

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية 1
Université SAAD DAHLAB de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الألية و الالكتروتقني
Département d'Automatique et électrotechnique



Mémoire de Master

Filière : Électrotechnique

Spécialité : Machine électrique

présenté par

Baamara Mustapha

&

Amirouchi Mohamed Redhouane

Amélioration de la stabilité des réseaux de transport de l'énergie électrique pour un écoulement de puissance optimal

Proposé par : Dr CHANANE Abdallah

Année Universitaire 2021-2022

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord remercié Dieu tout puissant qui nous a donné la santé, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur Dr. CHANANE ABDALLAH pour le temps consacré à nous écouter, nous orienter et nous corriger tout au long de notre projet.

Nous remercions très chaleureusement Dr. Belazzoug Messaoud chef de spécialité de machines électriques d'avoir nous à soutenir dans le parcours universitaire, en particulier dans notre domaine.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les membres des jurys d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Nous souhaitons exprimer nos profondes gratitude à tous les enseignants qui nous sont formés dès la 1^{ère} année jusque à la 5^{ème} année à Université Saad Dahlab Blida 1.

En fin, nos remerciements vont aussi également à nos familles et nos amis surtout nos parents qui nous sont soutier durant tout au long de notre parcours. Qu'il trouve ici nos profondes gratitude.

Dédicace

Je tiens c'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail.
A mes chers et respectueux parents en récompense de leur sacrifice
tout au long de ma vie,
A ma chère belle-sœur,
A mon cher frère,
A toutes mes ami(e)s,
A mon cher binôme Baamara Mustapha pour son soutien moral,
sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet,
A toute ma famille.

Amirouchi Mohammed Redhouane

Dédicace

Je dédie ce modeste travail,
A l'être le plus cher de ma vie, ma mère,
A celui qui m'a fait de moi un homme, mon père,
De me soutenir dans les moments difficiles et qui ont su
m'entourer de toute leur affection et leur amour pour que je puisse
réussir. Que Dieu les protège,
A mes chers frères et ma belle-sœur,
A toute personne qui occupe une place dans mon cœur,
A mon cher binôme Amirouchi Mohammed Redhouane,
A toutes ma famille.

Baamara Mustapha

Résumé

Depuis plusieurs années, l'optimisation de l'écoulement de puissance est considérée comme un axe de recherche très important pour les exploiters et les gestionnaires du réseau électrique.

Le travail traité dans ce mémoire propose un nouvel algorithme dit «k-means» pour rassembler et traiter différents critères. Dans cet algorithme, en utilisant le clustering qui va rassembler les avantages de chaque groupe d'informations, pour examiner une grande quantité d'informations.

Plusieurs cas d'études sont examinés sur un réseau électrique standard IEEE 14 bus, en tenant en compte la minimisation de cout de production des puissances active, les pertes des paissances actives et le gaz polluants.

Mots clés : Optimisation de l'écoulement de puissance, K means algorithme, groupe d'informations, OPF, IEEE 14 bus, réseau électrique.

Abstract:

For several years, the optimization of the power flow has been considered as a very important research task for exploiters and managers of the electricity network.

The work treated in this study a new algorithm called "K-Means" to bring together and treat different criteria. In this algorithm, the cluster is used in order to examine a large amount of information.

Several cases of studies are examined on a standard IEEE 14 BUS electrical network, taking into account the minimization of the cost of the active power, the power losses and polluting gaseous.

Keywords: Optimal power flow, k-mean algorithm, OPF, electrical network

ملخص:

يعتبر تحسين تدفق الطاقة محورًا بحثًا مهمًا للغاية للمستغلين ومديري شبكة الكهرباء. يقدم العمل خوارزمية جديدة تسمى "K-Means" لجمع المعايير المختلفة ومعالجتها. هذه الخوارزمية تجمع مزايا كل مجموعة لفحص كمية كبيرة من المعلومات. يتم فحص العديد من حالات الدراسات على شبكة كهربائية IEEE 14 BUS القياسية ، مع مراعاة تقليل تكلفة إنتاج القوى النشطة ، وخسائر الألواح النشطة والغاز الملوث.

LISTE DES ABREVIATIONS

OPF	Optimisation de l'écoulement de puissance.
K-means	est une méthode de quantification vectorielle.
P_{Gi}	Puissance active générée au nœud i .
P_{Di}	Puissance active demandée au nœud i .
Q_{Gi}	Puissance réactive générée au nœud i .
S_{Gi}	Puissance apparente générée au nœud i .
$P_{Gi}^{max}, Q_{Gi}^{max}$	Puissance active et réactive maximal générée au nœud i .
$P_{Gi}^{min}, Q_{Gi}^{min}$	Puissance active et réactive minimal générée au nœud i .
V_i	Tension au nœud i .
δ_i	Déphasage au nœud i .
V_s	Tension de source.
I_s	Courant de source.
V_R	Tension de charge.
I_R	Courant de charge.
A, B, C, D	paramètres des constantes de la ligne.
Z'	Impédance de la ligne.
Y'	Admittance de la ligne.
R	Résistance de la ligne.
X	Réactance de la ligne.
S_{Di}	Puissance apparente complexe de la charge.
Q_{Di}	Puissance réactive de la charge.
P_{max}	Puissance active maximal générée.
P_{min}	Puissance active minimal générée.
V_{max}	Tension maximal générée.
V_{min}	Tension minimal générée.
T_{max}	Rapport de transformateur maximal.
T_{min}	Rapport de transformateur minimal.
$F(x, u)$	La fonction objectif à optimiser.
x	Vecteur des variables d'état.
u	Vecteur des variables de contrôle.
g	Représente les équations de l'écoulement de puissance.
h	Représente les limites des variables d'état et des contraintes.

LISTE DES ABREVIATIONS

a_i, b_i, C_i	Le coefficient du coût.
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 à l'itération k .
X_i^k	La position de la particule à 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 l'essaim 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.
X_i^{k+1}	La nouvelle position de la particule l'itération $k + 1$.
V_i^{k+1}	La nouvelle vitesse de la particule l'itération $k + 1$.
$iter_{max}$	Le nombre maximal des itérations.
$iter$	Le nombre des itérations actuel.
$\sigma(t)$	L'écart-type actuel.
T	Le nombre maximal des itérations.
t	Le nombre des itérations actuel.
$\alpha_{initial}$	L'écart-type initiale.
α_{final}	L'écart-type finale.
n	Est l'indice de modulation non-linéaire.
F_{cost}	La fonction objectif du coût.
$F_{emission}$	La fonction objectif des émissions.
a_i, b_i et C_i	Les coefficients de coût du carburant des générateurs.
P_{gi}	La puissance réelle du générateur.
α_i, β_i et γ_i	Les coefficients d'émission.
JDB	Jeux de barres.
P_{loss}	Perte de puissance active.
WM	Méga watt.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Le réseau électrique français.	4
Figure 1.2	Principe général de fonctionnement d'une centrale électrique.	5
Figure 1.3	Structure d'un réseau maillé.	8
Figure 1.4	Structure d'un réseau radiale ou bouclé.	8
Figure 1.5	Structure d'un réseau arborescente.	9
Figure 1.6	Modèle du générateur.	10
Figure 1.7	Modélisation d'une ligne électrique.	11
Figure 1.8	Modélisation d'un transformateur.	12
Figure 1.9	Modèle d'une charge.	13
Figure 1.10	Modèles des éléments shunt : a) symbole, b) élément inductif élément capacitif.	14
Figure 1.11	Différence entre la consommation prévue et la consommation réelle.	15
Figure 2.1	processus d'optimisation.	19
Figure 3.1	déplacement d'une particule.	31
Figure 3.2	organigramme de l'algorithme k-means.	34
Figure 3.3	organigramme général de fonctionnement l'algorithme k-means	35
Figure 4.1	les paramètres de 3 stratégie et PF et OPF.	
Figure 4.2	présentation des groupes cout normal avec DE.	41
Figure 4.3	présentation de cluster cout normal avec DE.	41
Figure 4.4	les paramètres avec OPF et pf dans le cas de JAYA valve point.	43
Figure 4.5	présentation des groupes JAYA valve point.	43
Figure 4.6	présentation de cluster cas de JAYA valve point.	44
Figure 4.7	les paramètres avec OPF et pf dans le cas de JAYA perte.	45
Figure 4.8	présentation des groupes 1et 2 en utilisant JAYA perte.	46
Figure 4.9	présentation de cluster cas de JAYA perte.	46
Figure 4.10	les paramètres avec OPF et pf dans le cas de JAYA gaz polluant avec 3 stratégies.	48

LISTE DES FIGURES

Figure 4.11	présentation des groupes 1et 2 en utilisant JAYA gaz polluant.	48
Figure 4.12	présentation de cluster cas de JAYA gaz polluant.	49
Figure 4.13	les paramètres avec OPF et PF dans le cas cout surcharge avec 3 stratégies.	50
Figure 4.14	présentation des groupes 1et 2 en utilisant cout surcharge.	51
Figure 4.15	présentation de cluster cas de cout surcharge.	51
Figure A.1	le schéma unifilaire du réseau électrique IEEE 14-Bus.	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1	les résultats des clusters le cas de cout normal (DE).	39
Tableau 4.2	les résultats du cluster le cas valve point.	42
Tableau 4.3	les résultats des clusters le cas de JAYA Perte.	44
Tableau 4.4	les résultats du cluster le cas de JAYA gaz polluant.	47
Tableau 4.5	les résultats des clusters le cas de cout surcharge.	49
Tableau A.1	Données du réseau standard IEEE à 14 jeux de barres.	

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE1

CHAPITRE 1:Généralités sur Les réseaux Électriques

1.1	Introduction :	3
1.2	Historique sur les réseaux électriques :	3
1.3	Architecture d'un réseau électrique :	4
1.3.1	La production :	5
1.3.1.1	Principe général de la production :	5
1.3.2	Le transport :	6
1.3.3	Réseaux de répartition :	6
1.3.4	La distribution :	6
1.3.5	Réseaux de L'interconnexion :	7
1.3.5.1	les avantages des réseaux l'interconnexion :	7
1.3.5.2	Avantage économique :	7
1.3.5.3	Avantage technique :	7
1.4	Classification des niveaux de tension alternative :	7
1.5	Topologies des réseaux électriques :	8
1.5.1	Structure maillée :	8
1.5.2	Structure radiale oubouclée :	8
1.5.3	Structure arborescente :	8
1.7	La consommation électrique :	9
1.8	Modélisation des éléments du réseau électrique :	9
1.8.1	Modélisation d'un générateur :	10
1.8.2	Modélisation des lignes de transmissions du réseau :	11
1.8.3	Modélisation d'un transformateur de puissance :	12
1.8.4	Modélisation d'une charge électrique :	13
1.8.5	Modélisation d'une compensation shunt :	13
1.9	Fluctuations de la consommation :	14
1.9.1	Fluctuations infra journalières :	14
1.9.2	Fluctuations hebdomadaires :	14
1.9.3	Fluctuations saisonnières :	15
1.10	Prévision de la consommation :	15

TABLE DES MATIERES

1.11	Facteurs d'influence reliés à la stabilité de la tension :	16
1.12	La pollution Atmosphérique :	16
1.13	Les effets néfastes pour l'environnement et la santé :	17
1.14	Conclusions :	17
<u>CHAPITRE 2: Écoulement de puissance optimal</u>		
2.1	INTRODUCTION :	18
2.2	Philosophie de l'écoulement de puissance :	18
2.3	Objectif de l'écoulement de puissance optimale :	18
2.4	Les éléments d'optimisation :	19
2.5	Domaines d'application de l'écoulement de puissance optimal :	19
2.5.1	Minimisation du coût de combustible :	20
2.5.2	Minimisation des pertes :	20
2.5.3	Amélioration du profil de tension :	20
2.6	FORMULATION DU PROBLEME DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE OPTIMAL :	20
2.6.1	Fonctions Objectifs :	21
2.6.2	Contraintes d'égalité:	22
2.6.3	Contraintes d'inégalités :	23
2.7	Méthodes de résolution des problèmes d'optimisation :	24
2.7.1	Les problèmes d'optimisation :	24
2.7.2	Méthodes d'optimisation :	24
2.7.3	Méthodes déterministes :	24
2.7.4	Méthodes stochastiques :	25
2.7.5	Méthode d'optimisation Heuristiques :	25
2.7.5.1	Méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 :	Error! Bookmark not defined.
2.7.5.2	Méthode de Newton-Raphson :	25
2.7.5.3	Application de la méthode de Newton-Raphson dans l'écoulement de puissance :	26
2.8	Types des nœuds :	28
2.8.1	Nœud de référence :	29
2.8.2	Nœud de charge :	29
2.8.3	Nœud de génération :	29
2.9	Classification des variables :	29

TABLE DES MATIERES

2.9.1. Variables de contrôle :	29
2.9.2 Variables dépendantes ou d'état :	29
2.10 Conclusion :	29
<u>CHAPITRE 3 :Algorithme d'optimisation</u>	
3.1 Introduction :	31
3.2 Optimisation par essaims de particule :	31
3.2.1. Idées de base :	32
3.3 Optimisation par l'algorithme JAYA :	32
3.5 Technique de Clustering :	33
3.5.1 Algorithm de K-means Clustering:	33
3.6 Le fonctionnement de l'algorithme k-means :	34
3.7 Application d'algorithme K-means a L'OPF :	34
3.8 Avantages de k-means :	35
3.9 Inconvénients :	35
3.10 Organigramme d'algorithme :	35
3.11 Organigramme de k-means :	36
3.12 Conclusion :	36
<u>CHAPITRE 4 : Simulations et résultat</u>	
4.1 Introduction :	38
4.2 Cout production des puissances actives :	38
4.3 Cout production en surcharge (valve point effect) des puissances actives:	41
4.4 Les pertes :	44
4.5 Gaz polluants:	47
4.6 Cout en surcharge :	49
4.7 Discussion :	51
4.8 Conclusion:	52
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	<u>53</u>



INTRODUCTION GENERALE

Dans les sociétés actuelles, industrialisés et technologiquement développés, la disponibilité de l'énergie électrique occupe une importance primordiale. L'énergie électrique ne permet pas seulement le confort dont en bénéficient les usagers, mais également en bénéficient les industries et les services (transport, hôpitaux services publics etc..). L'énergie constitue donc un support essentiel pour le développement des sociétés modernes.

De ce fait, la qualité, la continuité de service et l'approvisionnement sont pris au sérieux par les responsables des compagnies électriques. Il s'agit tout d'abord en premier lieu de produire, de transporter cette marchandise et de faire sa distribution en même temps.

Vu l'augmentation quotidienne de la demande en énergie électrique due à l'évolution rapide des charges, le réseau électrique devient de plus en plus compliqué et sa présence sur un large étendu géographique est de plus en plus ressentie comme une contrainte qu'il faut étudier et la prendre en compte [8].

Puisque jusqu'à maintenant l'énergie électrique ne se stocke que dans des volumes limités et que les moyens de stockage sont peu performants et coûteux, il faut donc la consommer dès qu'elle est produite. En conséquence, toutes les entreprises de production et de distribution d'énergie électrique sont responsables de l'équilibre entre la production et la demande d'électricité.

Pour assumer cette mission, il faut ajuster les puissances actives et réactives des générateurs interconnectés dans un réseau électrique dans leurs limites admissibles afin de satisfaire la charge électrique fluctuante avec un coût de production minimal en utilisant l'écoulement de puissance optimal (OPF).

L'écoulement de puissance optimal (OPF) est un secteur d'étude essentiel dans les réseaux électriques, où on doit minimiser le coût de production total et diminuer les pertes de puissance, et prendre en considération de nombreuses contraintes parmi lesquelles les limites de production des centrales, les capacités de transport des lignes électriques, les limites des transformateurs et d'autres limites [8].

La puissance demandée est variable dans le temps, les centrales de production s'intéressent en permanence à l'équilibre de production et la consommation qui doit être gardé afin de garantir une qualité acceptable de la puissance livrée et de procurer une sécurité d'alimentation accrue, la détermination de l'état optimal de chaque générateur interconnecté dans le réseau électrique [15].

Le transport de l'énergie électrique est assuré par un maillage de lignes électriques sur le territoire. Celles-ci sont à basse tension pour l'acheminement final de l'électricité auprès des consommateurs, et à haute ou très haute tension à proximité des sources d'électricité ou pour le transport à longue distance.

Le réseau de lignes électriques doit être optimisé afin de minimiser les pertes et de mettre en relation les centrales de production et les utilisateurs.

La stratégie de l'OPF utilise des méthodes basées sur la programmation mathématique pour déterminer l'optimal réglage des variables de contrôle du système. L'analyse d'un réseau électrique composé de plusieurs générateurs, lignes de transport et charges, est extrêmement importantes pour l'exploitation et l'étude, pour avoir une satisfaction d'ensemble d'exigences spécifiques et pour le bon fonctionnement et la sécurité [15].

Un problème de l'optimisation de l'écoulement de puissance est défini par un ensemble de variables tel que les puissances actives, les tensions et les rapports de transformateurs, une fonction objectif et un ensemble de contraintes.

Pour cela nous allons proposer un algorithme basé sur K means afin de satisfaire toutes les contraintes imposé pour un écoulement de puissance optimal.

