



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



Université Amar Telidji- Laghouat

- ▶ Faculté : Technologie
- ▶ Département : Electrotechnique
- ▶ Option : Réseaux électriques

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

KHACHA Amal

CHETTA Chihab El Ddinne

THEME

**Optimisation des réseaux électriques sous la contrainte de
l'intégration des sources à énergie renouvelable**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
ARIF Salem	Prof	Président
CHETTIH Saliha	Prof	Rapporteur
OUBBATI Youcef	MCB	Examineur
HOCINE Terbeh	DOC.	Co.Rapporteur

2022/2023

ملخص

التوزيع هو البنية التحتية وهو الجزء الحاسم في الموثوقية والجودة وتكلفة الطاقة الكهربائية في الشبكات الكهربائية. تفرض شبكة التوزيع التي تتبع طوبولوجيا شعاعية أو متداخلة بشكل ضعيف تدفق طاقة أحادي الاتجاه ، وتؤكد هذه الحقيقة أنها غير مصممة لتوصيل أجهزة التوليد اللامركزي التي تتمتع بقدرات إنتاج محدودة نسبيًا والتي ترتبط بشكل عام بشبكات التوزيع القريبة من نقاط الاستهلاك. لذلك ، يمكننا التنبؤ بالدور المهم لهذه المصادر من خلال تكاملها الأمثل وفهم أفضل لهذا الاهتمام المتزايد الذي يؤثر بشكل مباشر على تخطيط وتشغيل شبكات التوزيع الحديثة

المشكلة التي يجب مراعاتها في هذه المذكرة هي اختيار الموقع ، وقدرة وحدات التوليد اللامركزي ، من أجل تقليل الخسائر ، دون انتهاك القيود الفنية والتشغيلية. في هذا السياق ، تتمثل المهمة الرئيسية في تحسين أداء شبكة التوزيع الكهربائي ؛ من خلال الدراسة عن طريق المحاكاة لضمان التكامل الأمثل لوحدة التوليد اللامركزي. في هذا العمل ، تم اتباع نهج فعال يعتمد على حساب تدفق الطاقة بواسطة طريقة المسح وخوارزمية (شبه عشوائية-الحوث-) التي تم تكييفها من أجل تكامل التوليد اللامركزي الأمثل في شبكات التوزيع مما يسمح بتقليل فقد الطاقة النشطة وتحسين التوتر. يتم تطبيق النهج على شبكة اختبار التوزيع القياسي في 33 عقدة ، ويتم النظر في حالات مختلفة حيث يتم أيضًا تحليل النتائج المثيرة للاهتمام ومناقشتها في هذه الدراسة

الكلمات المفتاحية: الانتاج اللامركزي، شبكات التوزيع الكهربائية، تقنية المسح المزدوج، طريقة الحيتان.

Résumé

La distribution est l'infrastructure de la partie décisive sur la fiabilité, la qualité et le coût de l'énergie électrique dans Les réseaux électriques. Le réseau de distribution qui possède une topologie radiale ou faiblement maillée impose un flux de puissance unidirectionnel. Cette réalité confirme qu'il n'est pas conçu pour la connexion de dispositifs de production décentralisée connus par GEDs qui ont des capacités de production relativement limitées et qui sont généralement connectées aux réseaux de distribution près des points de consommation. Par conséquent, on peut prévoir le rôle important de ces sources par leurs intégrations optimales et comprendre mieux cet intérêt croissant touchant directement la planification et l'exploitation des réseaux de distribution moderne.

Le problème à considérer dans ce mémoire est celui du choix de l'emplacement, et de la capacité des unités GEDs, afin de minimiser ou réduire les pertes, sans violation des contraintes techniques et opérationnelles. Dans ce contexte, la principale tâche est d'améliorer les performances d'un réseau électrique de distribution ; à travers l'étude par simulation assurant une intégration optimale des unités GEDs. Dans ce travail, une approche efficace basée sur un calcul d'écoulement de puissance par la méthode du

balayage et un algorithme métaheuristique noté baleine adaptée pour une intégration optimale des GEDs dans les réseaux de distribution permettant de réduire les pertes de puissance active et améliorer le profil de la tension. L'approche est appliquée au réseau test de distribution standard à 33, jeux de barre, divers cas sont considérés où des résultats intéressants sont également analysés et discutés dans cette étude.

Mots- clés : Production décentralisée, Réseaux de distribution électrique, Technique de balayage de la ligne (BFS), Méthode métaheuristiques baleine (WOA).

Abstract

Distribution is the crucial infrastructure for the reliability, quality, and cost of electrical energy in electrical networks. A distribution network with a radial or weakly meshed topology imposes a unidirectional power flow. This reality confirms that it is not designed for the connection of decentralized production devices known as DGs, which have relatively limited production capacities and are generally connected to distribution networks near consumption points. Therefore, the important role of these sources can be predicted through their optimal integration, leading to a better understanding of this growing interest directly affecting the planning and operation of modern distribution networks.

The problem to consider in this memory is the choice of location and capacity of DGs units in order to minimize or reduce losses without violating technical and operational constraints. In this context, the main task is to improve the performance of a distribution power grid through a simulation study ensuring the optimal integration of DGs units. In this work, an efficient approach based on power flow calculation using the sweep method and a metaheuristic algorithm known as the whale algorithm adapted for optimal integration of DGs in distribution networks is proposed. This approach aims to reduce active power losses and improve voltage profile. The approach is applied to the standard 33-bus distribution test network, and various cases are considered where interesting results are also analyzed and discussed in this study.

Keywords: Decentralized production, electrical distribution networks, backward forward sweep (BFS), whale metaheuristic method.

Remerciements

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

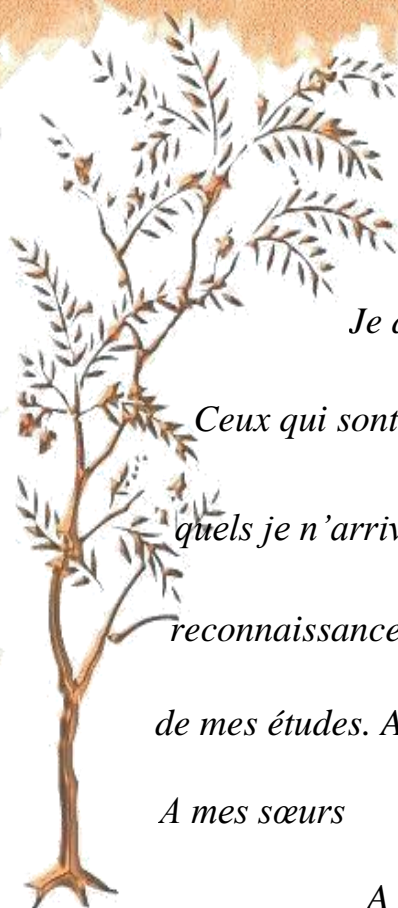
Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur CHETTEH Saliha pour avoir d'abord proposé ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.

Nous tenons à remercier Mr. TERBEH Houcine et Mr. Abdelkader Houari pour leur aide et leurs efforts dans ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidés à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'Électrotechnique qui ont contribués à notre formation Nos sincères remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos Amis et collègues pour le soutien moral et matériel



DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Ceux qui sont les plus chers au monde, mes parents, auxquels je n'arriverai jamais à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance, pour leur amour, leur soutien tout au long de mes études. A mes frères

A mes sœurs

A toute la famille

A tous mes amis

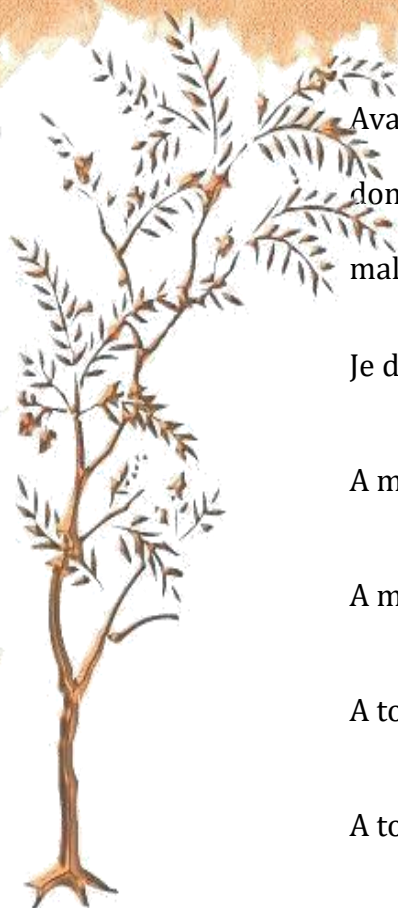
A ma collègue KHACHA Amal pour m'avoir participé ce travail

A tous ceux qui se donnent à fond dans la recherche scientifique



CHETTA CHIHAB EL DDINE

© Ladia Lynn



Avant tous, je remercie dieu le tout puissant dem' avoir
donné le courage et la patience pour réaliser ce travail
malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère et mon père

A mes très chers frères et ma sœur.

A toute ma famille

A toute la famille

A mes chers amis

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

A tous les amis d'étude



KHACHA MAL

© Ladia Lynn

Table des matières

Résumé	
Remerciements	
Dédicaces	
Table des matières.....	I
Liste des Figures.....	III
Liste des Tableaux.....	IV
Abréviations	V
Introduction générale.....	1
<i>Chapitre I</i> Production décentralisée	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition	3
I.3. Caractéristiques de la Production Décentralisée	5
I.4. Différents types de production décentralisée	5
I.4.1. La cogénération.....	6
I.4.2. Les énergies non renouvelables	6
I.4.3. Les énergies renouvelables	7
I.5. L'intérêt de la production décentralisée.....	12
I.6. Impacts de la production décentralisée sur le réseau de distribution.....	15
I.7. Conclusion.....	18
<i>Chapitre II</i> Ecoulement de puissance optimal	
II.1. Introduction :.....	20
II.2. Ecoulement de puissance dans les réseaux de distribution.....	20
II.2.1. Méthode de calcul de l'écoulement de puissance balayage (ARRIÈRE / AVANT).....	21
II.2.2. Les pertes de puissances active et réactive.....	28
II.3. L'écoulement de puissance optimal.....	30
II.3.1. Fonction objective.....	30
II.3.2. Contraintes	30
II.4. Méthode d'optimisation appliquées	31
II.4.1. Méthode méta heuristique	31
II.4.2. Algorithme d'optimisation des baleines (baleine)	32
II.4.3. Modèle mathématique et algorithme d'optimisation	33
II.5. Conclusion	38

Chapitre III	Résultats et discussions.....	
III.1.	Introduction.....	41
III.2.	Réseau de distribution IEEE 33-bus.....	41
III.3.	Résultats des calculs.....	42
III.4.	Conclusion.....	49
	Conclusion générale.....	51
	Bibliographie.....	53
	Annexe.....	55

Liste des Figures

Titre	Page
Figure I.1. Production mondiale d'électricité en 2011.	7
Figure I.2. Systèmes photovoltaïque	8
Figure I.3. Turbines éoliennes	9
Figure I.4. Schéma de principe d'une turbine éolienne	10
Figure I.5. Les barrages-réservoirs source d'énergie hydraulique	12
Figure II.1. Latérale monophasée	22
Figure II.2. Exemple d'un réseau de distribution à structure arborescente	24
Figure II.3. Exemple d'un réseau de distribution	25
Figure II.4. Classification des méthodes d'optimisation	31
Figure II.5. Comportement alimentaire des rorquals à bosse au filet à bulles	33
Figure II.6. Mécanisme de mise à jour de la position dans la spirale de recherche du filet à bulles	35
Figure II.7. Mécanisme d'exploration mis en œuvre dans le cadre de la baleine	36
Figure III.1. Réseaux de distribution IEEE33- bus	42
Figure III.2. Tension à chaque jeu de barres du cas 01	43
Figure III.3. Convergence de la fonction d'objective.	44
Figure III.4. Réseau de distribution IEEE 33-bus avec l'insertion optimale d'une GED.	45
Figure III.5. Tension à chaque jeu de barres du cas 02	45
Figure III.6. Convergence de la fonction objective.	46
Figure III.7. Réseau de distribution IEEE 33-bus avec l'insertion optimale de deux GED.	47
Figure III.8. Tension à chaque jeu de barres du cas 03	48
Figure III.9. Pertes actives du réseau- 33noeuds	49

Liste des Tableaux

Titre	Page
Tableau I.1. Potentiel national des énergies renouvelables	13,14,15
Tableau.III.1. Grandeurs électriques du cas 1	42
Tableau.III.2. Paramètres de la méthode baleine (WOA) du cas 2	43
Tableau.III.3. Le résultat d'OPF (cas2)	44
Tableau. III.4. Paramètres de la méthode baleine (WOA)du cas 3	46
Tableau. III.5. Le résultat de l'OPF (cas3)	47

Liste des abréviations et symboles

GED : Générateurs d'énergie dispersés

BFS: Backward and Forward Sweep (Balayage arrière et avant)

BIBC : Bus Injection Branch Current (courant injecté au nœud-courant de branche)

BCBV : Branch Current Bus Voltage (Tension de bus courant de branche)

DLF : Distribution Load Flow

B : Courants des Branches

Z_i : Impédance indirecte

V_i : Tension au nœud i

Z_{ij} : Impédance de la ligne entre les nœuds i et j

ΔV : La chutes de tension

P_i : Puissance active sortante du jeu de barres i

Q_i Puissance réactive sortante du jeu de barres i

ΔS_{ij} :Perte de puissance apparente entre les nœuds i et j

ΔP_{ij} : Perte de puissance active entre les nœuds i et j

ΔQ_{ij} : Perte de puissance réactive entre les nœuds i et j

$P_{loss,i}$: Pertes de puissance active au niveau de la branche i

$P_{loss,i}$: Pertes de puissance réactive au niveau de la branche i

$P_{T,loss}$: Pertes totales de puissance active

$Q_{T,loss}$: Pertes totales de puissance réactive

EP&PF : Ecoulement de Puissance & Power Flow

EPO&OPF : Ecoulement de Puissance Optimal &Optimal Power Flow

F_{obj} : Fonction objectif

P_{DG_i} Puissance active générée par la DG au jeu de barres i

P_{D_i} Puissance demandée au jeu de barres i PG Puissance générée provenant de la source

DG: Distributed Generation

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

Introduction générale

Une concentration remarquable a été donnée par les chercheurs aux réseaux de distribution dans ces dernières années, qui est de plus en plus importante, à cause de l'apparition de nouvelles sources de production sur ces réseaux. Ces sources ont donné aux réseaux de distribution une spécification dans le comportement globale, pour cela de nombreuses études effectuées sur des réseaux de distribution concernant l'étude d'écoulement de puissance optimale, l'étude de stabilité statique et dynamique, et l'emplacement optimal des sources de production dite décentralisée.

