

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux électriques
Présenté par :

DIF Daoud Abd Elaziz

LOUZI Youcef

Thème :

**Intégration optimale d'une production
décentralisée dans le réseau de distribution
pour différents types de charge**

M ^r BOUHADOUZA Boubekour	MCB	Président	UKM Ouargla
M ^r BOUKAROURA Abdelkader	MCB	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^r SADAOUI Fares	MCA	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2023/2024



Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement, à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage pour réaliser ce travail.


Nous tenons, à exprimer nos profondes gratitudees à notre encadreur Dr : BOUKAROURA Abdelkader.

Nos tenons à remercier également les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie Électrique.

Nous adressons aussi nos remerciements à tous nos amis et collègues, surtout ceux qui nous ont apportés leur soutien moral.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles pour leurs encouragements et leurs soutiens inconditionnelles et toute personne ayant contribué pour la réalisation de ce mémoire.





Dédicaces

Nous dédie ce travail :

A nous parents d'abord qui m nous ont aidé dans ma carrière universitaire et nous ont offert tout ce qu'ils pouvaient pour atteindre les plus hauts niveaux... Dieu les sauve.

A nous famille qui nous ont constamment encouragé.

A tous les amis et parents

A notre encadreur Dr. BOUKAROURA Abdelkader.

A tous les camarades d'étude en particulier le ceux du département de

Génie Electrique , promotion 2023/2024.

A tous ceux qui souhaitent nous voir réussir dans notre vie quotidienne.

LOUZI YUCEF



DIF Daoud Abd Elaziz

Sommaire

Liste d'abréviations et symboles	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1
Chapitre 01 : Réseaux de distribution et optimisation	
<hr/>	
1.1. Introduction.....	4
1.2. Structure des réseaux électriques.....	4
1.2.1 Production.....	5
1.2.2 Transport.....	6
1.2.3 Distribution.....	6
1.2.4 Consommation.....	7
1.3 Intégration de la production décentralisée ou réseau de distribution.....	7
1.3.1 Définition de la production décentralisée.....	7
1.3.2 Types de la production décentralisée.....	8
1.3.2.1 L'énergie éolienne.....	8
1.3.2.2 L'énergie photovoltaïque.....	8
1.3.2.3 L'énergie hydroélectrique.....	9
1.3.2.4 L'énergie géothermique.....	10
1.3.3 Avantages de la production décentralisée.....	10
1.3.4 Impacts de l'intégration de la production décentralisée sur les réseaux de distribution.....	10
1.3.4.1 Impact sur le sens de transit de puissance.....	10
1.3.4.2 Impact sur la stabilité du réseau.....	11
1.3.4.3 Impact sur le plan de protection.....	12
1.3.4.4 Impact sur l'observabilité et la contrôlabilité du système.....	13
1.3.4.5 Impact sur la continuité de service.....	13
1.3.4.6 Impact sur la qualité d'énergie.....	13
1.4 Modélisation des moyens de production décentralisée.....	13
1.4.1 Modélisation de la production décentralisée.....	13
1.5 Types de charge.....	14
1.6 Formulation du problème d'optimisation.....	14
1.6.1 Fonction objectif.....	15
1.6.2 Contraintes d'égalités.....	15
1.6.3 Contraintes d'inégalités.....	15
1.7 Algorithme d'optimisation de libellule (DA).....	16
1.7.1 Séparation (S).....	17
1.7.2 Alignement (A).....	17
1.7.3 Cohésion (C).....	17

1.7.4 Attraction vers la source de nourriture (F).....	18
1.7.5 Echapper des ennemis (E).....	18
1.8 Application de l’algorithme de libellule (DA).....	19
1.9 Conclusion.....	20

Chapitre 2 : Résultats de simulation

2.1 Introduction.....	22
2.2 Applications numériques	22
2.2.1 Application au réseau test IEEE 69 jeux de barres avec charge constante.....	24
2.2.1.1 Cas 1 : Sans intégration de DG.....	24
2.2.1.2 Cas 2 : Avec intégration de trois DGs.....	26
2.2.2 Application au réseau test IEEE 69 jeux de barres avec charge industrielle.....	28
2.2.2.1 Cas 1 : Sans intégration de DG.....	28
2.2.2.2 Cas 2 : Avec intégration de trois DGs	29
2.2.3 Application au réseau test IEEE 69 jeux de barres avec charge résidentielle.....	30
2.2.3.1 Cas 1 : Sans intégration de DG.....	30
2.2.3.2 Cas 2 : Avec intégration de trois DGs.....	31
2.2.4 Application au réseau test IEEE 69 jeux de barres avec charge commerciale.....	32
2.2.4.1 Cas 1 : Sans intégration de DG.....	32
2.2.4.2 Cas 2 : Avec intégration de trois DGs.....	33
2.3 Conclusion.....	34
Conclusion générale	36
Bibliographie.....	37
Annexe.....	40

Liste d'abréviations et symboles

Abréviations

HT	: Haute Tension
MT	: Moyenne Tension
BT	: Basse Tension
HTA	: Haute Tension A
HTB	: Haute Tension B
BTA	: Basse Tension A
BTB	: Basse Tension B
TBT	: Très Basse Tension
KV	: Kilo Volts
MW	: Méga Watts
GW	: Giga Watts
MWh	: Méga Watts heure
JB	: Jeu de barres
DG	: Distributed Generation
DA	: Dragonfly Algorithme

Symboles

ΔV	: Variation de tension
P_{Loss}	: Pertes de puissance active
Q_{Loss}	: Pertes de puissance réactive
P	: Puissance active
Q	: Puissance réactive
X	: Réactance de la ligne
R	: Résistance de la ligne
S	: Séparation
A	: Alignement
C	: Cohésion
F	: Attraction vers la source de nourriture
E	: Echapper les ennemies
$X+$: Positions de la source nutritionnelle
$X-$: Position de l'ennemi
X	: Position de l'individu
α	: paramètre de forme
β	: paramètre de forme
P_{DG}	: puissance totale de DG

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1.1 : Hiérarchisation d'un réseau électrique en fonction de leurs tensions et leurs architectures	4
Figure 1.2 : Evolution présente et future de la production mondiale nette d'électricité par source d'énergie,2012–2040 (milliard de kilowattheures).....	5
Figure 1.3 : Puissance installée par source	6
Figure 1.4 : Courbe de charge de la journée du 17 juillet 2017... ..	7
Figure 1.5 : Schéma de principe d'une production éolienne connectée au réseau.....	8
Figure 1.6 : Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau.....	9
Figure 1.7 : Schéma de principe d'une production hydroélectrique connectée au réseau.....	9
Figure 1.8 : Impact de la production décentralisée sur les transits de puissance.....	11
Figure 1.9 : Problème d'aveuglement de protection.....	12
Figure 1.10 : Problème de déclenchement intempestif des protections.....	13
Figure 1.11 : Essais de libellules dynamiques.....	16
Figure 1.12 : Essais de libellules statiques.....	17
Figure 1.13 : Mise à jour de la position des individus des libellules.....	19

Chapitre 2

Figure2.1 : Représentation simplifiée du réseau de distribution IEEE 69 jeux de barres.....	22
Figure 2.2 : Profile de tension du réseau IEEE 69 jeux de barres (cas 1).....	24
Figure 2.3 : Pertes de puissances active et réactive dans les branches du réseau IEEE 69 jeux de barres (Cas 1).....	25
Figure 2.4 : Courbe de convergence de DA du réseau IEEE 69 jeux de barres (Cas 2).....	26
Figure 2.5 : Profile de tension du réseau IEEE 69 jeux de barres (Cas 2).....	26
Figure 2.6 : Profile de tension du réseau IEEE 69 jeux de barres (cas 1).....	28
Figure 2.7 : Profile de tension du réseau IEEE 69 jeux de barres (Cas 2).....	29
Figure 2.8 : Profile de tension du réseau IEEE 69 jeux de barres (cas 1).....	30
Figure 2.9 : Profile de tension du réseau IEEE 69 jeux de barres (Cas 2).....	31
Figure 2.10 : Profile de tension du réseau IEEE 69 jeux de barres (cas 1).....	32
Figure 2.11 : Profile de tension du réseau IEEE 69 jeux de barres (Cas 2).....	33

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Types de charge14

Tableau 2.1 : Identification de la topologie du réseau de distribution IEEE-69 Jeux de barres.....23

Tableau 2.2 : Ecoulement de puissances pour le réseau de distribution IEEE-69 jeux de barres.....23

Tableau 2.3 : Résultats de simulation du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2).....27

Tableau 2.4 : Les pertes total de puissance active et la valeur de tension28

Tableau 2.5 : Résultats de simulation du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2).....29

Tableau 2.6 : Les pertes total de puissance active et la valeur de tension30

Tableau 2.7 : Résultats de simulation du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2).....31

Tableau 2.8 : Les pertes total de puissance active et la valeur de tension32

Tableau 2.9 : Résultats de simulation du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2).....33

Tableau A.1 : Caractéristiques techniques des branches du réseau de distribution IEEE-69 jeux de barres.....40

Tableau A.2 : Caractéristiques techniques des jeux de barres du réseau de distribution IEEE -69 jeux de barres.....42

Introduction générale

Introduction générale

La grande partie de la demande mondiale en électricité est satisfaite par des centrales électriques conventionnelles. Ces centrales dans leurs majorités sont à base de combustibles fossiles qui émettent des gaz très dangereux pour l'environnement. La question du réchauffement climatique est également un sujet de préoccupation qui est soulevé par ces centrales. Un autre problème qu'on ne peut pas ignorer est la quantité limitée de combustibles fossiles sur la terre, ainsi que le taux de leurs formations qui est très inférieur par rapport au taux de consommation. Donc, à l'heure actuelle, il nous reste de moins en moins de combustibles fossiles, ce qui peut répondre à nos besoins énergétiques pendant quelques décennies seulement [1].

Parmi les trois principales composantes d'un système électrique que sont la génération, le transport et la distribution, cette dernière reste la partie la plus cruciale en termes d'impact sur la fiabilité, la qualité et le coût d'électricité [2]. La principale mission d'un réseaux électrique (Transmission & Distribution) est de fournir l'énergie électrique aux consommateurs sur leur lieu de consommation et sous une forme prête à exploiter [3]. Particulièrement, les réseaux de distribution ont pour but d'acheminer l'électricité d'un réseau de transport ou de répartition jusqu'au consommateurs finaux. En raison de la simplicité des opérations de contrôle et de protection, ces réseaux sont exploités de manière centralisée et verticale avec des topologies radiales ou faiblement maillées, présentant une valeur élevée du rapport (R / X), ce qui entraîne un profil de tension incorrect et des pertes de puissance importantes.

Cependant, nous pouvons considérer ce qui se passe actuellement au niveau des réseaux de distribution à partir des évolutions de la structure physique et organisationnelle comme un résultat inévitable d'une gamme d'influences, dont la plus importante est l'intégration croissante des unités de la Génération Distribuée (DG). Ces réseaux passant d'une grande génération centralisée à l'intégration ou l'incorporation de sources décentralisées supplémentaires avec des capacités de génération relativement limitées et connectées directement au réseau. Par conséquent, une intégration optimale de la génération distribuée présente de nombreux avantages (techniques, environnementaux et économiques) [4].

La production décentralisée introduit des changements radicaux sur les métiers de la génération, du traitement et de la distribution de l'énergie électrique et remet en cause la planification, la conception, le fonctionnement et l'exploitation de ces réseaux. En effet, ces réseaux n'ont pas été conçu dans cette optique (raccordement d'unités de production à « grande échelle ») et la possibilité d'introduire ces sources d'énergie au sein de ces réseaux

peut avoir des conséquences importantes sur la circulation des flux énergétiques et donc sur la philosophie et l'implémentation du système de gestion et de la protection du réseau. Par ailleurs, cette forme de production, de par sa nature distribuée, a le potentiel de permettre une meilleure sécurisation des infrastructures [5].

Dans ce travail, nous intéressons au problème de l'intégration de la production décentralisée dans les réseaux de distribution en tenant compte de différents types de charge constante, industrielle, résidentielle et commerciale. L'objectif principal de ce travail est l'application d'un algorithme d'optimisation méta-heuristique pour l'intégration de la production décentralisée ou distribuée dans les réseaux de distribution. Cette méthode vise à faciliter l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux de distribution pour minimiser les pertes totales de puissance active et améliorer le profil de tension du réseau de distribution.

Ce travail comprend deux chapitres. Le premier chapitre est consacré à quelques généralités sur les réseaux électriques, plus particulièrement les réseaux de distribution. Il mènera ensuite à une présentation de la production décentralisée avec les technologies utilisées, et il indiquera leurs impacts sur les réseaux électriques. Enfin, il s'intéresse à une méthodologie de planification optimale des DGs dans les réseaux de distribution s'appuyant sur l'application d'un algorithme d'optimisation méta-heuristique appelé algorithme d'optimisation de libellule (Dragonfly Algorithm (DA)).