Ce mémoire est structuré comme suit ;

Le premier chapitre représente une introduction générale sur les réseaux électriques, ainsi un aperçu sur l'écoulement de puissance optimal.

Le deuxième chapitre présente l'écoulement de puissance optimal Une application des algorithmes.

Le troisième chapitre pour une application de l'algorithme d'optimisation K means au problème de l'écoulement de puissance.

Le quatrième chapitre pour les résultats et discussions, en fin une conclusion générale.



CHAPITRE 1

Généralités sur les réseaux Électriques

1.1 Introduction :

L'exploitation du réseau électrique consiste à produire, transporter et distribuer l'énergie demandée par les charges installées. Cette énergie doit être fournie sous tension et fréquence dans de limites acceptables afin de garantir un bon fonctionnement des charges et des équipements du réseau. Pour la tension, en général une variation de 5% autour de la valeur nominale (parfois 10%) est tolérée. Par ailleurs, la fréquence ne doit pas excéder 0.5% de la fréquence nominale. En plus du contrôle permanent de la tension et de la fréquence.

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis la centrale de génération jusqu'aux clients les plus éloignés [8].

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... avec les centres de consommation (villes, usines...).

1.2 Historique sur les réseaux électriques :

Si, dès 1882, EDISON a réalisé la première distribution d'électricité en courant continu sous une tension de 110 V pour l'éclairage et si la première transmission à distance a été réalisée en 1882 entre Mies Bach et Munich (57 Km, 2000 V), il est vite apparu que la solution pour un transport à distance devrait passer par une tension plus élevée pour diminuer le volume de cuivre (Deprez en 1881) et donc utiliser le courant alternatif et le transformateur dont le principe était breveté par Goulard et Gibbs en 1881. Les générateurs triphasés sont de conception plus simple que les machines à courant continu et la coupure de courant plus facile. En 1891, une liaison en courant alternatif sous 15 KV reliait une centrale sur le Neckar à Lauffan à Francfort (sur une distance de 176 Km). Vers 1920, la fréquence de 50 Hz est normalisée en Europe et la tension passe à 132 KV grâce notamment à l'invention des isolateurs suspendus. Les raisons de ce transport à distance proviennent, au début, de la distance entre les centrales hydrauliques et les villes. Lorsque des centrales thermiques sont développées, il est vite apparu qu'une complémentarité existait entre ces divers modes de production, d'où une meilleure utilisation des ressources par une interconnexion tant au sein d'un pays qu'entre pays voisins. Les liaisons internationales vont alors rapidement se développer : en 1922 une liaison à 150 KV entre la France et la Suisse,

en 1929 une liaison entre l’Autriche et l’Allemagne en 225 KV, en 1935 tout l’est de la France est interconnecté avec la Belgique, la suisse et l’Allemagne, interconnexion sous 380 KV de l’Europe occidentale en 1985, extension vers l’Europe de l’est (Pologne, Hongrie, ...etc.) et le grand Maghreb dans les années 1990 [2].

1.3 Architecture d’un réseau électrique :

Les réseaux électriques sont les infrastructures qui permettent d’acheminer l’énergie électrique des installations de production jusqu’aux installations de consommation.

Les réseaux utilisent le courant alternatif triphasé sinusoïdal à la fréquence de 50 Hz .Le réseau électrique est exploité à différents niveaux de tension et organisé en fonction de ces derniers.

On appelle réseau de transport tous les réseaux électriques exploités à une tension supérieure à 50 kV – dit niveau de tension HTB –. Ils assurent le transport de l’énergie électrique sur de grandes distances à tension élevée afin de minimiser les pertes.

Le réseau de transport raccorde principalement de grands groupes de production, les connexions avec les réseaux de transports d’autres pays, quelques clients et les réseaux de distribution.

Les réseaux de distribution regroupent tous les réseaux exploités à une tension inférieure ou égale à 50 kV. Leur rôle est d’assurer la distribution de l’énergie électrique au niveau local. Ils raccordent la majorité des consommateurs [3].

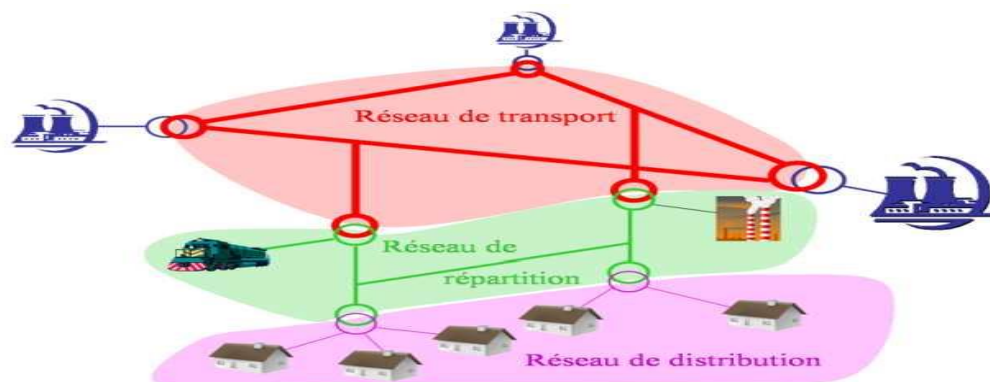


Figure 1.1 : Le réseau électrique français [31].

1.3.1 La production :

La production d'énergie électrique utilise principalement des combustibles fossiles et fissiles (nucléaire). Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel, permet d'avoir de faibles coûts de production mais conduit à un dégagement massif de gaz polluant et de gaz à effet de serre. Selon, la production électrique à partir de combustibles fossiles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de CO₂. L'énergie d'origine nucléaire qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus [4].

Bien que notre pays soit excédentaire en production électrique aujourd'hui, l'avenir n'est donc pas prometteur sur les ressources en énergies fossiles dont les réserves ne cessent de diminuer et dont les prix fluctuent énormément en fonction de la conjoncture. La préparation de l'avenir dans les domaines de production énergétique doit se prévoir dès aujourd'hui, pour pouvoir faire face progressivement aux changements énergétiques inévitables [4].

1.3.1.1 Principe général de la production :

Le principe général d'une centrale de production électrique est de transformer une source d'énergie primaire en énergie électrique. On peut donc considérer qu'elle est un « convertisseur d'énergie ».

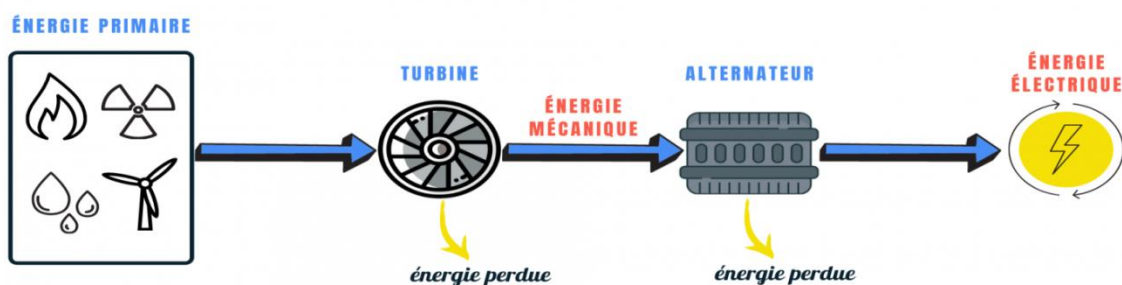


Figure 1.2 : Principe général de fonctionnement d'une centrale électrique [5].

Deux éléments sont essentiels au sein d'une centrale électrique :

La turbine et l'alternateur. La turbine a pour rôle de convertir l'énergie primaire en énergie mécanique. Il s'agit d'une roue munie de palettes ou aubes, qui tournent, selon les cas, sous l'action :

- de l'eau (sous forme liquide ou sous forme de vapeur d'eau sous pression).
- du vent (cas spécifique de l'éolienne).

Selon l'énergie primaire utilisée, différentes technologies de turbines sont possibles :

- turbine hydraulique.
- turbine à vapeur.
- turbine à combustion (communément appelée turbine à gaz).
- éolienne.

La turbine est couplée à un alternateur (un grand aimant cerclé d'une bobine) en rotation : celui-ci a pour rôle de convertir l'énergie mécanique produite par la turbine en mouvement, en énergie électrique [5].

1.3.2 Le transport :

Le réseau de transport achemine l'énergie électrique sur de longues distances via des lignes haute tension de type HTB. Ces lignes sont interconnectées pour assurer l'approvisionnement indépendamment de la disponibilité des moyens de production.

Les lignes HTB sont souvent aériennes et sont portées par des pylônes. La distance entre conducteurs et entre conducteurs et le sol varie proportionnellement avec la tension [6].

1.3.3 Réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions [6].

1.3.4 La distribution :

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA.

Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique [6].

1.3.5 Réseaux de L'interconnexion :

L'interconnexion est un réseau de transport qui a la particularité d'assurer l'change énergétique. Ce réseau utilisé pour des raisons de technique (il permet de renforcer la stabilité du réseau électrique) et économique, L'interconnexion permet aussi d'améliorer la qualité d'énergie fournie en tension, en fréquence et aussi d'établir une large possibilité de réserve et rendre le réseau plus flexible [7].

1.3.5.1 les avantages des réseaux l'interconnexion :

1.3.5.2 Avantage économique :

- Améliorer la courbe de charge globale.
- Elle favorise en particulier l'intégration des énergies renouvelables ayant un caractère intermittent [7].

1.3.5.3 Avantage technique :

- Une réduction des écarts de fréquence.
- Une amélioration de la sécurité globale par la possibilité de secours mutuel dans les situations d'urgence.
- Une amélioration du réglage de la tension aux interfaces [7].

1.4 Classification des niveaux de tension alternative :

La classification des réseaux électriques se fait à partir de la tension qui apparaît entre deux phases du réseau électrique à courant alternatif. Le réseau électrique en Algérie est un réseau interconnecté avec les pays frontières comme la Tunisie et le Maroc, les différents niveaux de tension en Algérie sont [35]:

HTB : pour une tension de 400KV, 220 KV et 60KV.

HTA : pour une tension de 30KV et 10KV.

BTB : pour une tension comprise entre 500V et 1KV.

BTA : pour une tension comprise entre 50V et 500V.

TBT : pour une tension inférieure ou égale à 50V.

1.5 Topologies des réseaux électriques :

Les réseaux électriques peuvent être organisés selon plusieurs types de structures :

1.5.1 Structure maillée :

Les postes électriques sont reliés entre eux par de nombreuses lignes électriques, Apportant une grande sécurité d'alimentation [8].

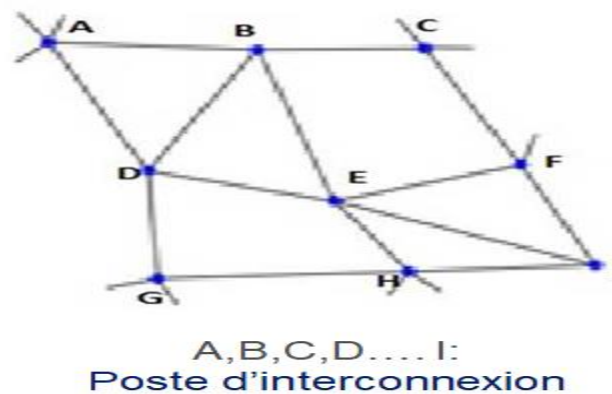


Figure 1.3 : Structure d'un réseau maillé [8].

1.5.2 Structure radiale ou bouclée :

Les postes rouges représentent les apports d'énergie : la sécurité d'alimentation, bien qu'inférieure à celle de la structure maillée, reste élevée [8].

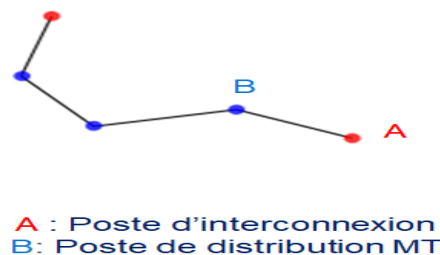


Figure 1.4 : Structure d'un réseau radiale ou bouclé [8].

1.5.3 Structure arborescente :

Leur configuration est celle rencontrée dans l'exploitation des réseaux de distribution dont les sources de tension sont constituées d'un ou plusieurs transformateur(s) abaisseur(s).

Il représente le réseau sous sa forme la plus simple [8].

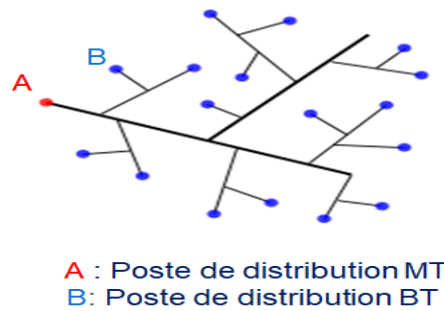


Figure 1.5 : Structure d'un réseau arborescent [8].

1.6 Protection des réseaux électriques :

Tout réseau électrique possède des systèmes de protection pour déconnecter le système de production en cas de défaut sur la ligne. L'objectif est de protéger les 3 constituants d'un réseau électrique [8] :

- les organes de production (alternateur)
- les réseaux de transport (lignes aériennes, transformateurs, jeux de barre)
- les réseaux de distribution (les clients finaux)

1.7 La consommation électrique :

Connaître la consommation de l'électricité d'une période future est important pour l'exploitation du système électrique. Pour ce faire, une multitude de variables sont traditionnellement utilisées pour expliquer et prédire le niveau de consommation d'électricité: la température, l'heure de la journée, le jour de la semaine (jour ouvrable, week-end), le prix, etc. L'impact de la plupart de ces variables est lié aux conditions climatiques, aux habitudes de consommation, aux rythmes de vie et au pays considéré [9].

1.8 Modélisation des éléments du réseau électrique :

Cette partie décrit les modèles utiles pour mener à bien les calculs dans un réseau d'énergie. Il rappelle quelques résultats fondamentaux du cours de modélisation. Les calculs que nous allons faire n'ont d'intérêt que si le réseau est maillé. On s'intéressera donc essentiellement au réseau de transport, même si les méthodes décrites sont indépendantes

du niveau de tension. Sur un tel réseau, on distingue essentiellement 4 types d'éléments fondamentaux [21] :

- Des moyens de production
- Des lignes
- Des transformateurs de puissance
- Des charges

1.8.1 Modélisation d'un générateur :

Les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants. La puissance active délivrée par le générateur est réglée à travers le contrôle de la turbine, qui doit être dans les limites de la capacité du système turbine – générateur. La tension est liée principalement à l'injection de la puissance réactive au jeu de barres de production, et comme le générateur doit fonctionner dans les limites de sa courbe de capacité réactive [10].

$$P^{min} \leq P_{Gi} \leq P^{max} \quad (1.1)$$

$$Q^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q^{max} \quad (1.2)$$

Générateur peut être modélisé comme dans le schéma de la figure suivante :

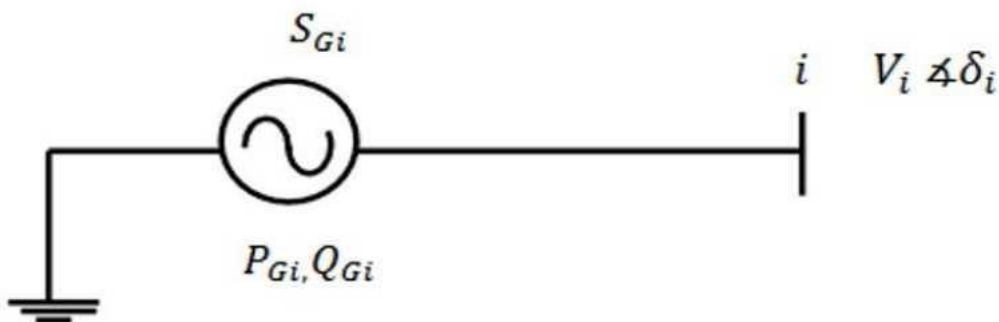


Figure 1.6 : Modèle du générateur

Avec :

Q_{Gi} : Puissance active et réactive générées au nœud i .

S_{Gi} : Puissance apparente au nœud i .

V_i : Tension au nœud i .

δ_i : Déphasage au nœud i .

1.8.2 Modélisation des lignes de transmissions du réseau :

Afin de résoudre un problème d'écoulement de puissance, il est primordial de bien représenter la topologie du réseau. Pour ce faire, la représentation en π est utilisée.

Un modèle π de ligne est présenté à la **Figure 1.7** Modèle π de ligne utilisé pour l'écoulement de puissance

Cette modélisation elle se compose d'une résistance série R une réactance X et une admittance shunt Y .