L'intégration des productions décentralisées (GED) aux réseaux de distribution fut l'objectif de rapprocher la production aux points de consommation afin de diminuer la charge alimentée par le réseau de transport, diminuer les transites de puissances sur les lignes de transport et par conséquent le coût d'énergie, soulager les transformateurs des postes sources, améliorer la sécurité du réseau de distribution.

Le problème de l'optimisation de l'emplacement et la taille des GEDs insérées dans le réseau de distribution est lié comme beaucoup de problèmes à l'écoulement des puissances de ce dernier, ce qui rend la solution de ce type de problème est la solution de l'OPF dans la présence des GEDs qui sera l'objectif de notre étude.

Notre mémoire est divisée en trois chapitres ; le premier est consacré aux ressources dites décentralisée dans les réseaux de distribution.

Le second, s'intéressé à l'écoulement et l'écoulement optimal des puissances dans les réseaux de distributions, où nous avons présenté la méthode de balayage pour le PF et la méthode des baleine WOA pour l'optimisation.

Le troisième chapitre donne une illustration du problème traité, et expose les résultats de calculs par simulation suivis par des discussions pour l'essentiels des résultats.

Une conclusion générale et des perspectives finalisent ce travail.

Chapitre I

Production décentralisée

I.1. Introduction

Depuis les années 1990, plusieurs facteurs économiques, écologiques et politiques ont remis en question l'organisation du système électrique. La forte croissance de la demande en énergie électrique a rendu difficile les investissements dans des installations de grande envergure, tandis que l'opinion publique s'oppose souvent à la construction de grandes centrales près de chez eux, malgré leur demande pour une électricité peu coûteuse. De plus, la préoccupation environnementale croissante a incité les producteurs à se virer vers une production d'électricité décentralisée basée sur des sources d'énergie renouvelables et la cogénération, afin d'optimiser le rendement énergétique des installations de production et produire une énergie plus propre.

Les GED se différencient des unités de production centralisée en raison de leur raccordement fréquent au réseau de distribution et de leur "petite taille". Cependant, il n'existe actuellement aucune limite nettement établie entre les catégories de production centralisée et décentralisée [1].

I.2. Définition

La production décentralisée ou dispersée peut être définie comme étant le contraire de la production classique qui utilise des unités de grandes puissances connectées au réseau haute tension, dont la localisation et la puissance ont été planifiées et qui sont commandées de manière centralisée pour garantir un fonctionnement fiable et économique de l'ensemble du réseau. Ces unités centralisées sont appelées "dispatchables".

Le développement de la production décentralisée est justifié par de nombreuses raisons techniques et économiques, notamment les suivantes :

_ Les unités de 100 kW à 150 MW peuvent être faiblement produites grâce à la technologie actuelle.

_ Il est plus facile de trouver des sites d'une production de puissance réduite.

La production est localisée près des utilisateurs pour limiter les coûts de transport.

_ Le gaz naturel est couramment utilisé comme source d'énergie décentralisée et est réputé pour être largement disponible dans la plupart des zones de consommation, tout en maintenant un prix stable.

_ Les systèmes qui fonctionnent au gaz sont construits plus rapidement et nécessitent des investissements beaucoup moins importants que les grandes centrales traditionnelles qui utilisent un autre type d'énergie primaire.

_ Les systèmes de cogénération ou à cycle combiné offrent des rendements énergétiques supérieurs, ce qui se traduit par une baisse des coûts de fonctionnement.

_ Les gouvernements mettent en place des politiques visant à favoriser l'utilisation de technologies écologiques afin de réduire les émissions de CO₂. Ils encouragent également les sources d'énergie renouvelable en offrant des subventions et en intervenant dans les tarifs pour créer des incitations économiques favorables.

La production décentralisée est principalement dirigée par un facteur différent de la demande en électricité, ce qui en fait sa caractéristique fondamentale

Il en résulte des incertitudes sur :

_ La localisation géographique ;

_ La dynamique du développement ;

_ Les niveaux et moments d'activité de production ont des répercussions sur le développement des réseaux électriques, qui doivent être capables de gérer la production décentralisée lorsqu'elle est active et de transporter l'énergie de substitution lorsque cette production est inactive.

La production décentralisée a un impact inévitable sur les réseaux électriques, affectant leur topologie, leur dimensionnement, leur gestion prévisionnelle et leur exploitation en temps réel, à des degrés divers [2].

Il existe de nombreux types de GED qui utilisent des technologies matures ou en cours de développement, et qui utilisent une grande variété d'énergies primaires, qu'elles soient renouvelables ou fossiles [3].

I.3. Caractéristiques de la Production Décentralisée

Les différentes catégories de systèmes de production décentralisée, qui peuvent être distinguées en fonction du type de générateur ou d'interface utilisé, sont actuellement utilisées dans divers domaines, bien que des chevauchements puissent exister entre ces catégories.

Systèmes à alternateurs classiques (machine synchrone)

Les systèmes qui utilisent des générateurs synchrones tels que ceux que l'on retrouve dans les centrales thermiques à combustible fossile ou nucléaire, ainsi que dans les centrales hydrauliques, sont considérés comme classiques.

- ❖ Système de production énergétique à partir de la Biomasse
- ❖ Systèmes de production à énergie géothermique
- ❖ Système à combustible diesel
- ❖ Centrale solaire à bac parabolique et tour
- ❖ Turbine à gaz à cycle simple
- ❖ Turbine à gaz à cycle combiné
- ❖ Aérogénérateur

Systèmes à générateurs asynchrones

On peut distinguer :

- ❖ Système solaire réflecteur-moteur (à miroirs paraboliques et *moteurs* à cycle Stirling et Baryton)
- ❖ Aérogénérateur

Systèmes à interface avec convertisseur électronique

- ❖ Aérogénérateur (avec générateur synchrone ou asynchrone).
- ❖ Système photovoltaïque avec stockage par batterie.
- ❖ Stockage par bobine supraconductrice et piles à combustible [3].

I.4. Différents types de production décentralisée

Différentes technologies de production d'énergie électrique sont connectées au réseau de distribution. Cependant, ces technologies varient en termes de puissance et de type de carburant utilisé, tels que le gaz naturel, l'hydrogène, le diesel ou des sources d'énergie

renouvelables telles que l'énergie solaire ou éolienne. En outre, ces technologies se différencient également par leur méthode de connexion au réseau. D'un côté, il y a les systèmes de production décentralisée qui utilisent un alternateur synchrone ou asynchrone directement connecté au réseau, tandis que d'un autre côté, il y a ceux qui utilisent une interface électronique de puissance, comme les piles à combustible ou les panneaux solaires. Ainsi, les différents types de technologies sont les suivants [2] :

I.4.1. La cogénération

Consiste à la production simultanée de chaleur et d'électricité, ce qui en fait une technique très performante pour améliorer l'efficacité énergétique.

Le rendement global d'une telle installation peut atteindre entre 80% et 90%, ce qui permet d'utiliser la chaleur produite localement, évitant ainsi la nécessité d'une consommation d'énergie supplémentaire pour le chauffage des bâtiments [2].

I.4.2. Les énergies non renouvelables

Deux types de technologies non renouvelables peuvent être décrits

✓ **Energies fossiles (gaz, charbon, pétrole)**

Le même principe est appliqué dans les centrales thermiques de grande puissance, où la combustion de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole ou le gaz produit de la chaleur qui est convertie en électricité. Les technologies clés pour cette conversion comprennent la thermique à flamme avec turbine à vapeur, les turbines à gaz et les moteurs atmosphériques tels que les moteurs diesel. Les turbines à gaz, en particulier, peuvent également être utilisées pour produire simultanément de l'électricité et de la chaleur, appelée cogénération. La cogénération permet d'obtenir un rendement global très proche de l'unité [5].

✓ **Hydrogène**

Le principe des piles à combustible repose sur une réaction électrochimique qui se produit avec l'oxygène et permet de convertir directement l'énergie chimique dégagée par la dégradation du combustible en énergie électrique et en chaleur. Les piles à combustible ont actuellement une puissance comprise entre 1 kW et 1 MW et font l'objet d'améliorations et de développements continus [5].

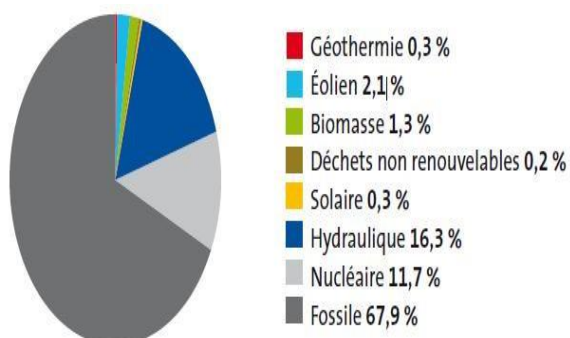
I.4.3. Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des formes d'énergie qui proviennent du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou de la biomasse. Contrairement aux énergies fossiles, les énergies renouvelables sont considérées comme illimitées. Elles regroupent plusieurs technologies en fonction de la source d'énergie exploitée et de l'énergie produite.

Les énergies renouvelables ont connu une croissance significative ces dernières années et devraient jouer un rôle clé dans les systèmes énergétiques durables dans les 20 à 30 prochaines années. Ces énergies sont intrinsèquement décentralisées, ce qui les rend particulièrement adaptées à une utilisation sur site, en produisant de la chaleur ou de l'électricité selon les besoins. La production d'électricité décentralisée à partir de sources renouvelables offre des avantages en termes de sécurité d'approvisionnement et de protection de l'environnement pour les consommateurs.

En 2011, la production mondiale d'électricité renouvelable a dépassé les 20% de la production totale, atteignant 4447,5 TWh. Toutefois, les combustibles fossiles restent le principal contributeur à la production d'électricité dans le monde, représentant plus de deux tiers du total en 2011 (67,9%). La production d'électricité mondiale en 2011 est présentée dans la figure 1.a, tandis que la figure 1.b se concentre sur la production d'électricité d'origine renouvelable.

a. Production mondiale globale



b. Production mondiale d'origines renouvelables

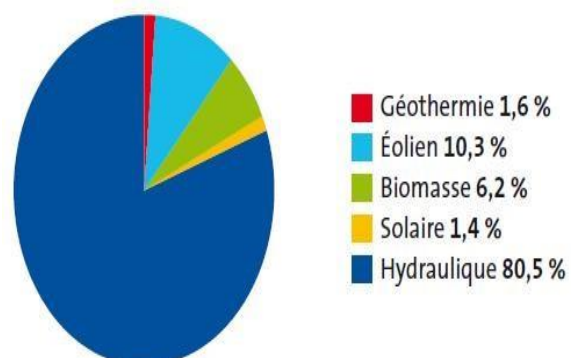


Figure I.1. Production mondiale d'électricité en 2011,[6].

Il existe six sources distinctes d'électricité renouvelable, dont la principale est l'hydroélectricité, qui représente 80,5% de la production totale.

L'énergie éolienne est devenue la deuxième source d'énergie renouvelable depuis 2009, représentant 10,3% du total, devant la filière biomasse qui regroupe la biomasse solide, la biomasse liquide, le biogaz et les déchets ménagers renouvelables (6,2%). Ensuite, la géothermie représente 1,6%, suivie par le solaire qui regroupe les centrales photovoltaïques et les centrales solaires thermiques avec 1,4%, et enfin les énergies marines avec 0,01% [6].

✓ L'énergie solaire

L'énergie solaire photovoltaïque est obtenue par la conversion directe de l'énergie lumineuse en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques. Ces cellules sont ensuite assemblées en panneaux solaires, également appelés modules photovoltaïques. Un ensemble de modules constitue un champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut faire référence au phénomène physique de l'effet photovoltaïque ou à la technologie utilisée pour produire de l'électricité à partir de la lumière du soleil.



Cellule photovoltaïque

Panneau photovoltaïque

Champ photovoltaïque

Figure I.2. Système photovoltaïque

On estime que la production d'une cellule photovoltaïque nécessite de l'énergie et que la quantité d'énergie nécessaire à la fabrication d'une cellule photovoltaïque est équivalente à la quantité d'énergie produite par la cellule photovoltaïque pendant plus de deux ans [2].

✓ L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est produite à travers un dispositif appelé l'éolienne, qui permet de capter directement l'énergie cinétique du vent. La production d'électricité à partir de cette source a connu un développement significatif dans le monde, grâce aux progrès technologiques dans la conception et la modélisation des turbines éoliennes [7].



Figure I.3. : Turbines éoliennes [2].

L'éolienne, également appelée aérogénérateur, est un mécanisme qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique via un arbre de transmission, puis en énergie électrique grâce à un générateur.

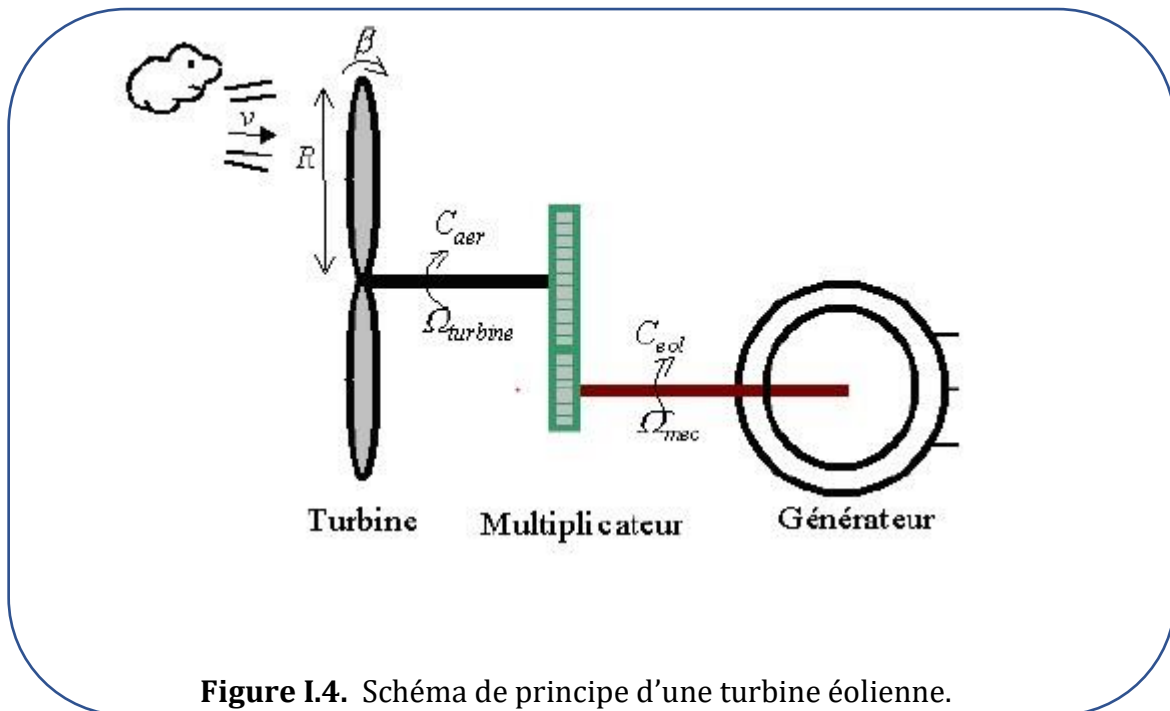


Figure I.4. Schéma de principe d'une turbine éolienne.