Dans le deuxième chapitre, nous présentons le réseau test IEEE- 69 jeux de barres utilisé pour l'évaluation de la méthode d'optimisation DA. Ensuite, nous présentons et discutons les résultats de l'application de cet algorithme sur ce réseau test.

Enfin, ce mémoire se terminera par une conclusion générale et perspective.

Chapitre 1

1.1 Introduction

Les réseaux électriques sont les infrastructures qui permettent d'acheminer l'énergie électrique des installations de production jusqu'aux consommateurs. En Algérie, les réseaux électriques utilisent le courant alternatif triphasé sinusoïdal à la fréquence de 50 Hz. Il comprend des milliers de composants (Générateurs, transformateurs, lignes, système de protection, etc.) [6].

La libéralisation du marché de l'énergie électrique, les préoccupations environnementales liées au changement climatique et l'arrivée massive de la production décentralisée (DGs) amènent des transformations importantes sur ces réseaux. Pour faire face à ces défis, les autorités prennent des mesures pour moderniser les infrastructures du réseau électrique, afin d'assurer sa gestion, sa sécurité et sa fiabilité.

Dans ce premier chapitre, on présentera, dans un premier lieu, la structure des réseaux électriques. Ensuite, l'intégration des DGs aux réseaux sera discutée en basant sur les impacts de ce type de production et les solutions proposées pour limiter ces impacts.

Afin de garantir une meilleure intégration des DGs dans le réseau de distribution, nous proposons, dans ce travail, l'utilisation d'un algorithme d'optimisation méta-heuristique appelé algorithme d'optimisation de libellule (Dragonfly Algorithm (DA)). Cet algorithme est adapté pour l'optimisation de l'emplacement et de la taille des DGs pour différents types de charge afin d'obtenir le minimum des pertes totales de la puissance active dans le réseau.

1.2 Structure des réseaux électriques

Le réseau électrique est hiérarchisé par niveau de tension, celui-ci est fractionné en trois principales subdivisions. La figure 1.1 illustre la hiérarchisation d'un réseau électrique en fonction de leur tension [7].

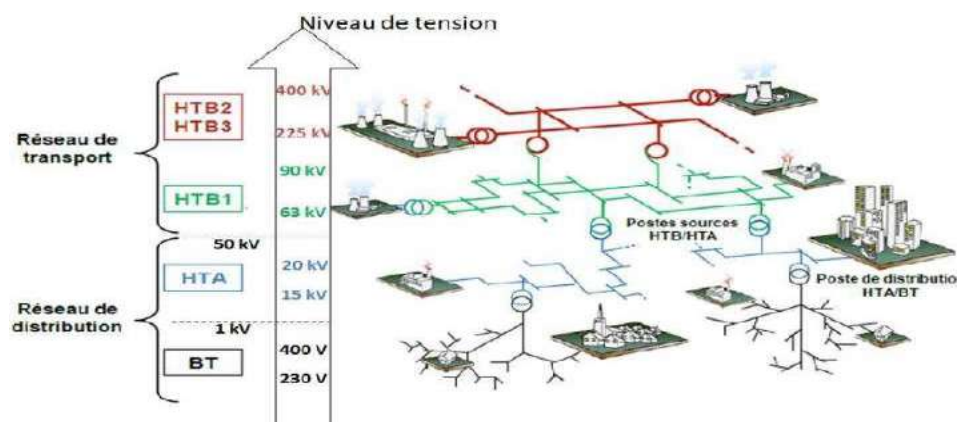


Figure 1.1 : Hiérarchisation d'un réseau électrique en fonction de leurs tensions et leurs architectures

En général, on distingue quatre fonctions principales du système électrique :

- Production ,
- Transport ,
- Distribution,
- Consommation

1.2.1 Production

Historiquement, l'énergie électrique est produite d'une manière centralisée par de grandes centrales éloignées des zones de consommation et connectées au réseau de transport via des transformateurs élévateurs. Ces grands alternateurs sont ordinairement des machines synchrones entraînées par des turbines. Les sources d'énergie primaire classiques entraînant ces turbines sont principalement des énergies fossiles, nucléaires ou hydrauliques.

La puissance de ces centrales peut aller de quelques centaines de mégawatt pour les petites centrales à gaz ou à charbon, à 1650 MW pour les tranches des centrales nucléaires de dernière génération. Les centrales de production peuvent être différenciées selon le type d'énergie primaire qui entraîne leurs alternateurs.

La Figure 1.2 présente l'évolution de la production mondiale d'électricité par différentes sources d'énergie [8]

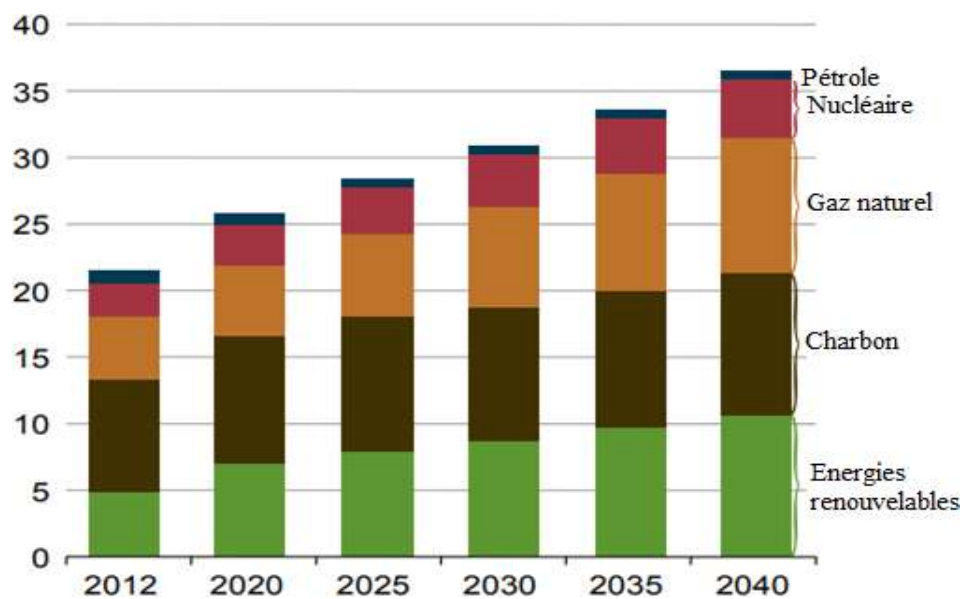


Figure 1.2: Evolution présente et future de la production mondiale nette d'électricité par source d'énergie, 2012–2040 (milliard de kilowattheures).

En Algérie par exemple, la capacité de production d'électricité installée a connu ces dernières années une évolution conséquente. Celle-ci est passée de 7492 MW en 2005 à 17238,6 MW en 2015, soit près de 10000 MW de plus mise en service en dix ans.

La répartition de la puissance installée par source pour l'année 2015 est illustrée dans la Figure 1.3 [9].

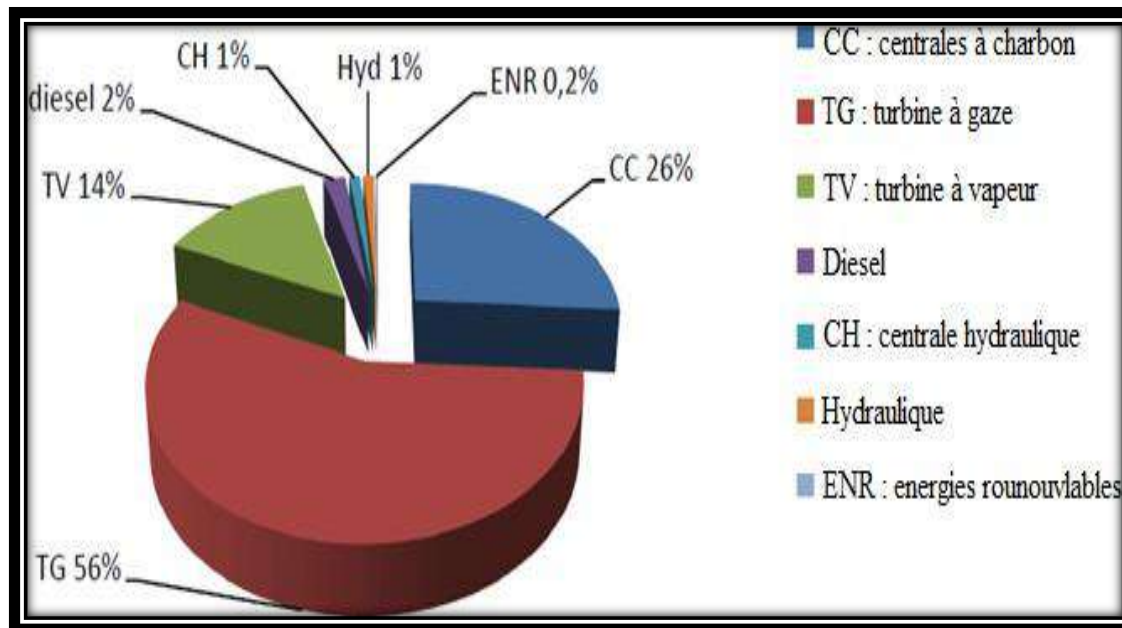


Figure 1.3 : Puissance installée par source

Certaines des sources explorées sont les sources renouvelables, telles que les énergies solaires, éoliennes et marémotrices.

1.2.2 Transport

La transmission de l'énergie électrique produite dans les centrales de production aux réseaux de distribution est assurée par les réseaux de transport. Cela est fait sur des longues distances et à des niveaux de tension très élevées (de 400 kV à 60 kV) . Les réseaux de répartition alimentent principalement les gros clients industriels comme les entreprises ferroviaires et les réseaux de distribution par exemple. Du point de vue topographique, pour des réseaux de transport robuste et pour des raisons principalement liées à la sécurité de fonctionnement, ces réseaux sont des réseaux maillés.

1.2.3 Distribution

Les réseaux de distribution constituent l'architecture la plus importante du système électrique. Ils assurent la distribution de l'énergie électrique au niveau local. Leurs tensions sont inférieures ou égales à 50 KV (HTA). Ils sont constitués de deux types de réseaux : le réseau moyenne tension (MT) avec un niveau de 10 et 30 KV connecté au réseau de transport, et le réseau basse tension (BT) de tension 0,4 KV [10].

1.2.4 Consommation

Dans un système électrique, les consommateurs appelés charges sont caractérisés par leurs puissances actives et réactives consommées. De ces puissances mesurées sur un certain intervalle de temps sont déduites les puissances maximales (de pointe) et moyennes. Par la mesure des courants dans les postes de transformation entre les réseaux de transport et de distribution, des courbes de consommation appelées courbes de charge sont tracées pour connaître l'évolution des charges au cours du temps (figure I.4). Elles permettent aux gestionnaires de réseau de prédire l'évolution de la consommation sur les réseaux et donc, entre autre, de définir les plans prévisionnels de production [10].

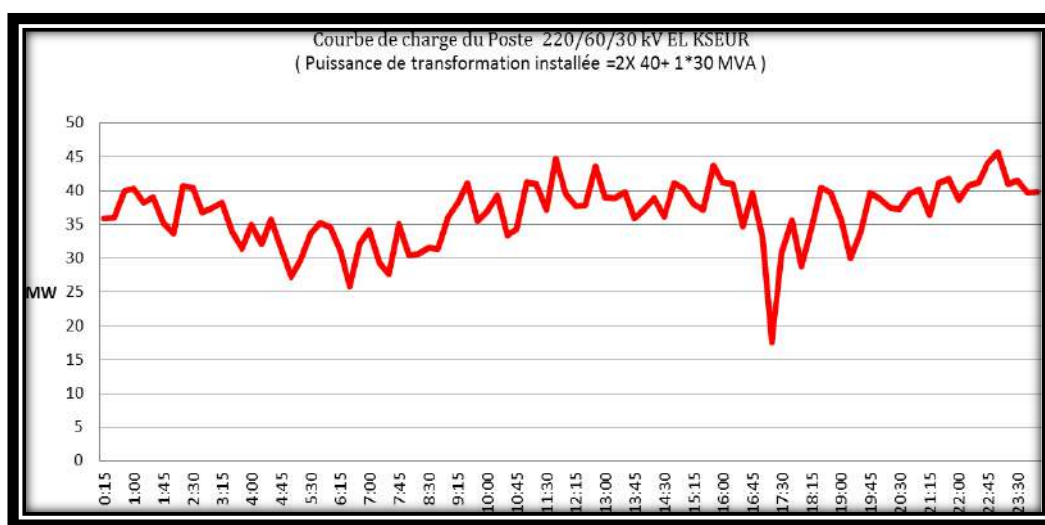


Figure. 1.4 : Courbe de charge de la journée du 17 juillet 2017

1.3 Intégration de la production décentralisée au réseau de distribution

1.3.1 Définition de la Production décentralisée

La production décentralisée ou dispersée se définit par opposition à la production classique, par unités de grosses puissances raccordées au réseau HT, dont la localisation et la puissance ont fait l'objet d'une planification, et qui sont commandées de manière centralisée pour participer au contrôle de la fréquence et de la tension, et assurer un fonctionnement fiable et économique de l'ensemble du réseau. Ces unités centralisées sont dites «dispatchables» [11]. Par rapport aux unités classiques, les unités décentralisées sont caractérisées par des puissances ne dépassant pas 50 à 100 MW, ne sont pas planifiées de manière centralisée, ni actuellement coordonnées, elles sont généralement raccordées au réseau de distribution (<15 MW) et ne sont pas non plus actuellement destinées à assurer des services systèmes. Cette production décentralisée se développe dans tous les pays, sur base d'unités de cogénération, d'énergies renouvelables ou de production traditionnelle, installées par des producteurs indépendants [12].