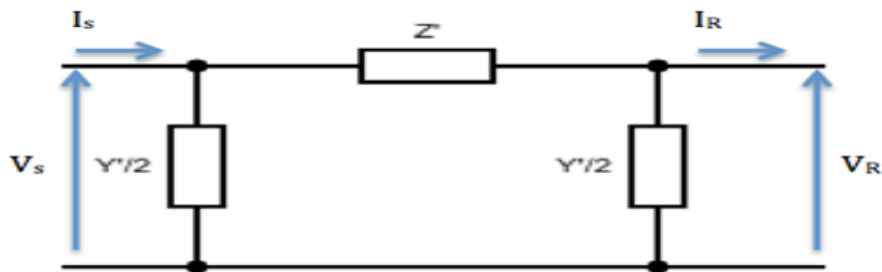


Figure 1.7 : Modélisation d'une ligne électrique

On a :

$$Z' = R + jX \quad (1.3)$$

Déterminons le courant et la tension de source on utilise la loi de Kirchhoff, on trouve :

$$\begin{cases} V_S = A \cdot V_R + B \cdot I_R \\ I_S = C \cdot V_R + D \cdot I_R \end{cases} \quad (1.4)$$

Sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Avec :

V_S, I_S : Tension et Courant de source.

V_R, I_R : Tension et Courant de charge.

A, B, C, D : paramètres des constantes de la ligne.

Z' : Impédance de la ligne.

Y' : Admittance de la ligne.

R : Résistance de la ligne.

X : Réactance de la ligne [11].

1.8.3 Modélisation d'un transformateur de puissance :

Un transformateur est bien modélisé, à 50 Hz, par un schéma équivalent monophasé faisant intervenir un transformateur idéal, des éléments en série (les résistances des enroulements primaire et secondaire et les inductances de fuites) et des éléments en parallèle (l'inductance de magnétisation et éventuellement une résistance modélisant les pertes "fer"). Ramené au même niveau de tension (primaire ou secondaire), ce schéma peut se réduire à un simple schéma en T. Ce schéma admet lui-même un équivalent en π .

Il n'est pas rare que soient négligés dans un calcul de répartition les éléments en parallèle du schéma équivalent, dont l'influence est surtout sensible lorsque le réseau est très peu chargé.

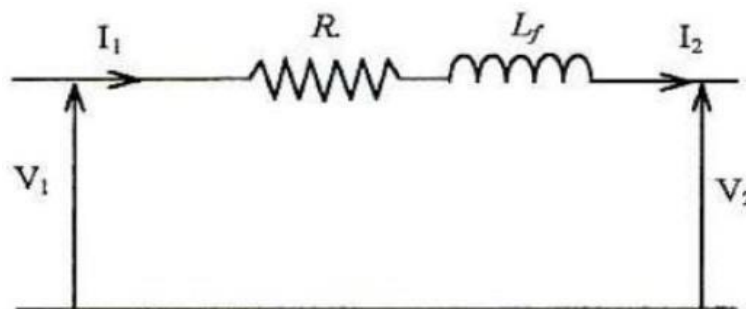


Figure 1.8 : Modélisation d'un transformateur

Dans ce cas, le schéma équivalent du transformateur, ramené au même niveau de tension, se réduit à une simple impédance "série" dont la résistance représente la résistance totale des enroulements primaire et secondaire, et dont l'inductance représente l'inductance de fuite totale entre enroulement primaire et enroulement secondaire. [12]

1.8.4 Modélisation d'une charge électrique :

Les charges représentent les consommateurs connectés au réseau. Elles correspondent à des injections négatives aux nœuds. Les charges sont modélisées par des puissances constantes indépendantes de la tension nodale [10].

Où S_{Li} est la puissance complexe de la charge, P_{Li} la puissance active et Q_{Li} la puissance réactive. La puissance réactive Q_{Li} peut être positive ou négative selon que la charge est de nature inductive respectivement capacitive.

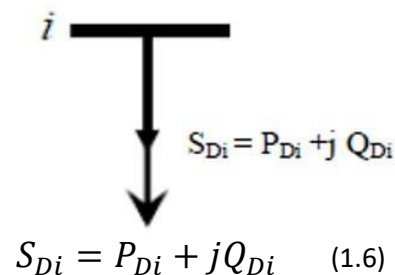


Figure 1.9 : Modèle d'une charge

S_{Di} : Puissance apparente demandée au jeu de barres i

P_{Di} : Puissance active demandée au jeu de barres i

Q_{Di} : Puissance réactive ; cette puissance réactive peut être positive ou négative selon que la charge est de nature inductive ou capacitive [13].

1.8.5 Modélisation d'une compensation shunt :

Les dispositifs shunt, généralement utilisés pour la compensation réactive et le maintien de la tension, sont modélisés par des admittances Y_{i0} de la forme :

$$Y_{i0} = g_{i0} + jb_{i0} \quad (1.7)$$

Le symbole général représentant un élément shunt est donné à la (**figure 1.10.a**). La susceptance b_{i0} peut être inductive ou capacitive. Dans le premier cas, l'élément consomme de la puissance réactive (figure 1.10.b), alors qu'il en fournit au système dans le second (figure 1.10.c). [13]

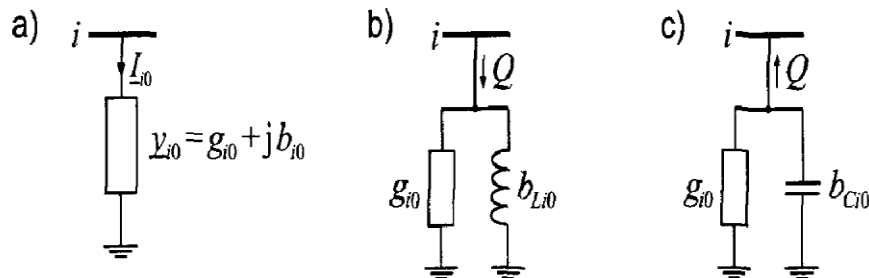


Figure 1.10 : Modèles des éléments shunt : a) symbole, b) élément inductif c) élément capacitif.

1.9 Fluctuations de la consommation :

La consommation d'électricité varie en permanence en fonction des multiples variations de consommations qui interviennent sans préavis sur l'ensemble du système. Les différentes utilisations individuelles de l'énergie électrique, à chaque moment, se traduisent par de fortes fluctuations de la consommation dans le temps. Cependant, ces fluctuations ont un certain caractère cyclique au cours de la journée, de la semaine, et de l'année [14].

1.9.1 Fluctuations infra journalières :

Durant une journée, la consommation d'électricité peut fluctuer d'une façon importante qui peut atteindre les 25 % de la consommation maximale de l'année. Ces fluctuations infra journalières sont récurrentes le long de l'année [14].

1.9.2 Fluctuations hebdomadaires :

Jour ouvrable / week-end : les différences entre les consommations maximales entre un jour ouvrable et un jour du week-end du même mois peuvent aller jusqu'à 10 % de la demande maximale de l'année [14].

1.9.3 Fluctuations saisonnières :

Jour été / jour hiver : les différences entre les consommations (maximales et minimales) entre un jour ouvrable en été et un jour ouvrable en hiver peuvent aller jusqu'à plus de 20 % de la consommation maximale [14].

1.10 Prédiction de la consommation :

Connaître la consommation de l'électricité d'une période future est important pour l'exploitation du système électrique. Pour ce faire, une multitude de variables sont traditionnellement utilisées pour expliquer et prédire le niveau de consommation d'électricité parmi lesquels : la température, l'heure de la journée, le jour de la semaine (jour ouvrable, week-end), le prix, etc.

L'impact de la plupart de ces variables est lié aux conditions climatiques, aux habitudes de consommation, aux rythmes de vie et au pays considéré. Naturellement, plus la prévision est réalisée en avance par rapport au moment de la consommation, moins elle est précise, Bien que la prévision de la consommation s'affine lorsque l'on s'approche de la période prévue, il existe encore des écarts entre les prévisions faites la veille et la consommation réelle. Ces écarts, ou erreurs de prévision, peuvent provenir des erreurs de prévision des variables explicatives (Température, nébulosité) ou/et des simplifications du modèle de prévision et [14].

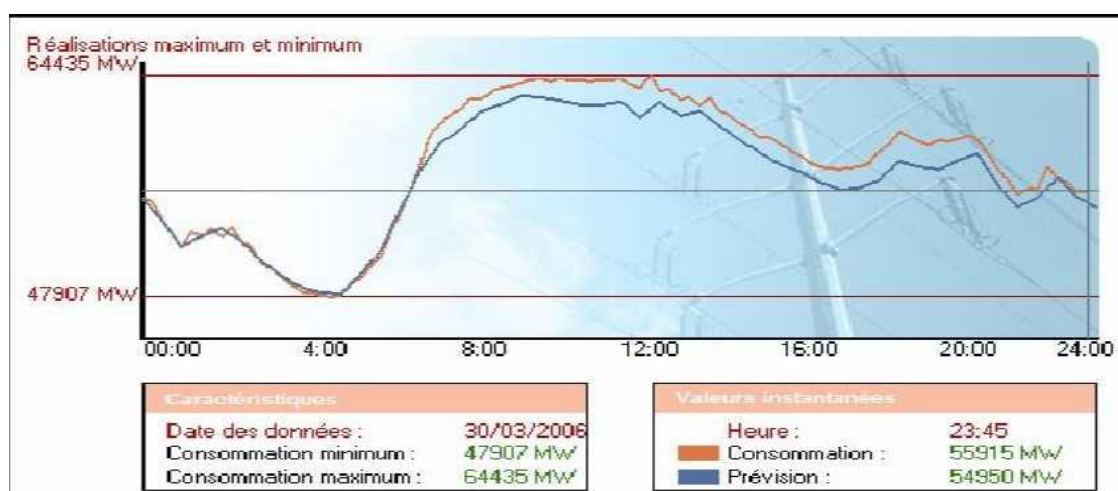


Figure 1.11: Différence entre la consommation prévue et la consommation réelle [14].

1.11 Facteurs d'influence reliés à la stabilité de la tension :

L'instabilité de la tension d'un grand réseau est un problème de nature complexe. Plusieurs éléments d'un réseau contribuent à la création d'un scénario propice à une instabilité de tension. Les éléments suivants ont un impact important sur la stabilité de la tension du réseau :

- Les génératrices et le comportement de leurs dispositifs de réglages et de protection.
- Les dispositifs à compensation shunt réglable et fixe.
- Les changeurs de prises en charge (ULTC) et les transformateurs fixes.
- Les relais de protection.
- Les caractéristiques de la charge [15].

1.12 La pollution Atmosphérique :

La pollution atmosphérique peut être définie par la présence de polluants (gazeux ou particules) dans l'atmosphère, pouvant provoquer des effets nocifs sur l'environnement et la santé [16].

La production d'électricité représente 31% des émissions de CO₂. Cette pollution s'explique par l'exploitation, encore massive, des énergies fossiles pour produire notre électricité [17].

En Algérie, l'énergie électrique est produite, principalement, à partir de gaz naturel. La part de la puissance installée de l'ensemble des centrales utilisant cette énergie primaire dépasse les 96%, le reste des énergies employées se répartit entre le gasoil dans les centrales Diesel et l'eau dans les centrales hydroélectriques.

Le gaz est utilisé dans des centrales thermiques à vapeur, à gaz, ainsi que dans les centrales à gaz et à vapeur appelées centrales à cycle combiné [18].

Ces gaz sont libérés lors de la combustion des combustibles fossiles, tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel. La combustion du charbon est plus intensive en carbone que la combustion du gaz naturel ou du pétrole pour l'électricité.

1.13 Les effets néfastes pour l'environnement et la santé :

Les centrales électriques, de même que d'autres sources naturelles et industrielles, rejettent d'importants volumes de mercure dans l'atmosphère. Le mercure présent dans les émissions des centrales électriques prend diverses formes chimiques [20].

Les émissions de polluants ont une forte influence sur la qualité de l'air. Les polluants primaires, dont les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO_2), le monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PM) et certains composés organiques volatils (COV), sont directement émis dans l'atmosphère. Ils proviennent aussi bien des sources fixes (incinération des déchets, chauffages urbains, activités industrielles, domestiques ou agricoles) que des sources mobiles, en particulier les automobiles [20].

Les pollutions gazeuses et particulaires affectent diverses zones vitales du corps humain. On note notamment qu'elles affectent fortement et parfois de manière irréversible, les fonctions pulmonaires, le cœur, les reins mais aussi les os et les fonctions encéphaliques dans leur globalité [20].

La combustion de combustibles fossiles à haute température en présence d'azote et d'oxygène dans l'air produit de l'oxyde nitrique (NO), lequel est rapidement converti en dioxyde d'azote (NO_2) dans l'atmosphère. Collectivement, ces deux polluants sont appelés des NO. À cause du volume élevé de combustible qu'elles brûlent,

Parmi les facteurs qui influent sur le volume de NO que rejettent les centrales électriques, on compte la teneur en azote du combustible utilisé, le volume d'excès d'air (composé d'azote à 78 %), la température de l'air comburant et l'efficacité des mesures antipollution postcombustion visant les NO.

1.14 Conclusions :

Dans ce chapitre nous avons présenté une généralité sur les réseaux électrique notamment les structures et la modélisation des réseaux électriques, aussi on a présenté quelques informations sur la pollution.

Et émission de Co_2 et ses effets néfastes pour l'environnement et la santé.



CHAPITRE 2 :

Écoulement de puissance optimal

2.1 INTRODUCTION :

L'utilisation de l'énergie électrique dans la plupart des nouveaux équipements et les technologies augmentent de jour en jour pour contrôler la plupart des nouvelles fonctionnalités et technologies. L'un des plus courantes méthodes de production d'énergie électrique est l'utilisation de centrales électriques. Le problème de la répartition économique (DE) reflète la quantité d'électricité produite par toutes les centrales électriques dans certains les délais d'approvisionnement des consommateurs en coûts de production Mais la combustion de combustibles fossiles, afin fournir de l'énergie, libérera les émissions polluantes qui nuire à l'environnement [22].

L'optimisation d'écoulement des puissances (Optimal Power Flow ou OPF en anglais), est un problème de programmation non linéaire. L'optimisation de l'écoulement de puissance consiste à répartir les puissances actives et réactives demandées entre les différentes centrales interconnectées dans un réseau électrique pour minimiser le coût total. Cette distribution doit évidemment respecter les limites de production des centrales et les capacités de transport des lignes électriques et les transformateurs. La fonction objectif à optimiser est donc le coût de production [23].

2.2 Philosophie de l'écoulement de puissance :

Dans les réseaux électriques, il existe de nombreux problèmes qui ont des effets sur le but principal qui est, le maintien du système de puissance fonctionnel dans son état normal. Parmi ces problèmes, on trouve celui de l'écoulement de puissance. L'étude de l'écoulement de puissance permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal, équilibré en régime permanent. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes. Les pertes et les courants s'en déduisent [24].

2.3 Objectif de l'écoulement de puissance optimale :

Dans les études de l'écoulement de puissance optimal, différentes fonctions objectifs peuvent être minimisées, qui sont. [25] :

- Le coût de combustible.
- L'émission des gaz.
- Les pertes de puissance actives.

- Les pertes de puissance réactives.
- Le coût de puissance réactive.
- La déviation de la tension.
- L'indice de la stabilité de la tension.

Tout en s'assurant que le réseau opère de façon sécuritaire :

- $V_{min} < \text{Tensions des générateurs} < V_{max}$
- $S_{min} < \text{Puissances transitées dans les lignes} < S_{max}$

2.4 Les éléments d'optimisation :

L'optimisation est une des mathématiques consacré à l'étude du (ou des) minimum(s)/maximum(s) d'une fonction à une ou plusieurs variables sur un certain domaine de définition, de l'étude de leur existence à leur détermination, en général par la mise en œuvre d'un algorithme et par suite un programme. Pour mener à bien une opération, plusieurs éléments sont indispensables et conditionnent la solution trouvée [26].

Les objets mathématiques qui assurent l'interaction et la liaison des variables par rapport aux ressources disponibles et aux données du problème sont appelées contraintes.

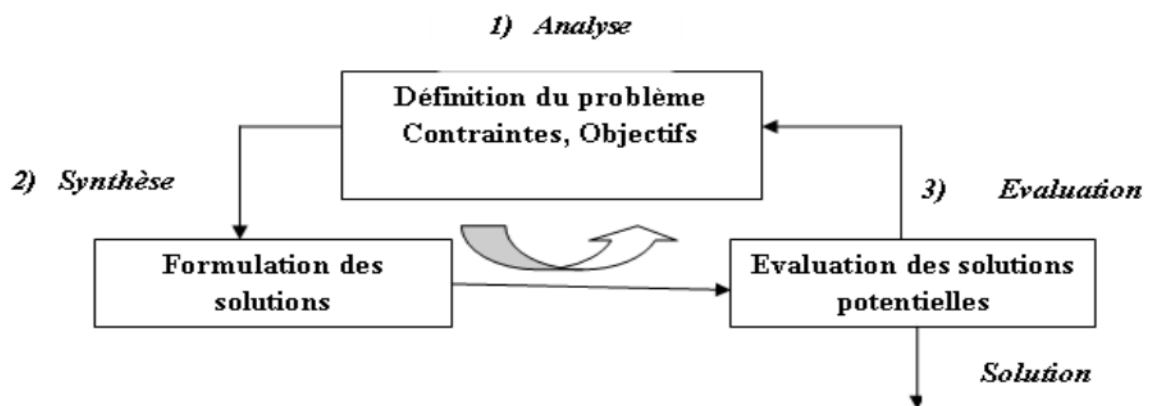


Figure 2.1 : processus d'optimisation.