✓ L'énergie éolienne en Algérie

Malgré la décision gouvernementale de mettre en place un programme visant à installer une capacité de 5,1 GW d'énergie éolienne dans le cadre du plan d'action "2011-2030", l'Algérie accuse un retard important dans la course aux énergies renouvelables [7].

✓ Energie Biomasse

Ces dernières années, les scénarios énergétiques visent à favoriser l'utilisation des énergies renouvelables et durables, tels que la biomasse. Traditionnellement, la biomasse était principalement utilisée pour produire de la chaleur, mais il est devenu simple de produire de l'électricité à partir de cette source d'énergie, en remplaçant les combustibles fossiles. Les centrales de biomasse utilisent une technologie similaire à celle des centrales thermiques à vapeur pour produire de l'électricité, en utilisant des fours, des chaudières et des turbines. Les combustibles utilisés dans les fours sont généralement des résidus agricoles, forestiers ou industriels, des déchets urbains solides et des restes animaux.

La vapeur produite par la chaudière est utilisée pour faire tourner la turbine à vapeur qui convertit l'énergie en électricité. Les centrales à biomasse ont généralement une puissance limitée allant de 100 kW à 20 MW. L'un des objectifs de l'utilisation de la biomasse est de remplacer le charbon par une nouvelle source de carbone provenant de

la biomasse, mais cette substitution n'est pas facile à mettre en œuvre. Bien qu'une petite quantité de biomasse puisse être ajoutée au charbon, l'ajout d'une proportion importante nécessite des modifications importantes des centrales électriques au charbon. Les avantages de l'utilisation de l'énergie de la biomasse incluent :

- La faible teneur en soufre de la biomasse en fait une source d'énergie pouvant aider à réduire les émissions de dioxyde de soufre, qui est une des principales causes de pluies acides.

- La combustion à basse température peut également diminuer l'émission d'oxyde d'azote ;

- Les émissions de CO₂ générées par les centrales électriques à biomasse sont annulées par la quantité de CO₂ absorbée lors de la croissance de nouvelles matières premières telles que les arbres et les plantes. Par conséquent, le bilan carbone final est nul.

- Les centrales à vapeur ont un rendement de 35% à 40%, tandis que celui des turbines à gaz est de 40% à 55%. Toutefois, les centrales à biomasse ont une efficacité énergétique totale comprise entre 75% et 95%, ce qui signifie que presque tout le combustible est utilisé pour la production d'énergie.

- La chaleur produite lors de la production d'électricité est également utilisée comme source d'énergie thermique, ce qui permet de générer la même quantité de travail utile avec presque aucun gaspillage et moins de combustible nécessaire pour le chauffage des centrales électriques et des chaudières.

- L'utilisation de la combustion directe de la biomasse peut réduire les coûts associés à la consommation de pétrole [8].

✓ **L'énergie géothermique :**

La géothermie repose sur l'utilisation de l'énergie thermique contenue dans le sol, qui est puisée soit à partir d'une nappe phréatique, soit directement du sol. Cette source d'énergie est considérée comme renouvelable car elle est constamment régénérée par les éléments naturels tels que le soleil, le vent et la pluie, et permet de chauffer les habitations sans coût élevé en carburant fossile.

✓ **L'énergie hydraulique (L'hydroélectricité) :**

Actuellement, l'énergie hydroélectrique est la principale source d'électricité renouvelable. Les projets de production d'énergie hydroélectrique peuvent inclure des barrages réservoirs, des centrales d'éclusées et autres. ...

Les barrages-réservoirs exploitent l'énergie de l'eau qui coule d'une hauteur à une autre pour produire de l'électricité, faisant ainsi usage de l'énergie hydroélectrique. Par ailleurs, ils peuvent être utilisés pour l'irrigation ou la distribution d'eau potable [2].



Figure I.5. Les barrages-réservoirs source d'énergie hydraulique.

En général, un mégawatt heure d'hydro-électricité évite la production d'environ une tonne de CO₂ [6].

I.5. L'intérêt de la production décentralisée

Les GED offrent plusieurs avantages, notamment une installation à proximité des sites de consommation, réduisant ainsi les coûts de transport, les pertes en lignes et l'appel de puissance réactive au niveau du poste source. Le temps d'installation est également plus court que pour la production centralisée, et les sites d'installation sont plus facilement

accessibles. De plus, les nouvelles technologies utilisées sont plus propres, et l'utilisation de producteurs décentralisés en cogénération améliore nettement le rendement énergétique global de l'installation, ce qui renforce son attrait économique. Toutefois, pour l'instant, les énergies renouvelables, à l'exception de l'énergie hydraulique, ne sont pas rentables. Leur compétitivité relative est principalement due aux subventions sous forme d'obligation de rachat à des tarifs élevés. On estime que ces nouvelles filières deviendront compétitives à mesure qu'elles atteindront leur maturité technologique [9].

Tableau I.1. Potentiel national des énergies renouvelables [10].

Energie	Potentiel	Perspective à l'horizon de 2030
Le solaire	La quasi-totalité du territoire national reçoit plus de 2000 heures d'ensoleillement par an, avec une durée pouvant atteindre 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Cette exposition au soleil se traduit par une quantité annuelle d'énergie reçue d'environ 3 KWh/m ² au nord et supérieure à 5,6 KWh/m ² dans le Grand Sud (TAMENRASSET), pour une surface horizontale de 1m ² .	2015-2020 : Photovoltaïque : 3000MW thermique : non programmé Cogénération : 150MW 2021-2030 : Photovoltaïque : 10575MW Thermique : 2000MW Cogénération : 250MW

<p>L'éolien</p>	<p>Dans le Sud-Est, les vitesses du vent sont supérieures à 7 m/s, atteignant une valeur de plus de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel). Au Nord, il y a des microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, ainsi que sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et El-Bayad, où les vitesses du vent varient de 6 à 7 m/s.</p>	<p>2015-2020 : 1010MW</p> <p>2021-2030 : 4000MW</p>
<p>La géothermie</p>	<p>Dans la partie Nord du pays, plus de deux cents (200) sources chaudes ont été recensées, parmi lesquelles environ un tiers (33%) ont une température supérieure à 45°C. À Biskra, il y a des sources à haute température pouvant atteindre 118°C. De plus, trois zones ont été identifiées avec un gradient de température dépassant les 5°C/100m.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone de Relizane et Mascara - Zone de Aine Boucif et Sidi Aïssa - Zone de Guelma et Djebel El Onk 	<p>2015-2020 : 05MW</p> <p>2021-2030 :10MW</p>

<p>La biomasse</p>	<p>* Actuellement, le potentiel des forêts est estimé à environ 37 millions de TEP, dont environ 3,7 millions de TEP peuvent être récupérés. De plus, environ 5 millions de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés, représentant un gisement potentiel d'environ 1,33 million de TEP par an.</p>	<p>2015-2020 : 360MW</p> <p>2021-2030 : 640MW</p>
---------------------------	---	---

I.6. Impacts de la production décentralisée sur le réseau de distribution

Plusieurs études ont été menées dans la littérature pour identifier et évaluer les impacts de la production décentralisée sur le réseau, ainsi que pour proposer des solutions adaptées. L'opérateur du réseau prend en compte ce type d'étude lors de la phase de planification ou d'approbation d'un projet de raccordement des générateurs d'énergie décentralisée (GED). Les principaux impacts à considérer sont les suivants :

✓ Impacts sur le sens de transit de puissance

Les réseaux sont conçus pour recevoir les flux d'énergie du réseau de transport vers la distribution. L'introduction de générateurs d'énergie décentralisée (GED) dans les niveaux de tension autres que le réseau de transport peut entraîner une injection de puissance dans le sens contraire, c'est-à-dire de la distribution vers le transport. Dans ce cas, les équipements, en particulier les protections, doivent être bidirectionnels. Bien que les réseaux aux niveaux de tension inférieure soient normalement surdimensionnés pour faire face à l'augmentation de la consommation, à long terme, lorsque le taux de pénétration des GEDs augmentera, la modification du sens de la puissance peut

éventuellement entraîner des congestions locales, même si les problèmes de capacité de transfert d'énergie ne se posent pas immédiatement [11].

✓ **Impacts sur la tenue de tension**

Il est connu que les nœuds situés à proximité d'une source ont une tension plus élevée, tandis que la tension diminue progressivement à mesure que l'on s'éloigne de la source. Par conséquent, la connexion de générateurs d'énergie décentralisée (GED) à proximité des charges modifieront naturellement le profil de tension sur le réseau.

✓ **Impacts sur la stabilité du système**

Il est possible d'utiliser des générateurs synchrones ou asynchrones pour les productions décentralisées. L'intégration de générateurs synchrones dans le réseau aura un impact sur le temps critique d'élimination de défaut, qui correspond à la durée maximale pendant laquelle le système peut supporter une perturbation sans perdre sa stabilité. Cela aura une incidence directe sur la limite de stabilité dynamique du système considéré [3].

✓ **Impacts sur la planification du réseau**

Le contrôle et l'exploitation de la production décentralisée impliquent une nouvelle observabilité des réseaux de distribution, qui ont été initialement conçus comme des éléments passifs. Avec l'intégration de la production décentralisée, ces réseaux deviennent actifs. Idéalement, les compagnies électriques et les opérateurs de la distribution devraient être en mesure de contrôler la production décentralisée, ce qui se traduit par une augmentation des données à acquérir par le système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

✓ **Impacts économiques sur les marchés de l'énergie**

La création d'alliances et d'accords entre producteurs décentralisés pourrait encourager la compétition et, en fin de compte, entraîner une diminution des prix de l'énergie, notamment sur le marché journalier, grâce à des mécanismes de compensation des déséquilibres, ainsi que sur le marché des réserves et des services systèmes [12].

✓ **Impacts sur le plan de protection**

L'ajout de nouveaux générateurs au réseau aura également un impact sur les courants de courts-circuits et, par conséquent, sur le réglage des seuils de protection. Ce changement peut entraîner une perte de sélectivité, des déclenchements inappropriés ou une incapacité du système de protection à détecter les défauts.

✓ **Impacts sur l'observabilité et de contrôlabilité du système**

L'intermittence des sources primaires caractérise les GEDs, en particulier ceux qui utilisent des sources d'énergie nouvelle et renouvelable. Cela pose des difficultés à l'opérateur qui doit estimer la puissance de sortie de ces producteurs, ainsi que la puissance fournie par le système [11].

✓ **Impacts sur la qualité de service**

Les GED asynchrones nécessitent de la puissance réactive pour exciter leur circuit magnétique, ce qui entraîne une forte demande de courant lors de leur raccordement au réseau. Cette demande peut contribuer à une chute de tension (ou une tension basse). De plus, la présence d'interfaces électroniques de puissance peut augmenter la présence d'harmoniques, qui peuvent considérablement affecter la qualité du service fourni.

✓ **Impacts sur la continuité de service**

L'indisponibilité des GEDs en raison de leur caractéristique d'intermittence peut causer une interruption de l'alimentation électrique par manque de puissance lorsque le système les sollicite [2].

I.7. Conclusion

Ce chapitre s'est intéressé aux différentes centrales de production d'énergie électrique dispersées, où nous avons présenté les types de ressources renouvelables et classiques.

De plus, nous avons donné un résumé sur les effets et les influences de ces GEDs intégrées aux réseaux de distributions.

Chapitre II

Écoulement de puissance optimal

II.1. Introduction :

L'étude de l'écoulement de puissance (load flow) permet d'obtenir la solution des grandeurs électriques d'un réseau électrique à un point de fonctionnement normal et équilibré en régime permanent. Pour résoudre le problème de l'écoulement des puissances, il est nécessaire de déterminer un modèle mathématique de ce système. Chaque jeu de barres est associé à quatre quantités, dont deux sont connues : la puissance active, la puissance réactive, le module de la tension et l'angle de phase. De plus, en connaissant la demande en énergie des consommateurs, il est possible de déterminer les puissances à générer par les unités de production. Il est essentiel de choisir un jeu de barres de référence pour fournir des puissances actives et réactives supplémentaires afin de compenser les pertes dans les lignes de transmission, qui restent inconnues jusqu'à ce que la solution finale soit obtenue [13].

Ce chapitre a pour objectif de présenter le développement mathématique d'une méthode qui traite le problème de l'écoulement de puissance dans les réseaux de distribution. Cette méthode est simple, directe et facile à programmer. Elle repose sur une approche itérative et utilise le principe du balayage en amont et en aval pour le calcul de la tension et des courants.

De plus, une méthode d'optimisation des baleines connue par (WAO) sera exposée en détail, pour une application prochaine de l'intégration des GEDs dans un réseau spécifique [11].

II.2. Écoulement de puissance dans les réseaux de distribution

Au cours des dernières décennies, un certain nombre de méthodes efficaces et fiables appliqués au calcul de l'écoulement des puissances dans les différents réseaux électriques tels que :

- Méthode de Gauss-Seidel avec matrice d'admittance (YGS)
- Méthode Gauss-Seidel avec matrice d'impédance (ZGS)
- Méthode de Newton-Raphson (NR)
- Newton-Raphson découplé (DNR)
- Newton-Raphson découplé rapide (FDNR)

L'analyse des systèmes de distribution est un domaine d'activité important en tant que le dernier lien entre la production et le transport et les consommateurs.

Les méthodes échouent généralement à analyser les réseaux de distribution parce que les variables de l'analyse de l'écoulement des puissance des réseaux de distribution est différente de celle du transport.

Lorsque le réseau de distribution est de nature radiale, il présente un rapport R/X élevé, alors que le système de transport est de nature bouclé avec un rapport X/R élevé.

Pour cette raison les méthodes conventionnelles ne convergent pas appliquées aux réseaux distribution [14].

En raison de certaines caractéristiques particulières, les réseaux de distribution entrent dans la catégorie des systèmes d'énergie mal conditionnés pour les méthodes conventionnelles de calcul d'écoulement de puissance [11].

II.2.1. Méthode de calcul de l'écoulement de puissance balayage (ARRIÈRE / AVANT)

Le calcul d'écoulement de puissance peut être effectué à l'aide d'une méthode spécifique, connue sous le nom de balayage arrière / avant.