1.3.2 Type de la production décentralisée

1.3.2.1 L'énergie éolienne

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la Terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers. À l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an. La machine se compose de 3 pales (en général) portées par un rotor et installées au sommet d'un mât vertical. Cet ensemble est fixé par une nacelle qui abrite un générateur. Un moteur électrique permet d'orienter la partie supérieure afin qu'elle soit toujours face au vent. Les pales permettent de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. La vitesse de rotation des pales est fonction de la taille de celles-ci. Plus les pales seront grandes, moins elles tourneront rapidement [13].

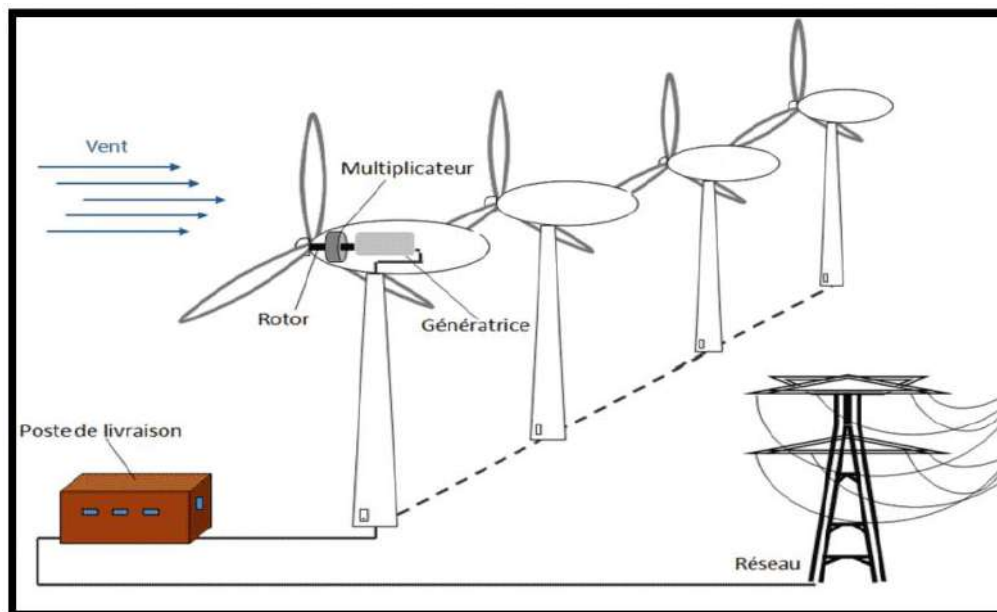


Figure.1.5: Schéma de principe d'une production éolienne connectée au réseau

1.3.2.2 L'énergie photovoltaïque

Le solaire photovoltaïque est une source d'électricité nécessitant un moyen de stockage ou une liaison avec le réseau électrique. Ce type d'énergie renouvelable est issu directement de la captation du rayonnement solaire.

Le photovoltaïque a l'avantage de produire de l'énergie là où elle est consommée. On peut implanter des panneaux photovoltaïques sur des surfaces bâties exposées au soleil.

Le principe d'une cellule photovoltaïque est de transformer des photons absorbés par un semi-

conducteur en porteurs de charges électriques (électrons et trous).

Cette création de charges va entraîner la création d'une différence de potentiel aux bornes d'électrodes et d'un courant électrique dans un circuit connecté aux électrodes. [14]

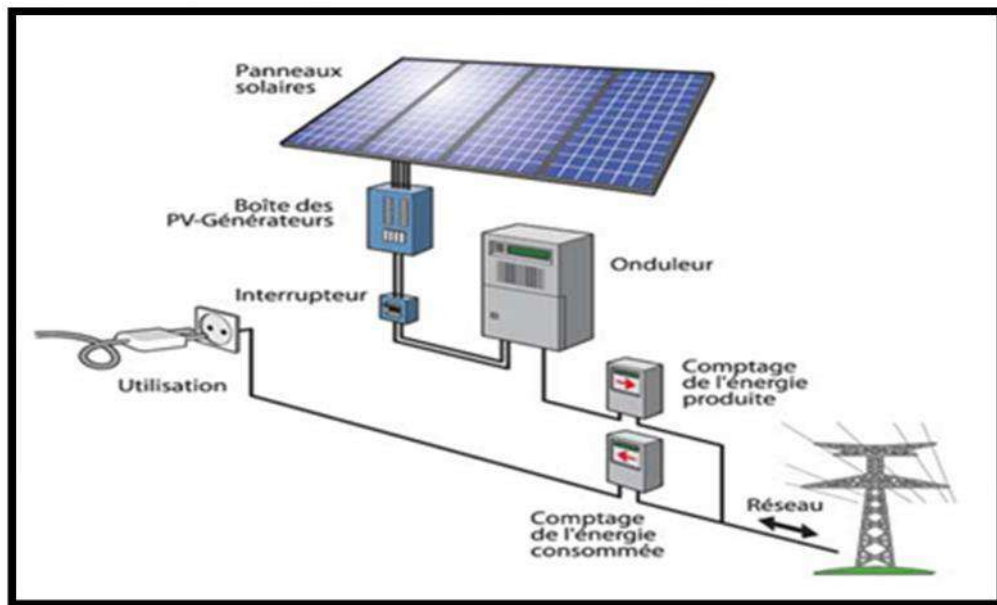


Figure.1.6 : Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau

1.3.2.3 L'énergie hydroélectrique

L'hydroélectricité est une énergie électrique renouvelable qui est issue de la conversion de l'énergie hydraulique en électricité. L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine, puis en énergie électrique par un alternateur.

L'hydroélectricité constitue la première source renouvelable et la troisième source générale de production électrique au monde (15.3 % en 2021) [15].

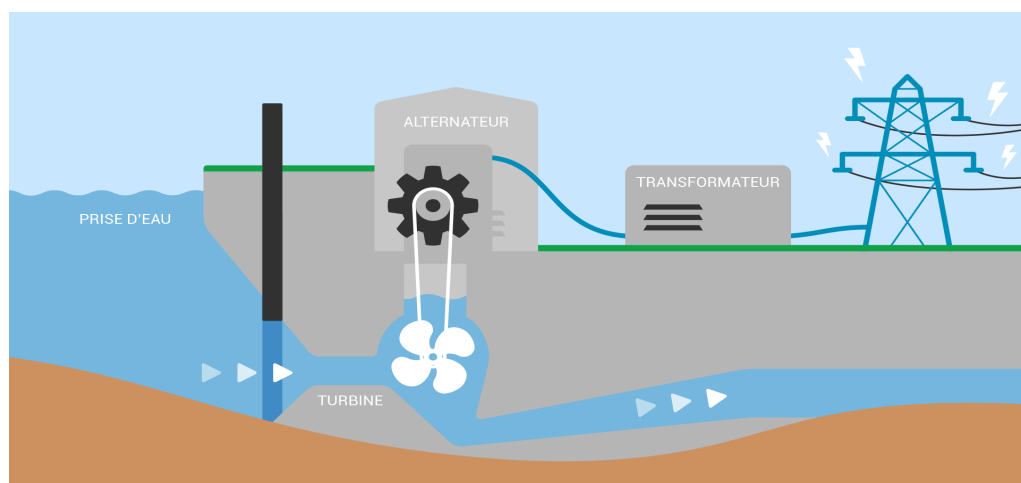


Figure.1.7: Schéma de principe d'une production hydroélectrique connectée au réseau

1.3.2.4 L'énergie géothermique

La géothermie désigne l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur. Classiquement, trois types de géothermie sont distingués selon le niveau de température disponible à l'exploitation :

- ✚ La géothermie à haute énergie
- ✚ La géothermie de basse énergie.
- ✚ La géothermie de très basse énergie.

Pour utiliser cette énergie souterraine, on envoie de l'eau froide sous la Terre. Cette eau froide se réchauffe. Elle est alors pompée et ramenée à la surface où elle est utilisée soit pour produire de l'électricité dans une centrale, soit directement en tant qu'eau chaude dans les logements (eau chaude pour la douche, les radiateurs...)[16]

1.3.3 Avantages de la production décentralisée

Les DGs peuvent être installées près des sites de consommation, réduisant ainsi le coût de transport, les pertes en lignes, et l'appel de puissance réactive au niveau du poste source. D'autre part, le temps d'installation est plus court que pour la production centralisée et les sites d'installation sont plus faciles à trouver. Enfin, les nouvelles technologies mises en œuvre sont plus propres ; et l'utilisation des producteurs décentralisés en cogénération améliore nettement le rendement énergétique global de l'installation et donc son attrait économique.[17]

1.3.4 Impacts de la production décentralisée sur les réseaux de distribution

L'insertion de la DG au sein du réseau de distribution existant n'est pas sans impact sur l'exploitation et le fonctionnement de ce dernier. Les principaux impacts à rappeler sont les suivants :

1.3.4.1 Impact sur le sens de transit de puissance

L'un des premiers impacts liés à l'introduction de la DG dans un réseau de distribution qui vient à l'esprit concerne la modification des transits de puissances. Sur la figure (1.8.a), la représentation du transit de puissance active est donnée pour un réseau de distribution sans DG. Pour ce réseau, les flux de puissance sont unidirectionnels et proviennent du réseau de transport. Quand une DG de puissance 5 MW est introduite au nœud 5 (figure 1.8.b), elle alimente la charge connectée au même nœud et exporte de la puissance vers les autres charges, les flux de puissance deviennent alors bidirectionnels. Il peut arriver, selon l'état de charge du réseau, le nombre et la taille des DG, qu'on se trouve dans une situation d'exportation d'énergie vers le réseau de transport comme illustré dans la figure (1.8.c), si on connecte des DG au nœud 3 de 5 MW et au nœud 5 de 6 MW [18-19].

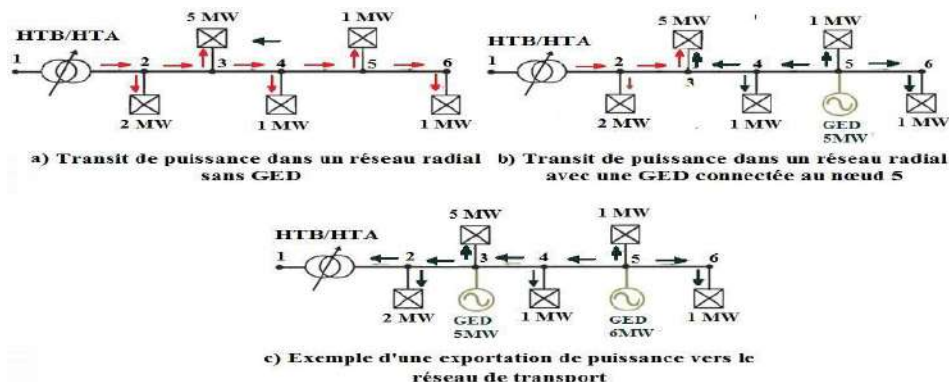


Figure. 1. 8 : Impact de la production décentralisée sur les transits de puissance

1.3.4.2 Impact sur la stabilité du réseau

➤ Fiabilité de l'alimentation :

La fiabilité de l'alimentation électrique est cruciale pour le fonctionnement du réseau. L'équilibre entre la production et la charge est primordial pour la sécurité et la fiabilité du système. La nature intermittente de plusieurs types de DG (par exemple l'énergie solaire et l'énergie éolienne) peut poser un sérieux problème, car l'opérateur de réseau doit être en mesure de planifier la quantité de production afin de respecter la charge demandée. De même, un excès de production pourrait nuire à l'équilibre du système en raison de la limitation des capacités d'exportation. Cela peut être vu pendant les périodes où la pénétration de l'énergie éolienne est élevée. Afin d'atténuer cela, la DG devrait être réduite afin de maintenir l'équilibre entre la production et la charge [7].

➤ Stabilité transitoire :

L'intégration de la DG dans le réseau de distribution a modifié la topologie du système. La participation

de DG à la production active d'énergie nécessite que l'opérateur évalue la stabilité transitoire et la stabilité dynamique à long terme du système. Différents types de DG introduisent différents niveaux d'instabilité dans le système. Pour y remédier, une bonne coordination et des mesures de contrôle appropriées doivent être prises. Il est également important d'observer le niveau de pénétration de la DG.

