- [6] : Mathias Laffont « Pertes d'énergie dans les réseaux de distribution d'électricité », Juin 2009.
- [7] : Tebani Wissame, « Compensation optimale de l'énergie réactive dans les réseaux de distribution » (Magister En Electrotechnique) Université Ferhat Abbas - Sétif, 2012.
- [8] : Bessalah Abdelwahide et Hamioud Abderrahmane « Etude de la Reconfiguration des Réseaux Electriques de Distribution », (Mémoire de Fin d'Etudes) Ecole Nationale Polytechnique, 2015.
- [9] : Seddiki Zahira : « Optimisation de l'écoulement de puissances dans un système d'énergie électrique par la méthode du point intérieur » (Mémoire de Magister) Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, 2009.
- [10] : Abdelhafid Hellal, Mohamed Boudour, « Génie électrique : Fondamentaux et concepts de base », Editions pages bleus internationales,2010.
- [11] : 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.
- [12] : M.H. Haque, « Efficient load flow method for distribution systems with radial or mesh Configuration », IEEE Proc. Gener. Trans. Distrib. 143(1) (1996), P.33-38.
- [13] : 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.
- [14] : Souhil MOUASSA, « Optimisation de l'écoulement de puissance par une méthode méta-heuristique (technique des abeilles) en présence d'une source renouvelable (éolienne) et des dispositifs FACTS. », (Magister en Electrotechnique) Université Ferhat Abbas Sétif, Juin 2012.

Références bibliographiques

- [15] : J. Mendoza, Rodrigo López, D. Morales, E. López*, M. Meunier : « Un Modèle de Reconfiguration pour la Minimisation de l'Energie non Fournie utilisant des Algorithmes Génétiques », Departamento de Ingeniería Eléctrica Universidad de Concepción, Chile Département "Electrotechnique et Systèmes d'Energie", Supélec, France. Septembre 2014.
- [16] : Tristiu Ion « Reconfiguration du Réseau électrique de distribution urbaine dans le contexte de l'ouverture du marché d'électricité », Septembre 2013.
- [17] : Khalid El Yassini, Rabie Zine, Mustapha Raissouli « Outils d'aide _a la décision pour la planification des réseaux de distribution de l'énergie électrique », Vol 13, Page n°105-108, Mars 2013.
- [18] : Bernhard Gotzig : « Recherche du Schéma Optimal d'Exploitation d'un Réseau de Distribution Electrique », Décembre 1997.
- [19] : BOUDISSA El-ghalia : « Contribution à l'identification paramétrique de la machine asynchrone par les algorithmes génétiques statiques, dynamiques et hybrides », (Thèse de Doctorat) Université Saad Dahleb de Blida, Mars 2013.
- [20] : Marc-Olivier LaBarre : « Algorithmes génétiques », Mai-Août 2002.
- [21] : Laadjali Mohamed : « Identification des paramètres de la machine asynchrone triphasée. » (Projet de Fin d'Études) Université SAAD DAHLAB de BLIDA, Juin 2012.
- [22] : Thomas Vallée et Murat Yildizoglu : « Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en Economie », Université de Nantes, Université Montesquieu Bordeaux IV, Vol 1, P23, Septembre 2001.
- [23] : A. DIPANDA, « Cours algorithmes génétiques », - M2 BDIA/IIA.
- [24] : Lamia KARTOBI « Optimisation de la Synthèse des FACTS par les Algorithmes Génétiques et les Essaims Particulaires pour le contrôle des Réseaux Electriques », (Mémoire de Magister) Ecole nationale polytechnique d'Alger, Décembre 2006.
- [25] [Thèse doctorat Arif] : ARIF Salem : « Différentes Techniques de Planification de l'Energie Réactive dans les Réseaux Electriques » (Thèse de doctorat), Ecole nationale polytechnique d'Alger, Avril 2008.
- [26] : Souquet Amédée Radet Francois-Gérard : « ALGORITHMES GENETIQUES » (Thèse de fin d'année), Juin 2004.
- [27] : Dr Laetitia, « MÉTAHEURISTIQUES POUR L'EXTRACTION DE CONNAISSANCES :APPLICATION À LA GÉNOMIQUE », (Thèse de Doctorat) Université ustl de Lille, France,2003.