Cette méthode se compose de deux étapes Balayage vers l'arrière, où, à partir des nœuds d'extrémité et en allant vers le nœud source, en utilisant la loi de Kirchhoff, le courant à chaque nœud de charge, ainsi que le courant circulant à travers sa branche entrante, sont calculés.

Balayage avant, où, en partant dans le sens inverse, du nœud source (dont la tension constante est prise comme référence) et allant vers les nœuds d'extrémité, en utilisant la loi d'Ohm, la chute de tension sur chaque branche, ainsi que la tension à chaque nœud de charge, sont calculées [15].

Cette méthode est basée sur la construction de deux matrices, la matrice [BIBC] (bus-injection to branch-current) représente le rapport entre les courants injectés aux nœuds charge et les courants des branches et la matrice [BCBV] (branch-current to bus-voltage) qui représente le rapport entre les courants des branches et les tensions aux nœuds [48]. En exploitant la structure arborescente d'un réseau de distribution, il est possible de déterminer directement le sens d'un courant grâce à la configuration radiale. On peut alors construire un algorithme basé sur ce principe [16].

Exemple :

Une latérale monophasée est représentée à la figure II.1.

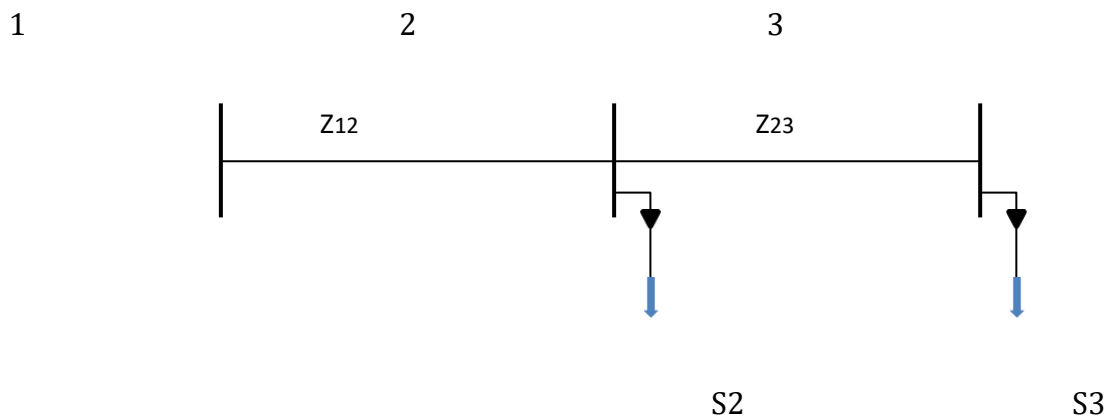


Figure II.1 Latérale monophasée.

L'impédance de la branche entre 1-2 est :

$$Z_{12} = 0.1705 + j0.3409(\Omega)$$

L'impédance de la ligne 2-3 est :

$$Z_{23} = 0.2273 + j0.4545(\Omega)$$

Les charges sont les suivantes :

$$S_2 = 1500 + j750(KVA)$$

$$S_3 = 900 + j500(KVA)$$

La tension source au nœud 1 est de 7200 V.

- Calculez les tensions du nœud après une itération complète.

Le balayage vers l'avant commence par supposer que la tension au nœud 3 est $7200 \angle 0$.

Le courant de charge au nœud 3 est calculé comme suit :

$$I_3 = \left(\frac{(900 + j500) \cdot 1000}{7200 \angle 0} \right) = 1430 \angle -29.0 \quad (A)$$

Le courant circulant dans la section de ligne 2-3 est :

$$I_{23} = I_3 = 143.0 \angle -29.0 \quad (A)$$

La tension au nœud 2 est calculée pour être

$$V_2 = V_3 + Z_{23} \cdot I_{23} = 7200 \angle 0 + (0.2273 + j0.4545) \cdot 143.0 \angle -29.0$$

$$V_2 = 7260.1 \angle 0.32 \text{ V}$$

Le courant de charge au nœud 2 est

$$I_2 = \left(\frac{(1500 + j750) \cdot 1000}{7260.1 \angle 0.32} \right)^* = 231.0 \angle -26.3 \quad (\text{A})$$

Le courant dans le segment de ligne 1-2 est :

$$I_{12} = I_{23} + I_2 = 373.9 \angle -27.3 (\text{A})$$

La tension calculée au nœud source 1 est :

$$V_1 = V_2 + Z_{12} \cdot I_{12} = 7376.2 \angle 0.97 (\text{V})$$

À ce stade, l'amplitude de la tension calculée au nœud 1 est comparée à l'amplitude de la tension de source spécifiée :

$$\text{Erreur} = ||V_s| - |V_1|| = 176.2 (\text{V})$$

Si l'erreur est inférieure à une tolérance spécifiée, la solution est atteinte. Si non, le balayage vers l'arrière commence. Une tolérance typique est de 0,001 par unité, qui sur une base de 7200- V est de 7,2 V. Étant donné que l'erreur dans ce cas est supérieure à la tolérance, le balayage vers l'arrière commence par le réglage de la tension au nœud 1 par apport à la tension de la source :

$$V_1 = V_s = 7200 \angle 0 (\text{V})$$

La tension au nœud 2 est calculée en utilisant cette valeur de la tension du nœud 1 et le

Courant de ligne calculé dans le courant de balayage vers l'avant :

$$V_2 = V_1 - Z_{12} \cdot I_{12} = 7200 \angle 0 - (0.1705 + j0.3409) \cdot 373.9 \angle -27.2$$

$$V_2 = 7085 \angle -0.68 (\text{V})$$

Le balayage vers l'arrière se poursuit en calculant la prochaine tension en aval. Tous les courants calculés dans le balayage vers l'avant sont utilisés dans le balayage vers l'arrière.

$$V_3 = V_2 - Z_{23} \cdot I_{23} - 7026.0 \angle -1.02 \text{ (V)}$$

Ainsi la première itération est achevée. À ce stade, le balayage vers l'avant sera répété, seulement cette fois-ci en commençant par la nouvelle tension au nœud 3 plutôt que la tension initialement supposée.

Cependant, plusieurs travaux ont été réalisés sur l'analyse de l'écoulement des puissances dans les réseaux de distribution, mais le choix d'une méthode de solution pour un système pratique est souvent difficile, parce que :

- Le rapport R/X est très élevé.

La structure de nombreux systèmes de distribution est arborescente comme illustré à la **Figure II.2** [14].

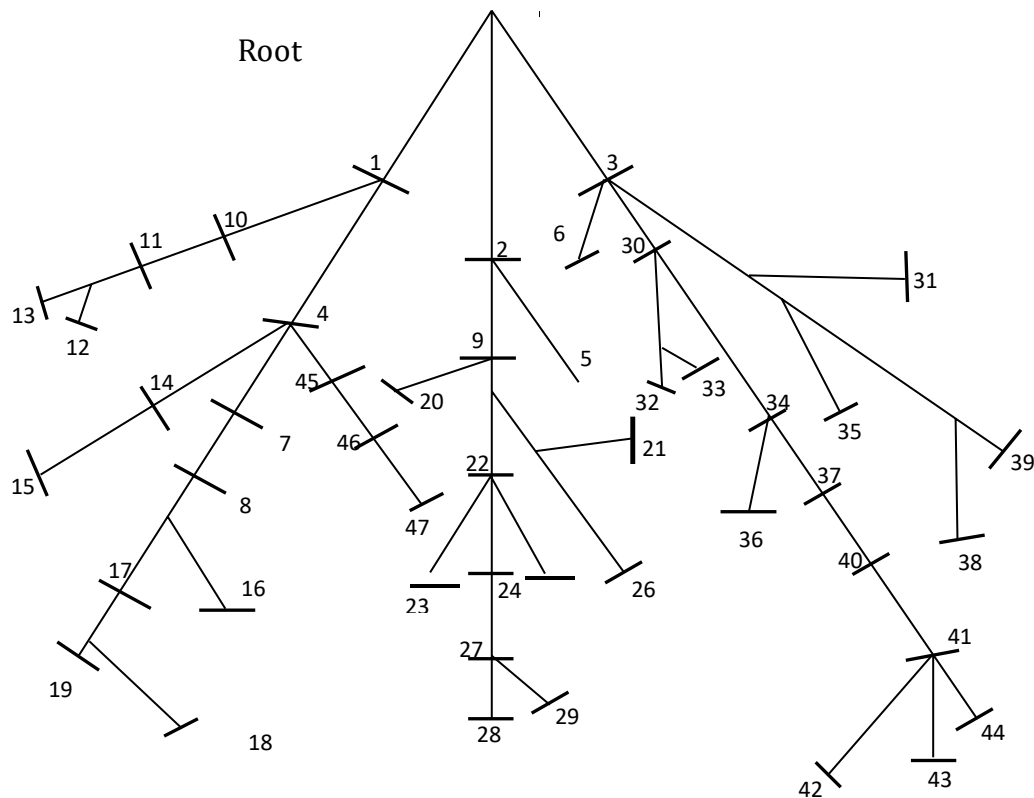


Figure II.2 Exemple d'un réseau de distribution à structure arborescente [14].

II.2.1.1. Construction de la Matrice [BIBC]

Exemple

Soit le réseau de distribution illustré par la **Figure II.3**. Les puissances des charges peuvent être converties aux courants des charges équivalentes injectées par l'expression **(II.1)** :

$$\bar{I}_i = \left(\frac{P_i + jQ_i}{\bar{V}} \right)^* \tag{II.1}$$

Les courants des segments peuvent être obtenus en appliquant les lois de Kirchhoff au réseau de distribution. Les courants des segments ou branches peuvent être exprimés en fonction des courants des charges

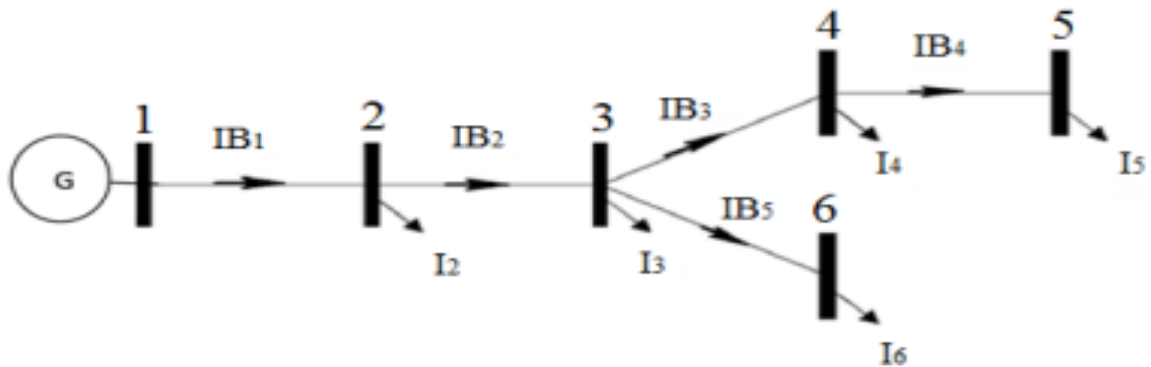


Figure II.3: Exemple d'un réseau de distribution

Avec

$$\left. \begin{aligned} \overline{IB}_1 &= \bar{I}_2 + \bar{I}_3 + \bar{I}_4 + \bar{I}_5 + \bar{I}_6 \\ \overline{IB}_2 &= \bar{I}_3 + \bar{I}_4 + \bar{I}_5 + \bar{I}_6 \\ \overline{IB}_3 &= \bar{I}_4 + \bar{I}_5 \\ \overline{IB}_4 &= \bar{I}_5 \\ \overline{IB}_5 &= \bar{I}_6 \end{aligned} \right\} \tag{II.2}$$

Par conséquent, le rapport entre les courants injectés aux nœuds et les courants des segments peuvent être exprimés comme suit :

$$\begin{bmatrix} \overline{IB}_1 \\ \overline{IB}_2 \\ \overline{IB}_3 \\ \overline{IB}_4 \\ \overline{IB}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{I}_2 \\ \overline{I}_3 \\ \overline{I}_4 \\ \overline{I}_5 \\ \overline{I}_6 \end{bmatrix} \quad (II.3)$$

L'équation (II.3) peut être réécrite sous la forme générale ;

$$[\overline{IB}] = [BIBC][\overline{I}] \quad (II.4)$$

Où :

$[\overline{IB}]$: Vecteur des courants de branches de dimension m ;

$[\overline{I}]$: Vecteur des courants de charges (injectés) de dimension (n - 1) ;

[BIBC] : Matrice reliant les courants des branches et les courants de charges, elle est de dimension (n-1) x m.

m et n : représentent respectivement le nombre de branches et de nœuds.

La matrice [BIBC] est une matrice triangulaire supérieure, qui contient que des zéro et des (+1) seulement. Elle est calculée comme suit :

- Étape 1a. Pour un réseau de distribution avec (m) branches et (n) nœuds, la dimension de la matrice [BIBC] est ((n-1) x m) ;
- Étape 2a. Si une ligne (B_k) est située entre deux nœuds i et j, copier la colonne i de la matrice [BIBC] à la colonne j, et mettre (+1) en position de la ligne k dans la colonne j;
- Étape 3a. Un procédé de répétition de l'étape (2a) jusqu'à inclure toutes les branches dans la matrice [BIBC]

II.2.1.2. Construction de la matrice [BCBV]

C'est le rapport entre les courants de branches et les tensions aux nœuds. Par exemple, les tensions aux nœuds 3 et 4 sont :

$$\begin{aligned} \overline{V}_3 &= \overline{V}_2 - \overline{IB}_2 \cdot \overline{Z}_{23} \\ \overline{V}_4 &= \overline{V}_3 - \overline{IB}_3 \cdot \overline{Z}_{34} \end{aligned} \quad (II.5)$$

Avec,

V_i : Tension au nœud i ;

Z_{ij} : Impédance de la ligne entre les nœuds i et j.