Un niveau plus élevé de pénétration de la DG pourrait affecter la stabilité du système. Différents facteurs tels que le point de fonctionnement, l'emplacement de l'interconnexion et les paramètres de contrôle de la DG influent sur la stabilité inter-zones. Il est nécessaire de procéder à une analyse approfondie pour déterminer le point de fonctionnement réalisable des DG [7].

Dans la partie précédente, les impacts de l'insertion de la DG sur les grandeurs électriques ont été mis en évidence. Ceux-ci laissent penser que le réseau de distribution n'a pas été conçu pour accueillir ces unités. Nous allons donc détailler dans ce qui suit les impacts possibles de l'insertion de la DG sur le plan de protection et sur les calculs technicoéconomiques réalisés en planification.

1.3.4.3 Impact sur le plan de protection

Le plan de protection est un système coordonné de protections visant à isoler très rapidement un ouvrage en défaut (ligne, transformateur, jeu de barres, ...etc.) afin de garantir la sécurité des biens et des personnes. Différents types de relais mesurant différentes grandeurs physiques sont utilisés. La modification des courants de court-circuit due à l'insertion de DG peut conduire à une modification du réglage des protections voire même à leur changement. Deux principaux problèmes apparaissent suite à une insertion de DG, le problème d'aveuglement de protections et celui du déclenchement intempestif des protections [5].

➤ Problème d'aveuglement des protections :

Ce problème d'aveuglement se produit lorsqu'un défaut apparaît sur un départ possédant une DG. La figure (1.9) illustre un exemple d'aveuglement de protection en présence d'une DG.

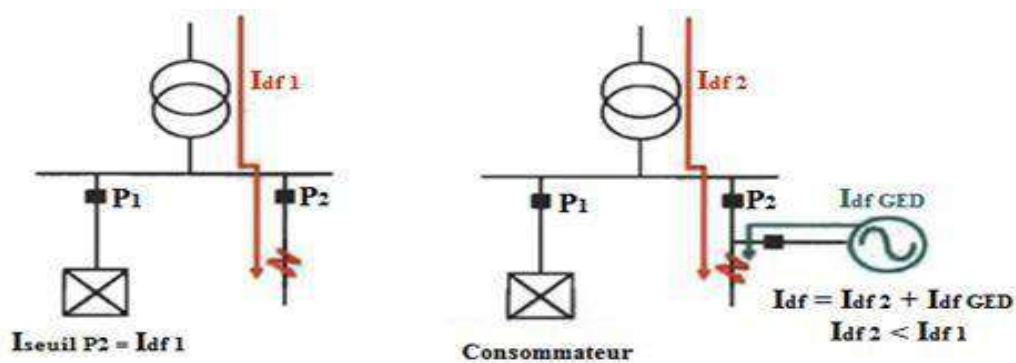


Figure. 1.9 : Problème d'aveuglement de protection

➤ Problèmes du déclenchement intempestif des protections :

Le problème de déclenchement intempestif se produit lorsqu'un défaut apparaît sur un départ adjacent au départ possédant une DG (voir la figure 1.10). En effet, la DG participant au courant de défaut peut faire déclencher la protection d'un départ sain (P_2), si le courant de défaut apporté par la DG est supérieur au seuil de la protection de (P_2).

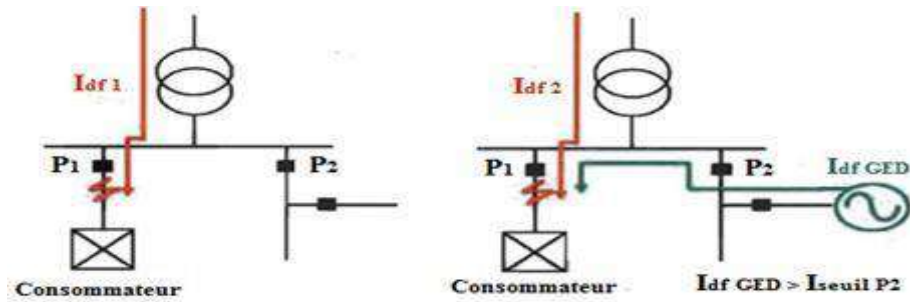


Figure.1. 10 : Problème de déclenchement intempestif des protections

1.3.4.4 Impact sur l'observabilité et la contrôlabilité du système

Les DGs, notamment celles à type énergie renouvelable, sont caractérisées par l'intermittence des sources primaires. Cela sera difficile pour l'opérateur d'estimer la puissance de sortie de ces producteurs, donc la puissance fournie du système, par conséquent [8].

1.3.4.5 Impact sur la continuité de service

Pour la même raison concernant la caractéristique d'intermittence, l'indisponibilité des DGs lors que le système les sollicite peut occasionner la rupture d'électricité par manque de puissance [8].

1.3.4.6 Impact sur la qualité d'énergie

Malgré une amélioration positive, l'intégration de la DG peut avoir un impact négatif sur la qualité de l'énergie du réseau. Puisque les unités de DG ne sont pas équipées de LFC (contrôle de fréquence de charge), les DG peuvent avoir un impact négatif sur la fréquence du système. De plus, les sources d'énergie intermittente, en particulier solaire ou éolienne, peuvent provoquer une variation de tension transitoire. De même, les DG basées sur les onduleurs et une pénétration plus élevée des DG vont introduire des harmoniques qui peuvent augmenter le niveau de Taux de distorsion harmonique (Total harmonique distorsion) THD dans le système [7].

1.4 Modélisation des moyens de production décentralisée

1.4.1 Modélisation de la production décentralisée

La production décentralisée peut être aussi classées en quatre grands types basés sur la capacité de fournir de la puissance active et réactive [20].

- ✚ **Type 1** : Ce type de DG est capable de fournir que la puissance active tels que les photovoltaïques, les micro-turbines, les piles à combustible, qui sont intégrés au réseau à l'aide des convertisseurs/onduleurs.
- ✚ **Type 2** : Ce type de DG est capable de délivrer des puissances active et réactive. Les unités à base de machines synchrones (cogénération, turbines à gaz, etc) font partie de ce type.

- ✚ **Type 3** : Ce type de DG est capable de fournir que la puissance réactive. Les compensateurs synchrones tels que les turbines à gaz sont un exemple de ce type fonctionnant avec facteur de puissance nul.
- ✚ **Type 4** : Ce type de DG est capable de délivrer une puissance active en consommant de la puissance réactive. Principalement les générateurs à induction, qui sont utilisés dans des parcs éoliens, entrent dans cette catégorie.

1.5 Types de charge

Les modèles de charge pratiques dépendent de la tension, qui est, constante, résidentiel, industrielle et commerciale ont été adoptés pour Les modèles de charge peuvent être mathématiquement exprimé comme [21]

$$P_i = P_{0i} * V_i^\alpha \quad (1.1)$$

$$Q_i = Q_{0i} * V_i^\beta \quad (1.2)$$

Les valeurs des coefficients α et β utilisés dans le présent travail pour les charges industrielles, résidentielles et commerciales sont données dans le Tableau 1. [21, 22].

Tableau 1.1 :Types de charge

Types de charge	α	β
Charge constante	0	0
Charge industrielle	0.18	6
Charge résidentielle	0.92	4.04
Charge commerciale	1.51	3.4

1.6 Formulation du problème d'optimisation

Dans cette étude, le problème d'optimisation de l'emplacement et de la taille des DGs (Type1 :photovoltaïques) est pour objectif de minimiser les pertes totales de puissance active tout en respectant les contraintes d'égalités et d'inégalités.

Mathématiquement, la fonction objectif et les contraintes d'égalités et d'inégalités peuvent être formulées comme suit.

1.6.1 Fonction objectif

La fonction objectif qui a comme but la minimisation des pertes totales de puissance du réseau de distribution peut être exprimé par l'équation suivante :

$$F = \min \sum_i^{nbr} P_{loss,i} \quad (1.3)$$

Où $P_{loss,i}$ représente les pertes de puissance active du réseau, nbr est le nombre de branches dans le réseau de distribution.

1.6.2 Contraintes d'égalités

Les équations d'équilibre de puissance active sont définies comme des contraintes d'égalité.

Ces contraintes s'expriment par [23] :

$$P_{G,i} - P_{L,i} = |V_i| \left| \sum_{j=1}^{N_{jb}} Y_{ij} \right| |V_j| \cos \pi (\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (1.4)$$

Où $P_{G,i}$ sont, respectivement, les sorties de puissance active et réactive du $i^{\text{ème}}$ générateur; $P_{L,i}$ sont respectivement les puissances active et réactive du $i^{\text{ème}}$ jeu de barres de charge; θ_{ij} est l'angle du $i^{\text{ème}}$ élément dans la matrice d'admittance du système lié aux jeux de barres i et j .

1.6.3 Contraintes d'inégalités

Les contraintes d'inégalités s'expriment par [24] :

✚ Tension du jeu de barres :

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

$$V_{\min} \leq |V_i| \leq V_{\max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_{jb} \quad (1.5)$$

✚ Courant de branche

Le courant de chaque branche est limité comme suit :

$$I_i \leq I_{i,\max} \quad i = 1, 2, \dots, N_{br} \quad (1.6)$$

✚ Puissances générées par les DGs

Les limites des puissances générées par les DGs :

$$P_{DG}^{\min} \leq |P_{DGI}| \leq P_{DG}^{\max} \quad (1.7)$$

Où P_{DG}^{\max} est égale à 3 MW dans notre étude.

$$\sum_{i=1}^{N_{>w}} P_{DG} < \sum_{i=2}^{N_{jb}} P_{L1i} \quad (1.8)$$

✚ Position de DG

$$2 \leq |DG_{JB}| \leq N_{JB} \quad (1.9)$$

Où V_{min} et V_{max} sont considérées comme 0,95 et 1,05 (p.u) respectivement ; N_{JB} est le nombre total de jeux de barres ; DG_{JB} est le numéro de jeu de barres de l'installation de DG ; V_i est la tension du jeu de barres ; I_i est le courant de la branche i ; $I_{i,max}$ est le courant maximal de la branche i ; P_{DG} est la puissance totale de DG et N_{br} est le nombre total de branches.

1.7 Algorithme d'optimisation de libellule (DA)

L'algorithme de libellule (Dragonfly Algorithm (DA)) qui a été récemment développé par Seyedali Mirjalili en 2015 [25], est inspiré des comportements d'essaimage statique (la chasse) et dynamique (la migration) des libellules dans la nature. Ces deux comportements sont similaires aux explorations et exploitations des méthodes d'optimisation méta-heuristiques.

Il imite le comportement des insectes libellules dans la nature. En général, les groupes de libellules sont à la fois statiques et dynamiques dans la nature. Les groupes dynamiques ou les soi-disant essaims migrateurs se forment lorsque de grands groupes volent dans un seul trajet et voyagent sur de longues distances, comme le montre la figure 1.11. Essaims statiques dans lesquels les insectes libellules chassent leurs proies, grâce à cette procédure, les libellules volent en petits groupes généralement autour d'une petite zone bien définie et à proximité de la terre, comme le montre la figure 1.12. Par nature, chaque individu du groupe attire vers les sources de nutrition et distrait les fuyitifs. De ces deux comportements que dérive l'algorithme DA.



Figure 1.11 : Essaims de libellules dynamiques [26]



Figure 1.12 : Essaims de libellules statiques [26]

La mise à jour de l'emplacement de chaque individu dans l'essaim est représentée sur la figure 1.13 et expliquée mathématiquement comme suit [27].

1.7.1 Séparation (S)

Dans cette étape, les individus sont détachés des autres individus pour éviter la collision avec leurs voisins. Cette séparation est donnée par l'équation suivante :

$$S_i = -\sum_{j=1}^n (X - X_j) \quad (1.10)$$

Où X et X_j sont respectivement les emplacements de l'individu actuel et du $j^{\text{ème}}$ individu voisin ; n est le nombre de voisins.

1.7.2 Alignement (A)

Dans cette étape, la vitesse de chaque individu coïncide avec l'autre. L'alignement est donné par l'équation (1.10).

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n V_j}{n} \quad (1.11)$$

Où V_j est la vitesse de l'individu j voisin.

1.7.3 Cohésion (C)

Désigne l'attraction des individus vers le centre du groupe de l'essaim :

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} - X \quad (1.12)$$

1.7.4 Attraction vers la source de nourriture (F)

Cette étape est représentée par :

$$F_i = X^+ - X \quad (1.13)$$

Où X^+ désigne la position de la source nutritionnelle.

1.7.5 Echapper des ennemis (E)

Elle Est calculé à l'aide de l'équation (1.13) :

$$E_i = X^- + X \quad (1.14)$$

Où X^- dénote la position de l'ennemi et X est la position de l'individu.

La position de chaque individu est mise à jour sur la base du vecteur de pas ΔX calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\Delta X_i = (sS_i + aA_i + cC_i + fF_i + eE_i) + w \Delta X_t \quad (1.15)$$

Où s , a et c représentent les poids de séparation, d'alignement et de cohésion, respectivement ; f et e sont, respectivement, la nourriture et les facteurs ennemis ; w est le poids d'inertie et t est le compteur d'itérations.