2.5 Domaines d'application de l'écoulement de puissance optimal :

Les applications de la fonction écoulement de puissance optimal peuvent être classées en applications d'exploitation et celles de planification. Dans le domaine d'exploitation, on distingue les applications d'ordre économiques et celles d'ordre technique. Dans chaque catégorie on trouve plusieurs applications, dont les plus courantes sont :

2.5.1 Minimisation du coût de combustible :

Le point de départ de l'OPF est la minimisation des coûts d'exploitation des réseaux électriques. La minimisation du coût de combustible est le principal objectif dans cette catégorie. Le but étant de trouver les puissances optimales à générer par les centrales de façon à minimiser le coût total du combustible [24].

2.5.2 Minimisation des pertes :

La minimisation des pertes de transmission est considérée aussi comme l'un des objectifs qui permet une réduction des coûts. Cet objectif ainsi que la minimisation du coût de combustible sont les objectifs les plus couramment utilisés [24].

2.5.3 Amélioration du profil de tension :

En général, les tensions sont bornées entre des limites supérieures et inférieures dans les contraintes d'inégalité. Cependant, il existe d'autres formulations où le but est de déterminer les paramètres de contrôle pour minimiser la somme des déviations de tension au niveau des jeux de barres de charge [32].

2.6 FORMULATION DU PROBLEME DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE

OPTIMAL :

Le problème d'écoulement des puissances optimal (OPF) est d'optimiser les performances en régime permanent d'un système d'alimentation en termes d'une fonction objectif tout en respectant les contraintes d'égalité et d'inégalité. Mathématiquement, Le problème d'écoulement des puissances optimal (OPF) peut être formulé comme suit. [27]

$$\text{Min } J(x, u) \quad (2.1)$$

$$\text{Soumis à } g(x, u) = 0 \quad (2.2)$$

$$\text{Et à } h(x, u) \leq 0 \quad (2.3)$$

Où :

- u : vecteur des variables indépendantes ou des variables de contrôle.
- x : vecteur des variables dépendantes ou variables d'état.
- J : la fonction objectif à minimiser.
- g : ensemble des contraintes d'égalité.
- h : ensemble des contraintes d'inégalité.

Par conséquent, x peut être exprimé comme [27].

$$X^T = [P_{G1}, V_{L1} \dots V_{LNL}, Q_{G1} \dots Q_{GNG}, S_{l1} \dots S_{ln1}] \quad (2.4)$$

Où :

P_{G1} : puissance active sur le Slack bus.

V_L : amplitude de la tension au bus PQ, les bus de charge.

Q_G : puissance réactive des générateurs.

S_l : puissance apparente qui transite dans les lignes de transmission.

NL : nombre des bus de charge.

NG : nombre des générateurs.

nl : nombre de lignes de transmission.

T : Angle de phase du transformateur.

Et u peut être exprimé comme suit [28]:

$$u^T = [V_{G1} \dots V_{GNG}, P_{G2} \dots P_{GNG}, T_{l1} \dots T_{lNT}, Q_{c1} \dots Q_{cNC}] \quad (2.5)$$

Où

- NT : nombre de transformateurs de réglage de dérivation.
- NC : nombre de compensateurs.

2.6.1 Fonctions Objectifs :

Cette fonction reflète le besoin de minimiser le coût total de la production des puissances actives. On suppose que le coût individuel de chaque centre de production dépende uniquement de la génération de la puissance active [29].

$$F1 = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2) \quad (2.6)$$

Avec :

P_{gi} : C'est la puissance active générée au nœud i .

a_i, b_i, c_i : Les coefficients du coût.

La fonction cout en cas de surcharge est écrite comme suit :

$$F2 = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + d_i \exp(e_i P_{gi})) \quad (2.7)$$

La fonction objectif des émissions de gaz peut être modélisée comme suit :

$$F3 = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2) \quad (2.8)$$

Où :

α_i , β_i et γ_i : sont les coefficients d'émission.

P_{gi} : est la puissance réelle du générateur.

La fonction de pertes de puissance actives est écrite comme suit :

$$F4 = \sum_{i=1}^{nb} (G_k (V_i^2 + V_j^2 - 2 V_i V_j \cos \theta_{ij})) \quad (2.9)$$

Où, nb est le nombre de branche du réseau électrique.

G_k : est la conductance de la branche, K qui se trouve entre les deux jeux de barres i et j .

2.6.2 Contraintes d'égalité:

Les contraintes d'égalités présentent les équations non-linéaires de l'écoulement de puissance dans toutes les branches, où la somme des puissances active et réactive injectées dans chaque jeu de barres soit égale à zéro. Cet équilibre énergétique est décrit par les équations suivantes :

$$V_{gi} - V_{di} = V_i \sum_{j=1}^N V_{ji} (g_{ij} \cos \delta_{ij} + z_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.10)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} = V_i \sum_{j=1}^N V_{ji} (g_{ij} \sin \delta_{ij} + z_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.11)$$

Où : Q_{gi} sont les puissances active et réactive générées, Q_{di} sont les puissances demandées active et réactive, g_{ij}, z_{ij} représentent les valeurs réelles et imaginaires de la matrice admittance (Y_{ij}), δ_{ij} est différence entre les angles de phases des tensions des jeux de barres i et j , N est le nombre total des jeux de barres de réseau [25].

2.6.3 Contraintes d'inégalités :

Les contraintes des inégalités représentent les limites de fonctionnement des équipements électriques d'un réseau électrique. Habituellement, elles peuvent inclure des limites sur les tensions, les puissances actives, les puissances réactives, les rapports des prises des transformateurs avec régulateur en charge, les puissances apparentes transitées dans les lignes et des limites sur les puissances réactives de compensation (batteries de compensation, FACTS) [25].

- Les limites exigées sur les tensions électriques au niveau de chaque jeu de barres peuvent garder la qualité de service électrique et la sécurité du système :

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (2.12)$$

- Les limites min et max des puissances active et réactive générées sont présentés comme suit :

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \quad \text{Avec : } i= 1, \dots, ng \quad (2.13)$$

$$Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{max} \quad \text{Avec : } i= 1, \dots, ng \quad (2.14)$$

- Les limites admissibles des transformateurs à prises en charge T et à angles de phase θ_i

Sont :

$$T^{min} \leq T_i \leq T^{max} \quad (2.15)$$

$$\theta_i^{min} \leq \theta_i \leq \theta_i^{max} \quad (2.16)$$

- Les limites sur le transit de puissance apparente S_{li} au niveau des lignes de transport sont :

$$S_{li}^{min} \leq S_{li} \leq S_{li}^{max} \quad (2.17)$$

2.7 Méthodes de résolution des problèmes d'optimisation :

Face à la résolution d'un problème d'optimisation, il est important de bien identifier à quelle catégorie ce problème appartient. En effet, les algorithmes développés sont conçus pour résoudre un type de problème donné.

La classification des problèmes d'optimisation change d'un auteur à l'autre. Par exemple, on distingue :

2.7.1 Les problèmes d'optimisation :

Les problèmes Mono-objectif sont définis par une seule fonction objectif. Un problème d'optimisation peut être défini comme un problème dont on recherche l'action qui satisfait un ensemble de contraintes, sa difficulté principale est qu'il n'existe pas une définition de la solution optimale. Le décideur peut simplement exprimer le fait qu'une solution est préférable par rapport à une autre mais il n'existe pas une solution meilleure que toutes les autres [27].

2.7.2 Méthodes d'optimisation :

Une grande variété de techniques d'optimisation a été appliquée pour résoudre des problèmes d'optimisations. Ces méthodes peuvent être classifiées en deux groupes : déterministes et stochastiques. Une méthode d'optimisation est dite déterministe lorsqu'elle conduit, pour une solution initiale donnée, au même résultat final. Ce sont en général des méthodes exactes, efficaces, mais qui nécessitent une configuration initiale (point de départ) pour résoudre le problème. Les méthodes stochastiques sont la classe générale des algorithmes et des techniques qui emploient des mécanismes de transition aléatoire pour trouver des solutions optimales à des problèmes difficiles. Cette caractéristique indique que plusieurs exécutions successives de ces méthodes conduisent à des résultats différents pour une même initialisation d'un problème d'optimisation [27].

2.7.3 Méthodes déterministes :

Ce sont des méthodes qui s'appuient, pour trouver l'optimum, sur une direction de recherche qui peut être fournie par les dérivées de la fonction à optimiser. Elles nécessitent donc la connaissance du vecteur gradient. Cette particularité constitue un inconvénient majeur dans le cas d'une fonction objectif (multimodal) possédant plusieurs optimums ; elles peuvent en effet, converger vers un optimum local [1].

2.7.4 Méthodes stochastiques :

Ce sont des méthodes itératives, directe qui nécessitent ni point de départ, ni la connaissance de gradient de la fonction objectif, pour atteindre la solution optimale. Contrairement aux méthodes déterministes, les méthodes stochastiques, possédant un comportement aléatoire approximatif, fournissent une solution de qualité satisfaisante en un temps de calcul en général raisonnable, sans garantir l'optimalité de la solution obtenue. [27]

2.7.5 Méthode d'optimisation Heuristiques :

Le mot « heuristique » vient du grec « heu rein » « découvrir » et qualifie tout ce qui sert à la découverte, à l'invention et à la recherche.

Les itérations successives doivent permettre de passer d'une solution de mauvaise qualité à la solution optimale, en alternant des phases d'intensification, de diversification et d'apprentissage. [27]

2.7.5.1 Méthode de Newton-Raphson :

Elle nous permet de résoudre un système d'équation non linéaire en exprimant les puissances active et réactive en fonction des tensions nodales.

Cette méthode consomme plus de temps de calcul par itération que celle de Gauss-Seidel, en revanche elle demande moins d'itération. Par conséquent elle est plus rapide surtout pour les réseaux de grande dimension [33].

$$f(\bar{x}) = f(x_n) + \frac{(\bar{x} - x_n)}{1!} f'(x_n) \approx 0 \quad (2.18)$$

D'où

$$\bar{x} = \frac{x_n \cdot f'(x_n) - f(x_n)}{f'(x_n)} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (2.19)$$

Et dans le cas général :

$$x_{(n-1)} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad \text{avec: } (n = \text{entier}) \quad (2.20)$$

n : C'est le nombre d'itération

On peut donc écrire :

$$x_{(n+1)} = x_n + \varepsilon_0 \quad (2.21)$$

Avec :

$$\varepsilon_n = -\frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (2.22)$$

2.7.5.2 Application de la méthode de Newton-Raphson dans l'écoulement de puissance :

Cette méthode est la plus utilisée pour résoudre les équations non linéaires exprimant les puissances actives et réactives en fonction des tensions nodales :

La puissance injectée apparente au nœud i est : [34].

$$S_{Gi} = P_{Gi} + j.Q_{Gi} = V_i \cdot I'_i \quad (2.23)$$

Les tensions des nœuds et les admittances des lignes sont exprimées sous forme polaire :

$$V_i = |V_i| \angle \theta_i \quad \text{et} \quad V_j = |V_j| \angle \theta_j \quad (2.24)$$

$$Y_{ij} = G_{ij} + j.B_{ij} = |Y_{ij}| \angle \delta_{ij} \quad (2.25)$$

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j \quad (2.26)$$

$$S_{gi} = P_{gi} + j.Q_{gi} = \sum_{j=1}^n V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij} \angle \theta_i - \theta_j - \delta_{ij} \quad (2.27)$$

En séparant les parties réelles et imaginaires, on obtient :

$$\begin{cases} P_{Gi} = \sum_{j=1}^n V_i \cdot V_j \cdot V_{ij} \cdot \cos(\theta_i - \theta_j - \delta_{ij}) \\ Q_{Gi} = -\sum_{j=1}^n V_i \cdot V_j \cdot V_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j - \delta_{ij}) \end{cases} \quad (2.28)$$

Nous utilisons les équations qui donnent les puissances. Pour qu'on puisse déterminer les éléments de la matrice Jacobéenne, les variations des puissances sont les différences entre les valeurs planifiées et calculées :

$$\Delta P_i = P_{Gi}^{spec} - P_{Gi}^{cal} = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cdot \cos \theta_{ij} + j \cdot B_{ij} \cdot \sin \theta_{ij}) \quad (2.29)$$

$$\Delta Q_i = Q_{Gi}^{spec} - Q_{Gi}^{cal} = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cdot \sin \theta_{ij} - j \cdot B_{ij} \cdot \cos \theta_{ij}) \quad (2.30)$$

Avec :

ΔP_i : la différence entre les puissances actives spécifiées P_{Gi}^{spec} et calculées P_{Gi}^{cal} .

ΔQ_i : la différence entre les puissances réactives spécifiées Q_{Gi}^{spec} et calculées Q_{Gi}^{cal} .

P_{Gi}^{spec} , Q_{Gi}^{spec} : Puissances actives et réactives spécifiées générées au nœud i .

P_{Gi}^{cal} , Q_{Gi}^{cal} : Puissances actives et réactives calculées générées au nœud i .

G_{ij} : La conductance entre les JDB i et JDB j .

B_{ij} : La susceptance entre les JDB i et JDB j .

θ_{ij} , Y_{ij} : Les modules et arguments des éléments de la matrice d'admittance.

La méthode de Newton-Raphson exige un système d'équation qui exprime les relations entre les variations de puissances actives et réactives et celle des composantes réelles et imaginaires des tensions nodales. Le développement des équations est donné comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_{n-1} \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dP_1}{dV_1} & \dots & \frac{dP_1}{dV_{n-1}} & \frac{dP_1}{d\theta_1} & \dots & \frac{dP_1}{d\theta_{n-1}} \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{dP_{n-1}}{dV_1} & \dots & \frac{dP_{n-1}}{dV_{n-1}} & \frac{dP_{n-1}}{d\theta_1} & \dots & \frac{dP_{n-1}}{d\theta_{n-1}} \\ \frac{dQ_1}{dV_1} & \dots & \frac{dQ_1}{dV_{n-1}} & \frac{dQ_1}{d\theta_1} & \dots & \frac{dQ_1}{d\theta_{n-1}} \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{dQ_{n-1}}{dV_1} & \dots & \frac{dQ_{n-1}}{dV_{n-1}} & \frac{dQ_{n-1}}{d\theta_1} & \dots & \frac{dQ_{n-1}}{d\theta_{n-1}} \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_{n-1} \\ \Delta \theta_1 \\ \vdots \\ \Delta \theta_{n-1} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Ce système peut se représenter sous une forme matricielle simplifiée :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dP}{dV} & \frac{dP}{dQ} \\ \frac{dQ}{dV} & \frac{dQ}{d\theta} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta V_i \\ \Delta \theta_i \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

La variable ΔV peut s'exprimer comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{ij} & N_{ij} \\ M_{ij} & L_{ij} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta V_i \\ \Delta \theta_i \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Tel que :

$$H_{ij} = \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_{ij}} \quad (2.34)$$

$$N_{ij} = \frac{\partial P_{ij}}{\partial \theta_{ij}} \quad (2.35)$$

$$M_{ij} = \frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_{ij}} \quad (2.36)$$

$$L_{ij} = \frac{\partial Q_{ij}}{\partial \theta_{ij}} \quad (2.37)$$

Avec :

$H_{ij}, N_{ij}, M_{ij}, L_{ij}$: Ce sont les sous matrice de la Jacobéenne J

2.8 Types des nœuds :

Pour résoudre un problème de flux de puissance, le système est supposé être opérant dans des conditions d'équilibre en utilisant le modèle monophasé. Chaque bus doit associer par 4 grandeurs. Ce sont l'amplitude de tension $|V|$, l'angle de phase δ , la puissance active P et la puissance réactive Q.

Les nœuds d'un système sont généralement classés en trois types :

2.8.1. Nœud de référence :

Il est connu en anglais sous l'appellation « SLACK-BUS ». Ce nœud est pris comme référence où l'amplitude et l'angle de phase de la tension sont supposés connus. On le prend en considération pour faire la différence entre l'énergie générée et demandée.

2.8.2. Nœud de charge :

Les puissances active et réactive dans ce nœud sont connues. L'amplitude et l'angle de phase des tensions sont inconnus. Et il est connecté avec la charge. (PQ)

2.8.3 Nœud de génération :

La puissance active et la tension dans ce nœud sont connues. L'angle de phase de la tension et la puissance réactive sont à déterminer. Et il est connecté avec un générateur ou une source d'énergie réactive (PV).

2.9 Classification des variables :

2.9.1. Variables de contrôle :

Ce sont les variables qui peuvent être ajustées à la solution optimale, et sont :

- Les puissances actives générées P , sauf le bus de référence.
- Le rapport de transformation.
- Les amplitudes de tension aux jeux de barres.

2.9.2 Variables dépendantes ou d'état :

- Ce sont les puissances actives générées et de référence.
- Les rapports des transformateurs.
- Les amplitudes des tensions et leurs angles de phase aux jeux de barres.

2.10 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le problème de l'écoulement de puissance optimal et particulièrement les méthodes pour résoudre le problème de l'optimisation en appliquant quelques méthodes comme la méthode de Range Lutta et Newton-Raphson avec sa d'application, au même temps nous présentons les contraintes pour le but de trouver une solution optimale.