La tension au nœud 4 peut être exprimée en fonction des courants de segment comme écrite dans l'expression (II.6) tel que

$$\overline{V}_4 = \overline{V}_1 - \overline{IB}_1 \cdot \overline{Z}_{12} - \overline{IB}_2 \cdot \overline{Z}_{23} - \overline{IB}_3 \cdot \overline{Z}_{34} \quad (\text{II.6})$$

Les mêmes procédures peuvent être appliquées sur d'autres nœuds, le rapport entre les courants de segments et les tensions aux nœuds peut être exprimé par

$$\begin{bmatrix} \overline{V}_1 \\ \overline{V}_1 \\ \overline{V}_1 \\ \overline{V}_1 \\ \overline{V}_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \overline{V}_2 \\ \overline{V}_3 \\ \overline{V}_4 \\ \overline{V}_5 \\ \overline{V}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z}_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \overline{Z}_{12} & \overline{Z}_{23} & 0 & 0 & 0 \\ \overline{Z}_{12} & \overline{Z}_{23} & \overline{Z}_{34} & 0 & 0 \\ \overline{Z}_{12} & \overline{Z}_{23} & \overline{Z}_{34} & \overline{Z}_{45} & 0 \\ \overline{Z}_{12} & \overline{Z}_{23} & 0 & 0 & \overline{Z}_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{IB}_1 \\ \overline{IB}_2 \\ \overline{IB}_3 \\ \overline{IB}_4 \\ \overline{IB}_5 \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

L'équation (II.8) peut être réécrite sous la forme générale :

$$[\Delta \overline{V}] = [\text{BCBV}] [\overline{IB}] \quad (\text{II.8})$$

Où :

$[\Delta \overline{V}]$: Vecteur des chutes de tension, de dimension (n - 1) ;

$[\text{BCBV}]$: Matrice qui relie les courants de branches et les chutes de tension, de dimension (n-1) x m.

La matrice $[\text{BCBV}]$ prend comme éléments les impédances des branches, pour la construire, selon les étapes de la procédure suivante :

- Étape 1b. Pour un réseau de distribution de (m) branches et (n) nœuds, la dimension de la matrice $[\text{BCBV}]$ est ((n-1) x m) ;
- Étape 2b. Si une ligne (B_K) est située entre deux nœuds i et j, copier la ligne du

nœud i de la matrice [BCBV] à la ligne du nœud j , et mettre l'impédance de ligne Z_{ij} en position de la ligne j et de la colonne k ;

- Étape 3b. Un procédé de répétition de l'étape (2b) jusqu'à inclure toutes les branches dans la matrice [BCBV].

II.2.1.3. Développement de la méthode

Le développement des matrices [BIBC] et [BCBV] est basé sur la structure topologique des réseaux de distribution. En combinant les expressions (II.4) et (II.8), la relation entre les courants injectés aux nœuds et les tensions des nœuds peut être exprimée comme suit

$$[\overline{\Delta V}] = [BCBV][BIBC][\overline{I}] = [DLF][\overline{I}] \quad (II.9)$$

La solution de l'écoulement de puissances du réseau de distribution peut être obtenue par les équations itératives (II.10), (II.11) et (II.12) [16].

$$I_i^{-k} = \left(\frac{P_i + Q_i}{\overline{V}_i^k} \right) \quad (II.10)$$

$$[\overline{V}^{k+1}] = [DLF][I^{-k}] \quad (II.11)$$

$$[\overline{V}^{k+1}] = [\overline{V}_1] - [\overline{V}^{k+1}] \quad (II.12)$$

II.2.2. Les pertes de puissances active et réactive

Les pertes de puissance active au niveau d'une branche (i) de la figure (2.1) s'écrivent comme suit :

$$P_{loss,i} = R_i \cdot B_i^2 \quad (II.13)$$

Les pertes totales de puissance active dans le réseau peuvent être déterminées en additionnant les pertes de toutes les branches.

$$P_{T,loss} = \sum_{i=1}^{Nbr} P_{loss,i} \quad (II.14)$$

Les pertes de puissance réactive au niveau d'une branche (i) s'écrivent comme suit :

$$Q_{loss,i} = X_i \cdot B_i^2 \quad (II.15)$$

Les pertes totales de puissance réactive dans le réseau peuvent être déterminées en additionnant les pertes de toutes les branches [17].

$$Q_{T,loss} = \sum_{i=1}^{Nbr} Q_{loss,i} \quad (II.16)$$

Algorithme de la méthode BFS [16].

- Étape 1. Introduire les données du réseau
- Étape 2. Appliquer les procédures (1a), (2a), (3a) et l'équation (II.3) pour former la matrice [BIBC] ;
- Étape 3. Appliquer les procédures (1b), (2b), (3b) et l'équation (II.8) pour former la matrice [BCBV] ;
- Étape 4. Appliquer l'équation (I.9) pour former la matrice [DLF] ;
- Étape 5. Initialiser le compteur d'itération k à 0 ;
- Étape 6. Calculer l'écoulement de puissances en employant les équations (II.10), (II.11), (II.17)

$$\Delta \bar{S}_{ij} = \Delta P_{ij} + j\Delta Q_{ij} = R_{ij} \cdot (I_{ij})^2 + jX_{ij} \cdot (I_{ij})^2 \quad (II.17)$$

- Étape 7. Tester la convergence pour le calcul de l'erreur $\max_i (|V_i^{-k+1}| - |V_i^{-k}|)$, dans cette étape on distingue deux cas :

Si $\max_i (|V_i^{-k+1}| - |V_i^{-k}|) > \xi$ (la tolérance), aller à l'étape (8) ;

Si $\max_i (|V_i^{-k+1}| - |V_i^{-k}|) < \xi$ (la tolérance), aller à l'étape (9) ;

- Étape 8. Incrémentation $k = k + 1$, aller à l'étape 6 ;
- Étape 9. Imprimer les résultats.

II.3. L'écoulement de puissance optimal

II.3.1. Fonction objective

$$F_{obj} = \min \sum_{i=1}^{Nbr} P_{loss}(i) \quad (II.18)$$

Où : Nbr est le nombre de branches dans le réseau de distribution, P_{Loss} : perte de puissance active dans une branche.

II.3.2. Contraintes [11].

Les contraintes d'équilibre de puissances :

$$P_G + \sum_{i=1}^{NGED} P_{GEDi} = \sum_{i=1}^{NJB} P_{Di} + \sum_{i=1}^{Nbr} P_{loss} \quad (II.19)$$

La limite de puissance transitée dans une branche située entre deux jeux de barres i et j :

$$|P_{ij}^{Ligne} \leq P_{ij,max}^{Ligne}| \quad (II.20)$$

P_{ij}^{Ligne} et $P_{ij,max}^{Ligne}$ sont respectivement la puissance absolue et la valeur maximale admissible circulant dans la branche entre deux jeux de barres i et j.

L'amplitude de la tension de chaque jeu de barre est limitée comme suit :

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (II.21)$$

Où

V_{min} et V_{max} sont respectivement les valeurs minimale et maximale d'amplitude de la tension au niveau de chaque jeu de barre.

Les limites des puissances générées par les GED :

$$P_{GEDi}^{min} \leq P_{GEDi} \leq P_{GEDi}^{max} \quad (II.22)$$

$$Q_{GEDi}^{min} \leq Q_{GEDi} \leq Q_{GEDi}^{max} \quad (II.23)$$

Où

P_{GEDi} et Q_{GEDi} sont respectivement les puissances actives et réactives injectées par la GED au jeu de barre 'i'.

Emplacement des GED :

$$JB^{\min} \leq JB^i \leq JB^{\max} \quad (II.24)$$

II.4. Méthode d'optimisation appliquées

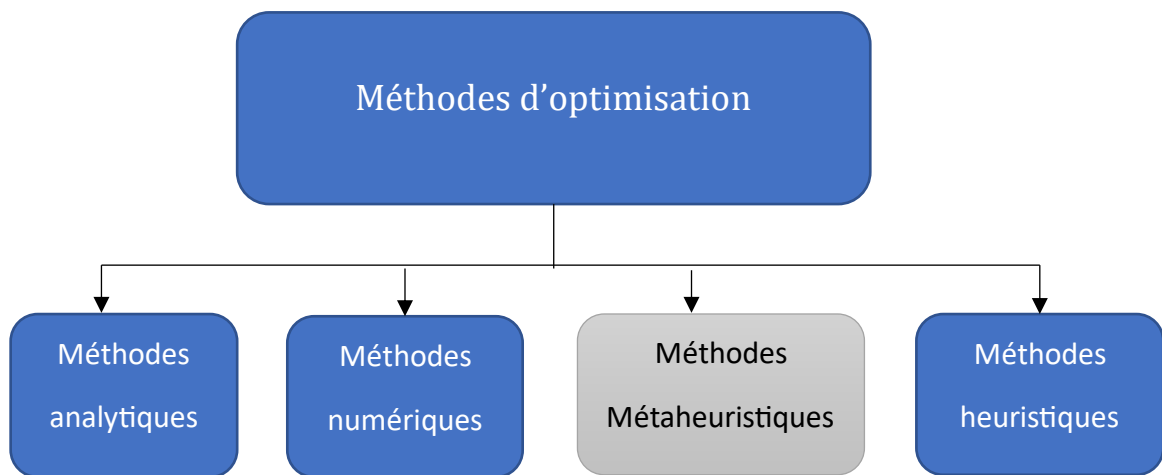


Figure II.4 Classification des méthodes d'optimisation [11].

II.4.1. Méthode méta heuristique

Les algorithmes d'optimisation méta heuristiques sont de plus en plus populaires dans les applications d'ingénierie parce qu'ils s'appuient sur des concepts assez simples et sont faciles à mettre en œuvre, n'ont pas besoin d'informations de gradient, peut contourner l'optima local, peut être utilisé dans un large éventail de problèmes couvrant différentes disciplines. Les algorithmes méta heuristiques d'inspiration naturelle résolvent les problèmes d'optimisation en imitant des phénomènes biologiques ou physiques. On peut les regrouper en trois grandes catégories : basé sur l'évolution, basé sur la physique, et des méthodes basées sur l'essaim. Les méthodes basées sur l'évolution s'inspirent des lois de l'évolution naturelle. Le point fort de ces méthodes est que les meilleurs individus sont toujours combinés ensemble pour former la prochaine génération d'individus. Les méthodes basées sur la physique imitent les règles physiques de l'univers. Les algorithmes les plus populaires sont le recuit simulé. Le troisième groupe de méthodes

inspirées de la nature comprend des techniques basées sur l'essaimage qui imitent le comportement social de groupes d'animaux [18].

II.4.2. Algorithme d'optimisation des baleines (baleine)

Les baleines sont des créatures fantaisistes. Ils sont considérés comme les plus grands mammifères du monde. Une baleine adulte peut mesurer jusqu'à 30 m de long et peser 180 tonnes. Il existe 7 espèces principales différentes de ce mammifère géant tel tueur, Minke, Sei, bosse, droite, nageoire arrière et bleu. Les baleines sont surtout considérées comme des Prédateurs.

Ils ne dorment jamais parce qu'ils doivent respirer à la surface des océans. En fait, seulement la moitié du cerveau assure le sommeil. Ce qui est intéressant à propos des baleines, c'est qu'elles sont considérées comme des animaux très intelligents avec émotion.

Selon Hof et Van Der Gucht, Les baleines ont des cellules communes dans certaines parties de leur cerveau, semblables à celles des cellules fusiformes humaines. Ces cellules sont responsables du jugement, des émotions, et les comportements sociaux chez les humains. En d'autres termes, les cellules fuseau nous distinguent des autres créatures. Les baleines ont deux fois plus de ces cellules qu'un humain adulte, ce qui est la principale cause de leur intelligence. Il a été prouvé que les baleines peuvent penser, apprennent, jugent, communiquer, et même devenir émotionnel comme un humain le fait, mais visiblement avec un niveau d'intelligence bien inférieur. Il a été observé que les baleines (surtout les épaulards) sont aussi capables de développer leur propre dialecte.

Un autre point intéressant est le comportement social des baleines, ils vivent seuls ou en groupe. Cependant, ils sont surtout observés en groupes, certaines de leurs espèces (les épaulards par exemple) peuvent vivre en famille pendant toute leur vie. L'une des plus grosses baleines à fanons est le Rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*).

La chose la plus intéressante à propos des baleines à bosse est leur méthode de chasse spéciale. Ce comportement de recherche de nourriture est appelé méthode d'alimentation au filet à bulles. Le Rorqual à bosse préfère chasser le krill en bancs ou les petits poissons près de la surface. On a observé que cette recherche de nourriture se fait en créant des bulles distinctives le long d'un cercle ou d'un chemin en forme de "9", **Figure II.5**

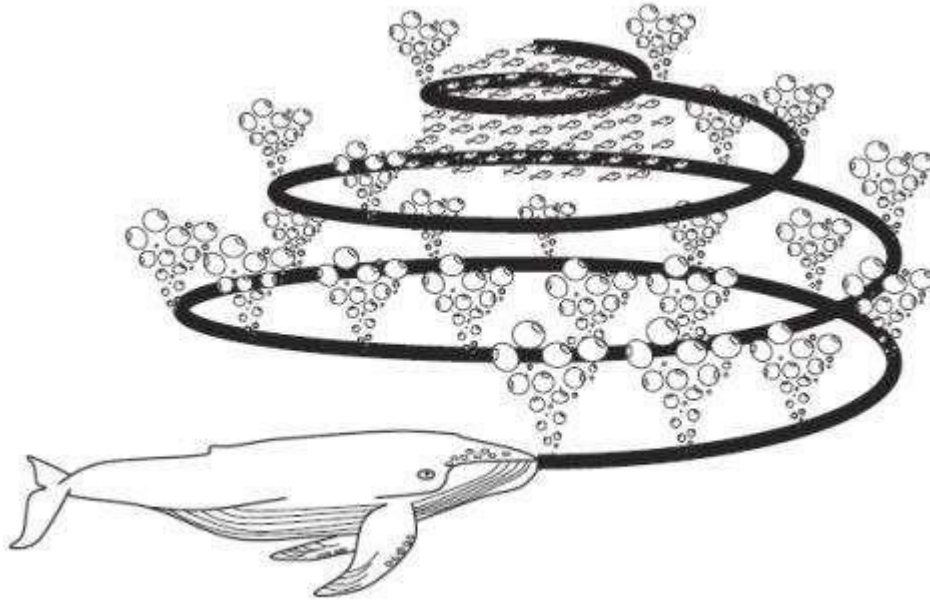


Figure II.5: Comportement alimentaire des rorquals à bosse au filet à bulles [18].

II.4.3. Modèle mathématique et algorithme d'optimisation

Proie encerclant

Les rorquals à bosse peuvent reconnaître l'emplacement de leurs proies et les encercler. Puisque la position de la conception optimale dans l'espace de recherche n'est pas connue a priori, l'algorithme de baleines suppose que la meilleure solution candidate actuelle est la proie cible ou est proche de l'optimum. Une fois que le meilleur agent de recherche est défini, les autres agents de recherche vont donc essayer de mettre à jour leurs positions vers le meilleur agent de recherche. Ce comportement est représenté par les équations suivantes [13].