La mise à jour du vecteur de position est déterminée comme suit :

$$X_{t+1} = X_t + \Delta X_{t+1} \quad (1.16)$$

Dans le cas de l'absence des solutions voisines établies, les libellules volent à proximité de l'espace de recherche en utilisant la marche arbitraire (*Lévy*). La mise à jour de la position des libellules est donnée par l'équation suivante [25] :

$$X_{t+1} = X_t + Lévy(d) \times X_t \quad (1.17)$$

Où t est l'itération actuelle et d est la dimension de vecteur de position.

La fonction *Lévy* est donnée par [27] :

$$Lévy(x) = 0.01 \times \frac{r_1 \times \sigma}{|r_2|^{\frac{1}{\beta}}} \quad (1.18)$$

Où r_1 et r_2 sont des nombres aléatoires dans l'intervalle de $[0, 1]$, β est une constante et σ est donnée par l'équation (1.18).

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (1.19)$$

Où $\Gamma(x) = (x-1)!$

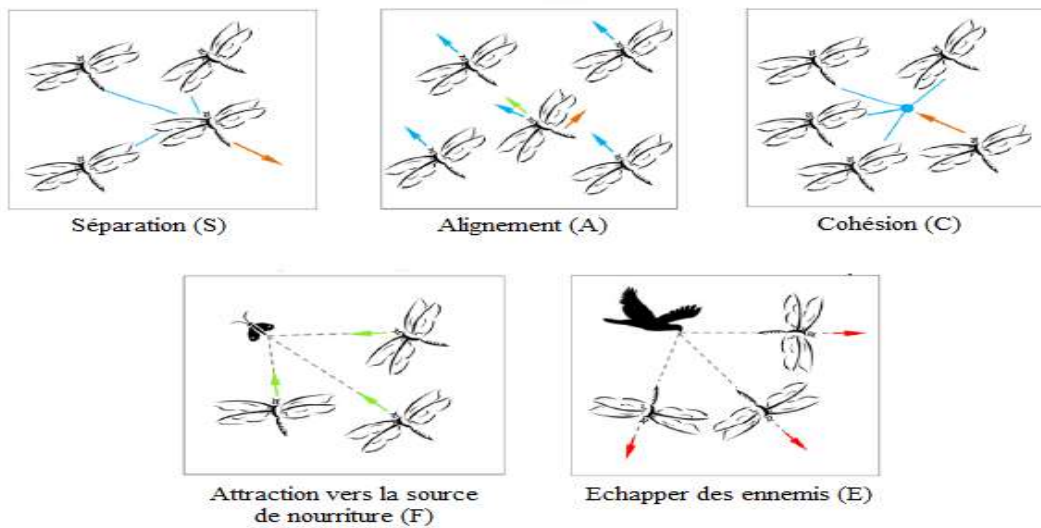


Figure 1.13 : Mise à jour de la position des individus des libellules [28]

1.8 Application de l'algorithme de libellule (DA)

Le processus d'insertion de l'algorithme DA afin de résoudre le problème d'optimisation de l'emplacement et de la taille des DGs pour mono-objectifs est présenté dans les étapes ci-dessous.

Dans notre travail, les paramètres de DA ont été pris comme suit [29] :

- Nombre de populations = 70 ;
- Nombre maximum des itérations = 100 ;
- Nombre de DGs insérées : trois DGs ;
- Taille de DG : $0,01 \text{ MW} \leq P_{DG} \leq 3 \text{ MW}$.

Étape 1 : Lire les données du réseau de distribution ;

Étape 2 : Lire les limites P_{DGmin} et P_{DGmax} ;

Étape 3 : Définir les paramètres de l'algorithme DA et les limites des variables de décision (Emplacements et tailles des DGs) ;

Étape 4 : Générer la population initiale pour les variables de décision (emplacements et tailles des DGs) ;

Étape 5 : Ecoulement de puissance (Backward Forward Sweep) la présence des DGs ;

Étape 6 : Calculer les pertes totales de puissance active (fonction objectif)

Étape 7 : Mise à jour de la position des individus

Étape 8 : Répéter les étapes 5 à 8 jusqu'au nombre maximal des itérations ;

Étape 9 : afficher la solution optimale (emplacements et tailles optimaux des DGs).

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre une introduction à la compréhension des réseaux électriques, depuis leurs définitions, types et caractéristiques, jusqu'à leurs principes de fonctionnement. Il met en évidence le rôle central du réseau de distribution dans l'acheminement de l'énergie des centrales de production jusqu'aux consommateurs.

L'intégration de sources d'énergie décentralisées, telles que l'énergie solaire, dans les réseaux de distribution offre une solution prometteuse pour relever ces défis.

Ces sources contribuent à une distribution d'énergie plus efficace et réduisent la dépendance vis-à-vis des centrales de production, ce qui améliore la stabilité du réseau. Enfin, nous détaillons un mécanisme d'optimisation appelé algorithme de libellule (Dragonfly Algorithm (DA)), qui devrait être utilisé dans le chapitre suivant pour résoudre le problème d'optimisation.

Dans le chapitre suivant, nous évaluons les performances de cette méthode sur le réseau test IEEE-69 jeux de barres.

Chapitre 2

2.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'évaluation de l'algorithme de libellule (Dragonfly Algorithm (DA)) dans l'optimisation de l'emplacement et de la taille des DGs (3DGs) dans les réseaux de distribution pour les différents types de charge : constante, industrielle, résidentielle et commerciale.

Nous présentons, dans un premier lieu, le réseau de distribution de test IEEE 69 jeux de barres utilisé pour l'évaluation de la méthode d'optimisation DA. Ensuite, nous exposons et discutons les résultats de l'application de cet algorithme sur le réseau test avec les différents types de charge.

2.2 Applications numériques

L'étude de l'intégration des DGs (photovoltaïque) dans le réseau de distribution IEEE 69 jeux de barres sera effectuée selon les cas suivants :

- **Cas 1** : Sans intégration de DG ;
- **Cas 2** : Avec intégration de trois DGs.

Les tensions de tous les jeux de barres du réseau sont dans les limites admissibles dans l'intervalle [0.95 p.u., 1.05 p.u.].

Les caractéristiques du réseau de distribution IEEE 69 jeux de barres de la Figure 2.1 sont données comme suit [30] :

- Nombre de jeux de barres =69 ;
- Nombre de branches =68 ;
- Jeu de barres de référence N° =1 ;
- Puissance de base = 100 MVA ;
- Tension de base =12,66 kV ;
- Les puissances active et réactive totale demandées du réseau sont 3.8019 MW et 2.6941 MVar.

Les données du réseau test sont présentées dans l'annexe.

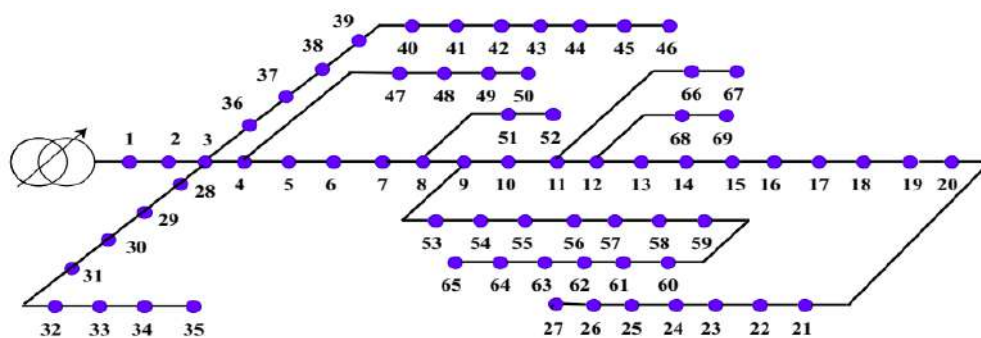


Figure 2.1 : Représentation simplifiée du réseau de distribution IEEE 69 jeux de barres

Le Tableau 2.1 représente le type de chaque jeu de barres et de chaque ligne constituant le réseau de distribution IEEE 69 jeux de barres.

Tableau 2.1: Identification de la topologie du réseau de distribution IEEE 69 Jeux de barres

JB de référence	1
JB terminaux	27, 35, 46, 50, 52, 65, 67,69
JB intermédiaires	2, 5, 6, 7, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 51, 53,54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 68.
JB communs	3, 4, 8, 9,11, 12
Ligne principale	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27
Lignes latérales	3, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35
	3, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46
	4, 47, 48, 49, 50
	8, 51, 52
	9, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65
	11, 66, 67
	12, 68, 69

Tableau 2.2 : Ecoulement de puissances pour le réseau de distribution IEEE 69 jeux de barres

JB	Tension (pu)	Phase (rad)	JB	Tension (pu)	Phase (rad)	JB	Tension (pu)	Phase (rad)
1	1.0000	0	12	0.9683	0.0062	23	0.0096	0.0012
2	1.0000	-0.0000	13	0.9654	0.0070	24	0.0097	-0.0004
3	0.9999	-0.0000	14	0.9626	0.0079	25	0.0097	-0.0012
4	0.9998	-0.0001	15	0.9597	0.0087	26	0.0098	0.0032
5	0.9990	-0.0003	16	0.9592	0.0089	27	0.0098	0.0043
6	0.9901	0.0012	17	0.9583	0.0092	28	-0.0000	0.0059
7	0.9809	0.0027	18	0.9583	0.0092	29	-0.0001	0.0074
8	0.9787	0.0031	19	0.9578	0.0093	30	-0.0001	0.0093
9	0.9776	0.0033	20	0.9575	0.0094	31	-0.0000	0.0079
10	0.9726	0.0048	21	0.9570	0.0096	32	-0.0000	0.0075
11	0.9715	0.0052	22	0.9570	0.0096	33	0.0001	0.0074

JB	Tension (pu)	Phase (rad)	JB	Tension (pu)	Phase (rad)	JB	Tension (pu)	Phase (rad)
34	0.9990	0.0002	46	0.9984	-0.0005	58	0.9298	0.0180
35	0.9989	0.0002	47	0.9998	-0.0001	59	0.9256	0.0196
36	0.9999	-0.0001	48	0.9985	-0.0009	60	0.9206	0.0217
37	0.9997	-0.0002	49	0.9947	-0.0034	61	0.9133	0.0233
38	0.9996	-0.0002	50	0.9942	-0.0037	62	0.9130	0.0233
39	0.9995	-0.0002	51	0.9786	0.0031	63	0.9126	0.0234
40	0.9995	-0.0002	52	0.9786	0.0031	64	0.9107	0.0238
41	0.9988	-0.0004	53	0.9748	0.0038	65	0.9102	0.0240
42	0.9986	-0.0005	54	0.9716	0.0044	66	0.9714	0.0052
43	0.9985	-0.0005	55	0.9671	0.0052	67	0.9714	0.0052
44	0.9985	-0.0005	56	0.9628	0.0060	68	0.9680	0.0063
45	0.9984	-0.0005	57	0.9407	0.0140	69	0.9680	0.0063

2.2.1 Application au réseau test IEEE-69 jeux de barres avec charge constante

2.2.1.1 Cas 1 : Sans intégration de DG

La Figure 2.2 représente le module de tension au niveau de chaque jeu de barres. La valeur de tension la plus basse est 0.9102 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65.

