

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب بليدة

Université SAAD DAHLAB de BLIDA

قسم الآلية والكهروتقني

Département d'automatique & Electrotechnique



Mémoire de Master

Filière : électrotechnique

Spécialité : Machines
électriques

Présenté par

Chamma Mohamed

&

Medjber Sami

Écoulement de puissance optimale dans le réseau électrique en intégration des énergies renouvelables

Proposé par : Dr. CHANANE Abdallah

Année Universitaire 2023-2024

Remercîments

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force et la patience pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre promoteur, Dr. **chanane abdellah**, pour sa grande disponibilité, ses précieux conseils et son aide tout au long de notre travail. Sa rigueur scientifique nous a profondément touchés. Ce travail est l'expression de notre gratitude et de notre profond respect.

Nos plus sincères remerciements vont à nos chers parents. Tout au long de notre cursus, ils nous ont soutenus, encouragés et aidés, nous offrant un soutien moral, psychologique et matériel indispensable à notre réussite. Si nous sommes ici aujourd'hui, c'est grâce à eux.

Nous remercions également les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en évaluant ce travail.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à tous les professeurs du département d'électrotechnique pour leur assistance et leur encadrement tout au long de nos études universitaires.

Dédicaces

Avant tout, je suis reconnaissant envers Dieu tout-puissant pour m'avoir accordé la force et la patience nécessaires pour accomplir ce travail malgré les défis rencontrés.

Ce modeste travail est dédié à :

Ma chère mère, mon cher père et ma sœur qui ont toujours été là pour m'encourager, me soutenir dans les moments difficiles, et m'entourer de leur affection et de leur amour afin de me voir réussir. Que Dieu veille sur eux.

A tous les enseignants surtout Dr chanane, Dr bellazoug

A mon binôme Chamma Mohamed

A tous mes amis et les étudiants de ma promotion

2023/2024

Sami

Dédicaces

Je veux simplement dire merci à ma très chère mère,
mon cher père et mes sœurs qui ont sacrifié leur vie
pour ma réussite et pour tous ce qu'ils ont fait pour moi.

Ce travail, je le dédie à eux, car ils ont toujours été là
pour me guider et m'encourager.

Et Je tiens à dédier ce modeste travail à :

Tous les enseignants du département, notamment Mr.

Chanane Abdellah et Mr. Bellazoug Messaoud.

A toute ma famille

A mon binôme Medjber Sami

A tous mes proches ce que j'aime et les étudiants de ma

promotion 2023/2024

Mohamed

ملخص: بالسنوات الأخيرة، استحوذ حل التدفق الأمثل للطاقة الكهربائية على اهتمام متزايد في مجتمع البحث، بسبب الاحتياجات المتنامية للشبكات الكهربائية الحديثة والتحديات المرتبطة بالبيانات غير المكتملة أو غير المحددة بشكل جيد. للأسف، تواجه الطرق التقليدية لتحسين هذا التدفق بعض القيود العملية، بسبب تعقيد المتغيرات والأهداف المعنية. للتغلب على هذه المشكلة، تقترح هذه الدراسة نهجًا جديدًا: استخدام أساليب ميتاهورستيك لحل مشكلة الإرسال الاقتصادي ذو الهدف الواحد، مع مراعاة أمن الشبكة وتقليل اختلافات الجهد عن القيم الاسمية على جميع العقد في الشبكة

المفاتيح: تدفق الطاقة الأمثل , دالة الهدف , خوارزميات عشوائية , خوارزميات مستعمرة النحل , شبكة معهد مهندسي الكهرباء و الإلكترونيات .

.....

Résumé : Dans les récentes années, la résolution du défi de l'écoulement optimal de la puissance électrique a suscité un intérêt soutenu dans la communauté de recherche, en raison des besoins croissants des réseaux électriques modernes et des difficultés liées aux données souvent incomplètes ou mal définies. Malheureusement, les méthodes classiques d'optimisation de cet écoulement se heurtent souvent à des limitations pratiques, en raison de la complexité des variables et des objectifs en jeu. Pour remédier à cette problématique, cette étude propose une approche novatrice : l'application de méthodes métaheuristiques pour résoudre le problème du Dispatching Économique mono-objectif, tout en tenant compte de la sécurité du réseau et en minimisant les écarts de tension par rapport aux valeurs nominales sur l'ensemble des nœuds du réseau.

Nous avons utilisé la méthode d'optimisation par essaim de particules (PSO) dans notre étude. Nous avons intégré l'énergie photovoltaïque (PV) et obtenu des résultats satisfaisants en termes de réduction des coûts de production.

L'algorithme a été validé sur un réseau de test IEEE 14-Bus.

Mots clés : la méthode d'optimisation par essaim de particules (PSO) ; Fonction objectif ; méthodes métaheuristiques ; Algorithme de k-means ; IEEE 14- Bus.

Abstract: In recent years, solving the challenge of optimal power flow has garnered sustained interest in the research community due to the growing needs of modern electrical networks and the difficulties related to often incomplete or poorly defined data. Unfortunately, traditional methods of optimizing this flow often face practical limitations due to the complexity of the variables and objectives involved. To address this issue, this study proposes an innovative approach: the application of metaheuristic methods to solve the single-objective Economic Dispatch problem while considering network security and minimizing voltage deviations from nominal values across all network nodes.

We used the Particle Swarm Optimization (PSO) method in our study. We integrated photovoltaic (PV) energy and achieved satisfactory results in terms of production cost reduction. The algorithm was validated on an IEEE 14-Bus test network.

Keywords: Particle Swarm Optimization (PSO); Objective function; Metaheuristic methods; K-means algorithm; IEEE 14-Bus.

**Liste des
abréviations
et
acronymes**

Listes des abreviations et acronymes

OPF	Optimisation de l'écoulement de puissance
PF	l'écoulement de puissance
S	Puissance apparente.
P_g	Puissance réelle de générateur.
Q_g	Puissance réactive de générateur
R_{ij}	La résistance de la ligne entre les jeux de barres i et j.
X_{ij}	La réactance de la ligne entre les jeux de barres i et j.
G_{ij}	La conductance de la ligne entre les jeux de barres i et j.
Y_{ij}	L'admittance shunt par phase
B_{ij}	La susceptance capacitive shunts de la ligne entre les jeux de barres i et j
Q_L	Puissance réactive de charge.
P_L	Puissance réelle de charge.
Y_t	Matrice admittance nodale du transformateur
t_{ij}	Rapport de transformation du transformateur
y_t	Admittance du transformateur
α_{ij}	Angle de déphasage du transformateur
j	nombre de centrales PV
k	nombre de charges
z	nombre de générateur
P_{ch(k)}	puissance de la charge
P_L	Puissance des pertes
V_i^{min}, V_i^{max}	tension minimale et maximale du nœud 'i'
I_i^{ligne}	intensité du courant de la ligne « i »
P_{pv} (j)	puissance des PV
PG_{max}(z), PG_{min}(z)	puissance min et max des générateur
a_i, b_i et c_i	Représentent les coefficients de coût de la ième unité de production
P_{pv}	La puissance PV totale a installé

Listes des abreviations et acronymes

N_{pv}	Nombre des centrale PV installées
P_{Gi}	Les puissances active générées au nœud i .
Pso	Optimisation par essaim de particule.
$pbest_{pr}$	La meilleure particule parmi toutes celles représentées par $gbest$
x_{pr}	vecteur de position de la particule
v_{pr}	vecteur de vitesse de la particule
c_0	coefficient d'inertie
c_1, c_2	coefficient d'accélération
Rand	nombre aléatoire entre 0 et 1
v_i^k	la vitesse de la particule a l'itération k .
x_i^k	la position de la particule a la l'itération k
$pbest_i^k$	la meilleure position de la particule i jusqu'à l'itération k
$gbest_i^k$	la meilleure position de la l'essaim i jusqu'à l'itération k
x_i^{k+1}	la nouvelle position de la particule
$iter_{max}$	le nombre maximal des itérations
iter	le nombre des itérations actuel

Sommaire

REMERCEIMENTS

DEDICACE

RESUME

LISTE DES ABREVIATIONS

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Introduction générale..... 1

Chapitre 01 : Modélisation des réseaux électriques

1.1 Introduction	4
1.2 Structures des réseaux électriques	4
1.2.1. Réseau maillé.....	4
1.2.2. Réseau boucle	5
1.2.3. Réseau radiale	5
1.2.4. Réseau arborescent	5
1.3 Architecture des réseaux électriques	6
1.3.1. Réseau de transport HTB.....	6
1.3.2. Réseau de répartition HTB et HTA	6
1.3.3. Réseau de distribution HTA	6
1.4 Modèle du générateur	8
1.4.1. Ligne de transmission.....	8
1.4.2. Modelé d'une charge électrique.....	10
1.4.3. Transformateurs de puissance	11
1.5. Élément shunt	12
1.6. Conclusion	13

Chapitre 02 : Incorporation des énergies renouvelables dans le réseau de transport de l'Energie électrique

2.1. Introduction	14
2.2. L'énergie photovoltaïque	14
2.3. Objectifs et motivations.....	15
2.4. Calcul.....	15
2.5. Les contraintes	15
2.6. Fonction objective du cout	16

Sommaire

2.6.1. Cout de production des générateurs classiques	16
2.7. Cout d'investissement	16
2.7.1. Tableau des prix des centrales PV.....	17
2.8. Cout d'installation	17
2.8.1. Installation de 5 Mw avec des centrales de 3 Mw.....	18
2.8.2. Cout du Mwh _{pv}	19
2.8.3. Exemple	19
2.9. Fonction objective	20
2.9.1. Contraintes d'égalité	20
2.9.2. Contraintes d'inégalité	21
2.10. Variables d'état	22
2.11. Variables de contrôle	22
2.12. Conclusion	23

Chapitre 03 : Algorithmes d'optimisation

3.1. Introduction	24
3.2. L'algorithme de clustering.....	24
3.2.1. Les étapes principales de l'algorithme k-means.....	25
3.2.2. Organigramme de l'algorithme clustering k-means	26
3.3. Optimisation par essaim de particule	27
3.4. Idée de base.....	27
3.4.1. Algorithme générale.....	28
3.4.2. Les étapes de la méthode d'optimisation par essaim de particule	30
3.4.3. Organigramme de PSO.....	31
3.4.4. Le voisinage	32
3.4.5. Synthèse de l'algorithme.....	32
3.5. Conclusion	33

Chapitre 04 : résultats et discussions

4.1. Introduction	34
4.2. Les fonctions objectif	34
4.3. Les contraintes.....	34
4.4. Application 1 : optimisation par l'algorithme de colonie d'abeille 14-bus.....	35
4.5. Paramètres de l'algorithme	36
4.6. L'état nominale.....	36
4.6.1. Le tableau du cout de production.....	36
4.6.2. La figure du cout de la production.....	37
4.7. Les scenarios.....	38
4.8. Discussions.....	38
4.8.1. Scenario 1.....	38

Sommaire

4.8.2. Scenario 2.....	40
4.8.3. Scenario 3.....	41
4.8.4. Scenario 4.....	44
4.8.5. Scenario 5.....	46
4.9. Application 2 : classification des résultats par l'algorithme k-means.....	48
4.9.1. Les résultats du k-means.....	48
4.9.2. Commentaire	48
4.10. Conclusion	49

Conclusion générale

Annexes

Bibliographie

Listes des figures

Liste des figures

Chapitre 1 :

Figure 1.1 : Les différentes structures de réseau électrique.....	05
Figure 1.2 : architecture d'un réseau électrique.....	07
Figure 1.3 : Modelé d'un générateur.....	08
Figure 1.4 : modèle d'une ligne	09
Figure 1.5 : Modelé d'une charge	10
Figure 1.6 : Modelé en π d'un transformateur	11
Figure 1.7 : Modèle de l'élément shunt	12
Figure 1.8 : Classification des jeux des barres	13

Chapitre 2 :

Figure 2.1 : cellule photo voltaïque.....	14
Figure 2.2 : courbe de la production de la centrale.....	19

Chapitre 3 :

Figure 3.1 : Le fonctionnement de l'algorithme de clustering K-means.....	25
Figure 3.2 : Organigramme de l'algorithme K-means	26
Figure 3.3 : déplacement d'une particule	28
Figure 3.4 : organigramme de la méthode PSO.....	31
Figure 3.5 : topologie de voisinage.....	32

Chapitre 4 :

Figure 4.1 : le schéma unifilaire du réseau électrique IEEE 14-Bus	35
Figure 4.2 : histogramme des valeurs optimales obtenue pour le réseau IEEE14 bus.....	37
Figure 4.3 : le cout après l'utilisation du PSO	37
Figure 4.4 : le cout du scenario 1	39

Liste des figures

Figure 4.5 : histogramme du scenario 1.....	40
Figure 4.6 : le cout du scenario 2	41
Figure 4.7 : histogramme du scenario 2.....	41
Figure 4.8 : le cout du scenario 3	43
Figure 4.9 : histogramme du scenario 3.....	43
Figure 4.10 : le cout du scenario 4	45
Figure 4.11 : histogramme du scenario 1.....	45
Figure 4.12 : le cout du scenario 5	47
Figure 4.13 : histogramme du scenario 5	47

Listes des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre2 :

Tableau 2.1 : Prix des centrales PV	17
--	----

Chapitre4 :

Tableau 4.1 : les valeurs optimales obtenues pour le réseau ieee14 bus.....	36
--	----

Tableau 4.2 : les scenarios étudier	38
--	----

Tableau 4.3 : résultats du k-means	48
---	----

Introduction Générale

Introduction Générale

Au fil des décennies, l'électricité a transcendé son rôle initial de simple interrupteur pour devenir le moteur essentiel de notre progrès technologique.

Ces technologies, devenues indispensables à la race humaine, ont émergé grâce à l'invention fondamentale de l'électricité, illustrant ainsi son rôle central dans notre société moderne.

Au cœur de cette révolution technologique se trouve l'énergie électrique, une forme d'énergie qui s'est imposée comme la plus cruciale à l'ère moderne.

En effet, notre dépendance croissante envers cette énergie vitale est incontestable, jouant un rôle central dans de nombreux aspects de notre vie quotidienne.

L'électricité, en facilitant le progrès technologique, sous-tend une gamme étendue de produits et de services qui améliorent notre qualité de vie et stimulent la productivité économique.

Ainsi, la demande croissante en énergie électrique est étroitement liée à la croissance démographique et économique, soulignant l'importance cruciale de l'efficacité énergétique et électrique en tant que clé de l'économie moderne.

Dans cet élan, l'électricité ne se contente pas d'offrir une source d'énergie, elle détient un potentiel unique avec des attributs exceptionnels, permettant une conversion de haute qualité vers pratiquement n'importe quelle forme d'énergie.

Son efficacité de transmission, avec la facilité de transmission de la centrale aux consommateurs finals à travers des lignes de transmission aériennes, et le contrôle aisé des machines à commande électrique à des vitesses jadis inatteignables, soulignent l'impact omniprésent de cette énergie. De plus, la diversité des sources d'énergie naturelles utilisées pour sa production souligne la complexité et la variété de ses origines.

Cependant, au-delà de la genèse et des attributs uniques de l'électricité, l'infrastructure qui la soutient, le réseau électrique, devient l'épine dorsale de son utilisation à l'échelle mondiale.

Ce réseau sophistiqué interconnecte la production, le transport/distribution et la consommation sur de vastes distances, formant des ensembles interconnectés qui transcendent les frontières nationales. Dans cette dynamique, l'optimisation de la répartition des puissances et le contrôle de la tension deviennent des préoccupations centrales, visant à maintenir la

Introduction Générale

stabilité opérationnelle tout en minimisant les coûts et en préservant la sécurité environnementale.

Ainsi, l'écoulement de puissance optimal (OPF) se profile comme une stratégie cruciale, utilisant des méthodes mathématiques avancées pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité d'un réseau électrique complexe, répondant ainsi aux exigences spécifiques d'une société moderne dépendante de cette énergie indispensable.