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \tag{II.25}$$

$$X(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \tag{II.26}$$

Dans les équations, t représente l'itération en cours ; \vec{A} et \vec{C} représentent les vecteurs de coefficients ; \vec{X}^* représente la meilleure solution en termes de vecteur de position rencontrée jusqu'à présent ; \vec{X} désigne le vecteur de localisation existant ; $|\cdot|$ représente la valeur absolue. Le paramètre \vec{A} et \vec{C} peut encore être exprimé comme :

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \tag{II.27}$$

$$C^{\vec{r}} = 2 \cdot \vec{r} \tag{II.28}$$

Dans ces équations, les constituants de \vec{a} sont diminués de 2 à 0 de manière linéaire par itérations successives et r_1 et r_2 sont des vecteurs aléatoires dans $[0,1]$. Le changement de \vec{a} est représenté par :

$$a = 2 - 2 \frac{t}{t_{max}} \tag{II.29}$$

Où t_{max} est le nombre maximum d'itérations.

X^* Doit être restructuré et mis à jour après chaque processus d'itération.

Le but est de vérifier si une meilleure solution est obtenue au cours du processus d'itération. La même idée est étendue à un espace d'exploration à n dimensions, et donc les agents de recherche peuvent se déplacer en hyper cube autour de la meilleure réponse obtenue à ce point [19].

II.4.3.1. Méthode d'attaque au filet à bulles (phase d'exploitation)

Ce comportement des baleines à bosse est modélisé par les deux techniques suivantes :

Mécanisme d'encerclement rétractable :

Dans ce comportement, la valeur de \vec{a} est réduite dans l'équation. (II.16). Avec cela, la plage de variation de \vec{A} est également réduite avec la réduction de \vec{a} . En utilisant les valeurs arbitraires pour \vec{A} dans la plage $[-1,1]$, l'emplacement récent d'un agent de recherche est situé quelque part au milieu de l'emplacement initial de l'agent de recherche et de l'emplacement du meilleur agent de recherche existant.

II.4.3.2. Emplacement de mise à jour de la spirale

Cette méthode de localisation est définie de telle sorte que, l'emplacement entre la baleine positionnée en (X, Y) et la proie positionnée en (X^*, Y^*) est calculé. Ensuite, le mouvement en forme de spirale des baleines à bosse est simulé par l'équation entre l'emplacement de la baleine et la position de la proie, comme indiqué dans l'équation.

$$X(t+1) = \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \tag{II.30}$$

$\vec{D}' = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)|$ symbolise les distances entre la i ème baleine et la proie qui est fonction de la meilleure solution obtenue ; b représente une constante qui définit le

contour et la courbe du processus logarithmique en forme d'anneau ou de torsion ; l est le chiffre subjectif dans l'intervalle $[-1, 1]$ et symbolise une augmentation composante par composante.

Lorsque les baleines à bosse attaquent leur proie, elles se déplacent le long d'un chemin en spirale en entourant leur proie. Pour simuler ce comportement, le mécanisme englobant rétrécissant et le modèle de formation pendant la navigation ainsi que le mécanisme de l'emplacement de mise à jour en spirale sont supposés avoir une valeur de probabilité équivalente de 0,5.

Ceci est démontré dans le système de l'équation. (III.18) tel que présenté ainsi :

$$X(t+1) = \begin{cases} \vec{D}' . e^{bl} . \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & \text{si } p \geq 0.5 \\ \vec{X}^*(t) - \vec{A} . \vec{D} & \text{si } p < 0.5 \end{cases} \quad (II.31)$$

Pour cette équation, il faut vérifier la condition de p . Où p est un nombre arbitraire $[0,1]$ [19].

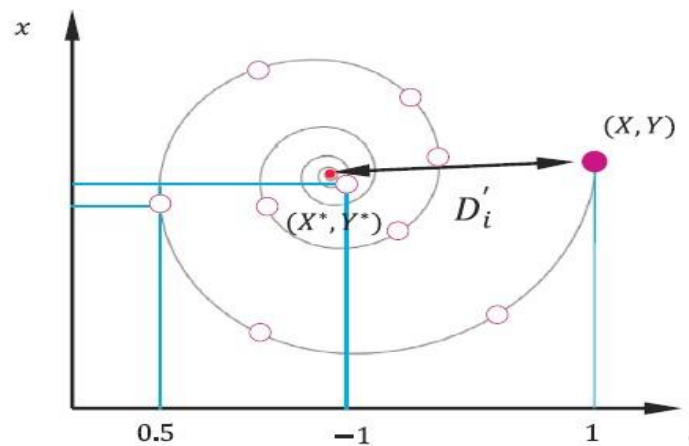


Figure II.6: Mécanisme de mise à jour de la position dans la spirale de recherche du filet à bulles [13].

II.4.3.3. Recherche de proies (phase d'exploration)

La même approche basée sur la variation du vecteur \vec{A} peut être utilisée pour la recherche de proies (exploration). En fait, les baleines à bosse fouillent au hasard en fonction de la position de l'autre. Par conséquent, nous utilisons \vec{A} avec les valeurs

aléatoires supérieures à 1 ou inférieures à -1 pour forcer l'agent de recherche à s'éloigner d'une baleine de référence. Contrairement à la phase d'exploitation, nous mettons à jour la position d'un agent de recherche dans la phase d'exploration en fonction d'un agent de recherche choisi, au lieu du meilleur agent de recherche trouvé jusqu'ici. Ce mécanisme et $|\vec{A}| > 1$ mettent l'accent sur l'exploration et permettent à l'algorithme baleine d'effectuer une recherche globale. Le modèle mathématique est le suivant :

$$\vec{D} = \vec{C} \cdot X_{rand} - \vec{X} \tag{II.32}$$

$$X(t+1) = X_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \tag{II.33}$$

Où X_{rand} est un vecteur de position aléatoire (une baleine aléatoire) choisi parmi la population actuelle. Certaines des positions possibles autour d'une solution particulière avec $\vec{A} > 1$ sont illustrées à la **Figure II.7**.

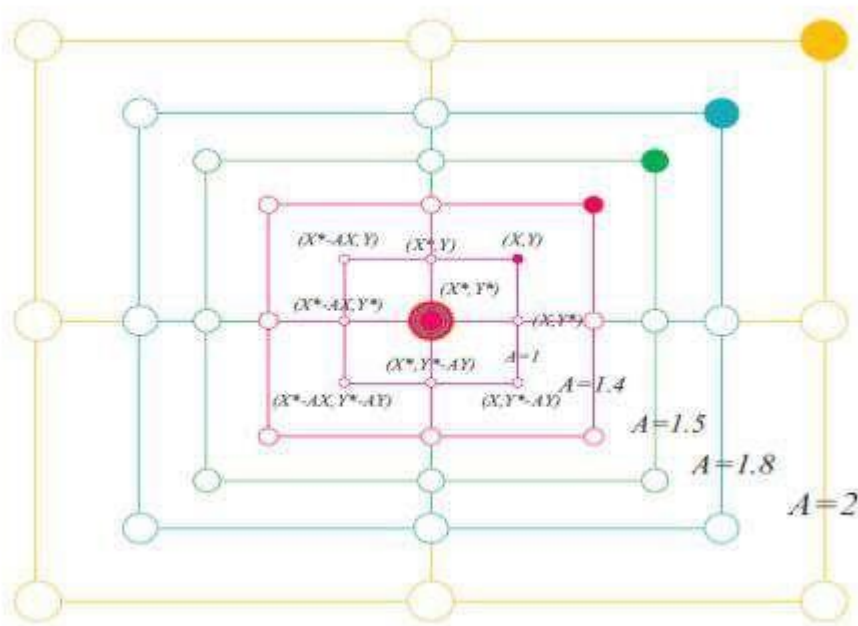


Figure II.7: Mécanisme d'exploration mis en œuvre dans le cadre de la baleine [18].

II.4.3.4. Algorithme de baleine

L'algorithme de baleine est présenté par la **Figure II.7**, d'un point de vue théorique, la baleine peut être considéré comme un optimiseur global car il inclut la capacité d'exploration/exploitation. De plus, le mécanisme hypercube proposé définit un espace

de recherche dans le voisinage de la meilleure solution et permet aux autres agents de recherche d'exploiter le meilleur enregistrement actuel dans ce domaine. La variation adaptative du vecteur de recherche A permet à l'algorithme baleine de passer en douceur de l'exploration à l'exploitation : en diminuant A , certaines itérations sont consacrées à l'exploration ($|A| \geq 1$) et le reste à l'exploitation ($|A| < 1$). Remarquablement, la méthode de la baleine ne comprend que deux paramètres internes principaux à régler (A et C).

Bien que des mutations et d'autres opérations évolutives aient pu être incluses dans la formulation de baleine pour reproduire pleinement le comportement des baleines à bosse, nous allons présenter une version très basique de l'algorithme de baleine [13].

L'algorithme de baleine est représenté si dessous [13] :

```

1  début
2    Générer la population initiale  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n_p$ )
3    Évaluer la valeur de la fonction objective pour chaque solution dans  $X_i$ 
4     $X^*$  est la meilleure solution
5    tant que  $t <$  nombre maximal d'itérations faire
6      pour  $i=1$  à  $n_p$  faire
7        Mettre à jour  $a, A, C, l$  et  $p$ 
8        si  $p < 0.5$  alors
9          si  $|A| < 1$  alors
10           Mettre à jour la position de chaque baleine selon l'équation
              (II.26)
11          sinon si  $|A| \geq 1$  alors
12            Sélectionnez une baleine aléatoire ( $X_{rand}$ )
13            Mettre à jour la position de chaque baleine selon l'équation
              (II.33)
14          fin
15        sinon si  $p \geq 0.5$  alors
16          Mettre à jour la position de chaque baleine selon l'équation (II.30)
17      fin

```

18 **fin**
19 Vérifier si une baleine dépasse l'espace de recherche
20 Calculer la valeur de la fonction objective de chaque baleine
21 Mettre à jour X^* s'il existe une meilleure solution
22 $t = t + 1$
23 **fin**
24 Retourner X^*
25 **fin**

II.5. Conclusion

Le présent chapitre, est consacré aux réseaux de distribution ainsi que leur EP et EPO, une méthode itérative a été présentée dite balayage. Cette méthode est exécutée en deux phases. Un balayage en montée, pour calculer les puissances, les pertes de puissance et les courants dans les branches de la ligne, et un balayage en descente, pour déterminer les tensions des nœuds et leurs phases à l'origine. Cette méthode est simple à mettre en œuvre et rapide, converge systématiquement dans le cas des réseaux de distribution. Une carte d'identification est présentée aussi pour la méthode métaheuristique d'optimisation baleine, proposée pour un écoulement de puissance optimale d'un réseau de distribution choisi.

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1. Introduction

Dans ce chapitre et pour traiter le problème de l'emplacement, et la taille optimal des GEDs à intégrer dans un réseau de distribution choisi, nous allons utiliser comme outils de simulation l'environnement MATLAB. Nos applications seront portées sur de réseau de distribution IEEE standard : 33 nœuds.

Pour déterminer l'emplacement et le dimensionnement optimal des GED, il est nécessaire de considérer une fonction objective à savoir ; minimisation des pertes actives sous quelques contraintes présentées dans le deuxième chapitre.

Toutes les simulations qui suivent ont été exécutées par un programme de calcul effectuant le PF par la méthode du balayage (BFS) puis par un OPF utilisant la méthode de baleine comme méthode d'optimisation, notons que ces deux méthodes sont présentées dans le deuxième chapitre.

Rappelons que ces calculs sont accomplis sous l'environnement MATLAB selon différents cas, à savoir :

Cas 01 : Un PF du réseau IEEE 33 bus (sans GED)

Cas 02 : Un OPF du réseau IEEE 33 bus (avec une GED)

Cas 03 : Un OPF du réseau IEEE 33 bus (avec deux GED)

III.2. Réseau de distribution IEEE 33-bus

Les caractéristiques du réseau de distribution IEEE 33-bus de la figure. III.1 sont données comme suit :

Nombre de jeux de barres =33 ;

Nombre de branches =32 ;

Jeu de barres de référence N° =1 ;

Tension de base =12,66 kV ;

Puissance de base = 100 MVA.

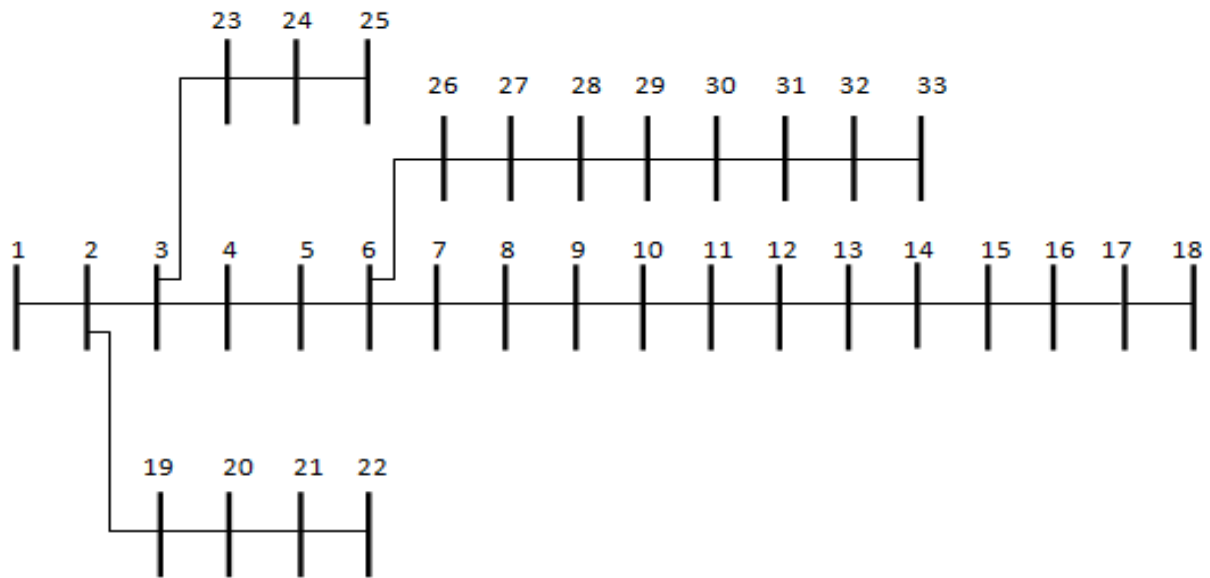


Figure. III.1. Réseau de distribution IEEE 33-bus

III.3. Résultats des calculs

Les applications et les simulations exécutées sur le réseau, élaborées par notre programme de calcul, sont présentées selon les cas suivants :

Écoulement des puissance - Cas1 (sans GED) :

Tableau. III.1. Grandeurs électriques du cas 1

Grandeurs électriques	Sans GED
Pertes actives totales	202.6771
Tension minimale	0.91306