CHAPITRE 3 : Algorithmes d'optimisation

3.1 Introduction :

Le problème de l'Optimisation des Flux de Puissance est appelé en anglais « Optimal Power Flow » et abrégé en OPF. C'est sous ce sigle que l'on désignera le problème de l'Optimisation des Flux de Puissance dans ce manuscrit. L'OPF est un problème d'optimisation qui intervient dans un réseau électrique. Il consiste à déterminer la puissance à produire, ainsi que les flux de puissance à transporter sur le réseau, pour couvrir, à un coût minimal, la puissance consommée [36].

Suite à l'évolution continue des ressources matérielles dans le domaine informatique, les ordinateurs ont vu leur nombre de processeurs/cœurs augmentés ces dernières années afin de compenser les limites d'augmentation de puissance d'un seul processeur et d'obtenir un facteur d'accélération, puisqu'avec plus de puissance de calcul on pourrait résoudre plus rapidement un problème [36].

3.2 Optimisation par essais de particule :

La méthode d'Optimisation par Essaim Particulaires (OEP) ou Particle Swarm Optimization (PSO) selon la terminologie anglaise, a été proposée en 1995 par James Kennedy et Russel Eberhart [37].

L'algorithme cherche à simuler la capacité des oiseaux à voler de façon synchrone et leur aptitude à changer brusquement de direction. Comme l'algorithme génétique, l'algorithme d'optimisation par essaim particulaire fonctionne à base de population d'individus. Chaque individu est appelé "particule" et l'ensemble est appelé essaim ou "swarm". Mais elle se distingue par le fait qu'elle n'utilise pas les opérateurs d'évolution (sélection, mutation, croisement) [37].

Cet algorithme est inspiré du comportement des grands regroupements d'animaux tels que les nuées d'oiseaux, les bancs de poissons et les essaims de criquets. Elle s'appuie notamment sur un modèle développé par le biologiste Craig Reynolds à la fin des années 1980, permettant de simuler le déplacement d'un groupe d'oiseaux. Une autre source d'inspiration, revendiquée par les auteurs : est la socio-psychologie [37].

Concept simple et Facile à mettre en œuvre
Calcul efficace et Efficace sur une variété de problèmes.

L'intelligence globale de l'essaim résulte, donc, des interactions entre ses différentes particules.

3.2.1. Idées de base :

Dans PSO le comportement social est modélisé par une équation mathématique permettant de guider les particules durant leur processus de déplacement. Le déplacement d'une particule est influencé par trois composantes : la composante d'inertie, la composante cognitive et la composante sociale. Chacune de ces composantes reflète une partie de l'équation [37].

- 1) La composante d'inertie : la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement.
- 2) La composante cognitive : la particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée.
- 3) La composante sociale : la particule tend à se diriger vers le meilleur site atteint par ses voisines.

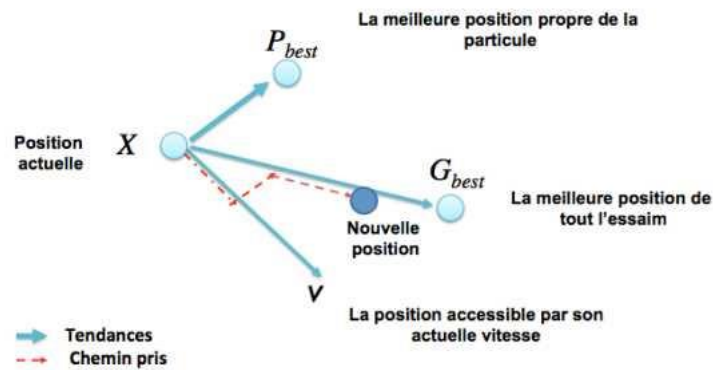


Figure 3.1 : déplacement d'une particule.

3.3 Optimisation par l'algorithme JAYA :

L'algorithme Jaya a l'avantage de ne pas nécessiter paramètre de réglage spécifique : seules les tailles de la population (nombre d'individus différents) et les générations (nombre d'itérations) doivent être configurées. Cet algorithme est basé sur le fait que la solution optimale pour un problème donné peut être obtenue en se déplaçant vers la meilleure solution partielle et, en même temps, éviter la pire des solutions.

Jaya a obtenu de meilleurs résultats en termes des meilleures, moyennes et pires valeurs de différentes valeurs contraintes et non contraintes fonctions de référence.

Nous avons utilisé les résultats de l'algorithme JAYA dans les cas :

JAYA valve point.

JAYA perte.

JAYA gaz polluant.

Ces résultats incluent les trois stratégies de minimisation

3.4 Optimisation par l'algorithme DE :

L'algorithme à évolution différentielle (Differential Evolution, DE) est inspiré des stratégies évolutionnaires et des algorithmes génétiques, et applicable à des problèmes à variables continues. Il a été proposé par Rainer Storn et Kenneth Price en 1997 [Storn et Price, 1997]. Il met en œuvre trois opérations issues des algorithmes évolutionnaires : initialisation, mutation, croisement et sélection [38].

3.5 Technique de Clustering :

Le clustering est l'une des techniques d'analyse de données exploratoires les plus couramment utilisées pour obtenir une intuition sur la structure des données. Cela peut être défini comme la tâche d'identifier des sous-groupes dans les données de sorte que les points de données dans le même sous-groupe (cluster) soient très similaires tandis que les points de données dans différents clusters sont très différents.

En d'autres termes, nous essayons de trouver des sous-groupes homogènes dans les données de sorte que les points de données de chaque groupe soient aussi similaires que possible selon une mesure de similarité telle que la distance euclidienne ou la distance basée sur la corrélation. Le choix de la mesure de similarité à utiliser dépend de l'application [39].

3.5.1 Algorithme de K-means Clustering:

L'algorithme K-means défini par MacQueen est l'un des plus connus et simples algorithmes de classification automatique des données. Dans cet algorithme, les classes sont représentées par leur « centroïde », qui correspond à la moyenne de l'ensemble des objets contenus dans la classe.

L'idée du regroupement a été présentée en 1935. Le regroupement est le processus de séparation de données ou d'objets multidimensionnels volumineux en sous-classes appelées clusters. Les objets d'un même cluster sont plus similaires les uns aux autres qu'à ceux des autres clusters.

Différents critères peuvent être pris en compte pour la similarité, par ex. le critère de distance peut être utilisé comme critère. En utilisant le clustering au lieu d'examiner une grande quantité d'informations seulement limitées.

L'algorithme K-means est un algorithme itératif qui tente de partitionner l'ensemble de données en K sous-groupes (clusters) distincts et non superposés prédéfinis, où chaque Point de données appartient à un seul groupe. Il essaie de rendre les points de données intra-cluster aussi similaires que possible tout en gardant les clusters aussi différents (loin) que possible [39].

Il attribue des points de données à un cluster de sorte que la somme de la distance au carré entre les points de données et le centroïde du cluster (moyenne arithmétique de tous les points de données appartenant à ce cluster) soit au minimum. Moins nous avons de variation au sein des clusters, plus les points de données sont homogènes (similaires) au sein du même cluster [39].

3.6 Le fonctionnement de l'algorithme k-means :

1. Spécifiez le nombre de clusters K. nous avons pris $k=2$ dans notre cas.
 2. Initialisez les centroïdes en mélangeant d'abord l'ensemble de données, puis en sélectionnant au hasard K points de données pour les centroïdes sans remplacement.
 3. Continuez à itérer jusqu'à ce qu'il n'y ait aucun changement dans les centroïdes. C'est-à-dire que l'affectation des points de données aux clusters ne change pas.
- Calculez la somme de la distance au carré entre les points de données et tous les centroïdes.
 - Attribuez chaque point de données au cluster le plus proche (centre de gravité).
 - Calculez les centroïdes des clusters en prenant la moyenne de tous les points de données appartenant à chaque cluster.

L'approche suivie par k-means pour résoudre le problème est appelée espérance-maximisation. L'étape (1) consiste à attribuer les points de données au cluster le plus proche. L'étape (2) calcule le centroïde de chaque cluster [39].

3.7 Application d'algorithme K-means a L'OPF :

Le flux de puissance optimal (OPF) est une procédure permettant de spécifier l'état de fonctionnement du système électrique compte tenu des contraintes opérationnelles.

L'objectif classique d'OPF est de minimiser le coût d'exploitation. Cependant, il existe diverses sources d'incertitudes telles que des générations renouvelables, des fluctuations de charge, une coupure de lignes, centrales ou tout composant du système d'alimentation, etc. L'OPF déterministe traditionnel n'est pas assuré de présenter une stratégie de contrôle pour de tels systèmes.

Différents critères peuvent être pris en compte pour la similarité, par ex. le critère de distance peut être utilisé comme critère. En utilisant le clustering au lieu d'examiner une grande quantité d'informations seulement limitées catégories sont analysées. Plusieurs méthodes de regroupement de données ont été introduites, jusqu'à maintenant. Dans cet article, la méthode des K-moyennes est utilisée qui est discuté ci-dessous [40].

3.8 Avantages de k-means :

Nous pouvons citer quelques avantages de k-means par :

- L'avantage de ces algorithmes est avant tout leur grande simplicité.
- Tend à réduire l'erreur quadratique.
- Applicable à des données de grandes tailles [40].

3.9 Inconvénients :

- Le nombre de classe doit être fixé au départ.
- Ne détecte pas les données bruitées.
- Le résultat dépend de tirage initial des centres des classes.
- Les clusters sont construits par rapports à des objets inexistants (les milieux).
- N'est pas applicable en présence d'attributs qui ne sont pas du type intervalle [40].

3.10 Organigramme d'algorithme :

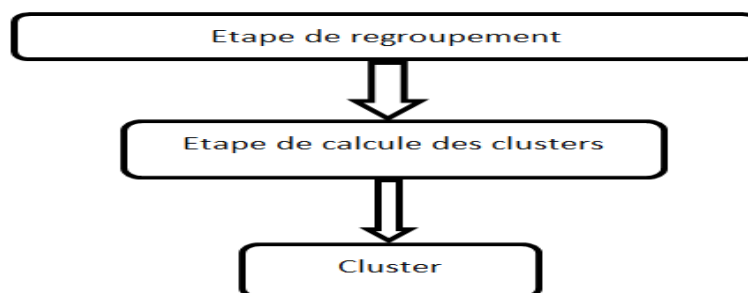


Figure 3.2 : Organigramme de l'algorithme k-means.

La fonction objectif est :

$$J = \sum_{i=1}^m \sqrt{|t_i - e_i|^2} \quad (3.1)$$

Où

t_i : Vecteur solution choisi

e_i : Vecteur solution en cour

3.11 Organigramme de k-means :

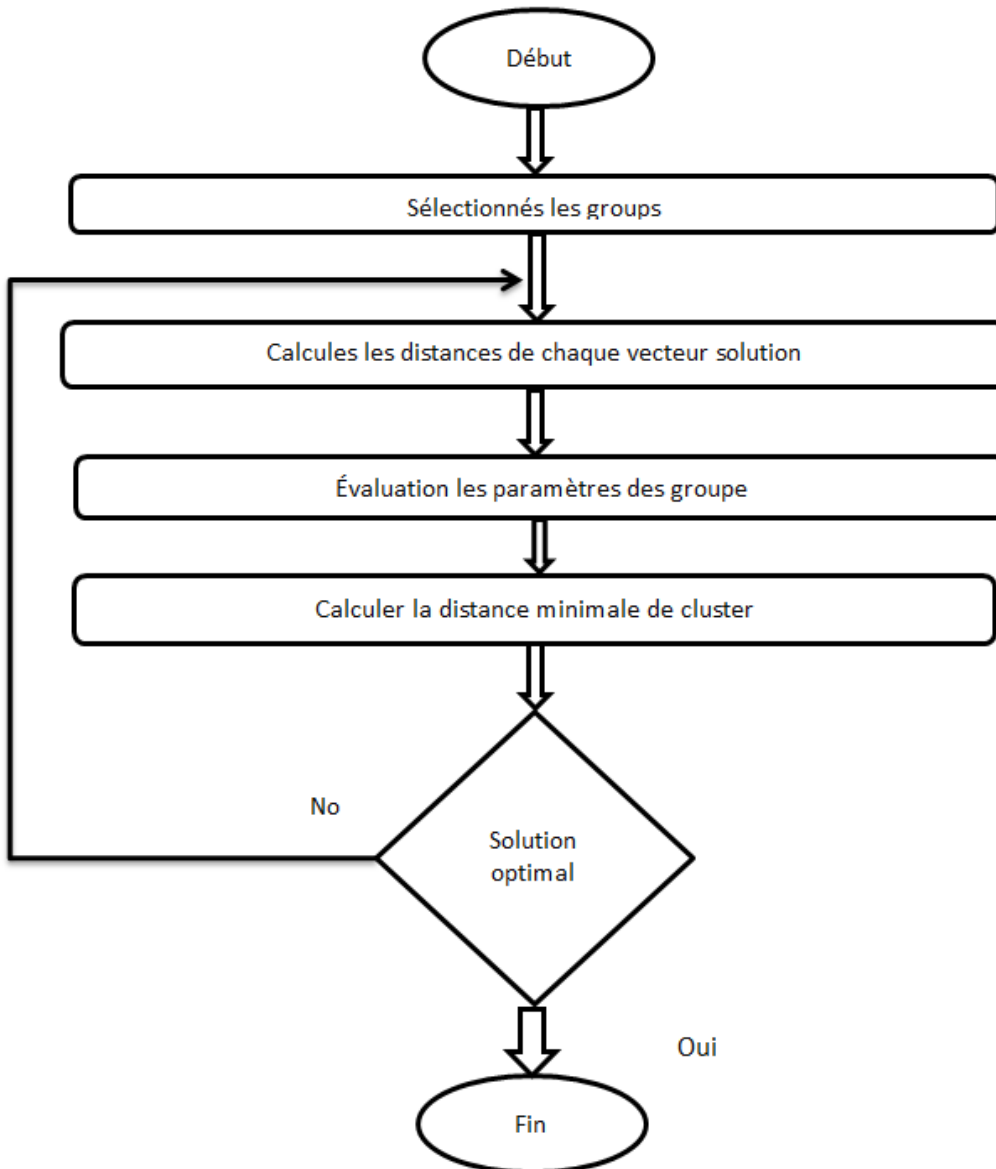


Figure 3.3 : Organigramme générale de fonctionnement l’algorithme k-means.

3.12 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons utilisé un nouveau algorithme K-Means fut l'une des approches non-hiérarchiques les plus populaires, il a un bon sens géométrique et statistique pour les attributs numériques, Nous l'avons choisi dans la collecte de données pour résoudre des problèmes de l'écoulement de puissance optimale et présente leurs avantages de calcul.



CHAPITRE 4 : Simulations et résultats

4.1 Introduction :

Dans ce dernier chapitre et après l'aperçu théorique des chapitres précédents, nous présentons le côté pratique de notre application.

Notre but est de classer des points d'une manière automatique sans intervention ou connaissances préalables en utilisant comme algorithme de classification.

Nous nous concentrons sur la résolution du problème d'optimisation du flux d'énergie, en considération du coût de la production de puissance active ainsi la pollution due à l'émission de gaz. A cet effet nous avons appliqué l'algorithme de k-means.

Le clustering est une technique d'apprentissage automatique qui implique le regroupement de points de données. Étant donné un ensemble de points de données, nous pouvons utiliser un algorithme de clustering pour classer chaque point de données dans un groupe spécifique.

Nous avons créé un programme Matlab (Matpower) Sert avec des propriétés d'algorithme k-means.

Dans ce programme, nous avons utilisé les résultats d'un algorithme JAYA (JAYA algorithme) et DE (Différentielles évolutions) séparées.

Au total 5 stratégies sont développés, 3 d'entre elles ont donné de bons résultats, et 2 étaient mauvaises, et ils n'ont pas atteint l'objectif d'optimisation.

Les paramètres de k-means :

PG1 : slack bus= 232.4.

OPF et PF

K=2 : Nombre de clusters.

Les 3 meilleures solutions des stratégies .

4.2 Cout production des puissances actives :

Dans ce cas, nous avons utilisé les résultats de OPF, et les trois stratégies de l'algorithme DE afin de regrouper les données en groupes (clusters).

Dans ce cas, nous avons implémenté l'algorithme k-means pour trouver deux groupes, Les deux groupes contiennent des informations (puissances et tension, rapport de transformateur). Le Tableau 4.1 illustre les résultats obtenus.

L'algorithme K-means va traiter toutes ces données afin de sortir les meilleurs résultats de chaque élément du groupe. Le Tableau 4.1 illustre les résultats obtenus.