Les énergies renouvelables émergent comme une force motrice cruciale dans la transition énergétique à l'échelle mondiale, répondant aux impératifs environnementaux et climatiques qui pressent la communauté internationale. Ces sources d'énergie offrent une alternative durable et éthique aux approvisionnements traditionnels, caractérisés par leur dépendance aux combustibles fossiles et leurs conséquences néfastes sur l'environnement. L'intégration progressive des énergies renouvelables dans les réseaux électriques constitue un pilier majeur de cette transition, visant à réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre et à minimiser les impacts écologiques.

Parmi les diverses formes d'énergie renouvelable, l'énergie photovoltaïque occupe une place particulièrement stratégique. Les systèmes photovoltaïques, grâce à leur capacité à convertir la lumière solaire en électricité, se présentent comme une solution propre et abondante. Cette technologie novatrice offre un potentiel significatif pour diversifier le mix énergétique des réseaux électriques, réduisant ainsi la dépendance prévalente envers les énergies non renouvelables. L'intégration accrue de l'énergie photovoltaïque contribue non seulement à atténuer la pression sur les ressources fossiles, mais elle promeut également la résilience du réseau électrique en favorisant une production décentralisée. Cette approche décentralisée renforce la stabilité et la robustesse du réseau, minimisant les risques liés à la centralisation de la production.

En conclusion, l'énergie photovoltaïque se profile comme un acteur central et indispensable dans la transition vers un système énergétique plus durable. Sa capacité à fournir une source d'énergie fiable et respectueuse de l'environnement en fait une pierre angulaire dans la construction d'un avenir énergétique équilibré, répondant aux besoins croissants de la société tout en préservant la planète pour les générations futures

Notre mémoire est articulé autour de quatre chapitres :

Introduction Générale

Chapitre 1 :

On a fourni un aperçu global du réseau électrique, en explorant son architecture, sa structure et sa modélisation.

Chapitre 2 :

Ce chapitre sera consacré à la modélisation des composants du réseau électrique. Il traitera de la formulation de la fonction objectif visant à optimiser le fonctionnement du réseau en termes de coût de production. Nous aborderons également le choix des logiciels de calcul pour l'écoulement de puissance optimale (EPO) et le protocole de communication entre ces différents logiciels. Enfin, nous validerons notre approche de calcul en utilisant le réseau test IEEE 14-bus.

Chapitre 3 :

Ce chapitre se concentrera sur l'utilisation des méthodes de l'intelligence artificielle, notamment PSO (Optimisation par Essaim Particulaire) et K-means, pour résoudre la complexité de l'écoulement de puissance. Ces techniques permettront de simplifier les processus et de parvenir à une solution optimale pour la gestion du réseau électrique.

Chapitre 4 :

Nous avons mené des expériences en intégrant des centrales photovoltaïques (PV) dans notre réseau. À titre d'illustration, nous avons injecté le coût d'une heure de fonctionnement d'une centrale de 5 MW dans notre réseau, ainsi que plusieurs autres scénarios, afin d'observer les différentes variations du coût de production à l'heure et à l'année. Pour optimiser ces coûts, nous avons utilisé l'algorithme PSO.

En complément de cette optimisation, nous avons également utilisé l'algorithme de k-means pour classifier nos résultats. Cette approche nous a permis de regrouper les différents scénarios en clusters, facilitant ainsi l'analyse et la comparaison des coûts de production dans diverses conditions. Les résultats montrent des variations significatives en fonction des configurations testées, démontrant l'efficacité de l'algorithme PSO dans la recherche de solutions optimales pour la gestion des coûts de production d'énergie.

Chapitre 1

Modélisation des réseaux électriques

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

1.1 Introduction :

Le concept fondamental de l'écoulement de puissance, également appelé calcul de l'écoulement de puissance ou power flow, revêt une importance capitale dans la compréhension du cycle de génération, de transmission et de consommation d'électricité au sein de systèmes électriques complexes. L'objectif premier du calcul de l'écoulement de puissance est de démystifier la circulation de l'énergie électrique dans le réseau en prenant en compte les contraintes physiques et les limitations inhérentes. Cette approche analytique s'inscrit dans une volonté d'assurer le fonctionnement fiable, efficace et sécurisé de l'ensemble du système électrique.

Le calcul de l'écoulement de puissance se positionne comme un outil incontournable, fréquemment utilisé dans diverses applications stratégiques. Parmi celles-ci, la planification et la conception de réseaux électriques se distinguent, où il intervient en tant que paramètre essentiel pour optimiser la disposition des infrastructures. Par ailleurs, son rôle central dans l'exploitation et la gestion quotidienne des systèmes de production et de distribution d'énergie souligne son impact concret sur la réalité opérationnelle. En résumé, l'écoulement de puissance apporte un éclairage non seulement sur les mécanismes fondamentaux de l'électricité dans un réseau complexe, mais il représente également une boussole guidant les décisions et les actions visant à maintenir la stabilité, la performance et la sécurité globale du système électrique.

1.2 Structures des réseaux électriques :

Voici une classification des différentes topologies utilisées :

1.2.1 Réseau maillé :

Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport. Tous les centres de production sont interconnectés par des lignes THT au niveau des postes d'interconnexion, formant ainsi un maillage. Cette configuration offre une meilleure fiabilité, mais requiert une surveillance à l'échelle nationale.[1]

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

1.2.2 Réseau bouclé :

Cette topologie est principalement utilisée dans les réseaux de répartition et de distribution moyenne tension (MT). Les postes de répartition haute tension (HT) ou moyenne tension (MT), alimentés par le réseau très haute tension (THT), sont interconnectés pour former des boucles afin d'augmenter la disponibilité. Cependant, il est important de noter que les réseaux MT ne sont pas nécessairement bouclés. [1]

1.2.3 Réseau Radial :

Cette topologie, couramment utilisée dans la distribution moyenne tension (MT) et basse tension (BT), est simple. Elle consiste en une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT, eux-mêmes alimentés par un poste source HT ou MT. En moyenne tension, cette structure est souvent alimentée des deux côtés pour garantir une meilleure disponibilité. [1]

1.2.4 Réseau arborescent :

Cette structure est largement utilisée en milieu rural et parfois en milieu urbain, où la charge n'est pas très sensible aux interruptions. Elle se compose d'un poste de répartition qui alimente plusieurs distributions via des dérivations à différents points des lignes alimentant les postes MT/BT. [1]

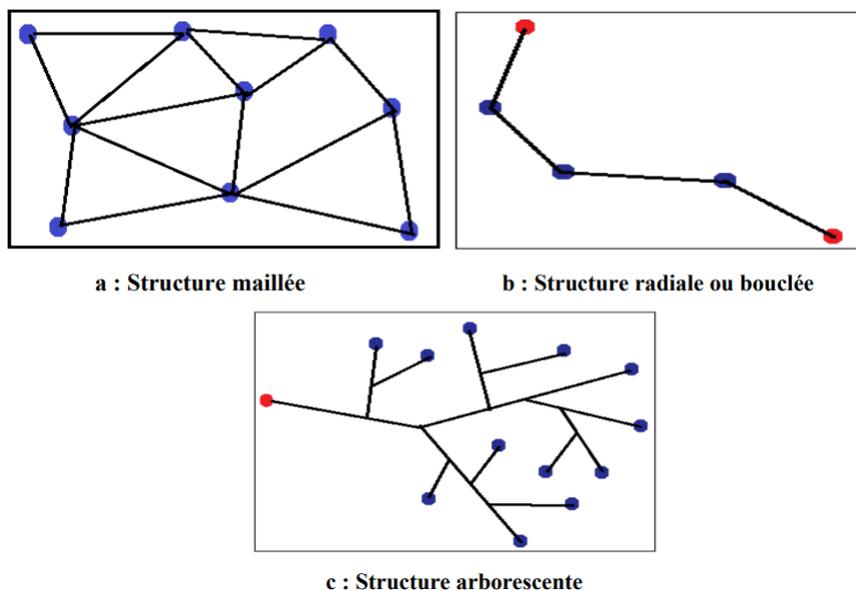


Figure 1.1 : Les différentes structures de réseau électrique [2]

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

1.3 Architecture des réseaux électriques :

À partir des différents paramètres et topologies des réseaux, on distingue les types suivants :

1.3.1 Réseau de transport :

Les réseaux de transport fonctionnent à haute tension (HT), généralement entre 50 kV et 400 kV, pour acheminer l'énergie des grands centres de production vers les zones consommatrices d'électricité. La transmission de grandes puissances nécessite des lignes électriques à forte capacité, ainsi qu'une structure maillée ou interconnectée. Ces réseaux maillés assurent une excellente sécurité d'alimentation, car ils peuvent compenser la perte de n'importe quel élément, qu'il s'agisse d'une ligne électrique, d'un transformateur ou d'un groupe de production. [3]

1.3.2. Réseau de répartition :

Les réseaux de répartition fonctionnent à haute tension, généralement entre 30 et 150 kV, et leur objectif est d'assurer la fourniture d'électricité à l'échelle régionale. L'énergie est principalement injectée dans ces réseaux par le réseau de transport via des transformateurs, mais aussi par des centrales électriques de moyenne puissance (généralement inférieure à environ 100 MW). Ces réseaux de répartition sont répartis de manière assez uniforme sur le territoire d'une région. Leur structure est à la fois maillée et bouclée, variant selon les régions considérées. Contrairement aux réseaux de transport, qui sont toujours bouclés, les réseaux de répartition peuvent être exploités en mode bouclé ou débouclé en fonction des flux sur le réseau. En mode débouclé, un disjoncteur est ouvert sur l'artère, ce qui limite les capacités de secours. Les problèmes de report de charge se posent également pour les réseaux de répartition, nécessitant une coordination avec le réseau de transport et l'utilisation de moyens de simulation en temps réel pour assurer une conduite efficace.[4]

1.3.3. Réseau de distribution :

Les réseaux de distribution alimentent les consommateurs à deux niveaux de tension : moyenne tension (MT) de 3 à 50 kV et basse tension (BT) de 110 à 600 V pour les utilisateurs domestiques. Contrairement aux réseaux de transport et de répartition, les réseaux de distribution offrent une variété de solutions techniques, adaptées aux pays et à la densité de population. Les réseaux MT sont généralement arborescents, alimentant les réseaux BT à partir de postes sources. Les coupures sur les lignes MT entraînent des interruptions pour les clients

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

connectés. En zone rurale, les réseaux MT sont souvent aériens, tandis qu'en zone urbaine, les câbles souterrains sont privilégiés malgré le risque d'indisponibilité prolongée en cas de problème. Les réseaux BT dérivent des réseaux MT, avec des structures arborescentes prédominantes pour une gestion simple et économique. [5]

Les réseaux électriques sont hiérarchisés. (CEI) : [3]

- Un réseau de transport THT 220..... 800 Kv.
- Un réseau de répartition HT 60..... 170 Kv.
- Un réseau de distribution MT 536 Kv.
- Un réseau de livraison de l'abonné BT 400.....230 Kv.

Les niveaux de tension alternative sont définis de la manière suivante :[3]

- HTB → pour une tension composée supérieure à 50 kV
- HTA → pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV
- BTB → pour une tension composée comprise entre 500V et 1 kV
- BTA → pour une tension composée comprise entre 50V et 500 V
- TBT → pour une tension composée inférieure ou égale à 50V

Le schéma ci-dessous illustre cette hiérarchie du réseau :

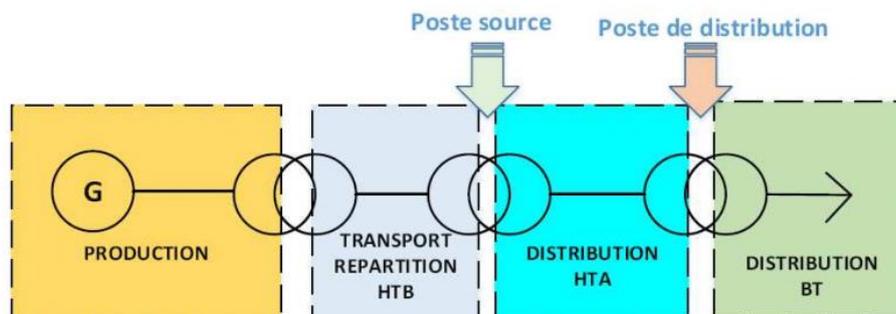


Figure 1.2 : architecture d'un réseau électrique [6]

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

1.4 Modèle du générateur :

Au cœur du réseau électrique, les générateurs sont pivotaux, assumant le rôle central dans la production d'électricité indispensable aux consommateurs. Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, ils sont représentés comme des points névralgiques, où le générateur est modélisé comme une source de tension constante V_g injectant à la fois de la puissance réelle P_g et de la puissance réactive Q_g dans le système. Ajuster la puissance réactive du générateur est crucial pour maintenir la tension constante au nœud i du réseau. De plus, les générateurs sont sujets à deux limites fondamentales de puissance réactive, P_{gmax} et Q_{gmax} : [7]

$$S = P_g + jQ_g \quad \mathbf{I.1}$$

Telle que :

- S : Puissance apparente.
- P_g : Puissance réelle de générateur.
- Q_g : Puissance réactive de générateur.

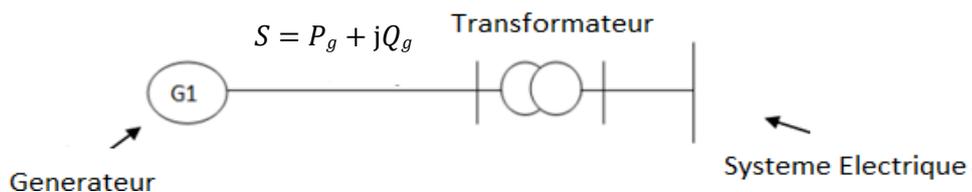


Figure 1.3: Modelé d'un générateur

1.4.1 Ligne de transmission :

La connexion énergétique entre les jeux de barres, en particulier entre les jeux de barres i et j , est généralement représentée au moyen de diagrammes équivalents de phase (π). Ces diagrammes constituent des outils graphiques essentiels pour comprendre et analyser les flux d'énergie entre différents points du réseau électrique. Ils offrent une représentation visuelle de la manière dont les jeux de barres sont interconnectés et comment l'énergie est transférée d'un

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

point à un autre. En examinant ces diagrammes, on peut identifier les chemins empruntés par l'énergie électrique à travers le réseau, ainsi que les éventuelles contraintes ou limitations qui peuvent influencer la répartition de la puissance entre les différents jeux de barres. En somme, les diagrammes équivalents de phase fournissent une perspective détaillée sur la connexion énergétique entre les composantes du réseau électrique, facilitant ainsi la prise de décisions éclairées en matière de gestion et d'optimisation de l'énergie électrique. [8]

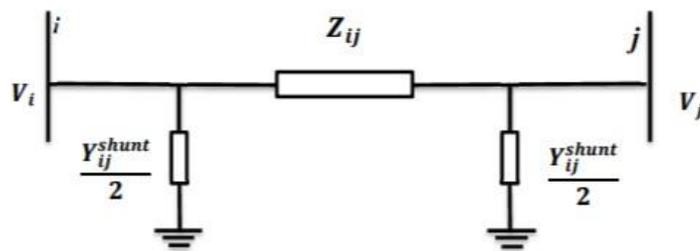


Figure1.4 : modèle d'une ligne

Ces paramètres :

L'impédance série ou longitudinale (Z) de chaque phase en (Ω) est donnée par :

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \quad \mathbf{I.2}$$

Telle que :

- R_{ij} : La résistance de la ligne entre les jeux de barres i et j.
- X_{ij} : La réactance de la ligne entre les jeux de barres i et j.