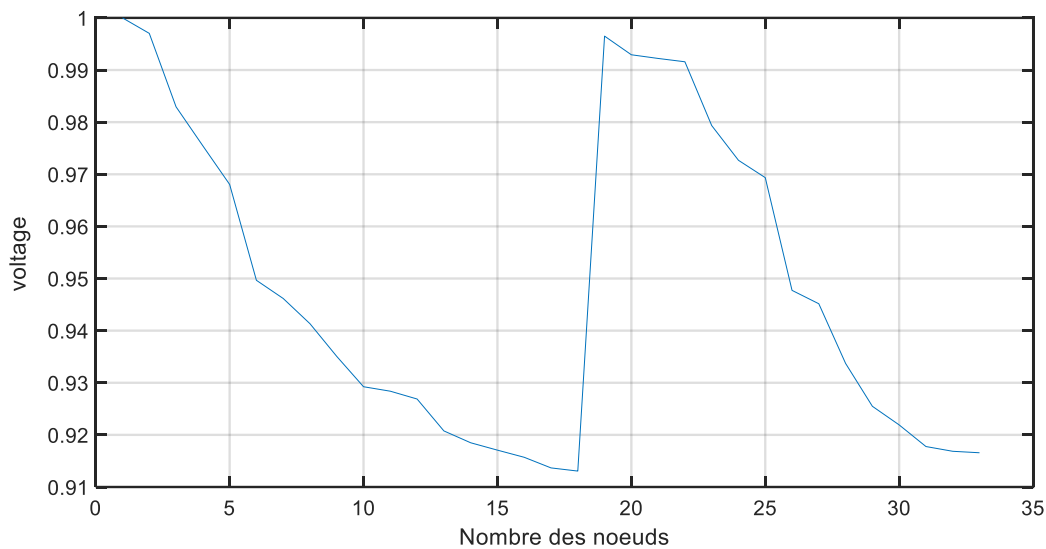


Figure. III.2. Tension à chaque jeu de barres du cas 1

Le **tableau. III.1.** Montre des résultats de l'écoulement de puissance du premier cas. On remarque que la tension minimale est égale à 0.9134 pu au niveau du jeu de barre N°18, et les pertes actives totales sont de 202.6771 KW

Écoulement des puissances optimal

Pour tous les cas proposés, la contrainte de la taille des GED est choisie tels que la sommes des puissances des GEDs ne dépasse pas les trente pourcents 30% de la puissance totale du réseau. Pour le minimum est choisi de dix pourcent 10%. Les nœuds sont tous candidats pour l'emplacement optimal sauf le nœud référence.

Cas2 (avec une GED) :

Les paramètres de la méthode de baleine appliquée pour l'ensemble des cas étudiés sont choisis tels que montrer dans le (Tableau.III.2) :

Tableau. III.2. Paramètres de la méthode baleine (WOA)du cas 2.

POPULATION	20
ITERATIONS MAXIMAL	50

La résolution de l'OPF a abouti aux valeurs des tailles et des emplacements des GEDs proposées, sont exposées dans le tableau III.3.

Tableau. III.3. Le résultat d'OPF (cas2)

GRANDEURS	Sans GED	Avec GED
Pertes actives totales kW	202.6771	133.0507
Pertes reactives totales kVAR	135.141	88.5738
emplacement optimal de GED	/	32
La taille optimal de GED kW	/	500
La taille optimal de GED Kvar	/	242.1611
TENSION MINIMALE PU	0.91306	0.92357

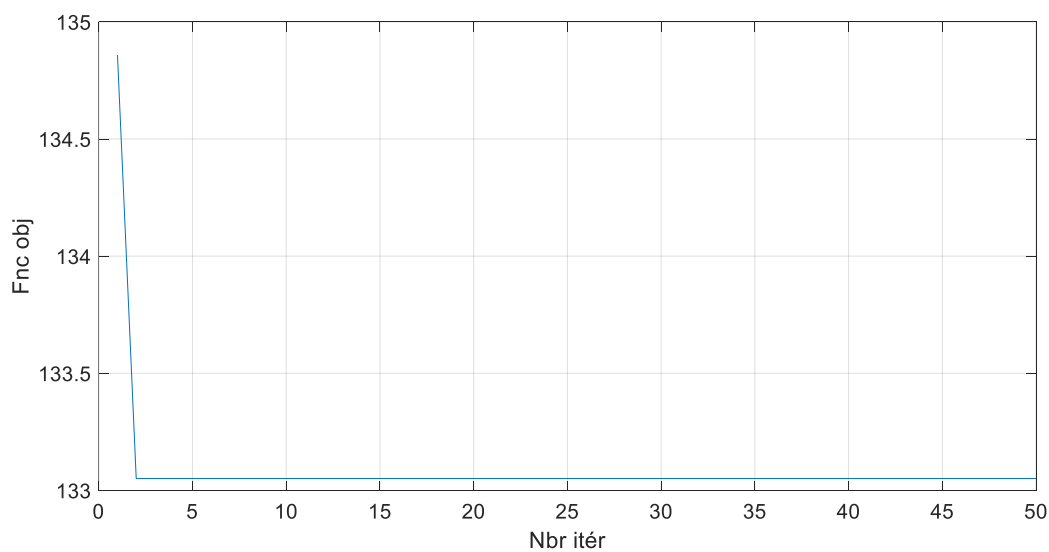


Figure. III.3. Convergence de la fonction objective.

La méthode WOA converge à partir la deuxième itération.

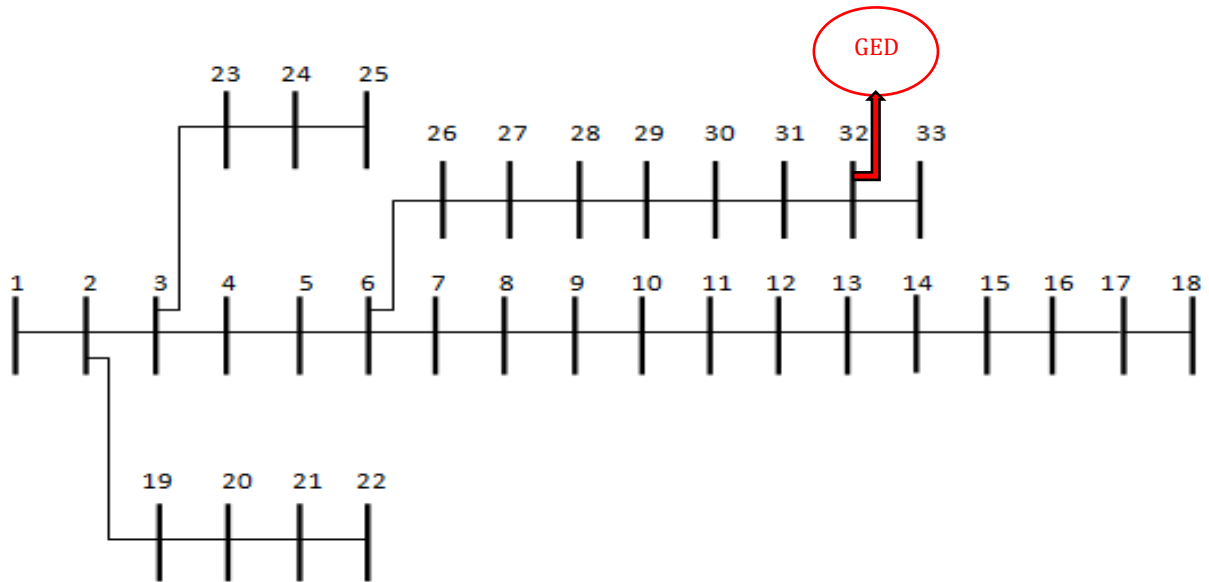


Figure. III.4. Réseau de distribution IEEE 33-bus avec l'insertion optimale d'une GED.

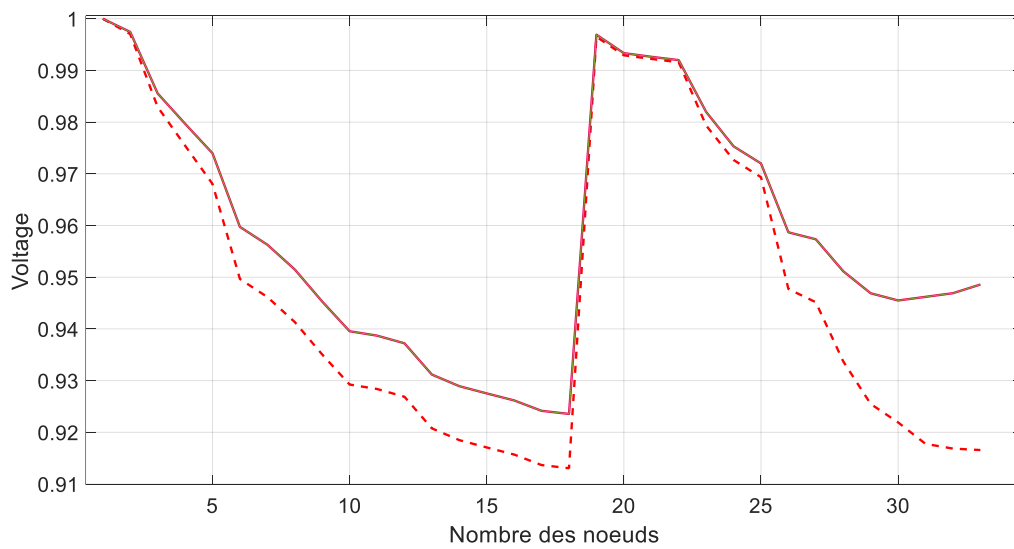


Figure. III.5. Tension à chaque jeu de barres du cas 2

Le tableau. III.3 Montre les résultats de l'OPF du deuxième « cas2 ». On remarque que la tension minimale est égale à 0.92357 pu au niveau du jeu de barres 18, elle a subi une correction de 0.01 pu.

Les pertes totales actives du réseau dans ce cas sont réduites de 34% environ où elles sont égales à 133.0507 kW.

Cas3 (avec 2 GED)

Tableau. III.4. Paramètres de la méthode baleine (WOA) du cas 3.

POPULATION	30
ITERATIONS MAXIMAL	50

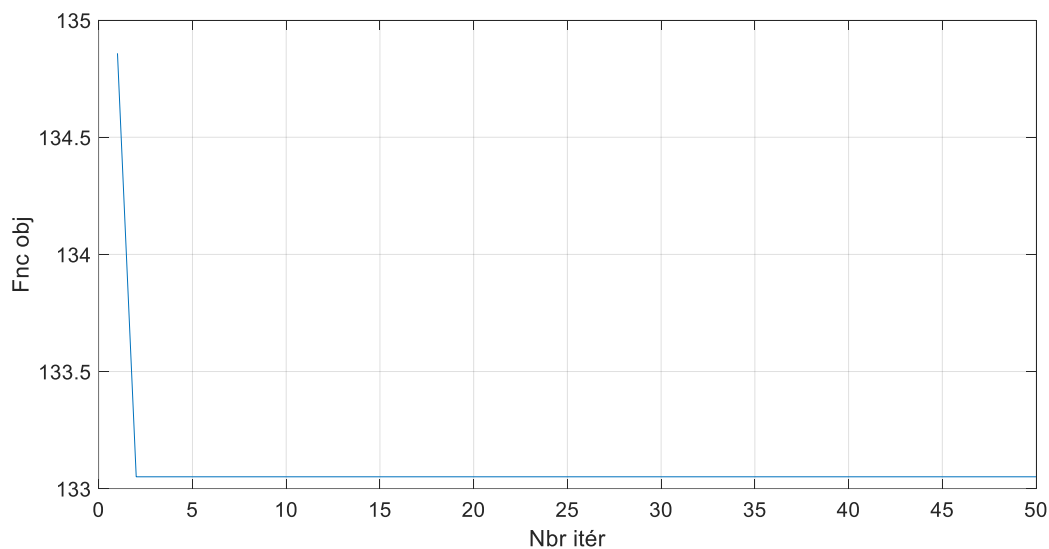


Figure. III.6. Convergence de la fonction objective.

Tableau. III.5. Le résultat de l'OPF (cas3)

GRANDEURS	Sans GED	Avec GEDs	
Pertes actives totales kW	202.6771	79.6172	
Pertes reactives totales kVAR	135.141	52.3103	
Emplacement optimal des GED	/	33	15
Taille optimale des GED kW	/	500	500
Taille optimale de la GED kVAR	/	242.1611	242.1611
Tension minimale	0.91306	0.95545	

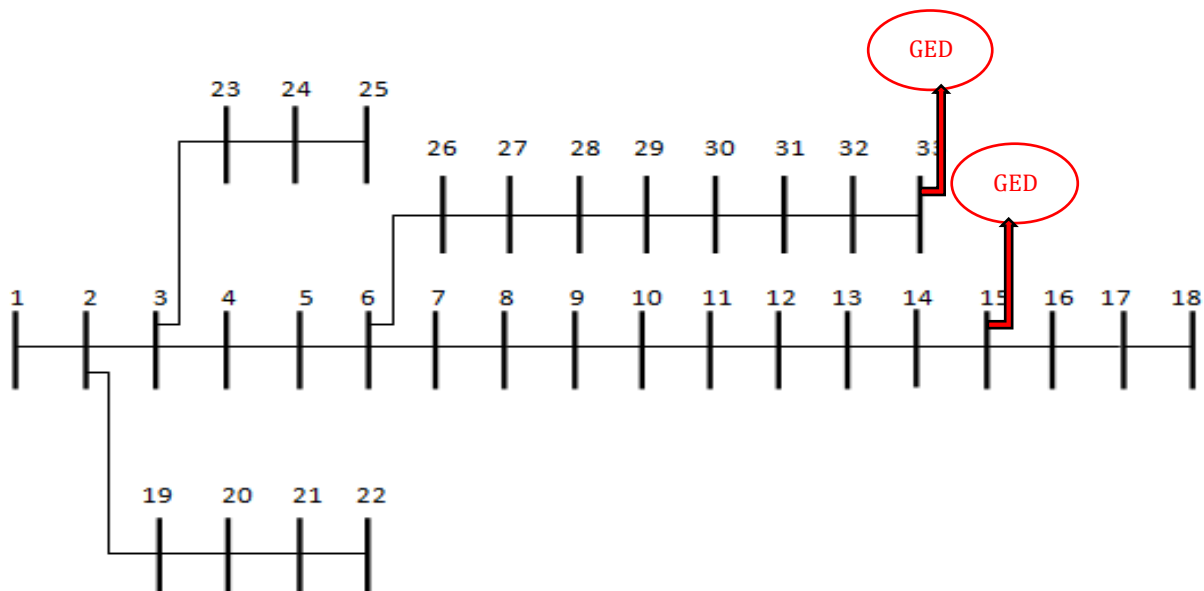


Figure. III.7. Réseau de distribution IEEE 33-bus avec l'insertion optimale de deux GED.