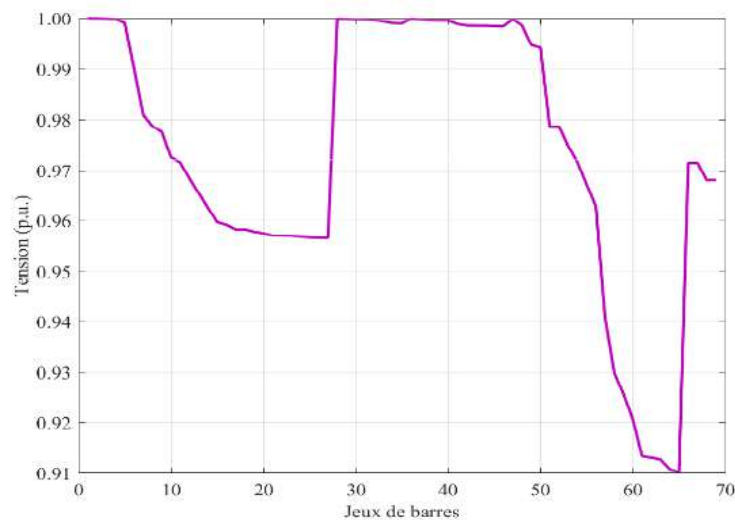
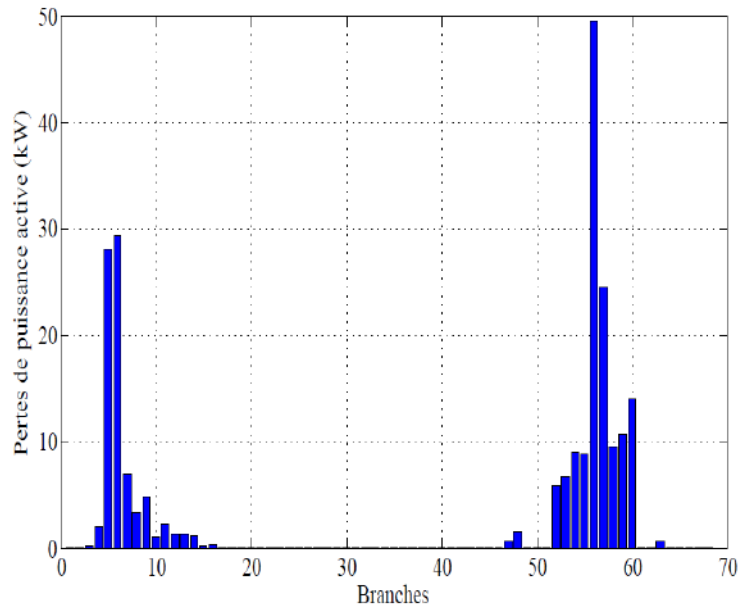


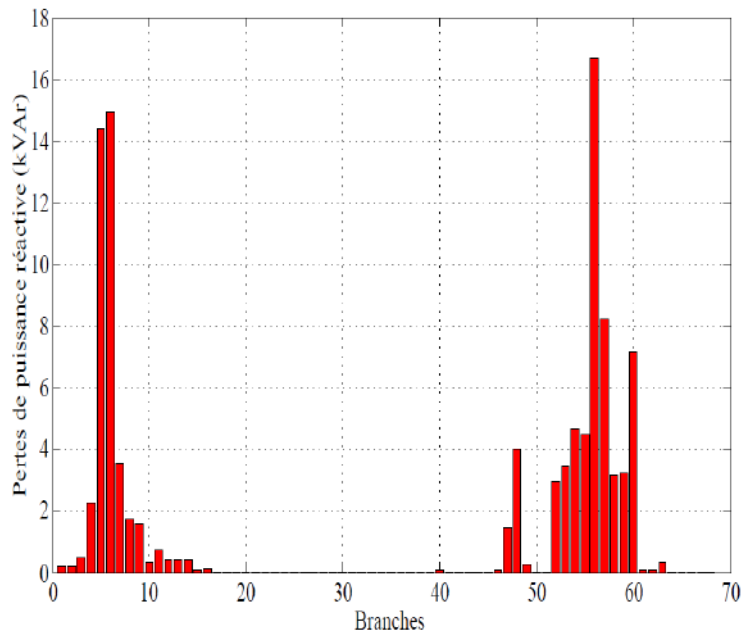
Figure 2.2 : Profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres (cas 1) pour charge constante

La figure 2.3 (a) et (b) représente les pertes de puissance active et réactive au niveau de chaque branche. Les plus grandes valeurs de pertes de puissance active 49.5807 kW et réactive 16.6423 kVAr sont apparues au niveau de la 56^{ème} branche. Cela est justifié par les valeurs du courant ainsi que les caractéristiques (résistance et réactance) de chaque branche.

Les pertes totales active et réactive du réseau sont respectivement 224.5533 kW et 101.9725 kVAr représentant 5.90 % et 3.78 % de puissances demandées.



a. Pertes de puissance active



b. Pertes de puissance réactive

Figure 2.3: Pertes de puissances active et réactive dans les branches du réseau IEEE-jeux de barres (Cas 1) pour charge constante

2.2.1.2 Cas 2 : Avec intégration de trois DGs

La Figure 2.4 représente la caractéristique de convergence de l'algorithme DA.

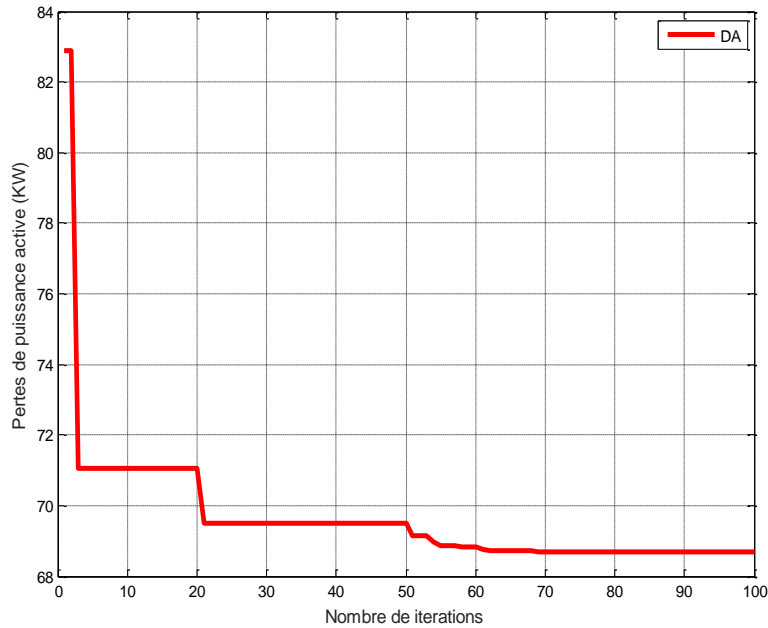


Figure 2.4 : Courbe de convergence de DA du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2) pour charge constante

La Figure 2.5 représente le profil de tension après l'intégration de trois DGs. La valeur de tension la plus basse est 0.9835 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65. Il est clair, d'après ces figures, que le profil de tension est amélioré après l'intégration des DGs et [le meilleur profil de tension est obtenu par l'intégration de trois DGs].

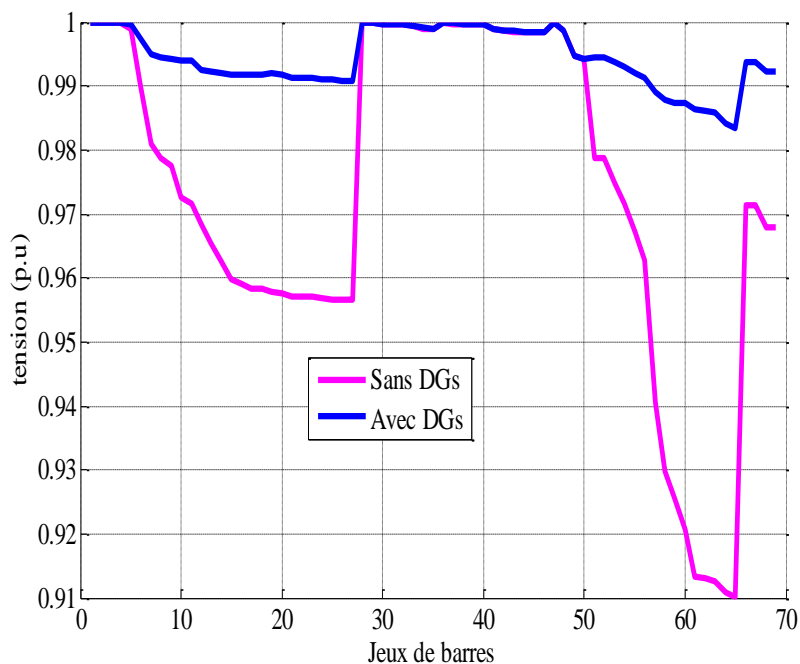


Figure 2.5 : Profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2) pour charge constante

Le Tableau 2.3 représente les résultats d'optimisation obtenus par l'application de l'algorithme DA. Les emplacements optimaux des DGs sont aux niveaux des jeux de barres numéro 11, 19 et 61. Les tailles optimales sont, respectivement, 0.4872 MW, 0.3736 MW et 1.7383 MW. Les Pertes totale sont à égales 68.6737 kW. Les pertes de puissance active du réseau sont diminuées de 69.4176 %.

Les résultats de comparaison de DA avec d'autre méthodes montrent l'efficacité de l'algorithme DA dans l'optimisation de l'emplacement et de la taille des DGs.

Tableau 2.3 : Résultats de d'optimisation du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2)

Cas étudiés	Méthode	Emplacement des DGs	Taille des DGs (MW)	Pertes totale (kW)	Réduction des pertes totale (%)	V_{\min} (p.u)
Cas2 (3DGs)	DA	11 19 61	0.4872 0.3736 1.7383	68.6737	69.4176	0.9835

2.2.2 Application au réseau test IEEE-69 jeux de barres avec charge industrielle

2.2.2.1 Cas 1 : Sans intégration de DGs

La Figure 2.6 représentent le module de tension au niveau de chaque jeu de barres. La valeur de tension la plus basse est 0.9195 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65.

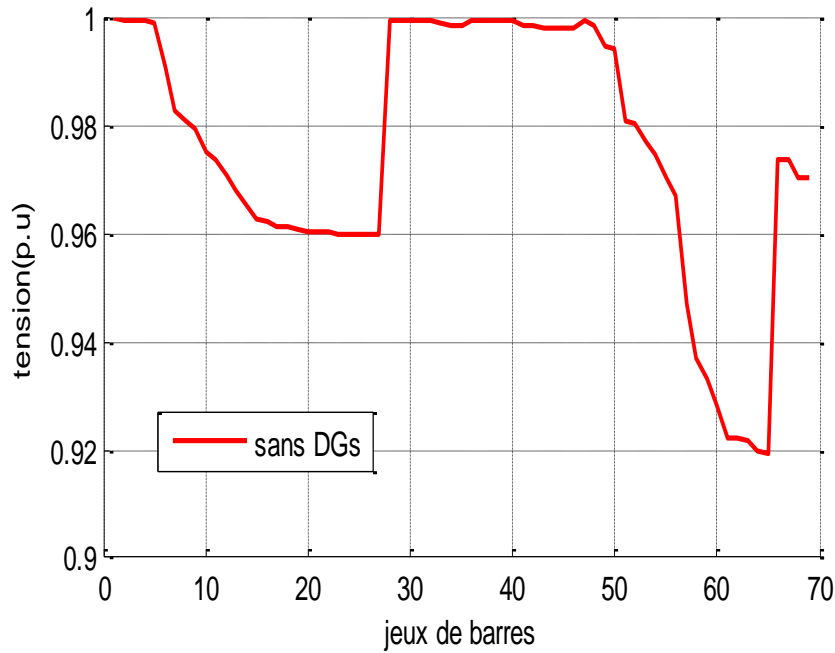


Figure 2.6 : Profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres (cas 1) pour charge industrielle

La Figure 2.6 représente le profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres sans intégration de DGs. On remarque que la valeur de la tension la plus basse est 0.9195p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65. Cette valeur est inférieure à la limite admissible de tension 0.95 p.u.

Tableau 2.4 : Les pertes total de puissance active et la valeur de tension.

Cas étudiés	Pertes totale (kW)	$V_{\min}(p.u)$
Charge industrielle	171.7812	0.9195

2.2.2.2 Cas 2 : Avec intégration de trois DGs

La Figure 2.7 représente le profil de tension après l'intégration de trois DGs. La valeur de tension la plus basse est 0.9810 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65. Il est clair, d'après ces figures, que le profil de tension est amélioré après l'intégration des DGs et le meilleur profil de tension est obtenu par l'intégration de trois DGs.

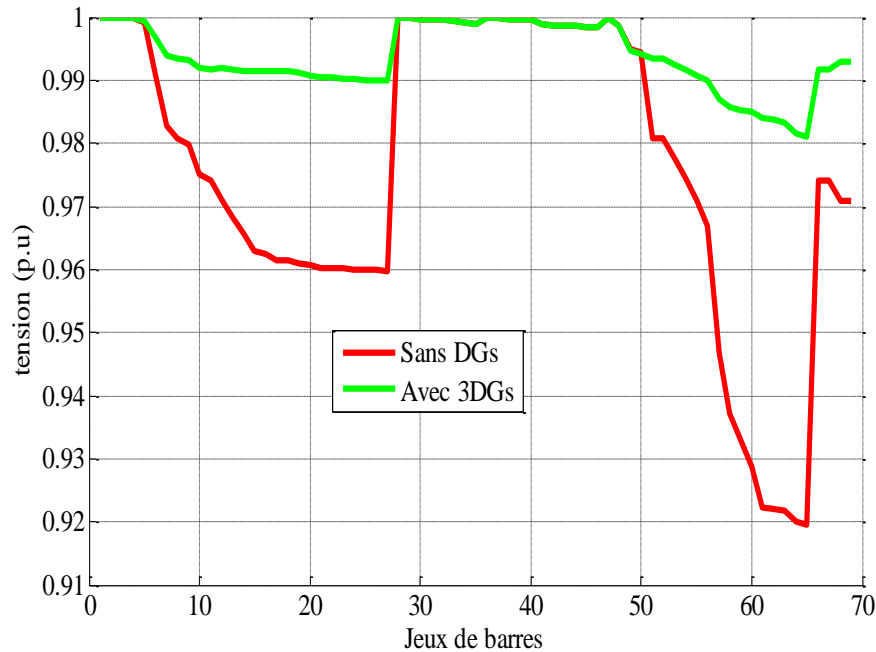


Figure 2.7 : Profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2) pour charge industrielle

Le Tableau 2.5 représente les résultats d'optimisation obtenus par l'application de l'algorithme DA. Les emplacements optimaux des DGs sont aux niveaux des jeux de barres numéro 18, 61 et 69. Les tailles optimales sont, respectivement, 0.3964 MW, 1.6971 MW et 0.3073 MW. Les Pertes totale égales 69.3140 kW. Les pertes de puissance active du réseau sont diminuées de 59.6499 %.