L'admittance shunt par phase (Y) exprimée en (en Siemens) donnée par :

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad \mathbf{I.3}$$

Telle que :

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

G_{ij} : La conductance de la ligne entre les jeux de barres i et j.

B_{ij} : La susceptance capacitive shunts de la ligne entre les jeux de barres i et j.

1.4.2 Modelé d'une charge électrique :

La représentation classique de la charge repose sur l'hypothèse d'une consommation d'énergie constante, avec des valeurs fixes de puissance active P_L et de puissance réactive Q_L , comme indiqué dans la figure. Cette charge est reliée au réseau de transport d'électricité via un transformateur et correspond généralement à une station de distribution (sous-station) alimentant le réseau de distribution :[9]

$$S = P_L + jQ_L \quad \mathbf{I.4}$$

Telle que :

- Q_L : Puissance réactive de charge.
- P_L : Puissance réelle de charge.

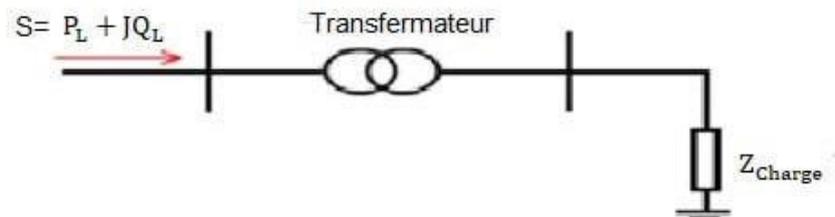


Figure1.5 : Modelé d'une charge

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

1.4.3 Transformateurs de puissance :

Il y a deux catégories de transformateurs à prendre en compte dans la modélisation : d'abord, les transformateurs de prise à charge variable, qui permettent d'ajuster le rapport de transformation t_{ij} pour réguler la tension. Ensuite, les transformateurs déphaseurs, caractérisés par un angle de déphasage variable α_{ij} , utilisé pour contrôler l'écoulement de puissance réelle. Notons que le modèle équivalent en π du transformateur à prises de charge variables correspond essentiellement à celui d'une ligne de transmission, comme illustré dans la figure 1.6. [10]

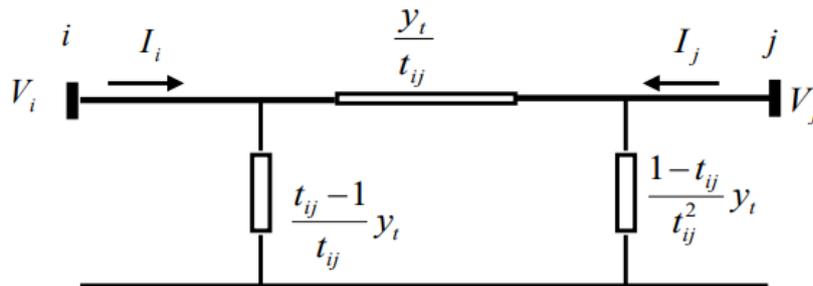


Figure 1.6 : Modelé en π d'un transformateur

Dans les applications impliquant des transformateurs avec prises à charge variable et/ou des déphaseurs, le rapport de transformation est représenté par un nombre complexe $t_{ij} = t_{ij}e^{j\alpha_{ij}}$. Dans de telles situations, il n'est pas possible d'obtenir le modèle équivalent en π . En conséquence, la matrice d'admittance nodale du transformateur est déterminée différemment : [11]

$$\begin{bmatrix} y_t & \frac{-e^{j\alpha_{ij}}}{t_{ij}} y_t \\ \frac{-e^{-j\alpha_{ij}}}{t_{ij}} y_t & \frac{1}{t_{ij}^2} y_t \end{bmatrix} \quad \mathbf{1.5}$$

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

Telle que :

- Y_t : Matrice admittance nodale du transformateur.
- t_{ij} : Rapport de transformation du transformateur.
- y_t : Admittance du transformateur.
- α_{ij} : Angle de déphasage du transformateur.

Par conséquent, le rapport de transformation et l'angle de déphasage sont exprimés comme modifier directement la matrice d'admittance du système. [10]

1.5 Élément shunt :

Un élément shunt désigne un dispositif électrique constitué d'une combinaison de condensateurs et de réactances (selfs) qui est mis en place dans un système électrique pour générer ou absorber de la puissance réactive. Cette puissance réactive est ajustée afin d'améliorer la stabilité et la qualité de la tension électrique dans le réseau. En absorbant l'excès de puissance réactive, les condensateurs et les selfs aident à maintenir les niveaux de tension dans des limites acceptables, ce qui favorise un fonctionnement plus efficace et fiable du système électrique. À l'inverse, en fournissant de la puissance réactive, ces éléments peuvent compenser les déficits de tension, contribuant ainsi à stabiliser le réseau électrique. En somme, les éléments shunt jouent un rôle crucial dans la gestion de la puissance réactive et dans le maintien de la stabilité du réseau électrique.: [7]

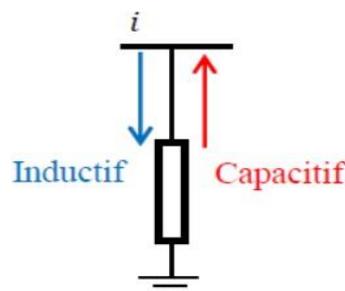


Figure 1.7 : Modèle de l'élément shunt

Chapitre 1 : Modélisation des réseaux électrique

1.7 Conclusion :

Dans cette section, nous avons initié une exploration approfondie du concept et des objectifs fondamentaux de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques. Notre analyse s'est concentrée sur les méthodes d'optimisation, les variables de contrôle, ainsi que l'état et les équations qui leur sont associées. L'objectif premier de cette étude était d'entamer une réflexion sur les différentes approches permettant d'améliorer le flux d'énergie à travers le réseau, de réaliser des calculs précis et de minimiser les pertes énergétiques, tout en tenant compte des contraintes tant d'égalité que d'inégalité. Nous avons également exploré l'application d'algorithmes mathématiques avancés, en mettant notamment l'accent sur l'algorithme de Recherche Gravitationnelle. Cette méthode sera approfondie dans le prochain chapitre, où nous explorerons ses applications et ses implications dans le contexte de l'optimisation de l'écoulement de puissance.

Chapitre 2

Incorporation des énergies renouvelables dans le réseau de transport de l'Energie électrique

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

2.1 Introduction :

Le distributeur de l'énergie électrique s'engage à fournir à l'ensemble des utilisateurs une énergie tout en assurant une qualité et une continuité de service. De sa production jusqu'à sa consommation, l'énergie subit des fluctuations et des changements qui peuvent perturber et parfois couper le client. L'insertion des énergies renouvelables un réseaux électrique représente une des solutions les plus efficaces. Dans ce contexte, nous allons intégrer des ressources photovoltaïques dans les réseaux de transport de l'Energie.

2.2 L'Energie photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque se réfère à l'électricité produite par la conversion d'une partie du rayonnement solaire à l'aide d'une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules connectées entre elles forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Lorsque plusieurs modules sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque, on parle alors de champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique appelé effet photovoltaïque, soit la technologie qui y est associée. [2]



Figure 2.1 : cellule photovoltaïque [2]

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

2.3 Objectifs et motivations :

L'écoulement de l'électricité à travers le réseau de transport entraîne des pertes le long des lignes. Cependant, la maîtrise des coûts de production de l'énergie joue un rôle crucial dans l'économie. Pour obtenir les meilleurs résultats, il est essentiel d'optimiser à la fois les coûts et les pertes des générateurs de production.[12]

Cette étude se concentrera sur l'intégration de la ressource renouvelable photovoltaïque, en prenant en compte deux objectifs principaux :[12]

- Minimiser le coût :
 - Coût de production des Générateurs Classiques (GC)
 - Coût d'investissement en PV
 - Cout d'investissement en GC et PV
- Réduction des pertes des puissances actives

2.4 Calcul :

- L'écoulement de puissance optimale (économique) sera utilisé comme référence de calcul
- Les pertes des puissances actives seront calculées comme suit : $P_{loss} = P_{généré} - P_{demandée}$

2.5 Les contraintes :

$$1. \quad \sum_{i=1}^n P_i = p_{ch} + P_L \quad \text{II.1}$$

$$2. \quad V_i^{\min} < V_i < V_i^{\max} \quad \text{II.2}$$

$$3. \quad I_i^{lignne} < I_i^{lignne \max}$$

$$4. \quad \sum_{j=1}^m P_{pv}(j) - \sum_{k=1}^J P_{ch}(k) - \sum_{z=1}^x P_{G_{min}}(z) < 0 \quad \text{II.3}$$

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

$$5. \quad \sum_{j=1}^m P_{pv}(j) - \sum_{k=1}^J P_{ch}(k) - \sum_{z=1}^x PG_{min}(z) > 0 \quad \text{II.4}$$

Avec :

j : nombre de centrales PV

k : nombre de charges

z : nombre de générateur

$P_{ch}(k)$: puissance de la charge

P_L : Puissance des pertes

V_i^{\min}, V_i^{\max} : tension minimale et maximale du nœud "i"

I_i^{lignne} : intensité du courant de la ligne « i »

$P_{pv}(j)$: puissance des PV

$PG_{\max}(z), PG_{\min}(z)$: puissance min et max des générateur

2.6 Fonction objective du cout :

2.6.1 Coût de production des générateurs classiques

La fonction détermine le coût des générateurs classiques:[12]

$$F_i(P_i) = C_i + b_i P_i + a_i P_i^2 \quad \text{II.5}$$

Où :

a_i, b_i et c_i : Représentent les coefficients de coût de la ième unité de production.

2.7 Coût d'investissement :

Le coût d'investissement = $F_{pv} = \text{coût du Mwh} \times P_{pv} + \text{coutd'installation} \times N_{pv}$ II.6

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

Avec :

P_{pv} : La puissance PV totale a installé

N_{pv} : Nombre des centrale PV installées

Pour estimer le coût d'investissement, nous utilisons les tarifs des centrales photovoltaïques suivants :

2.7.1. Tableau des Prix des centrales PV : [12]

La puissance (MW)	Coût (€)
50 MW	106 millions euros
20MW	43millions euros
5MW	11 millions euros
3MW	7 millions euros

Tableau 2.1 : Prix des centrales PV

2.8 Coût d'installation :

Pour définir le coût d'installation, on peut le considérer comme le coût supplémentaire engendré lors de l'installation de plusieurs centrales pour une puissance donnée, plutôt que d'installer une seule centrale. Par exemple :

Pour installer une capacité de 100 MW, au lieu d'une seule centrale de 100 MW, nous optons pour l'installation de 5 centrales de 20 MW chacune. Nous calculons alors la différence entre le coût d'installation d'une seule centrale de 100 MW et celui de 5 centrales de 20 MW

(Voir Tableau 2.1),

Cette différence constitue notre coût d'installation.

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

En utilisant les données du tableau, nous calculons le coût d'installation pour chaque paire de puissances successives. Ensuite, nous déterminons la moyenne de ces coûts, qui devient notre coût d'installation final. Ce coût est fixe et représente un prix établi.

2.8.1. Installation de 5Mw avec des centrales de 3Mw :

$$\frac{5}{3} = 1.66 \quad \text{II.7}$$

Le coût des centrales :

$$1.66 * 7M€ = 11.62M€ \quad \text{II.8}$$

La différence entre le coût d'une centrale de 5Mw et 1.66 centrale de 3Mw :

$$11.62 - 11 = 0.62M€ \quad \text{II.9}$$

0.62M€ c'est le coût d'installation pour les 1.66 centrale, donc le coût d'installation pour unecentrale est de :

$$0.62/1.66 = 0.37M€ \quad \text{II.10}$$

De la même façon on calcule le coût d'installation pour 20MW avec des centrales de 5MW eton trouve : **0.25M€**

Et pour 50MW avec des centrales de 20MW on trouve : **0.6 M€**

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

Le coût d'installation final (fixe) est :

$$\text{Cout d'installation} = \frac{0.37+0.25+0.6}{3} = 0.4 \text{ M\$} \quad \text{II.11}$$

Alors notre coût d'installation est : 0.4M€

2.8.2. Coût du Mwh_{PV} :

Pour calculer le prix du MWh d'énergie photovoltaïque, il est nécessaire de définir une courbe de fonctionnement de la centrale PV, à partir de laquelle le coût par MWh est déterminé.

2.8.3. On propose cet exemple pour mieux comprendre :

Selon les données du tableau, le coût de la centrale de 5 MW s'élève à 11 millions d'euros, avec la courbe de production illustrée dans la figure...

$$\text{CoutMwh}_{pv} = \frac{\text{le cout de la centrale}}{\text{les heures de fonctionnement pendant la duree de vie}} \quad \text{II.12}$$

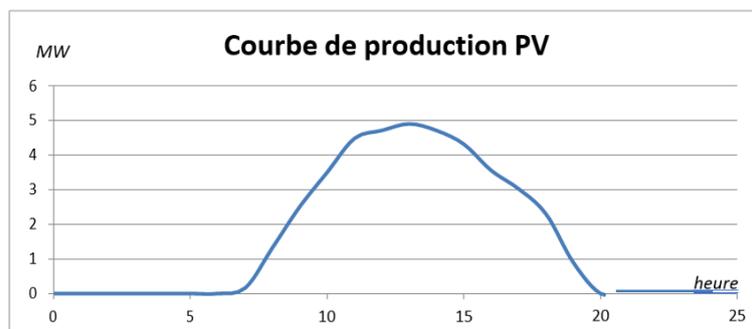


Figure 2.2 : Courbe de la production de la centrale PV

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

Pour avoir le coût du MWh on utilise l'équation

Et on obtient :

$$\text{coût du Mwh} = 11M\text{€}/((20 * 365) * 24) = 62.78\text{€}$$

Avec :

$(20 * 365) * 24$: Est la durée de vie de la centrale en heures

Le coût du Mwh est de 62.78€

Et donc notre fonction coût finale est :

$$F = F_i(P_i) + F_{pv} \quad \text{II.13}$$

2.9. Fonction objective :

Cette fonction exprime la nécessité de minimiser le coût total de production des puissances actives. On part du principe que le coût de chaque centrale de production dépend uniquement de la génération de la puissance active... [13]

$$F = \sum_{i=1}^{ng} f_i = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha + b_1 P_1 + C_i P_{Gi}^2) + F_{pv} \quad \text{II.14}$$

Avec :

- P_{Gi} Les puissances active générées au nœud i .

2.9.1. Contraintes d'égalité :

Ces contraintes reflètent les lois physiques régissant le système électrique, exprimées par des Équations non linéaires décrivant l'écoulement de puissance. Elles exigent que la somme des Puissances actives et réactives injectées dans chaque ensemble de barres soit nulle. [14]

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

$$g_i(x_1, \dots, x_n) = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad \text{II.15}$$

$$\Delta P_i = 0 = V_1 \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) - P_{Gi} + P_{Di} \quad \text{II.16}$$

$$\Delta Q_i = 0 = V_1 \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cos \delta_{ij}) - Q_{Gi} + Q_{Di} \quad \text{II.17}$$

2.9.2. Contraintes d'inégalité :

En pratique, il est essentiel de respecter les limites physiques des composants du réseau électrique tels que les générateurs, les transformateurs à prise de charge et les transformateurs de phase, afin de ne pas les dépasser.