Les paramètres	OPF	PF	Strategies1	Strategies2	Strategies3	K-means		
						G1	G2	cluster
PG1(MW)	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4
PG2(MW)	36.73	40	47.8578	36.7774	36.7461	43.9289	37.84117	37.84117
PG3(MW)	28.61	0	10.7618	28.6692	28.756	5.3809	19.14173	5,3809
PG6(MW)	0	0	0	0.0035	0	0	0.00117	0
PG8(MW)	8.55	0	14.7167	8.2015	8.1734	7.35835	5.4583	5.4583
VG1(p.u)	1.06	1.06	1.0575	1.06	1.06	1.05875	1.06	1.05875
VG2(p.u)	1.044	1.045	1.0262	1.0462	1.0462	1.0356	1.0458	1.0356
VG3(p.u)	1.019	1.01	1.0025	1.0229	1.0217	1.00625	1.0182	1.00625
VG4(p.u)	1.06	1.06	1.0588	1.05	1.0559	1.0594	1.0553	1.0553
VG5(p.u)	1.06	1.06	1.0240	1.06	1.06	1.042	1.06	1.042
T1(4-7)	0.978	0.978	0.9831	1.0069	0.9614	0.98055	0.9821	0.98055
T2(4-6)	0.978	0.969	1.1	0.9367	0.9888	1.0345	0.96483	0.9648
T3(4-9)	0.932	0.932	0.9	0.9874	0.9754	0.916	0.96493	0.916
Cout (\$ /h)	8081.19		8145	8077.6	8078.2	8078.997	8145	8078.997

Tableau 4.1 : les résultats des clusters le cas de cout normal (DE).

L'algorithme a été exécuté en tenant compte des cenroid suivants :

centroïde 1 : [232.4 40 0 0 0 1.06 1.045 1.01 1.06 1.06 0.978 0.969 0.932].

centroïde 2 : [232.4 36.7461 28.756 0 8.1734 1.06 1.0462 1.0217 1.0559 1.06 0.9614 0.9888 0.9754].

Nous avons choisi 2 lignes de la matrice de **Tableau 4.1** comme points de référence (centroïde 1,colonne PF) ,(centroïde 2, colonne Strategies2). Nous avons calculé la distance entre les points (les paramètres) de chaque ligne avec les centroïde 1 et centroïde 2.

Après comparaison, les valeurs minimales de chaque colonne ont été prises pour constituer les groupes 1 et2.

Si la valeur minimale appartient au centroïde 1, elle va etre transferré dans la colonne du groupe 1. Sinon elle va etre transferré dans la colonne du groupe 2.

Le Calcul de la moyenne des données du groupe G1 et de celle du groupe G2 a été établie et les résultats vont constituer la centroïde 1 et la centroïde 2 respectivement.

La (Figure4.1) présente les données de cinq vecteurs obtenus (les paramètres et OPF et PF). Le premier élément est affiché en bleu et le deuxième élément est affiché en rouge. Dans ce cas exécuté l'algorithme K-means à travers 2 groupes de chaque groupe contient les paramètres (de tensions et puissance et rapport de transformateur).

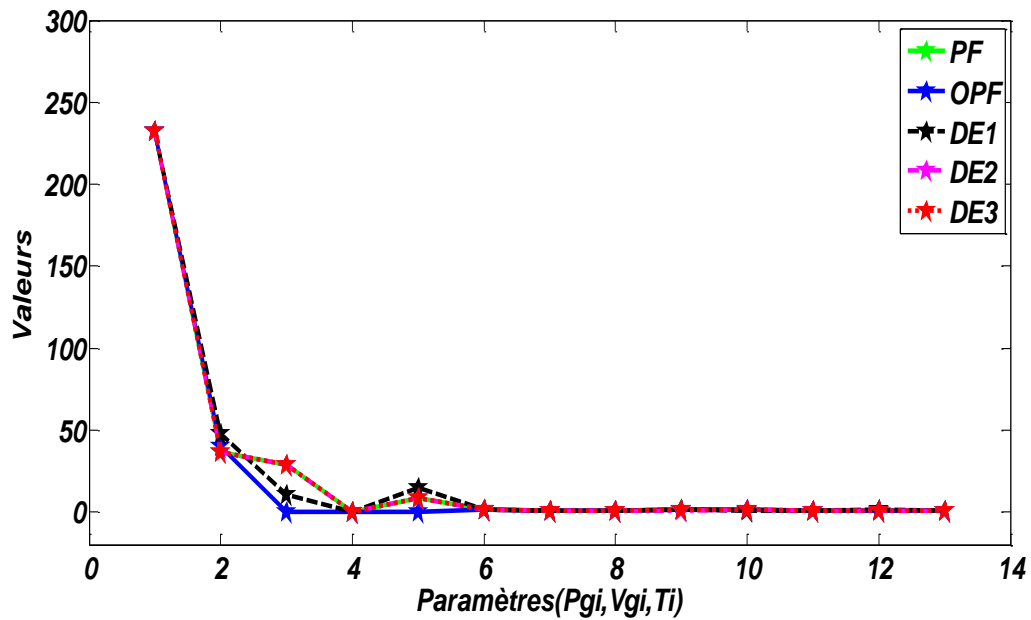


Figure 4.1 : les paramètres des 3 stratégie avec PF et OPF.

Cette (Figure4.2) que représente les paramétré des groupes (G1, G2) en fonction des valeurs le k-means Fonctionne bien dans le choix de groupe.

Le même processus ce produit dans la Figure 4.2. Ce processus se poursuivra jusqu'à ce que nous obtenions deux groupes complètement différents de ces groupes.

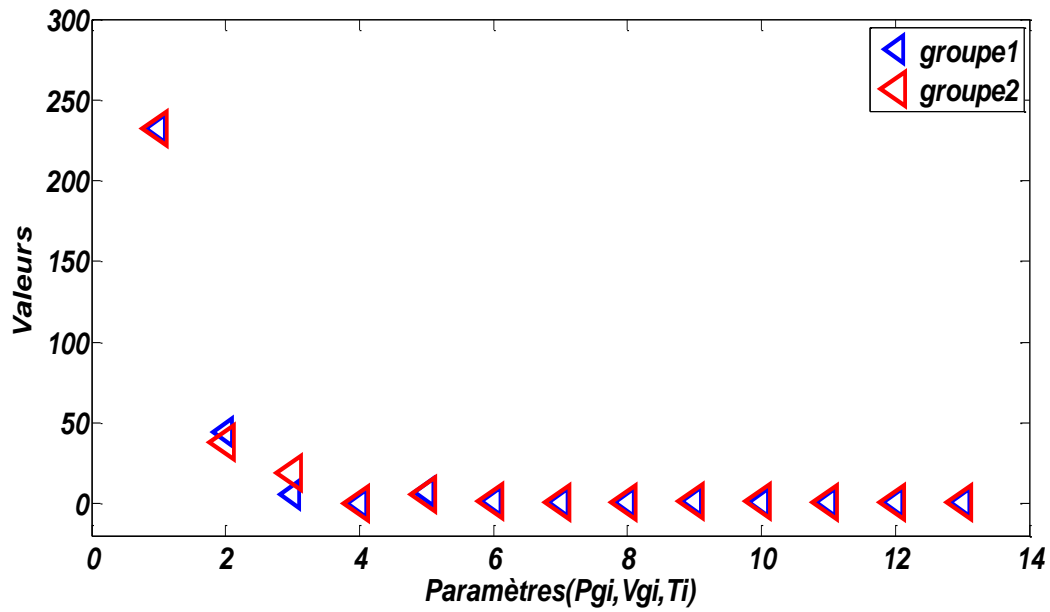


Figure 4.2 : présentation des groupes cout normal avec DE.

On obtient le résultat de cluster k-means fonctionne bien Pour que les résultats soient similaires.

Parmi les avantages de cette algorithmme k-means est simplicité à mettre en œuvre et adapté un grand ensemble de données.

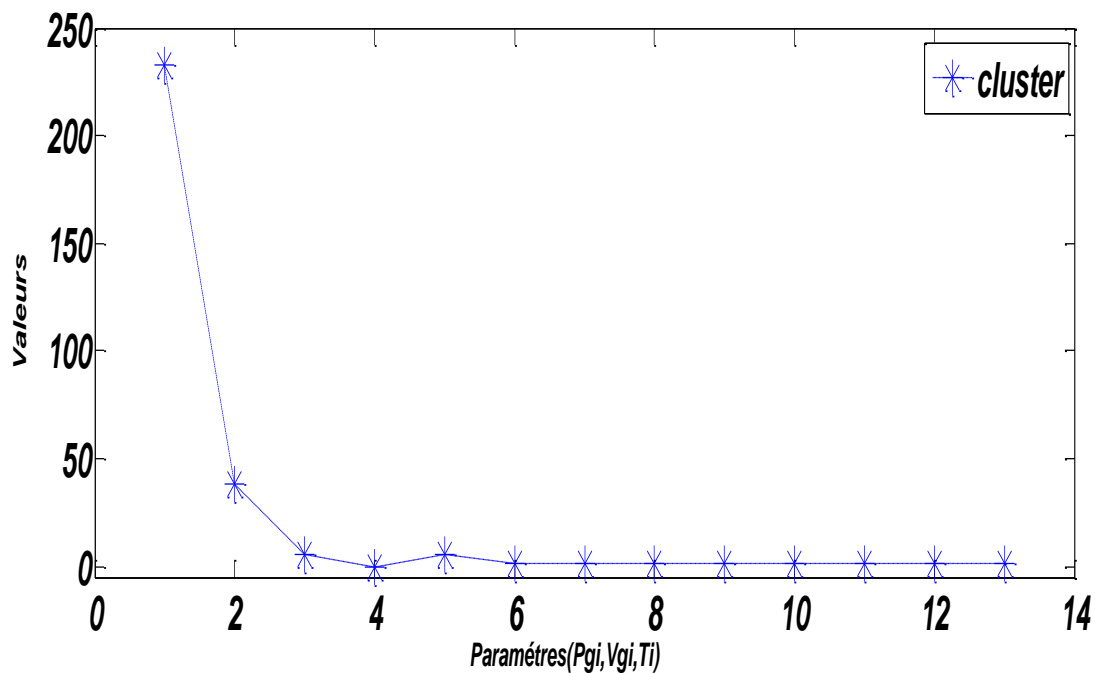


Figure 4.3 : présentation de cluster cout normal avec DE.

4.3 Cout production en surcharge (valve point effect) des puissances actives:

Dans ce cas nous avons testé l’algorithme k-means pour évaluer les résultats de OPF et PF de stratégie 3, 4,5 pour l’algorithme JAYA que va tester la valve point dans le cas normal.

Veillez noter que le clustering K-means utilise la méthode de la distance euclidienne pour connaître la distance entre les points.

Les paramètres	OPF	PF	Stratégies 3	Strategies4	Strategies5	K-means		
						G1	G2	cluster
PG1(MW)	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4
PG2(MW)	36.73	40	40.4337	47.4310	37.4741	39.05457	42.45255	39.05457
PG3(MW)	28.61	0	9.4822	80.8092	78.5398	12.6974	79.6745	12.6974
PG6(MW)	0	0	69.7345	0	0	23.2448	0	0
PG8(MW)	8.55	0	8.9295	0	16.0127	5.8265	8.00635	5.8265
VG1(p.u)	1.06	1.06	1.0380	1.0026	1.06	1.0527	1.0313	1.0313
VG2(p.u)	1.044	1.045	1.0131	0.9964	1.06	1.034	1.0282	1.0282
VG3(p.u)	1.019	1.01	0.9719	1.0270	1.0305	1.0003	1.02875	1.0003
VG4(p.u)	1.06	1.06	1.0275	0.9893	0.9830	1.04917	0.9861	0.98615
VG5(p.u)	1.06	1.06	0.9861	1.0178	1.0209	1.03537	1.01935	1.01935
T1(4-7)	0.978	0.978	0.9439	1.0560	1.0983	0.9666	1.07715	0.9666
T2(4-7)	0.978	0.969	1.0458	1.0229	0.9560	0.9946	0.98945	0.98945
T3(4-7)	0.932	0.932	1.0835	1.0104	1.0156	0.9825	1,013	0.9825
Cout(\$ /h)	8081.19		10507	10445	10378	8081.19	10443	8081.19

Tableau 4.2 : les résultats des clusters le cas valve point.

Cette Figure (**Figure 4.4**) représente les paramètres de puissance et tension et rapport de transformateur de 3 stratégies, On remarque un changement dans les résultats, dû au positionnement différent des stratégies.

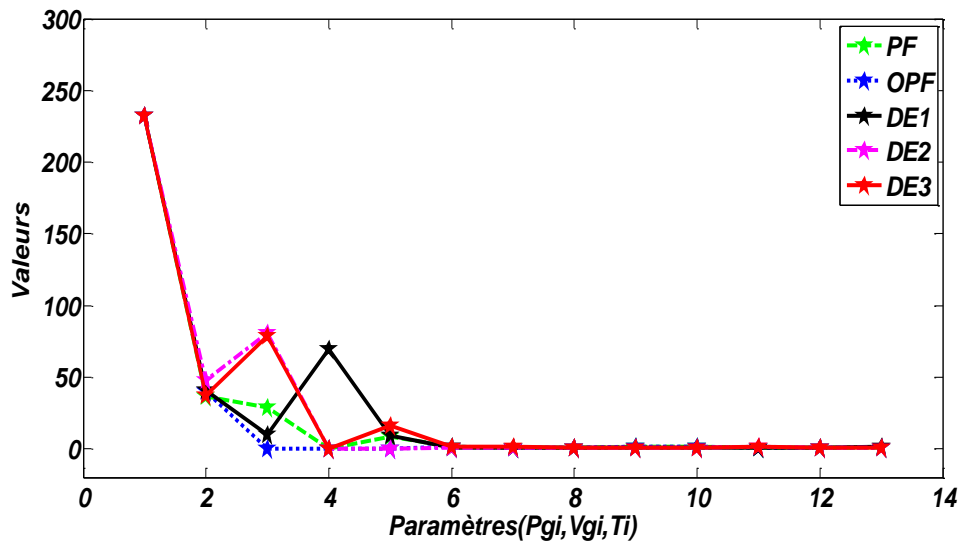


Figure 4.4: les paramètres avec OPF et PF dans le cas de JAYA valve point

on remarque un changement dans la sélection des groupes (G1,G2), ce qui signifie que la méthode de prélèvement k-means le cluster donne des résultats acceptable.

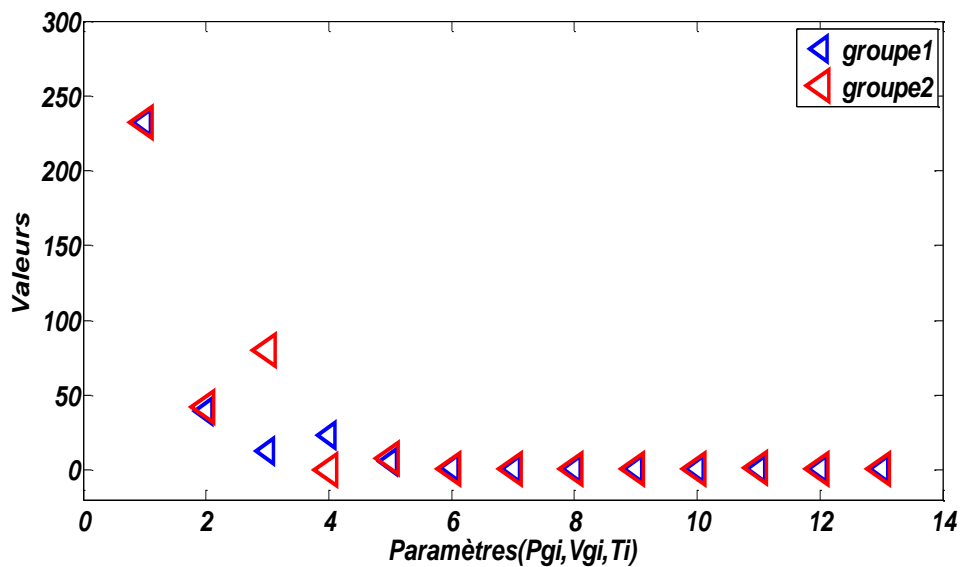


Figure 4.5 : présentation des groupes JAYA valve point.

Les résultats de **Tableau 4.2** sont présentés en 3 dimensions comme illustre la figure ci-dessous. Il est évident que nous avons 1 cluster, vu que K-means prend la petite valeur entre les paramètres des 2 groupes.

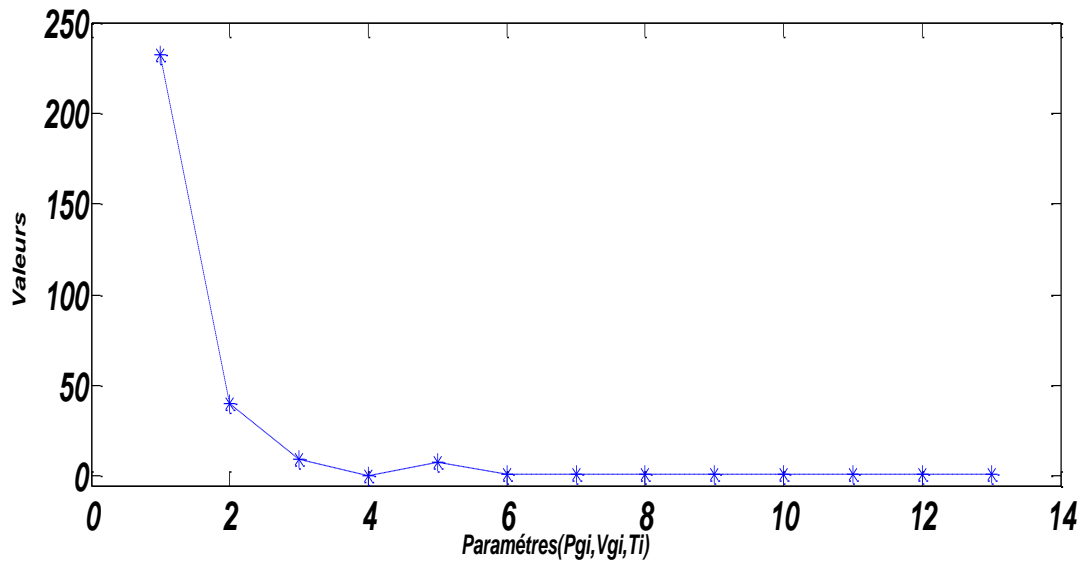


Figure 4.6: présentation de cluster cas de JAYA valve point.