Tableau 2.5 : Résultats de d'optimisation du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2)

Cas étudiés	Méthode	Emplacement des DGs	Taille des DGs (MW)	Pertes totale (kW)	Réduction des pertes totale (%)	V_{\min} (p.u)
Charge industrielle Cas2 :3DG	DA	18 61 69	0.3964 1.6971 0.3073	69.3140	59.6499	0.9810

2.2.3 Application au réseau test IEEE-69 jeux de barres avec charge résidentielle

2.2.3.1 Cas 1 : Sans intégration de DG

La Figure 2.8 représente le module de tension au niveau de chaque jeu de barres. La valeur de tension la plus basse est 0.9217 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65.

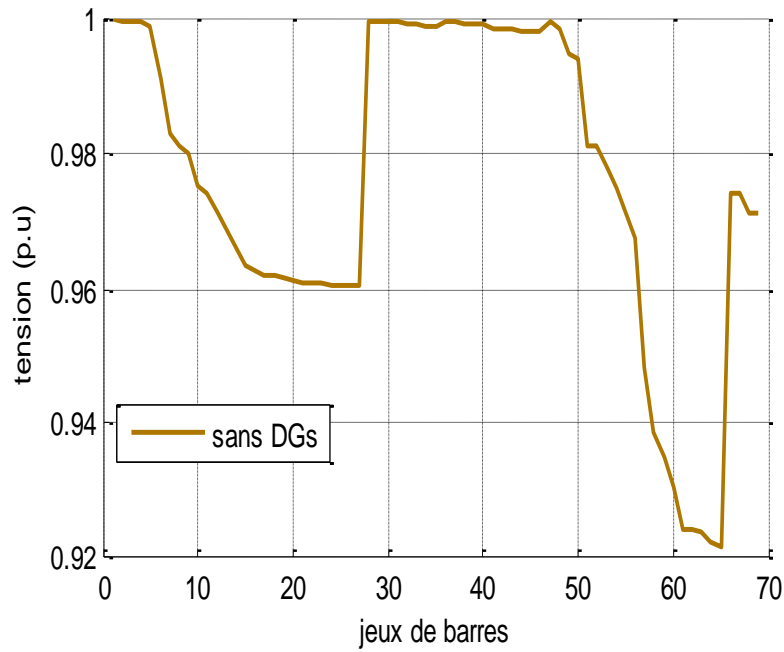


Figure 2.8 : Profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres (cas 1) pour charge résidentielle

La Figure 2.8 représente le profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres sans intégration de DGs. On remarque que la valeur de la tension la plus basse est 0.9217 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65. Cette valeur est inférieure à la limite admissible de tension 0.95 p.u.

Tableau 2.6 : Les pertes total de puissance active et la valeur de tension.

Cas Étudiés	Pertes totale (kW)	V_{\min} (p.u)
Charge résidentielle	165.4043	0.9217

2.2.3.2 Cas 2 : Avec intégration de trois DGs

La Figure 2.9 représente le profil de tension après l'intégration de trois DGs. La valeur de tension la plus basse est 0.9774 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65. Il est clair, d'après ces figures, que le profil de tension est amélioré après l'intégration des DGs et le meilleur profil de tension est obtenu par l'intégration de trois DGs.

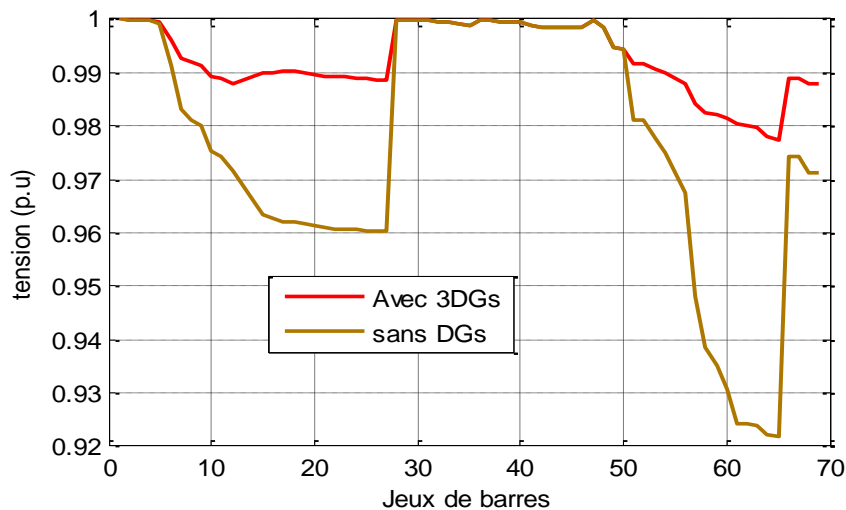


Figure 2.9 : Profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2) pour charge résidentielle

Le Tableau 2.7 représente les résultats d'optimisation obtenus par l'application de l'algorithme DA. Les emplacements optimaux des DGs sont aux niveaux des jeux de barres numéro 2, 18 et 61. Les tailles optimales sont, respectivement, 0.5588 MW, 0.5062 MW et 1.6304 MW. Les Pertes totale égales 71.4389 kW . Les pertes de puissance active du réseau sont diminuées de 56.8095 %.

Tableau 2.7: Résultats de d'optimisation du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2)

Cas étudiés	Méthode	Emplacement des DGs	Taille des DGs (MW)	Pertes totale (kW)	Réduction des pertes totale (%)	V_{\min} (p.u)
Charge résidentielle Cas2 :3DG	DA	2 18 61	0.5588 0.5062 1.6304	71.4389	56.8095	0.9774

2.2.4 Application au réseau test IEEE-69 jeux de barres avec charge commerciale

2.2.4.1 Cas 1 : Sans intégration de DG

La Figure 2.10 représente le module de tension au niveau de chaque jeu de barres. La valeur de tension la plus basse est 0.9243 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65.

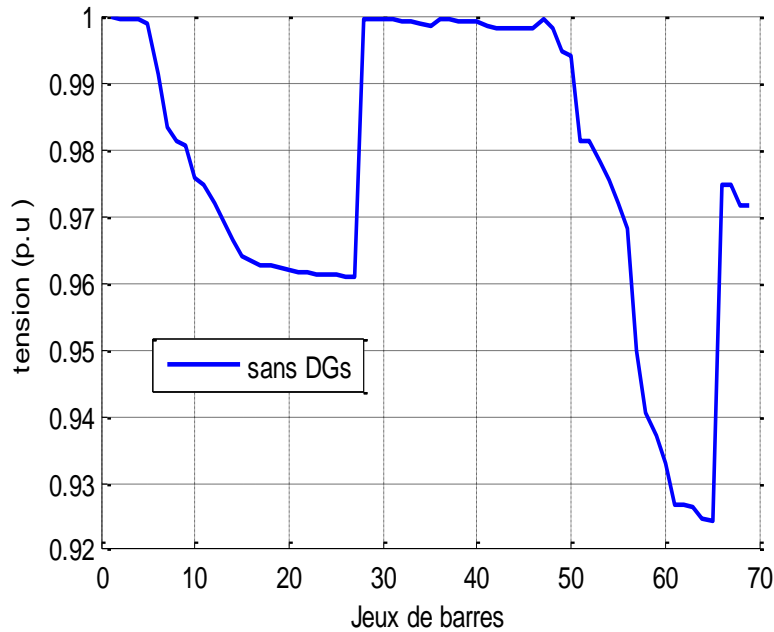


Figure 2.10 : Profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres (cas 1) pour charge commerciale

La Figure 2.10 représente le profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres sans intégration de DGs. On remarque que la valeur de la tension la plus basse est 0.9243 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65. Cette valeur est inférieure à la limite admissible de tension 0.95 p.u.

Tableau 2.8 : Les pertes total de puissance active et la valeur de tension.

Cas Étudiés	Pertes totale (kW)	$V_{\min.}(p.u)$
Charge commerciale	157.5114	0.9243

2.2.4.2 Cas 2 : Avec intégration de trois DGs

La Figure 2.11 représente le profil de tension après l'intégration de trois DGs. La valeur de tension la plus basse est 0.9721 p.u. qui se trouve au niveau du jeu de barres 65. Il est clair, d'après ces figures, que le profil de tension est amélioré après l'intégration des DGs et le meilleur profil de tension est obtenu par l'intégration de trois DGs.

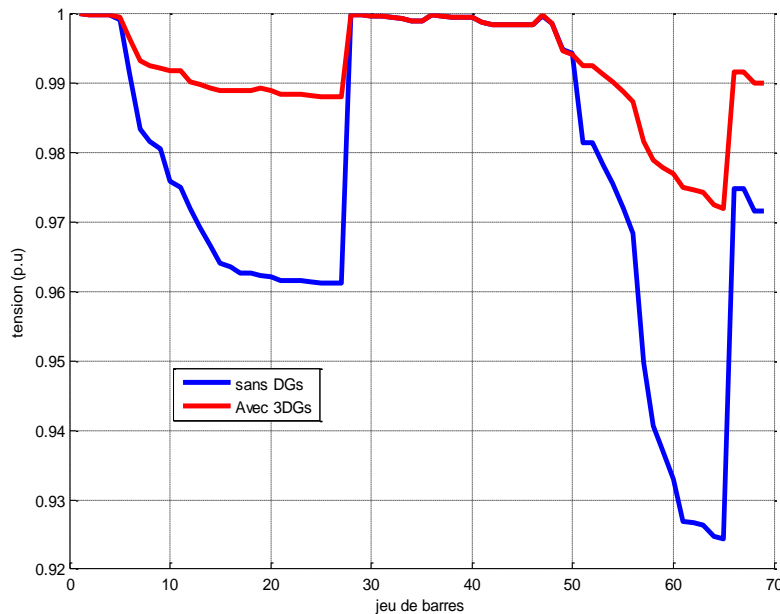


Figure 2.11 : Profil de tension du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2) pour charge commerciale

Le Tableau 2.9 représente les résultats d'optimisation obtenus par l'application de l'algorithme DA. Les emplacements optimaux des DGs sont aux niveaux des jeux de barres numéro 11, 19 et 61. Les tailles optimales sont, respectivement, 0.4948 MW, 0.3523 MW et 1.4295 MW. Les Pertes totale égales 72.1260 (MW) . Les pertes de puissance active du réseau sont diminuées de 54.2090 %.

Tableau 2.9 : Résultats de d'optimisation du réseau IEEE-69 jeux de barres (Cas 2)

Cas étudiés	Méthode	Emplacement des DGs	Taille des DGs (MW)	Pertes totale (kW)	Réduction des pertes totale (%)	V_{\min} (p.u)
Charge commerciale Cas 2 :3DGs	DA	11 19 61	0.4948 0.3523 1.4295	72.1260	54.2090	0.9721

2.3 Conclusion

Tout au long de ce chapitre, nous avons évalué par simulations les performances de l'algorithme de libellule (Dragonfly Algorithm (DA)) par rapport à d'autres algorithmes connus.

Les résultats de simulations ont montré que l'optimisation de l'emplacement et de la taille des DGs permet d'améliorer l'utilisation globale de l'énergie en réduisant de manière considérable les pertes de puissance active dans le réseau de distribution. Ces résultats ont, également, prouvé la performance de la méthode d'optimisation DA en comparaisant avec d'autres méthodes.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'intégration optimale de la production décentralisée (Distributed Generation (DG)) dans le réseau de distribution, des techniques utilisées pour la planification optimale des réseaux de distribution dans l'objectif de minimiser les pertes totales de puissance en assurant un bon profil de tension, sont réalisées en se basant sur l'optimisation par une méthode méta heuristique dite algorithme de libellule (Dragonfly Algorithm (DA)) pour optimiser l'emplacement et la taille des DGs. Cet algorithme selon une comparaison faite entre différentes méthodes méta heuristiques permet de réaliser un bon compromis efficacité et taux de réussite pour trouver rapidement la solution la plus proche de l'optimum

- Le premier chapitre de ce mémoire donne un aperçu des réseaux électriques. Tout d'abord, nous avons présenté la structure des réseaux électriques traditionnels. Nous avons examiné les effets de l'introduction de ce type de source d'énergie sur le réseau de distribution. Enfin, nous avons parlé sur la méthode d'optimisation de libellule (Dragonfly Algorithm (DA)) pour optimiser l'intégration de la génération distribuée (DG) dans les réseaux de distribution. L'objectif principal de cette méthode est de trouver les meilleurs emplacements et tailles de DG pour obtenir un minimum de pertes de puissance active dans le réseau pour de différents types de charge constante, industrielle, résidentielle et commerciale.

- Dans le Deuxième chapitre , l'algorithme DA est examiné et validé sur un réseau de test IEEE-69 jeux de barres. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de cette méthode d'optimisation.