Outre les contraintes sur les puissances actives à chaque générateur, qui influent directement sur la fonction de coût, d'autres contraintes d'inégalité peuvent être mentionnées [15]

- La puissance réactive générée Q_{Gi} qui est limitée par une borne inférieure $Q_{Gi.min}$, et une borne supérieure $Q_{Gi.max}$.

$$Q_{G.min} < Q_{Gi} < Q_{G.max} \quad \text{II.18}$$

- Les transformateurs à prises de charge présentent des écarts maximaux et minimaux par rapport à la tension nominale, tandis que les transformateurs à angles de phase ont des décalages maximaux et minimaux des phases des tensions. Ces deux types de transformateurs donnent lieu aux contraintes d'inégalité suivantes :

$$T_{ijmin} \leq T_{ij} \leq T_{ijmax} \quad \text{II.19}$$

$$\alpha_{ijmin} \leq \alpha_{ij} \leq \alpha_{ijmax} \quad \text{II.20}$$

- Afin de garantir la sécurité du système électrique, les lignes de transmission et les transformateurs de puissance sont soumis à des limites concernant le transit de puissance apparente. Ces limites sont imposées par les pertes thermiques dans les conducteurs

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

et/ou la stabilité du système. Elles sont exprimées par des contraintes d'inégalité qui restreignent la puissance en MVA au carré d'un transformateur ou d'une ligne de transmission.

- Pour garantir la qualité du service électrique et la sécurité du système, les tensions des jeux de barres doivent toujours se situer entre leurs valeurs maximales et minimales. Cela nécessite l'introduction de contraintes d'inégalité supplémentaires.

$$V_{i.min} < V_i < V_{i.max} \quad \text{II.21}$$

Donc, le problème comprend 'n' contraintes d'égalité et 'm' contraintes d'inégalité, avec un nombre de variables égal à la taille du vecteur des variables de contrôle. Ce vecteur inclut les puissances actives et réactives générées, les niveaux de tension des jeux de barres, les prises des transformateurs, etc.

2.10. Variables d'état :

Les variables du problème sont déterminées par les variables de contrôle. Principalement, il s'agit des modules des tensions des jeux de barres de charges, des puissances actives de référence (Slack-bus), des rapports des transformateurs, ainsi que des phases des tensions de tous les jeux de barres, à l'exception du jeu de barres de référence. L'état opérationnel d'un système électrique est entièrement défini par ces variables de contrôle et les variables d'état.[16]

$$X = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 & \dots & \dots & P_n \\ V_1 & V_2 & \dots & \dots & V_n \\ T_1 & T_2 & \dots & \dots & T_n \end{bmatrix} \quad \text{II.22}$$

2.11. Variables de contrôle :

Les paramètres du problème sont adaptés pour maximiser la fonction objective tout en

Chapitre 2 : Incorporation des énergies renouvelable dans le réseau de transport de L'Energie électrique

respectant les limitations imposées. Ces paramètres peuvent inclure : [17]

- Les puissances actives générées, à l'exception de la référence (Slack-bus).
- Les puissances réactives générées par les alternateurs.
- Les modules des tensions des jeux de barres.
- Les rapports de transformation des transformateurs

Les puissances générées actives P_G sont des variables de contrôles représentées par le vecteur de contrôle U :

$$U = \begin{bmatrix} P_2 & P_3 & \dots & \dots & P_n \\ V_1 & V_2 & \dots & \dots & V_n \\ T_1 & T_2 & \dots & \dots & T_n \end{bmatrix} \quad \text{II.23}$$

2.12. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté tous les modèles utilisés pour les différentes parties du réseau, ainsi que la fonction objective développée, avec des exemples de chaque paramètre de la fonction et de ses différents facteurs et méthodes de calcul. Nous avons décrit les étapes de la communication avec Matlab et validé notre approche en appliquant un écoulement de puissance optimal successif sur le réseau IEEE14-Bus, avec une validation effectuée par MatPower.

Il est évident que l'optimisation du nombre, de la taille et de l'emplacement des ENR dans le réseau de transport, en tenant compte des contraintes utilisées pour formuler notre fonction objective, est très complexe. Cette fonction est non linéaire en raison des coûts discrets des centrales photovoltaïques et également non continue, rendant impossible la résolution par une méthode analytique. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser une méthode méta-heuristique, que nous présenterons dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

Algorithmes

d'optimisation

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

3.1 Introduction :

Vu la complexité de résolution de l'écoulement de puissance on va obtenir à l'utilisation des méthodes de l'intelligence artificielle telle que : PSO, K-means.

Ces algorithmes intelligents ils vont nous faciliter le travail et faciliter les tâches ils vont aboutir à une solution optimale.

3.2 L'algorithme de Clustering K-Means

L'algorithme K-means, conceptualisé par J. MacQueen en 1967, est une technique de regroupement non supervisée couramment utilisée en apprentissage automatique et en exploration de données. Son objectif principal est de partitionner un ensemble de données en plusieurs groupes distincts, appelés clusters. Il opère de manière itérative, cherchant à minimiser la variance intra-cluster, c'est-à-dire la somme des carrés des distances entre chaque point de données et le centre de gravité de son cluster, communément appelé centroïde. Le paramètre "K" détermine le nombre de clusters prédéfinis à créer lors du processus. Par exemple, si K est égal à 2, deux clusters seront formés, tandis que K=3 résulterait en trois clusters, et ainsi de suite.[18]

L'algorithme de clustering k-means accomplit principalement deux tâches essentielles :

- Détermination des meilleurs emplacements pour les K centroïdes : L'algorithme commence par une initialisation aléatoire des K centroïdes dans l'espace des caractéristiques. Le paramètre K représente le nombre de clusters désirés. Ensuite, il itère pour affiner les positions des centroïdes afin de minimiser la variance intra-cluster.
- Assignation de chaque point de données à son centroïde le plus proche : Dans cette phase, chaque point de données est attribué au centroïde le plus proche en termes de distance euclidienne ou d'une autre métrique de distance spécifiée. Cette attribution forme des clusters où les points de données partagent des similarités et sont distincts des points des autres clusters.

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

Le schéma ci-dessous illustre le fonctionnement de l'algorithme de clustering k-means :

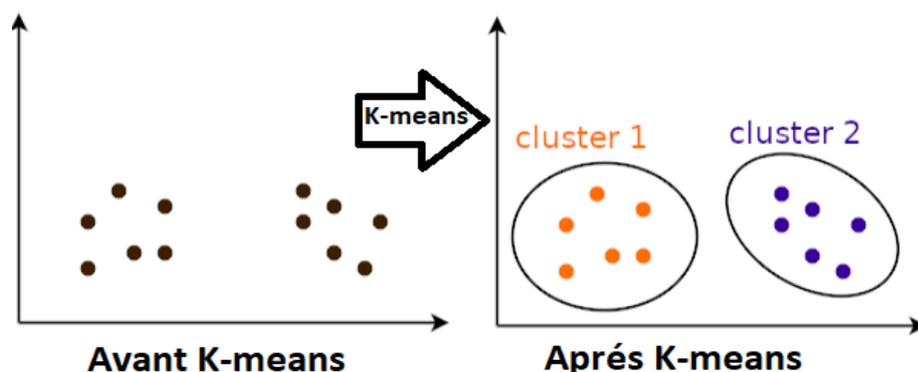


FIGURE 3.1 – Le fonctionnement de l'algorithme de clustering K-means [19]

3.2.1 Les étapes principaux de l'algorithme de K-means : [20] [21] [22]

1. L'ensemble de données en entrée, représenté par "n", consiste en un certain nombre d'observations ou d'éléments, tandis que le terme "nombre de clusters" indique le nombre de groupes ou de clusters dans lesquels ces données doivent être réparties ou segmentées.
2. L'initialisation des centres des K clusters implique de spécifier le nombre de clusters K souhaité, puis de sélectionner K points dans l'ensemble de données comme centroïdes initiaux. Cette sélection peut être réalisée de diverses manières, telles que le choix aléatoire de points ou l'utilisation d'une heuristique spécifique.
3. L'attribution des points aux clusters consiste à calculer la distance entre chaque point de l'ensemble de données et chaque centroïde, puis à attribuer le point au cluster dont le centroïde est le plus proche.
4. La mise à jour des centroïdes intervient ensuite, où les nouveaux centroïdes pour chaque cluster sont calculés en prenant la moyenne des points qui lui sont attribués, déplaçant ainsi le centroïde vers le centre des points du cluster.
5. Les étapes 3 et 4 sont répétées jusqu'à ce qu'il y ait convergence, c'est-à-dire lorsque

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

les centroïdes ne se déplacent plus ou que la variation intra-cluster est suffisamment réduite.

6. Une fois l'algorithme convergé, les résultats finaux sont obtenus, fournissant ainsi K clusters avec leurs centroïdes respectifs.

3.2.2 Organigramme de l'algorithme de clustering

K- means :

La figure (3.2) présente un schéma d'organigramme illustrant le déroulement de l'algorithme K-means.[23]

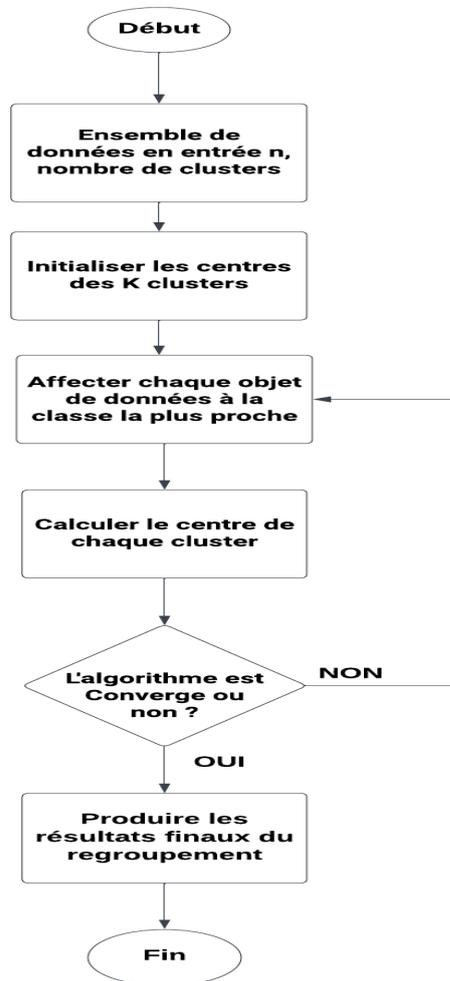


FIGURE 3.2 – Organigramme de l'algorithme K-means

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

3.3 Optimisation par essais de particule :

L'optimisation par essais de particules (PSO) tire son inspiration du comportement social observé dans les troupes d'oiseaux ou les bancs de poissons. Cette méthode, développée par J. Kennedy et R. Eberhart en 1995, vise à résoudre des problèmes d'optimisation globale. Grâce à sa simplicité et à son efficacité dans la découverte de solutions optimales, elle est devenue l'une des techniques les plus répandues pour aborder une variété de problèmes d'optimisation.[24][25]

3.4. Idées de base :

Le PSO implique l'utilisation d'un groupe de particules formant un essaim, chacune naviguant à travers l'espace de recherche à la recherche de l'optimum global, qu'il s'agisse d'un minimum ou d'un maximum. Dans ce système, les particules se déplacent à travers un espace de recherche multidimensionnel. Pendant leur déplacement, chaque particule ajuste sa position en se basant sur son propre historique ainsi que sur celui de ses voisines, en utilisant les meilleures positions qu'elle et ses voisines ont rencontrées. La trajectoire d'une particule est déterminée par l'ensemble des particules voisines et son expérience passée. [24] [25]

Le mouvement d'une particule est déterminé par trois composantes :[26]

- Une composante d'inertie : la particule conserve sa direction actuelle de déplacement.
- Une composante cognitive : la particule est attirée vers les sites les plus performants qu'elle a déjà traversés.
- Une composante sociale : la particule est influencée par les succès de ses voisines et converge vers les meilleurs sites déjà découverts par celles-ci.

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

La stratégie de déplacement d'une particule est illustrée dans la figure suivante : [26]

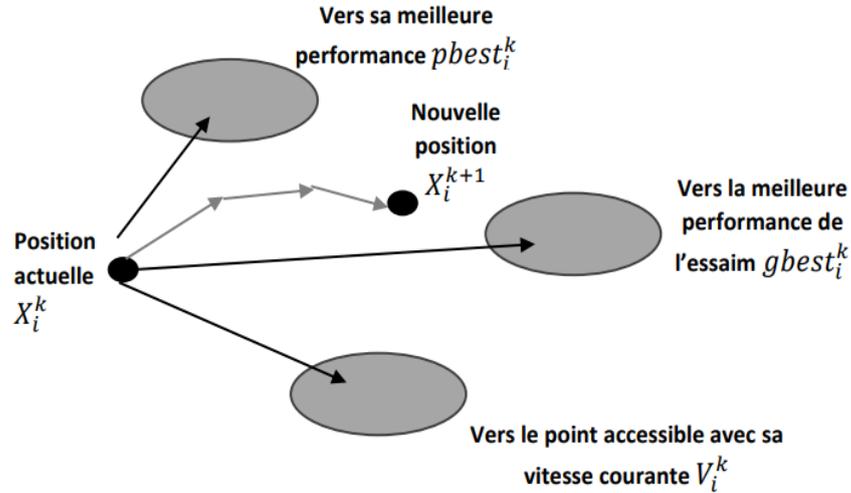


Figure 3.3 : déplacement d'une particule [26]

3.4.1. Algorithme générale :

Dans la méthode PSO, le déplacement de chaque particule de la population est déterminé par sa position (représentée par les coordonnées x) et sa vitesse (représentée par la vitesse de vol v). Au fil du temps, la vitesse de la particule est ajustée et sa position est mise à jour en conséquence. Pour l'implémentation dans un problème d'optimisation à n dimensions, les vecteurs de position et de vitesse de la particule, notés Pr , sont utilisés : [24]

$$x_{pr} = [x_{1pr}, x_{2pr}, \dots \dots x_{npr}] \text{ et } v_{pr} = [v_{1pr}, v_{2pr}, \dots \dots v_{npr}] \quad \text{III.1}$$

La meilleure position précédente de la particule Pr est déterminée en fonction de l'évaluation de la fonction de fitness : [20]

$$pbest_{pr} = [p_{1pr}, p_{2pr}, \dots \dots p_{npr}] \quad \text{III.2}$$

La meilleure particule parmi toutes celles représentées par $gbest$ est également

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

considérée. Les mises à jour de vitesse et de position pour chaque particule peuvent être calculées selon la formulation suivante : [24]

$$V_i^{k+1} = c_0 V_i^k + rand_1 \times c_1 \times (pbest_i^k - X_i^k) + c_2 \times rand_2 \times (gbest_i^k - X_i^k) \quad \text{III.3}$$

Avec :

c_0 : coefficient d'inertie

c_1, c_2 :coefficient d'accélération

Rand :nombre aléatoire entre 0 et 1

V_i^k :la vitesse de la particule a l'itération k.

X_i^k :la position de la particule a la l'itération k

$pbest_i^k$:la meilleure position de la particule i jusqu'à l'itération k

$gbest_i^k$: la meilleure position de la l'essaim i jusqu'à l'itération k

x_{pr} : vecteur de position de la particule

v_{pr} : vecteur de vitesse de la particule

$pbest_{pr}$: la meilleure particule parmi toutes les particules

Chaque particule change sa position actuelle vers la nouvelle position en ajoutant la vitesse modifiée à l'aide de l'équation suivante :[24]

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad \text{III.4}$$

En générale le coefficient d'inertie C_0 décroît linéairement de max C_1 a min C_2 selon l'équation suivante :[24]

$$C_0 = C_{\max} - \frac{C_{\max} - C_{\min}}{\text{iter}_{\max}} \times \text{iter} \quad \text{III.5}$$

Avec :

X_i^{k+1} :la nouvelle position de la particule

iter_{\max} :le nombre maximal des itérations

Iter :le nombre des itérations actuel.