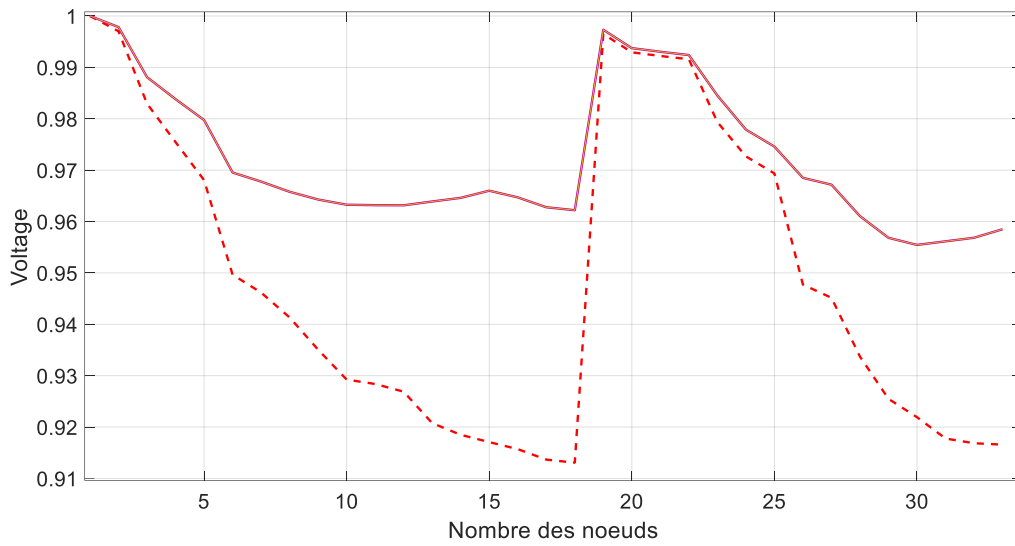


Figure. III.8. Tension à chaque jeu de barres du cas 3

Le profil de tension est soulagé visiblement après l'augmentation de nombres des GEDs à intégrer dans le réseau. On remarque que la tension minimale est égale à 0.95545 pu elle a subi une correction de 0.042 pu.

Les pertes totales actives du réseau dans ce cas ont diminué de 60% environ une réduction considérable comparée à celle atteinte par la méthode PSO qui touche les 47%, la comparaison est illustrée par la figure III.9 qui montre nettement l'efficacité de l'algorithme WOA adopté dans notre étude.

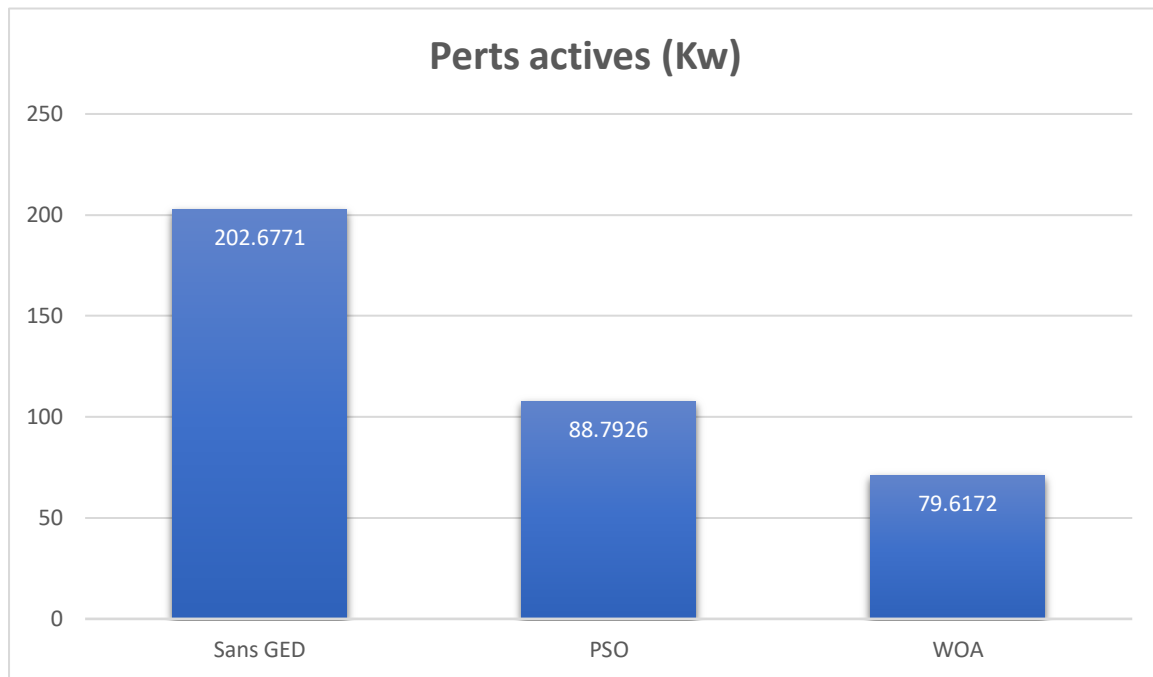


Figure. III.9. Pertes actives du réseau- 33noeuds

III.4. Conclusion

Dans cette partie de l'étude nous avons appliqué l'algorithme d'optimisation des baleines (WOA) pour résoudre le problème de localisation optimale de « un » à « trois » GEDs dans le réseau distribution IEEE 33 nœuds. La fonction objective considérée dans l'installation optimale des GEDs est la minimisation des pertes actives totales, tout en satisfaisant des contraintes considérées. L'efficacité de l'algorithme proposé pour résoudre le problème l'OPF dans les conditions posées a été vérifié sur plusieurs cas dans le réseau de distribution étudié. Une comparaison illustrative effectuée entre le PSO et le WOA a montré que l'algorithme WOA a de meilleure performance.

Conclusion générale

L'intégration des unités de production dites dispersées (GED) fournit des éventuels avantages aux réseaux de distribution. L'emplacement de ces unités devrait être soigneusement déterminé en tenant compte des différentes conditions liées à la stabilité, au plan de protection et au dimensionnement du réseau de distribution. Dans ce mémoire, nous avons étudié le problème de l'insertion de la production décentralisée dans les réseaux électriques de distribution.

La production décentralisée d'énergie électrique considérée parfois comme source incertaine et non contrôlable pour le système dont elle est raccordée, bénéficie actuellement d'une importance et prend une grande part dans l'opinion des industriels, des écologistes, et surtout des décideurs et politiciens. Elle n'est plus uniquement limitée à fournir de l'énergie dans les zones à accès difficiles, et répondre à des besoins importants des charges à proximité, elles s'étendent à l'utilisation saine des ressources à énergie renouvelables. L'injection d'énergie dans des réseaux qui n'avaient pas été conçus pour supporter de tels transites pouvant poser certains problèmes qui doivent être entourés par les producteurs et les gestionnaires de réseaux.

Notre travail entre dans ce contexte pour essayer de se familiariser avec ce nouveau profil des réseaux de distribution et de contourner ces GED en contrôlant leurs capacités productives et leur dimensionnement, ainsi leur emplacement dans les réseaux de distribution. Ce contrôle est assuré par une minimisation optimale des pertes de puissances totales dans le système choisie à l'insertion des GEDs.

Pour s'y faire, nous avons appliqué une méthode d'optimisation appelée WOA pour résoudre le problème de l'OPF dans notre réseau ciblé, à savoir ; IEEE 33 nœuds.

L'OPF fait appel à chaque recherche par le WOA à un écoulement des puissances par la méthode du balayage adaptée aux réseaux de distributions. Les résultats de nos simulations ont été présentés et discutés dans le troisième chapitre.

Les résultats nous mènent à tirer plusieurs constatations et conclusions, nous pouvons les résumer dans les points qui suivent :

- L'écoulement des puissances dans les réseaux de distributions tant que des réseaux à structures radiales adaptent des méthodes telles que la méthode du balayage différentes à celle connue dans les réseaux de transports.

- L'insertion des GEDs dans les réseaux de distributions ne modifie pas seulement la topologie et les nœuds du système, elle touche aussi comme prévu les transites, les pertes, et la distribution des grandeurs électriques comme la puissance et la tension.
- L'insertion optimale des GEDs dans les réseaux de distributions par l'algorithme WOA, a prouvé une efficacité marquée pour différents cas et réseaux.
- L'application du WOA est simple à programmer où elle n'utilise pas beaucoup de paramètres à ajuster et peu d'équations pour modéliser le phénomène.
- L'OPF adapter à la résolution du problème de l'insertion optimale des GED dans les réseaux de distributions étudiés à montrer une supériorité comparée à celle résolue par le PSO dans des conditions données.

De tout ce qui précède nous pouvons donner des perspectives liées à notre problème traité dans cette étude :

- Etendre l'étude à des systèmes plus complexes.
- Elaborer des applications pour des cas plus avancés tels que ; la dynamique de la charge, l'incertitude de la GED, et les incidents transitoires.
- Se comparer avec d'autres méthodes d'optimisation.

- [1] O. Richardot, « Réglage Coordonné de Tension dans les Réseaux de Distribution à l'aide de la Production Décentralisée ». Thèse Doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, Année 2006.
- [2] N. Bakhta, « La production décentralisée », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état, Université sciences et technologies Mohamed Boudiaf « USTO », 2016.
- [3] K. Foued, « étude des variations rapides de tension pour le raccordement d'une production décentralisée dans un réseau mt ». Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine, Année 2017.
- [4] B. Raid. B. Okba, « optimisation de l'emplacement et de la taille d'une production décentralisée dans un réseau de distribution par l'algorithme génétique ». Mémoire master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Année 2021.
- [5] Mr. Djamel, « Production Décentralisée Et Couplage Au Réseau ». Thèse Doctorat, Université Mentouri Constantine, Année 2008.
- [6] Mr. B Adel, « Modélisation et Simulation Comportementale des Systèmes à Energie Renouvelable par VHDL-AMS ». Thèse Doctorat, Université Ferhat Abbas- Setif, Année 2018.
- [7] N. Hacenna, « Intégration des énergies éoliennes dans le réseau électrique ». Mémoire master, Université 8 Mai 1945 Guelma, Année 2019.
- [8] B. Abdelkader, « Analyse des Réseaux HTA Futurs lors de l'Insertion d'une Production Décentralisée ». Thèse Doctorat, Université Frères Mentouri-Constantine, Année 2020
- [9] N. Ghanemi, « Etude de la tenue aux courant de court-circuit pour le raccordement d'une production décentralisée au réseau MT ». Mémoire de magister, Université Mentouri De Constantine, Année 2008
- [10] N. Attar H. Djemaa, « L'importance Du Marketing Dans Le Développement Du Marche Algérien Des Energies Renouvelables ». Revue des reformes Economique et intégration dans l'économie mondiale, Volume 12, Numéro 23, Pages 39-54, 2017

- [11] M. Abdelhakim B. Mouhyieddine, « Impact d'une Production Décentralisée sur un Réseau Electrique de Distribution ». Mémoire master, Université Amar Telidji- Laghouat, Année 2021
- [12] M. A. FONTELA GARCIA, « Interaction Des Réseaux De Transport Et De Distribution En Présence De Production Décentralisée ». Thèse Doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, Année 2008.
- [13] Z. Razika, « Optimisation de l'écoulement de puissance de réseau algérien utilisant l'algorithme des baleines avec intégration d'une source d'énergie renouvelable ». Mémoire master, Université Ziane Achour De Djelfa, Année 2019.
- [14] D. I. El Khalil, « Optimization of the generation dispersed in an electrical distribution network», Mémoire master, Année 2014.
- [15] D. Saad, E. Yakoub, « minimisation des pertes d'un réseau électrique de distribution en présence d'un générateur d'énergie dispersé par une méthode hybride PSO-Firefly », Mémoire master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Année 2021.
- [16] B. Sassa, T. Wissam, « Impact de la production décentralisée sur le plan de protection dans les réseaux de distribution », Mémoire master, Université A. Mira-Bejaia, Année 2020.
- [17] S. Safa, « Minimisation des pertes d'un réseau de distribution en présence de sources d'énergie dispersées ». Mémoire master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Année 2022.
- [18] H. Sami. N. Assil, « Optimisation de Contrôle DTC du Moteur à Induction Double Stator (MSDS) par l'Algorithme de Baleine WOA ». Mémoire master, Université Mohamed Boudiaf -Msila, Année 2022.
- [19] F. ALI Abdelkrim. L. Abbas R. Ayoub T. HAMED Youcef, « Résolution du problème de dispatching économique à l'aide d'une méthode d'optimisation métaheuristique ». Mémoire master, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, Année 2022.

ANNEXE

Tableau.A1.1. Caractéristiques techniques des branches du réseau de distribution radial IEEE 33-bus

Branche N°	Jeu de barres de départ	Jeu de barres d'arrivées	Résistance (Ω)	Réactance (Ω)
1	1	2	0.0922	0.0470
2	2	3	0.4930	0.2511
3	3	4	0.3660	0.1864
4	4	5	0.3811	0.1941
5	5	6	0.8190	0.7070
6	6	7	0.1872	0.6188
7	7	8	0.7114	0.2351
8	8	9	1.0300	0.7400
9	9	10	1.0440	0.7400
10	10	11	0.1966	0.0650
11	11	12	0.3744	0.1238
12	12	13	1.4680	1.1550
13	13	14	0.5416	0.7129
14	14	15	0.5910	0.5260
15	15	16	0.7463	0.5450
16	16	17	1.2890	1.7210
17	17	18	0.7320	0.5740
18	2	19	0.1640	0.1565
19	19	20	1.5042	1.3554
20	20	21	0.4095	0.4784
21	21	22	0.7089	0.9373

22	3	23	0.4512	0.3083
23	23	24	0.8980	0.7091
24	24	25	0.8960	0.7011
25	6	26	0.2030	0.1034
26	26	27	0.2842	0.1447
27	27	28	1.0590	0.9337
28	28	29	0.8042	0.7006
29	29	30	0.5075	0.2585
30	30	31	0.9744	0.9630
31	31	32	0.3105	0.3619
32	32	33	0.3410	0.5302

Tableau.A1.2. Caractéristiques techniques des jeux de barres du réseau de distribution Radial IEEE 33-bus

Nœuds N°	P (Kw)	Q (Kvar)
1	0	0
2	100	60
3	90	40
4	120	80
5	60	30
6	60	20
7	200	100
8	200	100
9	60	20
10	60	20
11	45	30

12	60	35
13	60	35
14	120	80
15	60	10
16	60	20
17	60	20
18	90	40
19	90	40
20	90	40
21	90	40
22	90	40
23	90	50
24	420	200
25	420	200
26	60	25
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	200	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40