4.4 Les pertes :

Nous avons testé l’algorithme k-means pour évaluer les résultats de OPF et PF de stratégie 3, 4,5 pour l’algorithme JAYA que va tester les pertes pour prouver que l’algorithme k-means il donne des meilleur résultats dans chaque stratégie.

Les paramètres	OPF	PF	Stratégies 3	Stratégies 4	Stratégies 5	K-means		
						G1	G2	cluster
PG1(MW)	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4
PG2(MW)	36.73	40	17.1328	11.7595	36.08	38.365	21.65743	21.6574
PG3(MW)	28.61	0	98.3166	100	82.5703	14.305	93.62897	14.305
PG6(MW)	0	0	46.8647	43.1258	59.26	0	49.75017	0
PG8(MW)	8.55	0	94.4204	100	80.0935	4.275	91.50464	4.275
VG1(p.u)	1.06	1.06	0.9451	0.9825	1.0056	1.06	0.97774	0.97774
VG2(p.u)	1.044	1.045	0.9487	0.9857	1.0037	1.0445	0.97937	0.97937
VG3(p.u)	1.019	1.01	0.9553	0.9767	0.9868	1.0145	0.9729	0.9729
VG4(p.u)	1.06	1.06	0.9721	0.9778	1.0332	1.06	0.99437	0.99437
VG5(p.u)	1.06	1.06	0.9747	0.9906	0.9603	1.06	0.9752	0.9752
T1(4-7)	0.978	0.978	1.0924	0.9938	0.9	0.978	0.9954	0.978
T2(4-6)	0.978	0.969	0.9	0.9599	1.0073	0.969	0.95573	0.95573

T3(4-9)	0.932	0.932	0.9365	1.0237	1.0176	0.932	0.9926	0.932
Perte(MW)	2.64		0.7476	0.6476	0.9305	2.6400	0.7752	0.7752

Tableau 4.3 : les résultats du cluster le cas de JAYA Perte.

Nous avons choisi 2 lignes de la matrice de **Tableau 4.3** comme points de référence (centroïde 1,colonne PF) ,(centroïde 2, colonne Stratégies 5). Nous avons calculé la distance entre les points (les paramètres) de chaque ligne avec les centroïde 1 et centroïde 2.

Après comparaison, les valeurs minimales de chaque colonne ont été prises pour constituer les groupes 1 et 2.

Si la valeur minimale appartient au centroïde 1, elle va être transférée dans la colonne du groupe 1. Sinon elle va être transférée dans la colonne du groupe 2.

Le Calcul de la moyenne des données du groupe G1 et de celle du groupe G2 a été établie et les résultats vont constituer la centroïde 1 et la centroïde 2 respectivement.

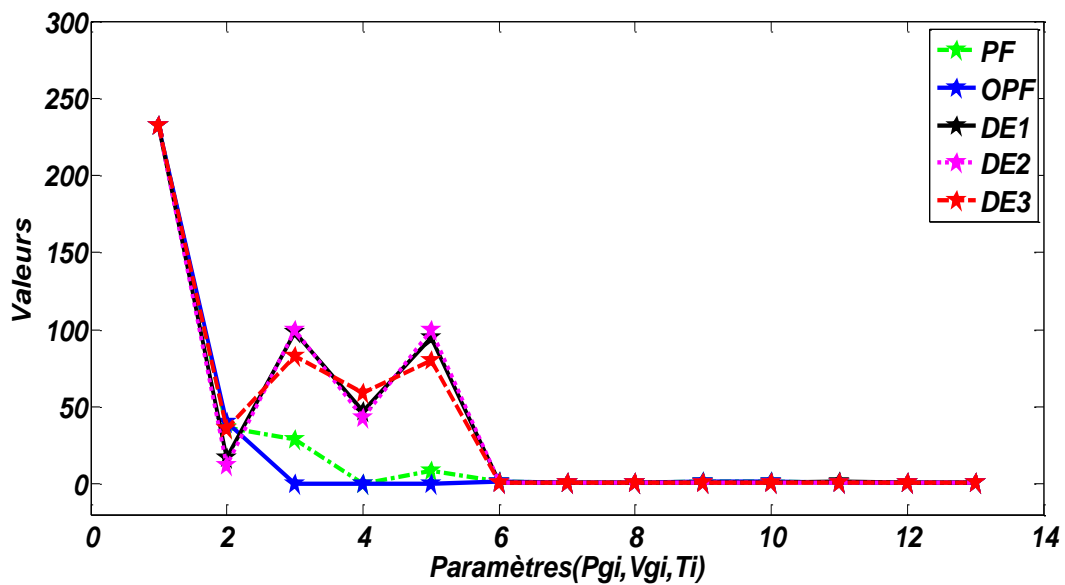


Figure 4.7 : les paramètres avec OPF et PF dans le cas de JAYA perte.

En remarque dans la **Figure 4.8** la localisation des groupes, OPF et PF avec les trois stratégies (pertes),ce qui indique que le résultat prend la meilleure valeur de chaque paramètre dans le groupe(G1,G2).

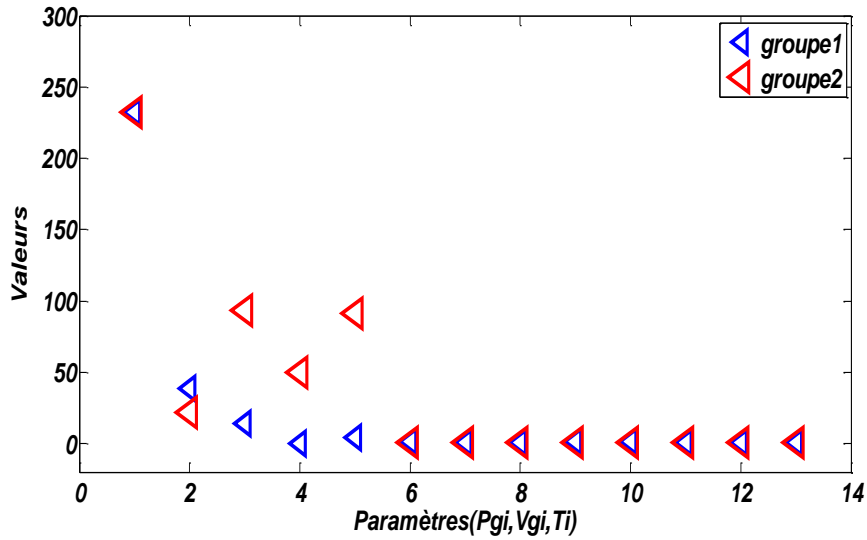


Figure 4.8 : présentation des groupes 1et 2 en utilisant JAYA perte.

Cette figure ci-dessous illustre les clusters en 2 dimensions, nous avons choisi cette configuration afin d'éclairer toutes les paramètres de vecteur solution.

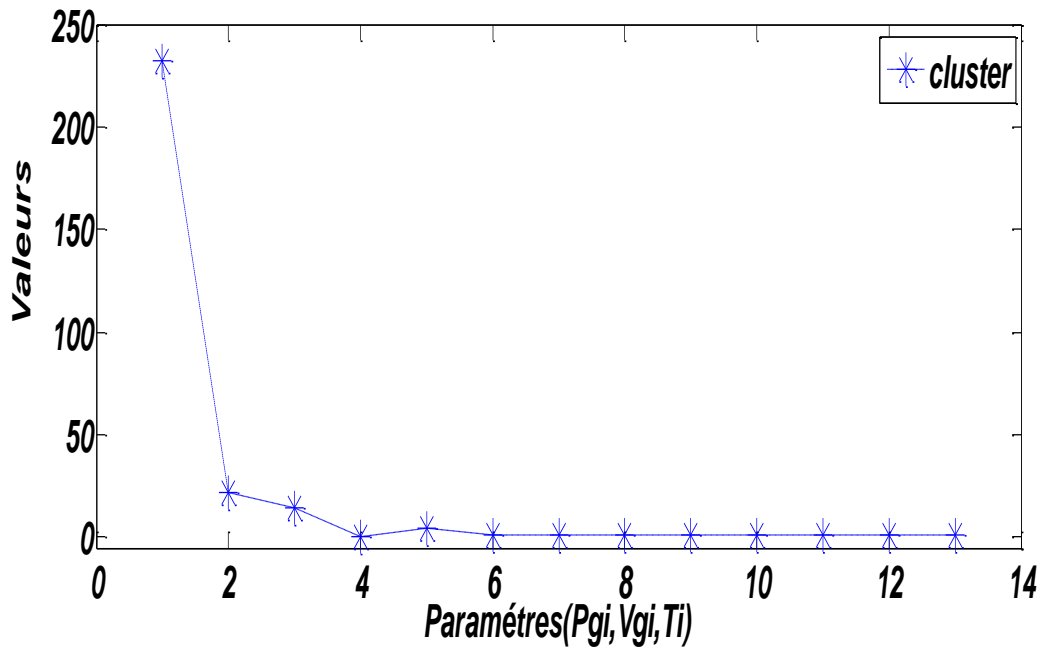


Figure 4.9 : présentation de cluster cas de JAYA perte.

En remarque aussi les inconvénients de la méthode étant dépendante des valeurs initiales. Mise à l'échelle avec nombre de dimensions.

4.5 Gaz polluants:

Nous avons testé l'algorithme k-means pour calculer et évaluer les résultats de OPF et PF de stratégie 3, 4,5 pour l'algorithme JAYA Gaz polluant Nous avons trouvé les résultats dans le (Tableau4.4).

Les paramètres	OPF	PF	Stratégies 3	Stratégies 4	Stratégies 5	K-means		
						G1	G2	clusters
PG1(MW)	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4
PG2(MW)	36.73	40	56.2803	68.1508	59.1053	38.3650	61.1788	38.3650
PG3(MW)	28.61	0	40.7741	43.5859	47.8789	14.3050	44.0796	14.3050
PG6(MW)	0	0	71.1261	44.6784	63.0417	0	59.6154	0
PG8(MW)	8.55	0	45.9688	30.6349	44.2501	4.2750	40.2846	4.2750
VG1(p.u)	1.06	1.06	0.9936	1.0010	0.9976	1.0600	0.9974	0.9974
VG2(p.u)	1.044	1.045	1.0129	1.0013	1.0082	1.0445	1.0075	1.0075
VG3(p.u)	1.019	1.01	0.9793	1.0381	1.0222	1.0145	1.0132	1.0132
VG4(p.u)	1.06	1.06	1.0120	1.0354	1.0375	1.06	1.0283	1.0283
VG5(p.u)	1.06	1.06	1.0237	1.0173	0.9923	1.06	1.0111	1.0111
T1(4-7)	0.978	0.978	1.0335	0.9757	0.9877	0.9780	0.9990	0.9780
T2(4-6)	0.978	0.969	1.0069	1.0623	1.0609	0.9690	1.0434	0.9690
T3(4-9)	0.932	0.932	1.0593	1.0066	0.9935	0.9320	1.0198	0.9320
Gaz polluant(ton/h)			0.1543	0.1654	0.1547	0.1545	0.1654	0.1545

Tableau 4.4 : les résultats du cluster le cas de JAYA gaz polluant.

Cette **Figure 4.10** représente les paramètres de puissance et tension et rapport de transformateur de 3 stratégies différent 3 et 4 et 5, On remarque un changement dans les résultats, de différent stratégies .

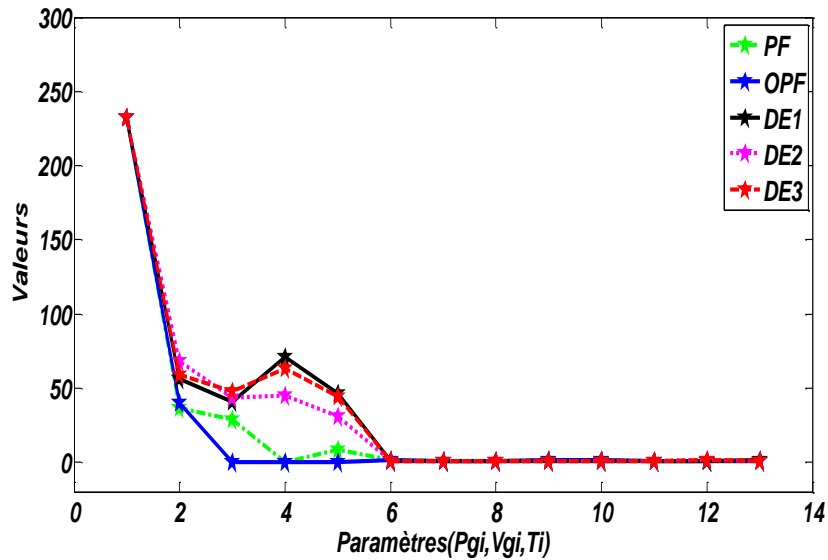


Figure 4.10: les paramètres avec OPF et PF dans le cas de JAYA gaz polluant avec 3 stratégies.

Dans la (Figure 4.11) la localisation des groupes, OPF et PF avec les trois stratégies (Gaz polluants), Par rapport à la courbe précédente (Figure 4.8), il y a une différence dans l'emplacement des groupes, ce qui indique que le résultat prend la meilleure valeur de chaque paramètre dans le groupe.

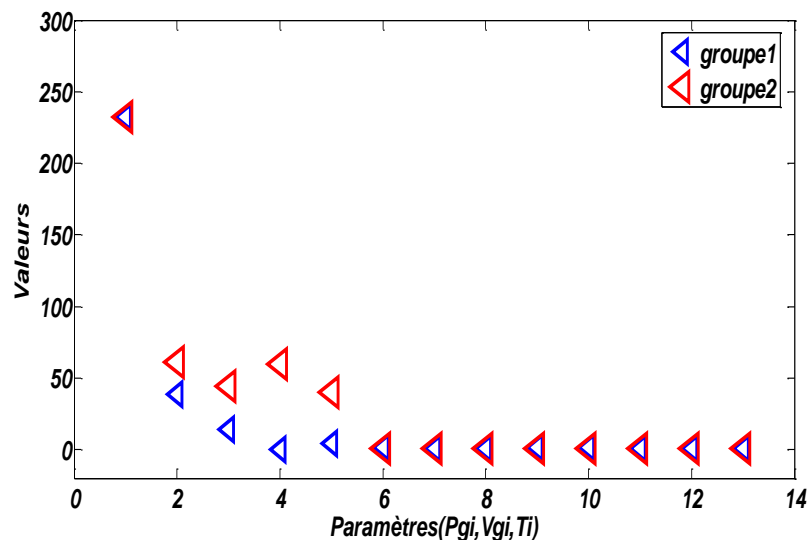


Figure 4.11: présentation des groupes 1et 2 en utilisant JAYA gaz polluant.

La figure ci-dessous illustre les clusters en 2 dimensions, nous avons choisi cette configuration afin d'éclairer toutes les paramètres de vecteur solution.

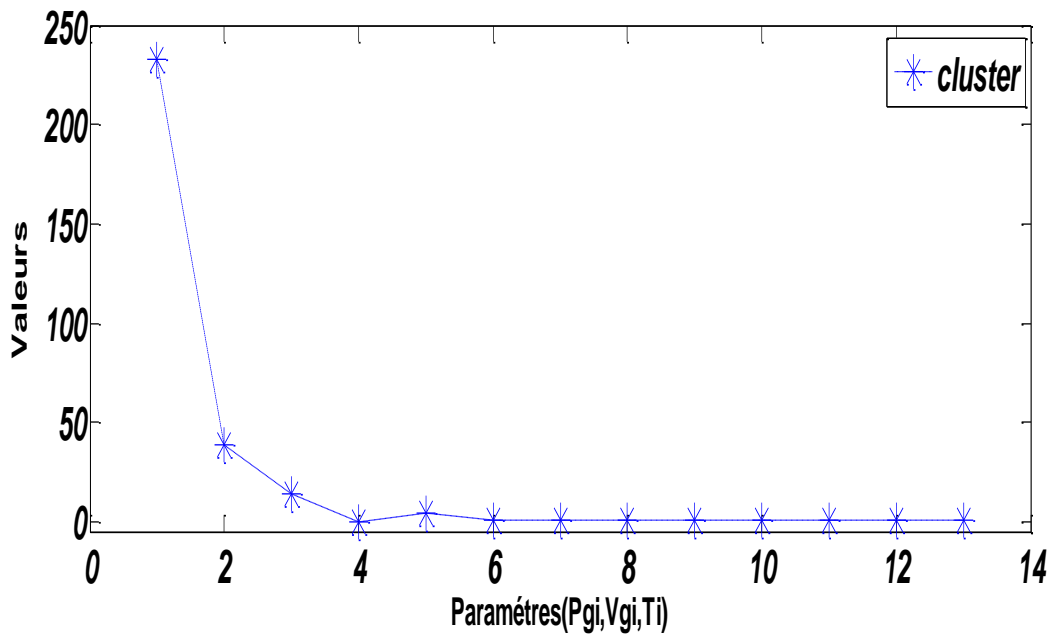


Figure 4.12 : présentation de cluster cas de JAYA gaz polluant

4.6 Cout en surcharge :

Dans ce cas nous avons modifier les puissance demandée directement à partir du réseau électrique utilisé les résultats d'OPF l'écoulement de puissance optimale comparé avec l'écoulement de puissance avec 3 stratégies 2 et 3 et 5 de l'Algorithme pour un cas de surcharge, et dans ce cas exécuté l'algorithme à trouver 2 groupes et le cluster dans chaque groupe contient les paramètres tension et puissance et rapport de transformateur .le

Tableau 4.5 Présenter les résultats.