3.4.2 Les étapes de la méthode d'optimisation par essaim de particule :

Voici comment l'algorithme de cette méthode peut être décrit : [16]

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

Les étapes :

1. Initialiser les coefficients $C1$ et $C2$, ainsi que le coefficient d'inertie $C0$.
2. Générer aléatoirement la population initiale, en initialisant les positions et les vitesses des particules de manière aléatoire, puis calculer le fitness de chaque particule $Pbest$ et $gbest$.
3. Calculer les nouvelles vitesses et positions de chaque particule en utilisant les formules (3.3) et (3.4).
4. Calculer le meilleur fitness de la population actuelle et la comparer avec le précédent pour
5. trouver la meilleure de toutes les populations ($gbest_i$).
6. Incrémenter le nombre d'itérations $k = k + 1$.
7. Si un critère d'arrêt est satisfait, passer à la septième étape. Sinon, retourner à la troisième étape.
8. La position enregistrée dans ($gbest_i$) représente la solution optimale.

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

3.4.3. Organigramme de PSO :

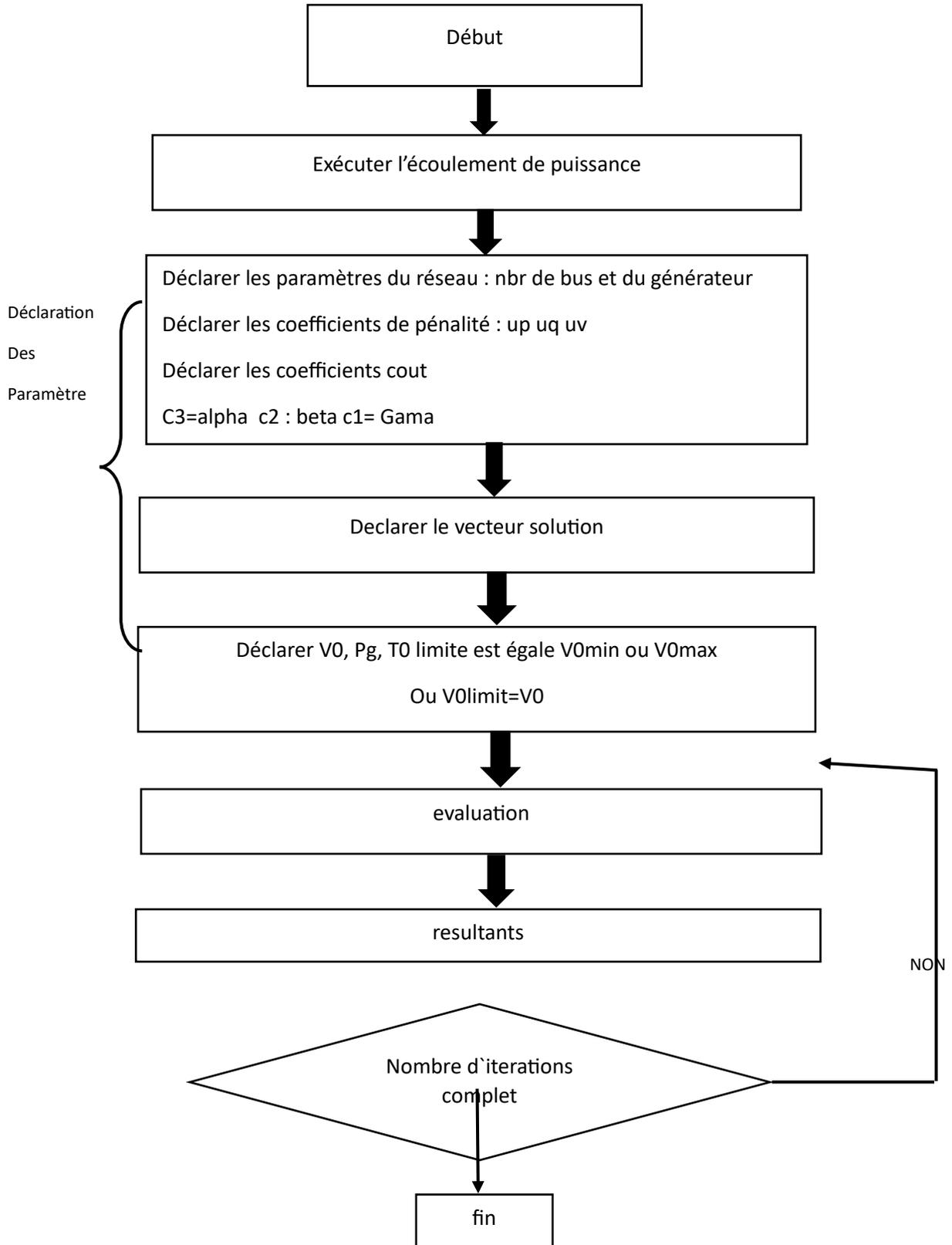


Figure 3.4 : Organigramme de la méthode de PSO.

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

3.4.4 Le voisinage :

La structure d'un réseau social est formée par le voisinage, où chaque individu interagit avec d'autres selon une topologie spécifique. Diverses configurations de voisinage ont été analysées (Kennedy, 1995), basées sur les identifiants des individus plutôt que sur des données topologiques telles que les distances euclidiennes dans l'espace de recherche. La figure 3.3 illustre les différentes topologies étudiées. [27]

- Dans la topologie en étoile (figure 3.3 (a)), chaque particule est directement connectée à toutes les autres, ce qui signifie que l'optimum du voisinage correspond à l'optimum global.
- Dans la topologie en anneau (figure 3.3 (b)), chaque particule communique avec un nombre défini de voisins (généralement $n = 3$). Chaque particule est encline à se déplacer vers la meilleure solution dans son voisinage local.
- La topologie en rayon (figure 3.3 (c)) se caractérise par une particule "centrale" connectée à toutes les autres. Dans ce cas, les particules ne communiquent qu'avec cette seule particule centrale.

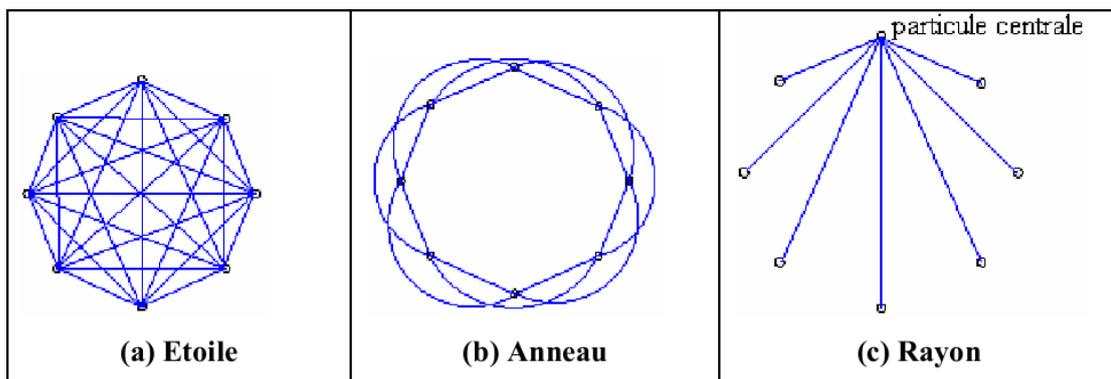


Figure 3.5 Topologies de voisinage. [28]

3.4.5 Synthèse de l'algorithme :

Voici l'algorithme pour un voisinage en étoile.: [28]

[Les variables et paramètres de l'algorithme]

n nombre de particules, $X_i, V_i, P_i, Pbest_i, gbest_i, C_1, C_2, rand_1, rand_2$

Chapitre 3: algorithmes d'optimisation

[Initialisations]

.....

[Traitement]

Répéter

Pour i allant de 1 à n faire

- ✓ Si la valeur de *fitness* est meilleure que celle de $Pbest_i$, alors mettre cette valeur comme nouvelle $Pbest_i$.
- ✓ Si la valeur de *fitness* est meilleure que celle de $gbest_i$, alors mettre cette valeur comme nouvelle $gbest_i$.

Pour i de 1 à n

$$V_i^{k+1} = c_0 V_i^k + c_1 \times rand_1 \times (pbest_i^k - X_i^k) + c_2 \times rand_2 \times (gbest_i^k - X_i^k) \quad III.3$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad III.6$$

Fin pour

Jusqu'à ce que (le processus converge)

3.5. Conclusion :

En conclusion, étant donné la complexité de la résolution de l'écoulement de puissance, l'utilisation des méthodes d'intelligence artificielle telles que PSO et K-means se révèle essentielle. Ces algorithmes intelligents simplifient le processus de résolution et facilitent les tâches, permettant ainsi d'aboutir à une solution optimale. Grâce à leur capacité à gérer des fonctions non linéaires et non continues, ces techniques offrent une approche robuste et efficace pour résoudre les problèmes complexes d'optimisation dans les réseaux de transport électrique. Nous démontrerons l'efficacité de ces méthodes méta-heuristiques dans les chapitres suivants.

CHAPITR4

Résultats

Et

Discussions

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.1 Introduction :

Ce chapitre présente les résultats numériques et graphiques obtenus ainsi que les discussions et interprétations qui en découlent, concernant l'utilisation de l'algorithme d'optimisation par essaim de particules pour résoudre le Problème mono-objectif de l'écoulement de puissance optimal. Nous examinerons les résultats de l'application de cette approche proposée et les comparerons avec ceux de l'écoulement de puissance traditionnel sur les mêmes réseaux de test. Cette comparaison permettra d'illustrer clairement l'efficacité et la robustesse de la nouvelle approche en matière d'optimisation.

La simulation est adoptée sous l'environnement MATLAB 2016 et implémenté sur un PC avec un Intel® 2,7 GHz Core™ (Intel Corporation) i5 CPU et 8 Go de RAM.

4.2 Les Fonctions objectif :

-Minimisation du cout de protection

$$F = \sum f_i = \sum (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) + F_{PV} \quad \text{IV.1}$$

4.3 Les contraintes :

Dans notre processus d'optimisation, nous accordons une attention particulière aux restrictions de sécurité essentielles. Ces restrictions englobent plusieurs aspects cruciaux du système électrique, notamment les limites des modules et des phases de tension, ainsi que les puissances actives et réactives des générateurs de production. En veillant à respecter ces contraintes, nous garantissons la stabilité et la fiabilité du réseau électrique, en évitant toute violation potentielle des normes de sécurité établies. Ainsi, notre approche d'optimisation vise à trouver un équilibre optimal entre les objectifs de performance du système et les exigences de sécurité imposées. En tenant compte de ces restrictions dès le début du processus d'optimisation, nous nous assurons que les solutions obtenues sont non seulement efficaces sur le plan opérationnel, mais aussi conformes aux normes de sécurité rigoureuses nécessaires pour

Chapitre 4 : Résultats et discussions

garantir le bon fonctionnement du réseau électrique. De plus, j'ai intégré dans ce chapitre le Photo voltaïque pour garantir de meilleurs résultats dans notre travail.

Notre variable de commandes :

- Les puissances actives produites, délimitées par des bornes inférieures et supérieures en fonction de la capacité des centrales électriques.
- Les ratios de transformation des transformateurs à prises de réglage, avec des valeurs limitées entre 0.9 et 1.1.
- Les tensions aux jeux de barres PV, avec des valeurs limitées entre 0.94 pu et 1.06 pu.

4.4. Application1 : Optimisation par l'algorithme d'optimisation par essaim de particule

Le modèle mathématique est utilisé sur le réseau IEEE14 JDB, comprenant 5 générateurs de production (implantés aux nœuds 1, 2, 3, 6 et 8), 20 lignes, 3 transformateurs entre les jeux de barres (5-6), (4,7) et (4,9), ainsi que 11 charges et un unique élément shunt.

Le schéma unifilaire de ce réseau test est présenté dans la figure 4.1.

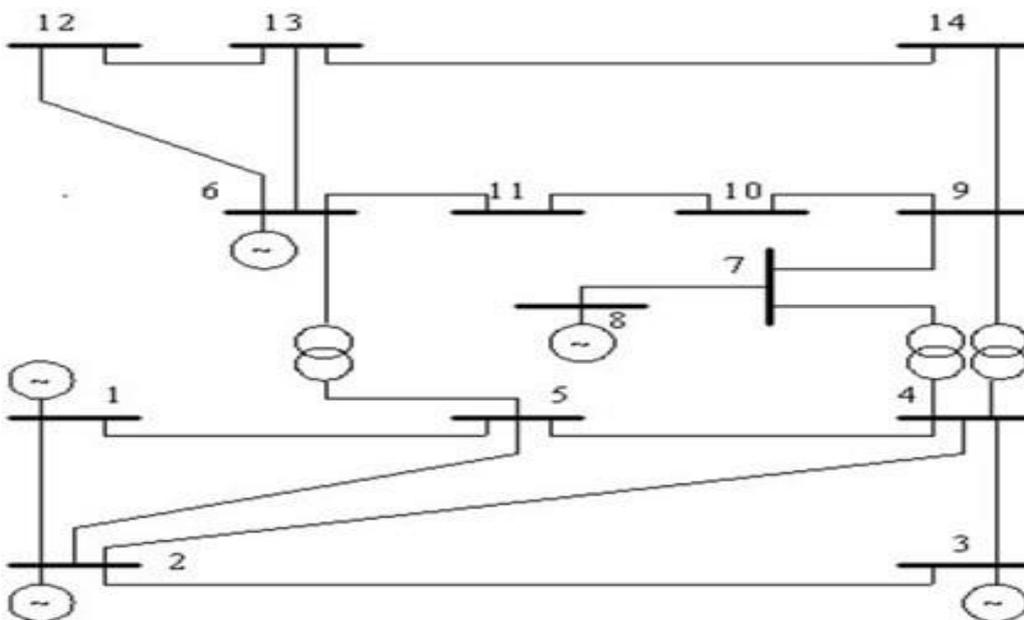


Figure 4.1 : le schéma unifilaire du réseau électrique IEEE 14-Bus

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.5 Paramètres de l'algorithme :

Cette première utilisation de l'algorithme de la colonie d'abeilles vise à résoudre un problème d'optimisation.