De nombreuses perspectives s'ouvrent dans l'avenir , parmi lesquelles on peut citer :

- Utilisation des techniques d'optimisation pour l'amélioration de performance du réseau électrique en présence des véhicules électriques, des batteries de stockage et des maisons intelligente avec les scénarios de charge dans les différent saisons .

Bibliographie

- [1] S. Kakran and S. Chanana, «Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review, » *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. March 2017, pp. 524–535, 2018.
- [2] A. R. Jordehi, «Optimisation of electric distribution systems: A review, » *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 1088–1100, 2015.
- [3] H. Lee Willis, *Power Distribution Planning Reference Book, Second Edition*, vol. 20044212. 2004.
- [4] Y. Latreche, H. R. E. H. Bouchekara, F. Kerrour, K. Naidu, H. Mokhlis, and M. S. Javaid, «Comprehensive review on the optimal integration of distributed generation in distribution systems, » *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 10, no. 5, p. 055303, 2018.
- [5] Mr Labeled Djamel, « *Production Décentralisée Et Couplage Au Réseau* » Thèse Doctorat, Université Mentouri Constantine, Année 2008
- [6] D. Labeled, «Production décentralisée et couplage au réseau », Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2008.
- [7] C. Marjorie, « Stabilité du réseau électrique de distribution. Analyse du point de vue automatique d'un système complexe », thèse de doctorat, université Paris-Saclay, Paris, 2016
- [8] EIA, *International Energy Outlook 2016: U.S. Energy Information Administration (EIA)*, Washington DC., vol. 1, no. May. 2016.
- [9] S. H. Lee and J. W. Park, «Selection of optimal location and size of multiple distributed generations by using Kalman Filter algorithm, » *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 1393–1400, 2009.
- [10] N. Ketfi, «Contribution à la gestion des réseaux de distribution en présence de génération d'énergie dispersée», Thèse de doctorat, Université de Batna, 2014.
- [11] « Arrêté du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation de production d'énergie électrique », Journal Officiel de la République Française, Avril 2008.
- [12] Abdenour ABDELLI « Optimisation multicritère d'une chaîne éolienne passive » Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2007

- [13] L. Leclercq, Apport du stockage inertiel associé à des éoliennes dans un réseau électrique en vue d'assurer des services systèmes, thèse de doctorat de l'université de Lille, Laboratoire L2EP, Décembre 2004.
- [14] N. Bakhta, «La production décentralisée », thèse doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran-Mohamed Boudiaf, 2017.
- [15] Global Electricity Review 2022, Ember, Mars 2022.
- [16] O. Gergaud, Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur, Thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan, 2002.
- [17] Dr. KECHIDA RIDHA «Production centralisée et décentralisée » Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued
- [18] P. Makanga Koumba, « Étude d'intégration de sources d'énergie renouvelable à un réseau électrique autonome », mémoire de fin d'études, université du Québec, Novembre 2013.
- [19] J. Canard, « Impact de la génération d'énergie dispersée dans les réseaux de distribution », Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, 2000.
- [20] A. Boukaroura, «Contribution à la modélisation et à l'optimisation des réseaux de distribution sous incertitudes », Thèse de doctorat, Université de Oum El Bouaghi, 2021.
- [21] Singh, D., Singh, D., Verma, K.S.: «Multiobjective optimization for DG planning with load models», IEEE Trans. Power Syst., 2009, 24, (1), pp. 427–436
- [22] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance: « Load representation for dynamic performance analysis», IEEE Trans. Power Syst., 1993, 8, (2), pp. 472–482
- [23] M. Kefayat, A. Lashkar Ara, and S. A. Nabavi Niaki, « A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and sizing of distributed energy resources », Energy Conversion and Management, Vol. 92, pp. 149–161, 2015.
- [24] T. P. Nguyen and D. N. Vo, «A novel stochastic fractal search algorithm for optimal allocation of distributed generators in radial distribution systems », Applied Soft Computing, Vol. 70, pp. 773–796, 2018.
- [25] S. Mirjalili, «Dragonfly algorithm: A new metaheuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems », Neural Computing and Applications, Vol. 27, No. 4, pp. 1053–1073, 2015.
- [26] M. Amroune, T. Bouktir, and I. Musirin, «Power system voltage stability assessment using a hybrid approach combining dragonfly optimization algorithm and support vector regression», Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 43, pp. 3023–3036, 2018.

- [27] R. Klages, G. Randos, and I. Sokolov, «Anomalous transport foundations and applications», John Wiley & Sons, 2008.
- [28] L. Zhong, Y. Zhou, Q. Luo and K. Zhong, «Wind driven dragonfly algorithm for global optimization», John Wiley & Sons, 2020.
- [29] L. Negra, «Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules (décarbonés) », 2011.
- [30] A. Khodabakhshian and M. H. Ardishgar, «Simultaneous placement and sizing of DGs and shunt capacitors in distribution systems by using IMDE algorithm», International Journal of Electric Power and Energy Systems, Vol. 82, pp. 599–607, 2016.

Annexe**Tableau A.1** : Caractéristiques techniques des branches du réseau de distribution IEEE- 69 jeux de barres

Branche N°.	Jeu de barres de départ	Jeu de barres d'arrivée	Résistance (Ω)	Réactance (Ω)	Courant maximale (A)
1	1	2	0.0005	0.0012	400
2	2	3	0.0005	0.0012	400
3	3	4	0.0015	0.0036	400
4	4	5	0.0251	0.0294	400
5	5	6	0.3660	0.1864	400
6	6	7	0.3811	0.1941	400
7	7	8	0.0922	0.0470	400
8	8	9	0.0493	0.0251	400
9	9	10	0.8190	0.2707	400
10	10	11	0.1872	0.0619	200
11	11	12	0.7114	0.2351	200
12	12	13	1.0300	0.3400	200
13	13	14	1.0440	0.3450	200
14	14	15	1.0580	0.3496	200
15	15	16	0.1966	0.0650	200
16	16	17	0.3744	0.1238	200
17	17	18	0.0047	0.0016	200
18	18	19	0.3276	0.1083	200
19	19	20	0.2106	0.0690	200
20	20	21	0.3416	0.1129	200
21	21	22	0.0140	0.0046	200
22	22	23	0.1591	0.0526	200
23	23	24	0.3463	0.1145	200
24	24	25	0.7488	0.2475	200
25	25	26	0.3089	0.1021	200
26	26	27	0.1732	0.0572	200
27	3	28	0.0044	0.0108	200
28	28	29	0.0640	0.1565	200
29	29	30	0.3978	0.1315	200
30	30	31	0.0702	0.0232	200
31	31	32	0.3510	0.1160	200
32	32	33	0.8390	0.2816	200
33	33	34	1.7080	0.5646	200
34	34	35	1.4740	0.4873	200
35	3	36	0.0044	0.0108	200
36	36	37	0.0640	0.1565	200

37	37	38	0.1053	0.1230	200
38	38	39	0.0304	0.0355	200
39	39	40	0.0018	0.0021	200
40	40	41	0.7283	0.8509	200
41	41	42	0.3100	0.3623	200
42	42	43	0.0410	0.0478	200
43	43	44	0.0092	0.0116	200
44	44	45	0.1089	0.1373	200
45	45	46	0.0009	0.0012	200
46	4	47	0.0034	0.0084	200
47	47	48	0.0851	0.2083	200
48	48	49	0.2898	0.7091	300
49	49	50	0.0822	0.2011	300
50	8	51	0.0928	0.0473	300
51	51	52	0.3319	0.1114	300
52	9	53	0.1740	0.0886	300
53	53	54	0.2030	0.1034	200
54	54	55	0.2842	0.1447	200
55	55	56	0.2813	0.1433	300
56	56	57	1.5900	0.5337	300
57	57	58	0.7837	0.2630	300
58	58	59	0.3042	0.1006	300
59	59	60	0.3861	0.1172	300
60	60	61	0.5075	0.2585	300
61	61	62	0.0974	0.0496	300
62	62	63	0.1450	0.0738	300
63	63	64	0.7105	0.3619	300
64	64	65	1.0410	0.5302	300
65	11	66	0.2012	0.0611	300
66	66	67	0.0047	0.0014	300
67	12	68	0.7394	0.2444	300
68	68	69	0.0047	0.0016	200

Tableau A2.2 : Caractéristiques techniques des jeux de barres du réseau de distribution IEEE 69 jeux de barres

Jeu de barres N°.	P (MW)	Q (MVA _r)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0.0026	0.0022
7	0.0404	0.0300
8	0.0750	0.0540
9	0.0300	0.0220
10	0.0280	0.0190
11	0.1450	0.1040
12	0.1450	0.1040
13	0.0080	0.0050
14	0.0080	0.0055
15	0	0
16	0.0455	0.0300
17	0.0600	0.0350
18	0.0600	0.0350
19	0	0
20	0.0010	0.0006
21	0.1140	0.0810
22	0.0050	0.0035
23	0	0
24	0.0280	0.0200
25	0	0
26	0.0140	0.0100
27	0.0140	0.0100
28	0.0260	0.0186
29	0.0260	0.0186
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0.0140	0.0100
34	0.0195	0.0140
35	0.0060	0.0040
36	0.0260	0.0186
37	0.0260	0.0186

38	0	0
39	0.0240	0.0170
40	0.0240	0.0170
41	0.0012	0.0010
42	0	0
43	0.0060	0.0043
44	0	0
45	0.0392	0.0263
46	0.0392	0.0263
47	0	0
48	0.0790	0.0564
49	0.3847	0.2745
50	0.3847	0.2745
51	0.0405	0.0283
52	0.0036	0.0027
53	0.0043	0.0035
54	0.0264	0.0190
55	0.0240	0.0172
56	0	0
57	0	0
58	0	0
59	0.1000	0.0720
60	0	0
61	1.2440	0.8880
62	0.0320	0.0230
63	0	0
64	0.2270	0.1620
65	0.0590	0.0420
66	0.0180	0.0130
67	0.0180	0.0130
68	0.0280	0.0200
69	0.0280	0.0200

لقد كان لإنتاج الطاقة اللامركزية مكانة لفترة طويلة، لكنه يشهد اليوم نهضة ملحوظة مدعومة بالدعم العام المتزايد. ولم يعد دورها يقتصر على توفير الكهرباء للمناطق النائية ولكنه يلبي الاحتياجات المتنوعة. ويجب تحديد الموقع الأمثل والحجم الأمثل لتركيبة مصادر الطاقة اللامركزية وذلك من أجل الحد من فقدان الطاقة الفعالة في شبكات التوزيع. في هذه المذكرة، تم استخدام خوارزمية اليعسوب من أجل حل هذه المشكلة. هذه الخوارزمية التي تعتبر من الخوارزميات الجديدة، تعمل على تحسين موقع وحجم مصادر الطاقة اللامركزية في شبكة التوزيع، بهدف تقليل فقدان الطاقة النشطة. لإثبات أداء خوارزمية اليعسوب، استخدمنا شبكة التوزيع IEEE-69 عقدة كشبكة اختبار. تؤكد النتائج نجاح خوارزمية اليعسوب.

الكلمات المفتاحية: شبكات التوزيع، مصادر الإنتاج اللامركزية المتجددة، خوارزمية اليعسوب، أنواع الاحمال

Abstract

Decentralised energy generation has long had its place, but it is now experiencing a remarkable renaissance supported by growing public support. Its role is no longer limited to providing electricity to remote areas, but it meets diversified needs. The optimal location and size must be determined to install decentralized energy sources in order to reduce efficient energy losses in distribution networks. In this note, the DA dragonfly algorithm was used to solve this problem. This algorithm, considered one of the new algorithms, optimizes the location and size of decentralized energy sources in the distribution network, with the aim of reducing active power losses. To demonstrate the performance of the DA dragonfly algorithm, we used an IEEE-69 distribution network as a test network. The results confirm the success of the dragonfly algorithm

Key-words: Radial Distribution Networks, Renewable Distributed Generation, Dragonfly Algorithm, Load types.

Résumé

La production décentralisée d'énergie a sa place depuis longtemps, mais elle connaît aujourd'hui une renaissance remarquable soutenue par un soutien public croissant. Son rôle ne se limite plus à fournir de l'électricité aux zones reculées, mais il répond à des besoins diversifiés. L'emplacement et la taille optimaux doivent être déterminés pour installer des sources d'énergie décentralisées afin de réduire les pertes d'énergie efficace dans les réseaux de distribution. L'algorithme libellule DA a été utilisé pour résoudre ce problème. Cet algorithme, considéré comme l'un des nouveaux algorithmes, optimise l'emplacement et la taille de sources d'énergie décentralisées dans le réseau de distribution, dans le but de réduire les pertes de puissance active. Pour démontrer les performances de l'algorithme de libellule, nous avons utilisé un réseau de distribution IEEE-69 jeux de barres comme réseau de test. Les résultats obtenus confirment l'efficacité de l'algorithme libellule.

Mots clés : Réseau de distribution radial, Production décentralisée renouvelable, Algorithme de libellule, Types de charge.