Les paramètres	OPF	PF	Stratégies 2	Stratégies 3	Stratégies 5	K-means		
						G1	G2	cluster
PG1(MW)	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4	232.4
PG2(MW)	36.73	40	43.709	37.3940	37.3661	38.365	39.4897	38.365
PG3(MW)	28.61	0	92.6033	48.2388	48.2037	14.3050	63.01527	14.3050
PG6(MW)	0	0	0	9.2002	7.9613	0	5.7205	0
PG8(MW)	8.55	0	37.807	27.4651	28.8999	4.2750	31.3907	4.2750
VG1(p.u)	1.06	1.06	1.06	1.0591	1.06	1.06	1.0597	1.0597

VG2(p.u)	1.044	1.045	1.035	1.0454	1.046	1.0445	1.04213	1.04213
VG3(p.u)	1.019	1.01	1.0326	1.0239	1.0217	1.0145	1.02607	1.0145
VG4(p.u)	1.06	1.06	1.0383	1.0048	1.0412	1.06	1.0281	1.0281
VG5(p.u)	1.06	1.06	1.06	1.0548	1.0584	1.06	1.05773	1.05773
T1(4-7)	0.978	0.978	1.0455	1.0025	0.9887	0.978	1.01223	0.978
T2(4-6)	0.978	0.969	0.9	1.0375	0.9671	0.969	0.9682	0.9682
T3(4-9)	0.932	0.932	0.9414	1.022	0.9786	0.9320	0.9807	0.9320
cout(\$ /h)	8081.19		10392.04	10179.04	10177.04	8081.19	10249.37	8081.19

Tableau 4.5 : les résultats des clusters le cas de cout surcharge.

La figure ci-dessous (**Figure 4.13**) représente les paramètres de puissance et tension et rapport de transformateur avec OPF et PF de 3 stratégies, On remarque un changement dans les résultats, dû au positionnement différent des stratégies .

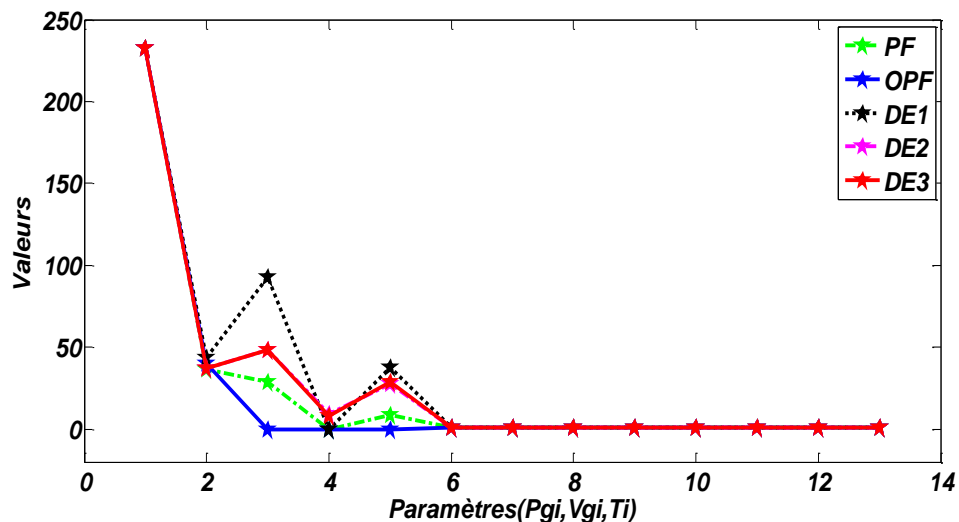


Figure 4.13: les paramètres avec OPF et PF dans le cas cout surcharge avec 3 stratégie.

En remarque à ce graphique la localisation des groupes, OPF et PF avec les trois stratégies (cout surcharge), Par rapport à la courbe précédente (**Figure 4.11**), il y a une différence dans l'emplacement des groupes, ce qui indique que le résultat prend la meilleure valeur de chaque paramètre dans le groupe.

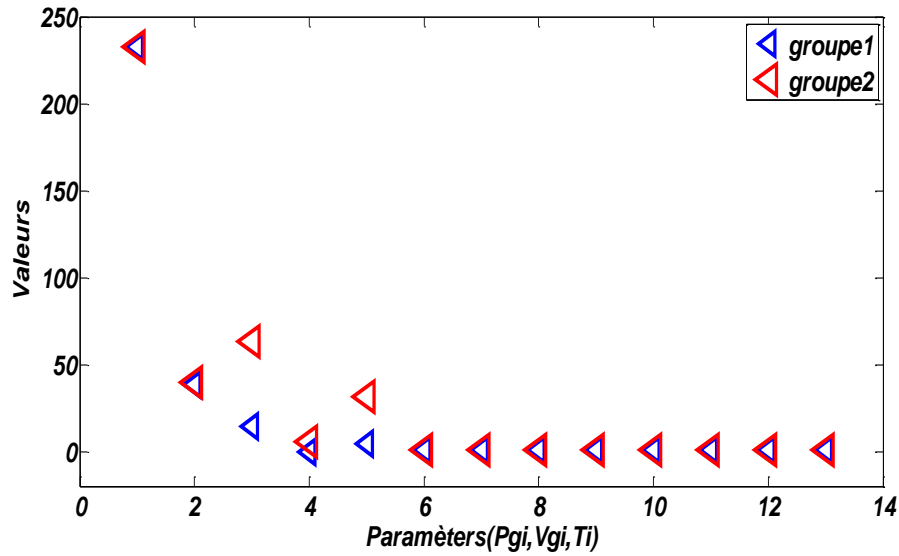


Figure 4.14: présentation des groupes 1et 2 en utilisant cout surcharge.

La figure ci-dessous illustre les clusters en 2 dimensions, nous avons choisi cette configuration afin d'éclairer toutes les paramètres de vecteur solution.

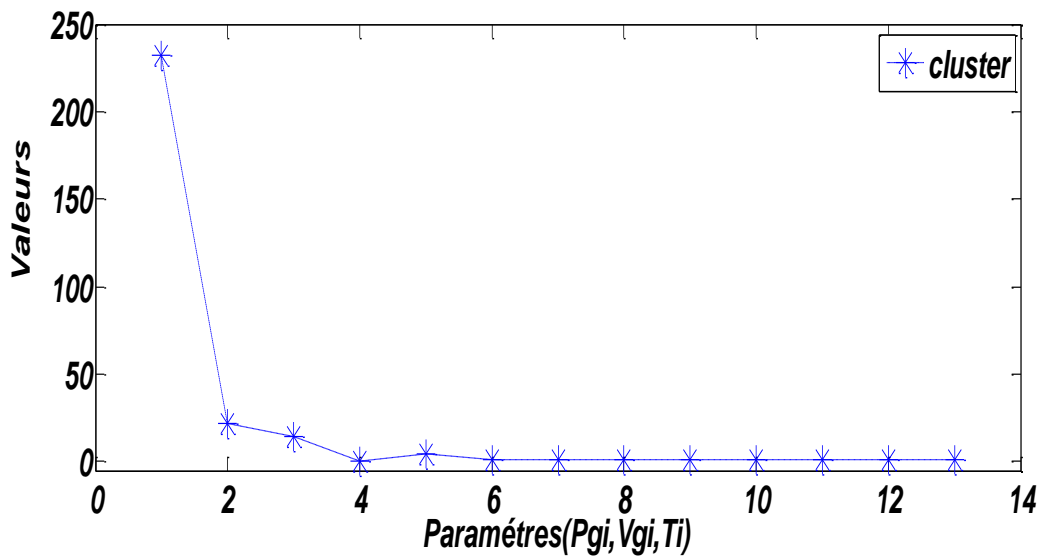


Figure 4.15 : présentation de cluster cas de cout surcharge.

Dans ce cas de **Figure 4.15** le cluster pris que les paramètres minimale (5 valeurs de G1 et les reste de G2), Par rapport de la **Figure 4.12** le cluster il n'a pas pris le même nombre de valeurs Cela indique que ne prend que les plus petites valeurs(vecteur solution).

4.7 Discussion :

Notre programme a pour but de réaliser une application de classification k-means. Ce programme se caractérise par son graphique simple qui facilite son utilisation.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour faire un écoulement de puissance, que ce soit par des méthodes heuristiques ou méta-heuristiques. Chaque méthode a ces avantages et ces inconvénients.

Notre programme permet de faire la classification à partir d'un ensemble de points avec des coordonnées choisies aléatoirement dans un plan à deux dimensions. Il s'agit de k-means qui fait ce résultat.

4.8 Conclusion:

Dans ce chapitre on a appliqué l'algorithme k-means qui permet de classer un ensemble de points en des clusters homogènes.

Les résultats de simulation de l'algorithme. Cela nous a donné de bons résultats, car nous avons couru plusieurs tests. Pour s'assurer qu'il fonctionne correctement et nous présenter les résultats.



CONCLUSION GENERALE

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

L'objectif de notre travail consistait essentiellement à présenter à nouveau un algorithme de calcul utilisé en domaine d'optimisation d'écoulement de puissance.

Un problème d'optimisation est défini par un ensemble de variables, une fonction objectif et un ensemble de contraintes. L'espace de recherche est l'ensemble des solutions possibles du problème. Résoudre un problème d'optimisation consiste à trouver la ou les meilleures solutions (en minimisant et/ou maximisant la/les fonctions objectifs du problème posé), tout en satisfaisant un ensemble de contraintes définies par l'utilisateur.

Dans ce mémoire, nous avons appliqué un nouvel algorithme d'optimisation qui s'appelle k-means dans l'écoulement de puissance, pour but de calculer et collecter les résultats d'optimisation de l'algorithme DE et JAYA pour et obtenir les meilleurs résultats.

Nous avons fait aussi une exécution sur la 3ème stratégie de l'algorithme Évolution différentielle (DE) et connaître les paramètres et des étapes de base sont nécessaires pour faire évoluer les individus : initialisation, mutation, croisement et sélection.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Abido** «Optimal power flow using particle swarm optimization» International Journal of Electrical Power & Energy Systems 2002.
- [2] **M. Crape**, "Commande et régulation des réseaux électriques", Lavoisier 2003.
- [3] **Mme Marjorie Cosson** « Stabilité du réseau électrique de distribution. Analyse du point de vue automatique d'un système complexe » Thèse présentée et soutenue à Gif sur Yvette le 19 septembre 2016.
- [4] **C. Alonso**, " Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie", Mémoire en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger les recherches, université Paul Sabatier Toulouse III, Décembre 2003.
- [5] Ce qu'il faut savoir sur les centrales électriques - Choisir.com.
- [6] **Dr. MERAHI Amir** « Analyse des réseaux de transport et de distribution I »2019
- [7] **boussadia fethi**, thèse doctorat en science page 32
- [8] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Reseau-electrique-page-2>.
- [9] **Mme SLIMANI Linda** Contribution à l'application de l'optimisation par des méthodes méta heuristiques à l'écoulement de puissance optimal dans un environnement de l'électricité dérégulé 22/12/2009.
- [10] **Nabil MANCER** Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs de compensation dynamique (FACTS) ,Soutenu publiquement le 28 / 01 / 2012
- [11] **Alexandre BESNER** Écoulement de puissance optimal avec contraintes de stabilité transitoire pour réseaux hygrothermiques, ECOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC 2017
- [12] **Mr. Athmane BOUZIDI** Modélisation et simulation des réseaux électriques/ Maitre de conférences B, Chargé de recherche, Mira de Bejaïa, Algérie
- [13] **Messaoud BELAZZOUG**, Optimisation multi-objectif de la compensation de l'énergie réactive dans les réseaux électriques par les algorithmes évolutionnaires. Soutenu publiquement le 19/05/2011.
- [14] **Mr KRAIMIA Mohamed Nassim** Optimisation du coût de production des réseaux interconnectés, 2010/2011
- [15] **GUERNOUDJ Nassim** Réglage de Tension dans un Réseau par Travée Self 220kv Soutenu le, 05/ 03/ 2015.

BIBLIOGRAPHIE

- [16] **Zaher AL BARAKEH** Suivi de pollution atmosphérique par système multi-capteurs – méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution ; le 17 décembre 2012.
- [17] **quietstvert.fr**, contenus, electricite-verte, 31-des-emissions-de-co2-sont-dus-a-lelectricite.
- [18] **Hichem BENHAMIDA**, LES SOURCES D'ENERGIE RENOUVELABLES DANS LA PRODUCTION D'ELECTRICITE, LES EVOLUTIONS MONDIALES (2000-2010) ET LE CAS DE L'ALGERIE.
- [19] **Paul j. miller, Chris van atten**, Les émissions atmosphériques des centrales électriques, 2004.
- [20] **RAHAL Farid**, Modélisation et simulation de la pollution atmosphérique. Le cas de la région d'Alger ,15 Avril 2015.
- [21] **Bellamouchi Abdelhai** Bekkouche Moussa Bekkouche ELhadi, Conception et simulation de lignes électriques à haute tension
- [22] **Mehdi Neyestani^{1*}** , **Maliheh Maghfoori Farsangi** , Optimization of the Economic Dispatch problem by considering the emission dispatch with using the AMPSO; Advances in Modelling and Analysis C Vol. 73, No. 2, June, 2018
- [23] **Lotfi BAGHLI**: « Réalisation d'un Environnement Graphique avec Base de Données pour l'Analyse et la Simulation de Réseaux Électriques » Projet de fin d'Etudes, Juin 1994.
- [24] **Ahmed Ould Nagi**, Optimisation de l'écoulement de puissance par algorithme : AG et PSO-TVAC, Mémoire de Master en Réseaux Électrique, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, 2014.
- [25] **HERBADJI OUAFA** : « Contribution à l'optimisation des réseaux électriques en présence des Multi-FACTS par des méthodes métaheuristiques hybrides » these de doctorat . année 2019
- [26] **Si Tayeb Abdelkader** , Méta heuristiques pour l'optimisation des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique . Soutenue le : 10 / 02 / 2011.
- [27] **BERROUK Fateh** , REPARTITION OPTIMALE DES FLUX ENERGETIQUES ET IMPACT SUR LA PERFORMANCE D'UN SYSTEME ELETRIQUE HT, Soutenue le 02/05/2019

BIBLIOGRAPHIE

- [28] **HAIMOUR Rachida**, Contrôle des Puissances Réactives et des Tensions par les Dispositifs FACTS dans un Réseau Électrique» Thèse Magister En Electrotechnique. Année Universitaire 2008-2009.
- [29] **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.
- [30] **Mme Boudissa**, Méthode numérique appliquée et optimisation (MNOA), Techniques d'optimisation, Université de Blida 1, Algérie.
- [31] **Marie-Cécile Alvarez-Hérault**, ARCHITECTURES DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION DU FUTUR EN PRÉSENCE DE PRODUCTION DÉCENTRALISÉE, Submitted on 7 April 2010.
- [32] **M.S. Osman, M.A. Abo Sinna, A.A. Mousa**, A solution to the optimal power flow using genetic algorithm, International Journal of Applied Mathematics and Computation, Vol. 155, No. 2, August 2004, pp. 391-405.
- [33] **J.izhong Zhu**, OPTIMIZATION OF POWER SYSTEM OPERATION, IEEE press series on power engineering, ISBN: 978-470-29888-6, 2009.
- [34] **Mostefaoui Abdelkader**, étude de la répartition optimale des puissances dans un réseau électrique par la programmation non linéaire. soutenue 14/10/2008.
- [35] <https://www.grte.dz>.
- [36] **Hadrien Godard**, Résolution exacte du problème de l'optimisation des flux de puissance, Submitted on 23 Jan 2020.
- [37] **Abbas El Dor**, Perfectionnement des algorithmes d'optimisation par essaim particulaire : applications en segmentation d'images et en électronique, Submitted on 15 Feb 2013.
- [38] **Noor H. Awad**, An efficient Differential Evolution algorithm for stochastic OPF based active-reactive power dispatch problem considering renewable generators, 2019
- [39] **Imad Dabbura**, K-means Clustering: Algorithm, Applications, Evaluation Methods, and Drawbacks articles, Data Science.
- [40] **Mme CHAOUCHE L**, Classification non supervisée : Application de k-means, 2014.