Les paramètres que nous avons utilisés sont présentés comme suit :

La population égale à 100

Critère d'arrêt : maximum nombre d'itérations

Omega_min=0.4

Omega_max=0.9

Cc1=1.5

Cc2=1.5

4.6 L'état nominal

4.6.1. Le tableau du coût de la production :

Variable	Inferieure	Supérieure	Ecoulement de puissance	Ecoulement de puissance optimal	Pso
PG1(MW)	0	0	232.39	194.33	232.3
PG2(MW)	0	140	40.00	36.72	37.17
PG3(MW)	0	100	0.00	28.74	34.48
PG6(MW)	0	100	0.00	0.00	0
PG8(MW)	0	100	0.00	8.49	0.004
VG1(p.u)	0.94	1.06	1.06	1.06	1.06
VG2(p.u)	0.94	1.06	1.045	1.041	1.04
VG3(p.u)	0.94	1.06	1.01	1.016	1.02
VG6(p.u)	0.94	1.06	1.07	1.06	1.06
VG8(p.u)	0.94	1.06	1.09	1.06	1.06
T1(4-7)	0.9	1.1	0.978	0.978	1.01
T2(4-9)	0.9	1.1	0.969	0.969	0.90
T3(5-6)	0.9	1.1	0.932	0.932	0.97
cout(€/h)	-	-	-	8081.5	8079.3

Tableau 4.1 : les valeurs optimales obtenues pour le réseau ieee14 bus

Chapitre 4 : Résultats et discussions

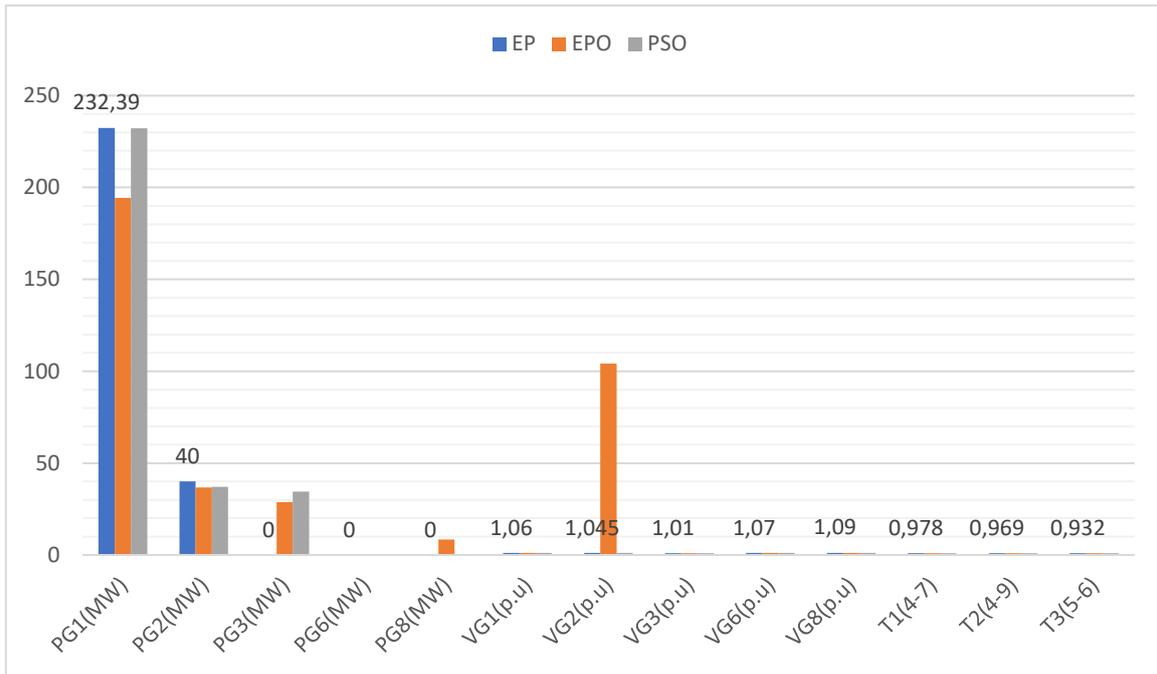


Figure 4.2 : histogramme valeurs optimales obtenues pour le réseau ieee14 bus

4.6.2. La figure du coût de la production :

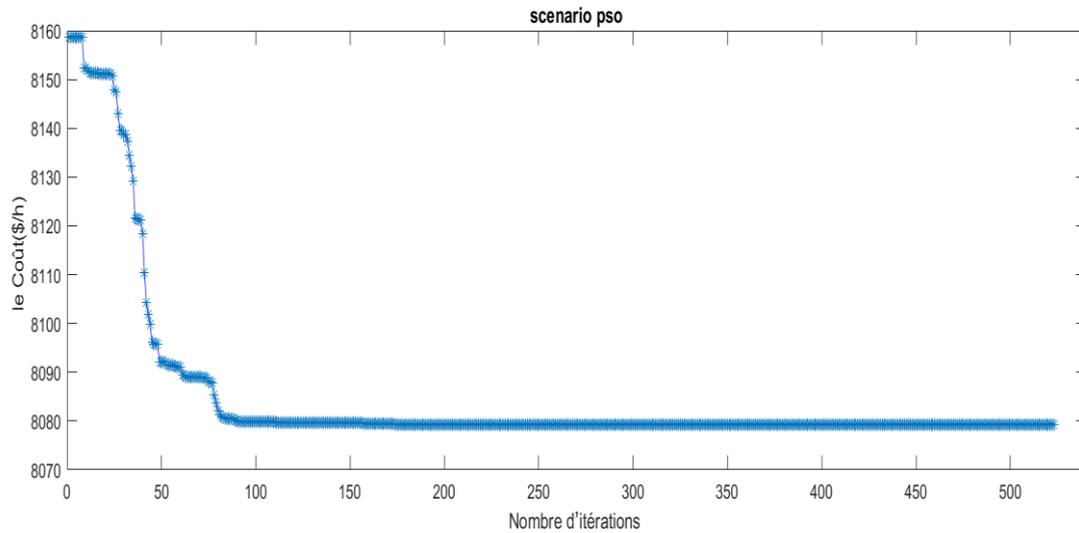


Figure 4.3 : le cout après l'utilisation du PSO

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.7. Les scenarios :

Variable	Scenario1	Scenario2	Scenario 3	Scenario4	Scenario5
PG1(MW)	196,62	196,70	194,23	192,97	195,59
PG2(MW)	37,1496	37,1742	36,7052	36,5731	37,120
PG3(MW)	34,7891	34,487	28,5476	28,6265	34,391
PG6(MW)	0	0	0	0	2,2577
PG8(MW)	5	10	14,0054	85.9577	150
VG1(p.u)	1,06	1,0600	1,060	1,0218	1,0201
VG2(p.u)	1,0433	1,0464	1,043	0,9949	0,9930
VG3(p.u)	1,0181	1,0237	1,017	0,9400	0,9400
VG6(p.u)	1,0600	1,0600	1,060	1,0600	1,0600
VG8(p.u)	1,0600	1,0600	1,0600	1,0600	1,0600
T1(4-7)	1,0459	1,0196	0,9414	0,9000	0,9000
T2(4-9)	0,9000	0,9000	1,100	0,9188	0,9000
T3(5-6)	0,9000	0,9754	0,900	0,9000	0,9192
Cout(€/h)	8149,7	8203,5	8152,02	9033,67	9949,22

Tableau 4.2 : les scenarios étudiés

4.8. Discussions :

4.8.1. Scenario 1 :

Le générateur numéro 8 a été éliminé, de sorte qu'il ne génère plus de puissance active. Dans ce contexte, nous avons injecté une centrale photovoltaïque de 5 MW dans un réseau comprenant 14 bus. Après environ 600 itérations, il a été observé que l'algorithme PSO a convergé vers une valeur de 8149,75 \$/h, ce qui représente le coût total de production de puissance. Il est important de noter que le coût de production spécifique de la centrale photovoltaïque est de 62,75 \$/h. Ainsi, nous constatons que le coût total estimé de production pour le système est de 8149,75 \$/h.

Avantage du scenario 1 :

L'augmentation de la puissance PG8 représente un avantage considérable grâce à l'apport des systèmes photovoltaïques. En captant et en convertissant l'énergie solaire en électricité, les panneaux solaires ont non seulement renforcé notre capacité énergétique, mais ont aussi

Chapitre 4 : Résultats et discussions

favorisé une source d'énergie renouvelable et durable. Ce scénario souligne l'importance des technologies photovoltaïques pour répondre à la demande croissante en électricité tout en réduisant notre dépendance aux combustibles fossiles. En intégrant ces solutions écologiques, nous pouvons non seulement améliorer notre efficacité énergétique, mais aussi promouvoir un développement plus respectueux de l'environnement, marquant ainsi un pas significatif vers une transition énergétique durable.

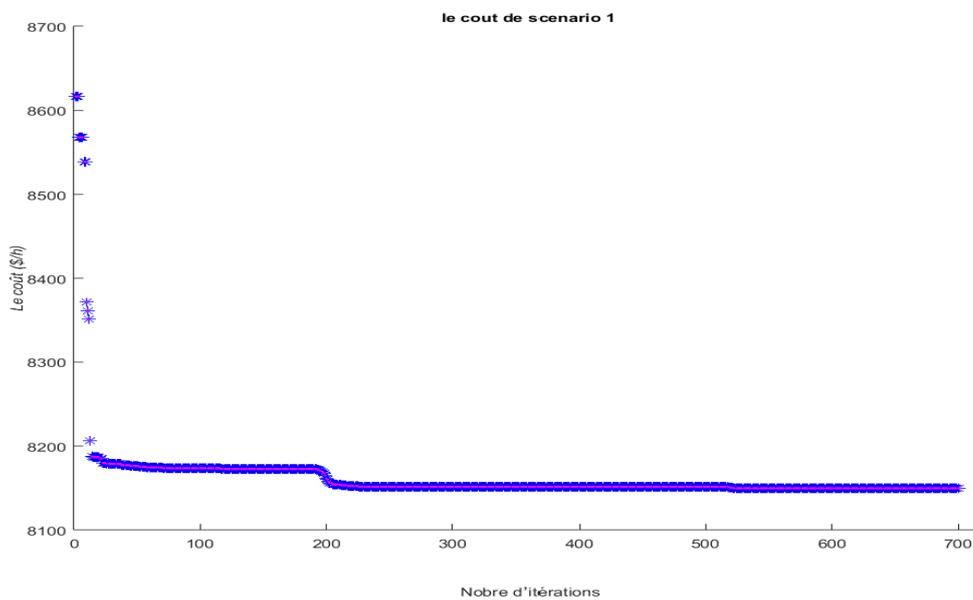


Figure 4.4 : le cout du scenario 1

Chapitre 4 : Résultats et discussions

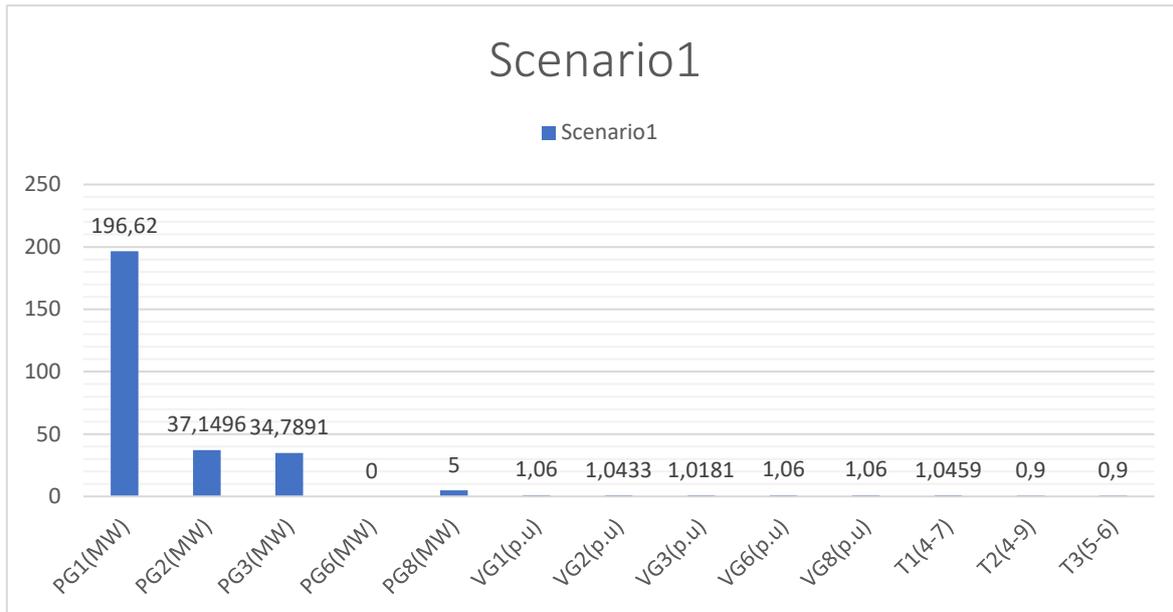


Figure 4.5 : histogramme du scenario 1

4.8.2 Scenario 2 :

Les générateurs numéro 6 et numéro 8 ont été mis hors service, de sorte qu'ils ne produisent plus de puissance active. Dans ce contexte, nous avons intégré deux centrales photovoltaïques de 5 MW chacune dans un réseau comportant 14 bus. Après environ 300 itérations, il a été observé que l'algorithme PSO a convergé vers une valeur de 8203,5 \$/h, ce qui représente le coût total de production de puissance. Il est important de noter que le coût de production spécifique de chaque centrale photovoltaïque est de 125,5 \$/h. Ainsi, le coût total estimé de production pour le système s'élève à 8203,5 \$/h.

Avantage du scenario 2 :

Dans le scénario 2, après avoir supprimé deux générateurs et ajouté deux centrales photovoltaïques, nous avons constaté une augmentation de la puissance générée par rapport au scénario 1. Cet avantage significatif met en évidence l'efficacité des systèmes photovoltaïques. En captant et convertissant l'énergie solaire en électricité, les panneaux solaires ont non seulement compensé la perte des générateurs, mais ont également amélioré notre capacité énergétique globale. Ce scénario démontre l'importance des technologies photovoltaïques pour répondre à une demande croissante en électricité tout en réduisant notre dépendance aux combustibles fossiles. En intégrant ces solutions écologiques, nous améliorons notre efficacité

Chapitre 4 : Résultats et discussions

énergétique et favorisons un développement plus respectueux de l'environnement, marquant ainsi un progrès notable vers une transition énergétique durable.

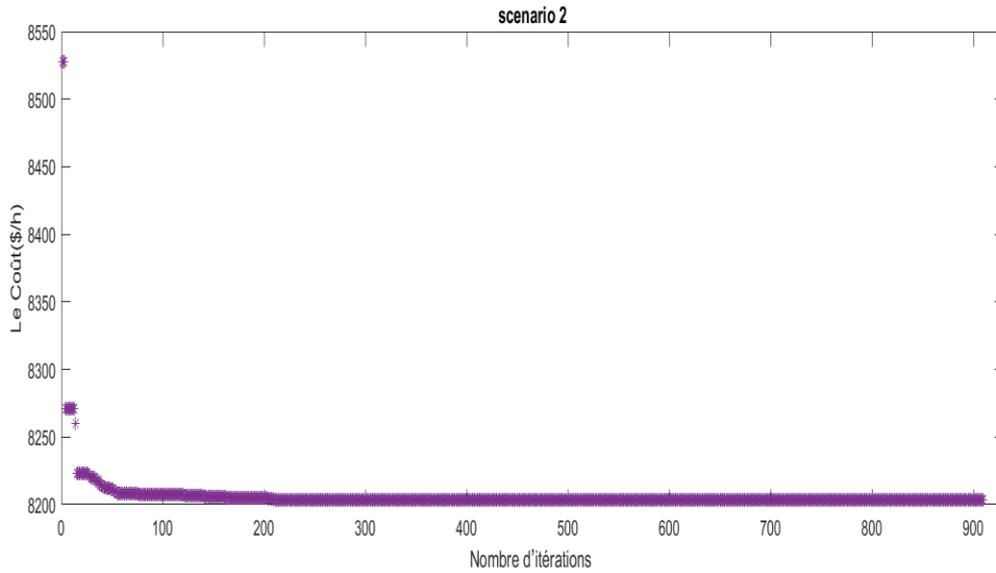


Figure 4.6 : le cout du scenario 2

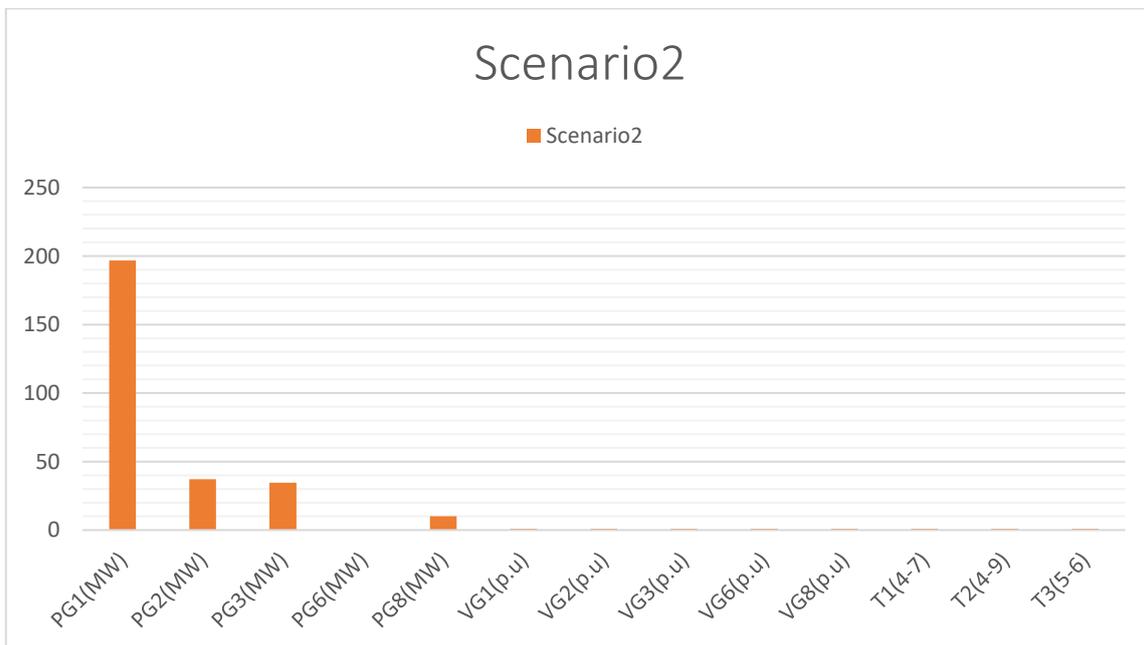


Figure 4.7 : histogramme du scenario 2

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.8.3. Scenario 3 :

Les 8 générateurs sont tous disponibles et n'ont pas été supprimés, ce qui signifie qu'ils continuent de produire de la puissance active. Dans ce contexte, nous avons décidé d'injecter deux nouvelles centrales photovoltaïques de 5 MW chacune dans le réseau, lequel comprend 14 bus. L'ajout de ces centrales vise à augmenter la capacité de production et à intégrer des sources d'énergie renouvelable dans le réseau.

Le coût horaire de fonctionnement de chaque centrale photovoltaïque est de 62,75 \$/h, ce qui est relativement économique par rapport à d'autres sources de production d'énergie. Après environ 100 itérations d'optimisation à l'aide de l'algorithme PSO, nous avons observé que le coût total estimé de production pour l'ensemble du système s'élève à 8152,2 \$/h.

Cette convergence vers un coût total de 8152,2 \$/h reflète l'efficacité de l'algorithme PSO dans l'optimisation des coûts de production tout en intégrant les nouvelles centrales photovoltaïques.

Avantage du scenario 3 :

Dans le scénario 3, nous avons constaté plusieurs avantages significatifs, notamment une augmentation de la puissance générée, une meilleure continuité du réseau et une réduction des pertes énergétiques. L'intégration de nouvelles centrales photovoltaïques a non seulement renforcé notre capacité énergétique, mais a aussi amélioré la fiabilité et la stabilité du réseau. De plus, en produisant de l'énergie renouvelable à proximité des points de consommation, nous avons réussi à minimiser les pertes. Ce scénario démontre l'importance des technologies photovoltaïques pour accroître l'efficacité énergétique, assurer une alimentation continue et fiable, et soutenir un développement durable respectueux de l'environnement.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

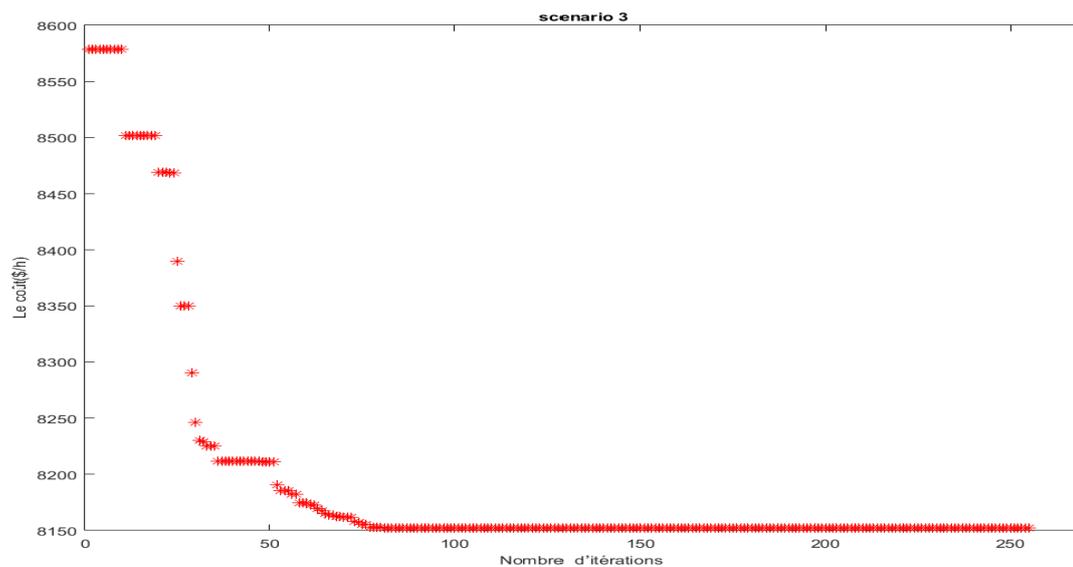


Figure 4.8 : le cout du scenario 3

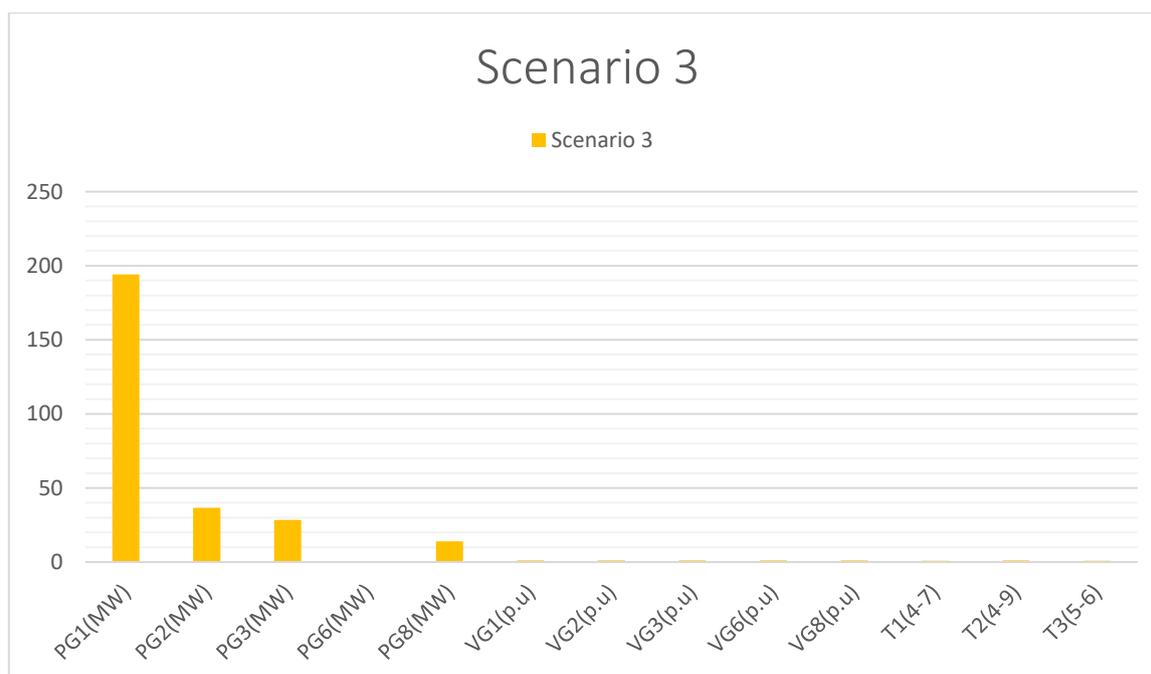


Figure 4.9 : histogramme du scenario 3

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.8.4. Scenario 4 :

Les huit générateurs sont actuellement disponibles et continuent de fonctionner normalement, fournissant de la puissance active au réseau. Nous avons récemment ajouté une centrale photovoltaïque (PV) de 75 MW au réseau IEEE 14-bus. Cette initiative vise à augmenter la capacité de production d'énergie et à favoriser l'adoption de sources d'énergie renouvelable.

Le coût horaire de fonctionnement de cette centrale photovoltaïque est de 913,24 \$, reflétant les investissements nécessaires pour la production d'énergie solaire à grande échelle. Après environ 600 itérations avec l'algorithme PSO, il a été déterminé que le coût total estimé de production pour l'ensemble du système s'élève à 9033,66 \$/h.

Avantage du scenario 4 :

Dans le scénario 4, plusieurs avantages majeurs ont été observés par rapport au scénario 3. Non seulement nous avons constaté une augmentation notable de la puissance générée, mais nous avons également amélioré la continuité du réseau et réduit les pertes énergétiques de manière plus significative. L'intégration de nouvelles centrales photovoltaïques a permis de générer de grandes puissances, renforçant ainsi la fiabilité et la stabilité du réseau électrique. La production d'énergie renouvelable à proximité des points de consommation a minimisé les pertes. De plus, ce scénario a permis d'éliminer de nombreux grands problèmes énergétiques, offrant une solution durable et respectueuse de l'environnement. Comparé au scénario 3, le scénario 4 illustre encore plus clairement l'impact positif des technologies photovoltaïques pour augmenter l'efficacité énergétique, garantir une alimentation continue et fiable, et soutenir un développement durable.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

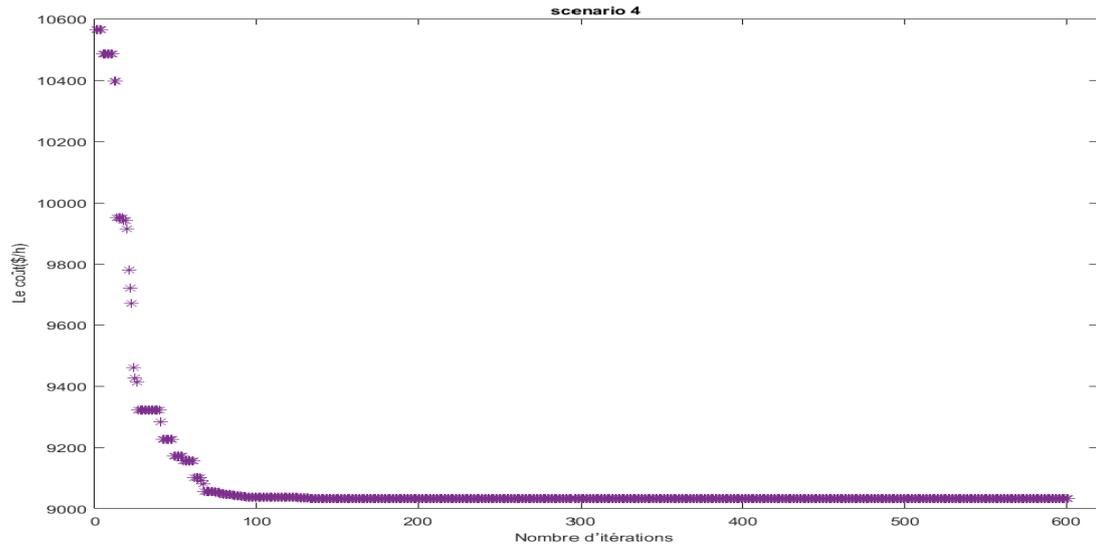


Figure 4.10 : le cout du scenario 4

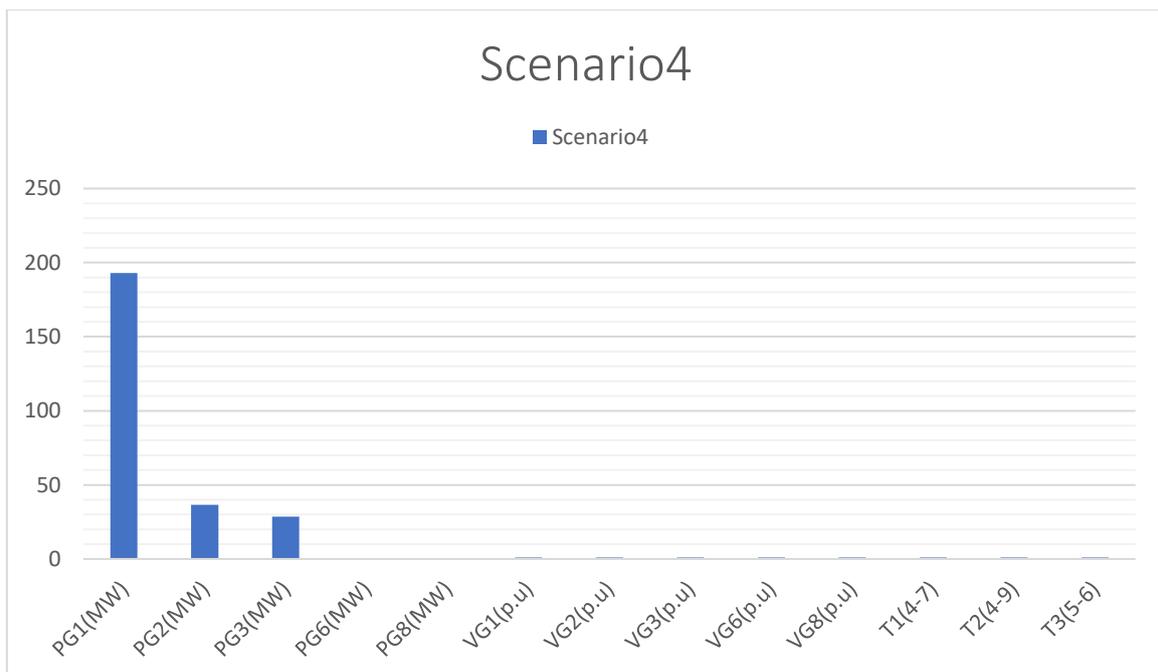


Figure 4.11 : histogramme du scenario 4

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.8.5. Scenario 5 :

Les huit générateurs sont actuellement disponibles et continuent de fonctionner normalement, fournissant de la puissance active au réseau. Récemment, nous avons décidé d'injecter deux nouvelles centrales photovoltaïques (PV) de 75 MW chacune dans le réseau IEEE14-bus. Cette initiative vise à renforcer la capacité de production énergétique et à promouvoir l'utilisation de sources d'énergie renouvelable.

Le coût horaire de fonctionnement de chaque centrale photovoltaïque s'élève à 1826,48 \$, ce qui reflète les investissements nécessaires pour la production d'énergie solaire à cette échelle. Après avoir procédé à environ 150 itérations avec l'algorithme PSO, il a été observé que le coût total estimé de production pour l'ensemble du système atteint 9949,22 \$/h.

Ce résultat de 9949,22 \$/h met en évidence l'efficacité de l'algorithme PSO dans l'optimisation des coûts de production, tout en intégrant les nouvelles centrales photovoltaïques dans le réseau

Avantage du scenario 5 :

Dans le scénario 5, nous avons observé une amélioration considérable par rapport au scénario 4. Non seulement la puissance générée a été considérablement augmentée, mais la continuité et la stabilité du réseau ont été encore plus renforcées, et les pertes énergétiques ont été réduites de manière significative. L'intégration des nouvelles centrales photovoltaïques a permis de générer des niveaux de puissance impressionnants, ce qui a contribué à consolider la fiabilité et la stabilité du réseau électrique. De plus, la production d'énergie renouvelable à proximité des points de consommation a permis de minimiser les pertes. Le scénario 5 se distingue ainsi par une gestion plus efficace de l'énergie, offrant une solution durable et sécurisée pour répondre aux besoins énergétiques actuels.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

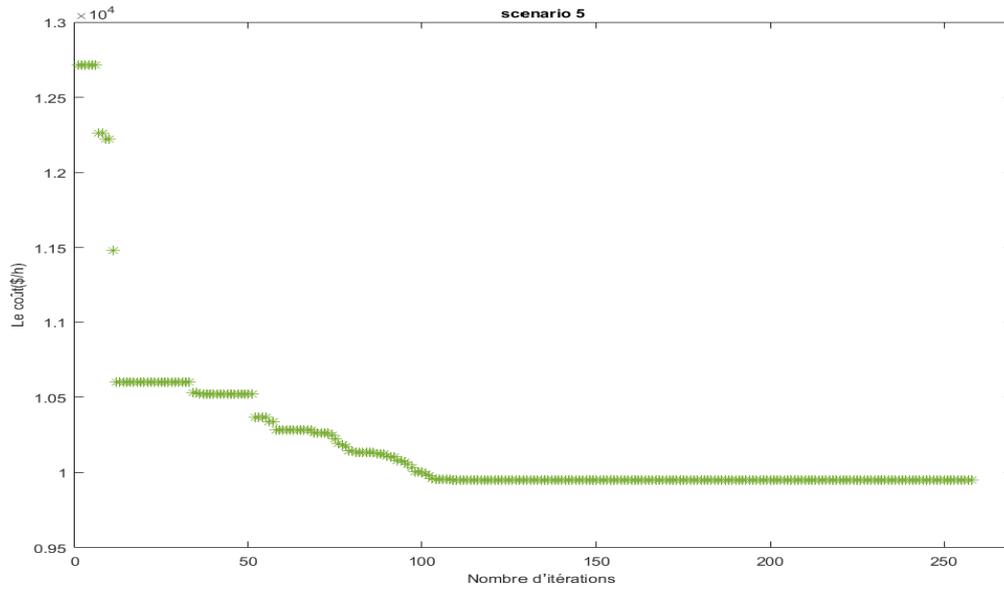


Figure 4.12 : le coût du scenario 5

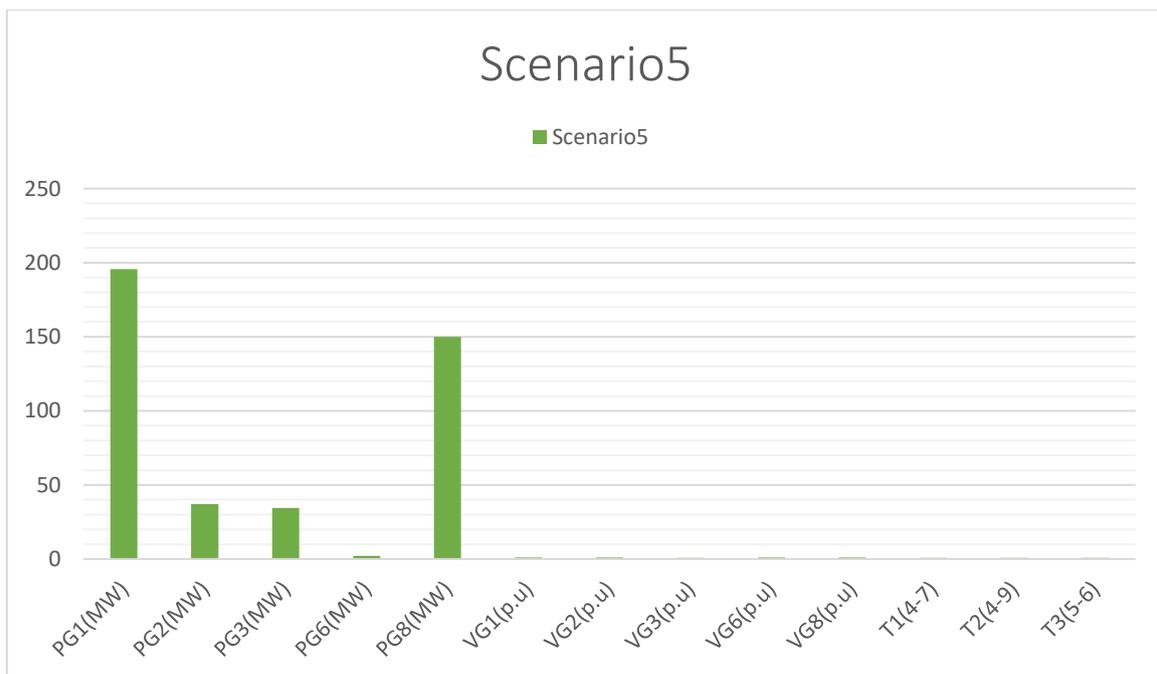


Figure 4.13 : histogramme du scenario 5

D'après les scénarios imposés, nous avons observé que plus la puissance générée augmente, plus le coût associé à cette puissance s'élève. Cette tendance est clairement visible à travers les différents niveaux de production analysés.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

Les résultats présentés dans le tableau montrent également que l'algorithme PSO, est capable de trouver une solution globale optimale. En testant diverses configurations et en augmentant progressivement la puissance générée, l'algorithme a systématiquement identifié des solutions qui minimisent les coûts de production tout en répondant aux exigences de la demande énergétique. Cela démontre non seulement l'efficacité du PSO dans l'optimisation des coûts, mais aussi sa robustesse face aux variations de la puissance générée

4.9. Application2 : classification des résultats par l'algorithme de k-means

On a traité toute notre résultat dans ce chapitre avec l'algorithme de k-means pour les classifier et obtenir les meilleurs résultats qui représente le kluster.

4.8.1. Les résultats du k-means :

Variable	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	G1	G2	Kluster
PG1(MW)	194,23	192,97	195,59	193.0667	195,2950	193,0667
PG2(MW)	36,7052	36,5731	37,120	36,5294	37,0600	36,5294
PG3(MW)	28,5476	28,6265	34,391	28,4797	34,1955	28,4797
PG6(MW)	0	0	2,2577	0	2,1288	0
PG8(MW)	14,0054	85,9577	150	61,9110	145,00	61,9110
VG1(p.u)	1,06	1,0218	1,0201	1,0406	1,0101	1,0101
VG2(p.u)	1,043	0,9949	0,9930	0,9926	0,9925	0,9925
VG3(p.u)	1,017	0,9400	0,940	1,0057	0,9300	0,9300
VG6(p.u)	1,06	1,06	1,060	1,0600	1,0550	1,0550
VG8(p.u)	1,06	1,06	1,060	1,0067	1,0350	1,0067
T1(4-7)	0,9414	0,90	0,90	0,9201	0,9150	0,9150
T2(4-9)	1,1	0,9188	0,90	0,9729	0,9100	0,9100
T3(5-6)	0,9	0,90	0,9192	0,9017	0,9116	0,9017

Tableau 4.3 : résultats du k-means

4.9.2. Commentaire :

Dans le cadre de mon travail, j'ai utilisé l'algorithme de classification K-means pour analyser les résultats des scénarios 3, 4 et 5. Après plusieurs itérations, l'algorithme K-means a convergé, produisant des résultats optimaux confinés entre les valeurs minimum et maximum observées dans nos données. Ce processus m'a permis de regrouper efficacement les données en clusters distincts, facilitant l'identification de motifs et de tendances sous-jacentes. Un avantage majeur du K-means réside dans sa simplicité et sa rapidité d'exécution, ce qui le rend particulièrement adapté pour traiter de grands ensembles de données. De plus, il excelle dans

Chapitre 4 : Résultats et discussions

les situations où les frontières des clusters sont bien définies et convexes, garantissant une convergence rapide vers des solutions optimales.

4.10. Conclusion :

Après avoir mené plusieurs expériences d'intégration de centrales photovoltaïques (PV) dans notre réseau IEEE-14 bus, nous avons observé des résultats prometteurs. L'utilisation de l'algorithme PSO, s'est avérée efficace pour optimiser les coûts de production d'énergie, tandis que l'algorithme de k-means a facilité la classification des données et l'identification de tendances. Les résultats ont mis en évidence des variations significatives des coûts de production en fonction des configurations testées, soulignant l'impact direct des capacités des centrales PV sur l'efficacité et la rentabilité du réseau.

De manière significative, l'application du PSO a permis de minimiser les coûts associés aux centrales PV. Malgré leur coût initial élevé sur le marché, nos résultats ont montré que le coût de production des centrales PV intégrées dans notre réseau se situait dans la norme, ne représentant pas un surcoût prohibitif. Cette constatation souligne l'efficacité de notre approche d'optimisation et confirme que, malgré les investissements initiaux, l'intégration du PV dans notre réseau demeure économiquement viable et rentable à long terme. En intégrant davantage de centrales PV dans notre réseau, nous pouvons renforcer sa résilience, réduire notre dépendance aux énergies fossiles et contribuer à la transition vers un avenir énergétique plus propre et plus durable.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans cette étude, nous avons plongé dans l'univers complexe de l'optimisation de la production d'électricité, en nous concentrant spécifiquement sur le réseau électrique IEEE-14-Bus, un système emblématique qui représente un cas d'étude crucial pour les ingénieurs électriques et les chercheurs. Ce réseau, avec ses caractéristiques diverses et ses contraintes spécifiques, offre un terrain fertile pour explorer les défis et les solutions en matière de gestion énergétique.

L'intégration de l'énergie photovoltaïque (PV) dans notre analyse revêt une importance particulière dans le contexte actuel de transition énergétique vers des sources renouvelables. Le PV représente une ressource inestimable dans notre quête d'une énergie propre et durable. Nos résultats ont mis en lumière les avantages tangibles de l'intégration du PV dans le réseau, en démontrant une réduction significative des coûts de production d'électricité. Cette réduction des coûts n'est pas seulement économiquement bénéfique, mais elle contribue également à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la diminution de la dépendance aux combustibles fossiles, ouvrant ainsi la voie à un avenir énergétique plus propre et plus sûr.

L'outil principal que nous avons utilisé pour atteindre ces résultats est l'algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO). Le PSO a prouvé son efficacité dans la recherche de solutions optimales dans un espace complexe de variables et de contraintes. En utilisant le PSO, nous avons pu naviguer à travers les défis spécifiques posés par le réseau IEEE-14-Bus et trouver des configurations optimales qui garantissent à la fois la stabilité du réseau et la minimisation des coûts de production.

En outre, nous avons enrichi notre analyse en intégrant l'algorithme K-means, qui nous a permis de mieux comprendre les schémas de charge et les comportements des consommateurs. Cette compréhension fine des données est essentielle pour une planification énergétique plus précise et plus efficiente, permettant aux fournisseurs d'électricité de mieux anticiper et répondre aux besoins fluctuants des utilisateurs.

En résumé, notre étude contribue à éclairer les défis et les opportunités dans le domaine de l'optimisation des réseaux électriques, en mettant en avant le rôle crucial de l'énergie photovoltaïque dans la transition énergétique mondiale. Nous avons montré comment l'utilisation judicieuse d'algorithmes d'optimisation tels que le PSO, combinée à une analyse approfondie des données à l'aide d'outils comme K-means, peut conduire à des solutions innovantes et rentables pour la gestion de l'énergie. En investissant dans la recherche et le développement de technologies PV et en promouvant une intégration intelligente des énergies renouvelables dans nos réseaux électriques, nous pouvons façonner un avenir énergétique plus durable et plus résilient pour les générations futures

Bibliographie

- [1] : **Boukadoum Aziz** : «support de cours Réseaux électriques »université Echahid Larbi Tbessi- Tébessa
- [2] : **Group SONELGAZ**, XD,«Guide Technique de Distribution », Document technique de Group SONELGAZ, 2003 .
- [3] :**Narimen AOZELLAG**. « Contribution à l'Amélioration de la Flexibilité dans les Réseaux Electriques liée à l'Intégration des Générateurs Eoliens » Thèse Doctorat. 2011
- [4]: **Egor GLADKIKH**. « Optimisation de l'architecture des réseaux de distribution de l'énergie électrique » Thèse Doctorat. 2006
- [5] **Sellé TOURÉT**. « Optimisation des réseaux « réseau actif et flexible » Thèse
- [6] : **CHEHBOUB ImedEddine et Mohammed MELIT** . « Optimisation multi-objectifs des transites de puissance » mémoire fin d'étude. Université mohamed seddik ben yahia. 2021
- [7] : **Djarallah Tahar et Toumi Djaafar**, Etude de l'écoulement de puissance dans un réseau électrique en présence des systèmes FACTS, Université EchahidHamma Lakhdard'El Oued, 2018
- [8] **Ben Hammouda Lahcen**, Minimisation des pertes actives dans un réseau électrique par l'algorithme d'optimisation par essaim de particules, Université KASDI MERBAH OUARGLA, 06 july 2019
- [9] **G. Abdelmalek**, « Utilisation des méthodes d'optimisations méta heuristiques pour la résolution du problème de répartition optimale de la puissance dans les réseaux électriques », Universitaire D'El-OUED, 2010.
- [10] **Boudab Smail**, application des réseaux de neurones dynamiques l'optimisation de l'écoulement de puissance dans un réseau électrique, Université LARBI BEN M'HIDI OumEl Bouaghi, 13 /mars / 2011
- [11] : **W.D. Stevenson** « Elements of Power System Analysis », New York, NY: McGraw Hill, Inc, 1994 chapitre 1
- [12]: **Mr.Bessouf Aymen Mr. KheyarLokmane** «integration optimal des énergies renouvelable dans un réseaux de transport» thèse mémoire de master usthb 2019

Bibliographie

[13] : **(M.Sasson**, "Non linear Programming Solutions for load flow, minimum loss, and economic dispatching problems", IEEE trans. vol. Pas-88, No. 4, pp. 399- 409, April 1969.

[14] : **Youcef Amrane, Mohamed Boudour, Messaoud Belazzoug**, A new Optimal reactive power planning based on Differential Search Algorithm, Algiers, Algeria, janvier 2015

[15]: **H. W. Dommel, W. F. Tinney**, "Optimal Power Flow Solutions," IEEE Trans on power apparatus and systems, Vol. PAS-87, N..10, pp.1866-1876, October 1968

[16]: **Ahmed Ould Nagi**, << Optimisation de l'écoulement de puissance Par algorithmes : AG et PSO-TVAC >>, Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme : MASTER, U- Mohamed Khider Biskra, Algérie, Juin 2014.

[17] : **Messaoud Belazzoug, Mohamed Boudour, Abdelhafid Hellal** , New reactive power sources dispatch applied to the IEEE 57 nodes ,compel , septembre 2008 .

[18] : **K. Wagstaff**, C. Cardie, S. Rogers, S. Schrödl, *et al.*, "Constrained k-means clustering with background knowledge," in *Icml*, vol. 1, pp. 577–584, 2001

[19]: **P. Sharma**, «K Means Clustering Simplified in Python, » Analytics Vidhya, 2021.

[20] :**Iwan Syarif , Adam Prugel-Bennett et Gary Wills** . "Unsupervised clustering approach for network anomaly detection". In : International conference on networked digital technologies. Springer. 2012, p. 135-145.

[21] **Ahmed Yahi** . "Clustering des données de puces à ADN". Thèse de doct. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2019

[22] : **Nadjia Khatir et Safia Nait-bahloul** . "Multi-criteria-based fusion for clustering texts and images case study on Flickr". In : Kybernetes (2018).

[23] **Rihem LARBI**. « Déploiement optimal des nœuds de capteurs employant le clustering K-means et un algorithme génétique » Mémoire finale . école de technologie supérieure université du Québec

[24] : **Messaoud Belazzoug, Youcef Amrane**, Optimal reactive power planning based on Particle Swarm applied to the Algerian Electrical Power System, Algiers, Algeria, 2013.

[25]: **J. Kennedy, Eberhart**, Particle swarm optimization Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. IV, pp. 1942-1948, 1995.]

Bibliographie

- [26]: **Abbas el dor**, Perfectionnement des algorithmes d'Optimisation par Essaim Particulaire. Applications en segmentation d'images et en électronique, Thèse de Doctorat en Informatique, Université Paris-Est, Paris, France, 2012.
- [27] : **kennedy , J., Eberhart , R.:** particule swarm optimization . IEEE Proc . Int . conf Neural Netw ., Perth , WA , 1995 , pp. 1942 -1948
- [28] : **Abdelmadjid demardji, Abbou abdeljalil**, Optimisation et contrôle de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques, Mémoire de Master en machine électrique, Université Saad Dahleb Blida 1, Algérie, 2020.

Bibliographie