

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux électriques

Présenté par :

Rezzag Bara Ilyes

Layat Belkhir

**Thème:**

**Amélioration du profil de tension d'un réseau électrique  
par l'insertion optimale de source de production  
(Application sur le réseau de distribution de N'goussa)**

Soutenu publiquement

Le : 07/07/2019

Devant le jury :

M<sup>f</sup> Kadri Ahmed Yacine

MAA

Président

UKM Ouargla

M<sup>f</sup> Guehrrar Youcef

MAA

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M<sup>f</sup> Sadaoui Fares

MCA

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2018/2019

# *Remerciement*

*Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant qui nous a donné la force et la patience de faire ce travail.*

*Et nous remercions notre encadreur Mr Guehrar Youcef, sans qui ce travail n'aurait jamais eu lieu. Nous le remercions pour sa disponibilité, ses éclaircissements scientifiques, ainsi que pour ses précieux conseils et surtout pour nos avoir laissé une grande liberté dans la conception et la rédaction de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont également é tous les personnes qui de loin ou de près ont contribué à la réalisation de modeste travail.*

*A tous les membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail*

*Nous adressons également nos remerciements aux personnels (enseignants et administrateurs) de la Faculté des Sciences appliquées et en particulier ceux du département de Génie Electrique.*

**ILYES & BELKHIR**



# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mon défunt père avec toute mon affection.*

*A ma mère avec toute ma reconnaissance.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A ma famille.*

*A mes amis sans exception.*

*A mon collègue Rezzag Bara Ilyes Participer à ce travail.*

*A tous les étudiants du département de génie électrique  
surtout les étudiants de Réseaux électriques promotion 2019.*

*Layat Belkhir*



# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma mère, source d'affection, de courage et d'inspiration  
qui a Autant sacrifié pour me voir atteindre ce jour.*

*A mon père (Mohammed Bachir), source de respect, en  
témoignage de ma profonde reconnaissance pour tout*

*A mes frères et mes sœurs*

*A toute la famille et tous mes amis,*

*A mon collègue Layat Belkhir pour m'avoir participé ce  
travail A tous ceux qui se donnent à fond dans la  
recherche scientifique, je dédie ce travail à tous mes  
collègues et amis de la promotion Réseaux électrique*

*Rezzag Bara Ilyes*



## *Liste des abréviations*

**GRD** : Gestionnaire de Réseau de Distribution.

**HT** : Haute tension.

**HTB** : Haute tension classe B.

**HTA** : Haute tension classe A.

**MT** : Moyenne tension.

**BT** : Basse tension.

**BTB** : Basse tension classe B.

**BTA** : Basse tension classe A.

**TBT** : Très basse tension.

**CEI** : La Commission électrotechnique internationale.

**GED** : Générateurs d'Energie Décentralisés.

**SQIG** : Générateur à induction à cage d'écureuil à vitesse fixe.

**WTG** : Système de Production d'Eoliennes..

**OEP** : L'Optimisation par Essaim de Particules.

**PSO** : Particle Swarm Optimization.

**VSI** : Indice de Sensibilité de Tension.

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

**BIBC** : Bus Injection Branch Current (Branche d'injection de bus).

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

**Jdb** : jeu de barre.

**FP**: Facteur de puissance

**TPM** : Taux de Pénétration Maximum.

**TP** : Taux de Pénétration.

## Liste des symboles

$\mathbf{B}_i$ : Courant de branche.

$\mathbf{S}(i)$  : Nouvelle Puissance de JDB.

$\mathbf{S}(i)'$ : Ancien Puissance de JDB.

$(i)$  : Puissance de GED au JDB

$\vec{Pb}_i$  : Meilleure position

$\vec{Gb}_i$  : La meilleure position atteinte

$I_i$ : Courant de charge.

$V_k$  : La tension au nœud « k »

$\mathbf{P}$  : Puissance Active.

$\mathbf{Q}$  : Puissance réactive.

# Liste des figures

## Chapitre 1

Figure 1.1 : Structure du réseau électrique.....	4
Figure 1.2 : Architectures des réseaux électriques.....	6
Figure 1.3 : Schéma de distribution en Antenne.....	7
Figure 1.4 : Schéma de distribution en Coupure d'artère.....	7
Figure 1.5: Schéma de distribution en double dérivation.....	8
Figure 1.6: Énergie solaire photovoltaïque .....	10
Figure 1.7 : Énergie éolienne.....	11
Figure.1.8: Sens de transit de puissance dans le réseau de distribution avant et après l'insertion des GED.....	16
Figure.1.9 : Impact de DEG sur la sélectivité du défaut.....	19
Figure.1.10 : Aveuglement de la protection du départ en défaut.....	19

## Chapitre 2

Figure 2.1: Volée d'Anser en formation en V .....	22
Figure 2.2: Déplacement d'une particule.....	23
Figure 2.3 : Exemple de système de distribution radiale.....	26
Figure 2.4: Convergence de la fonction objective «VSI » pour le réseau de distribution de N'goussa.....	30
Figure 2.5: Algorithme de travail de PSO.....	31

### Chapitre 3

Figure.3.1 : Valeurs optimales de VSI des Jdb après l'application de l'algorithme PSO pour facteur de puissance égale 1 (FP=1).....	34
Figure.3.2: Taux de pénétration optimale des Jdb pour FP=1.....	34
Figure.3.3 : Profil de tension de réseau avant et après l'intégration de GED au jdb 103 avec un TP optimale et FP=1.....	35
Figure.3.4 : Résultat Résultat la variation de VSI pour plusieurs valeurs de TPM avec un FP=1.....	36
Figure.3.5 : Représentation les zones dans le réseau .....	36
Figure.3.6 : Profil de tension avant et après l'insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=30% et FP=1.....	37
Figure.3.7: Profil de tension avant et après l'insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=60% et FP=1.....	37
Figure.3.8: Profil de tension avant et après l'insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=90% et FP=1.....	38
Figure.3.9: Valeurs optimales de VSI des Jdb après l'application de l'algorithme PSO pour FP=0.9.....	39
Figure.3.10: Taux de pénétrations optimales aux chaque Jdb pour FP = 0.9.....	39
Figure.3.11: Profil de tension de réseau avant et après l'intégration de GED au jdb 103 avec un taux de pénétration optimale 99.56% et FP=0.9.....	40
Figure.3.12: résultat à variation de VSI pour plusieurs valeurs de TPM avec un FP=0.9.....	41
Figure.3.13: Représentation les zones dans le réseau. ....	41
Figure.3.14. Profil de tension avant et après l'insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=30% et FP=0.9.....	42
Figure.3.15: Profil de tension avant et après l'insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=60% et FP=0.9.....	42
Figure.3.16: Profil de tension avant et après l'insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=90% et FP=0.9 .....	43

# *Liste des tableaux*

## *Chapitre 2*

Tableau 2.1 : Valeurs des paramètres du PSO de notre problème.....29

## *Chapitre 3*

Tableaux.3.1 : Les caractéristiques du réseau de distribution de N'goussa.....32

Tableaux.3.2 : Comparaissant entre le résultat FP=0.9 et FP unitaire.....43

# *Liste des tableaux*

## *Chapitre 2*

Tableau 2.1 : Valeurs des paramètres du PSO de notre problème.....29

## *Chapitre 3*

Tableaux.3.1 : Les caractéristiques du réseau de distribution de N'goussa.....33

Tableaux.3.2 : Comparaissant entre le résultat FP=0.9 et FP unitaire.....44

# Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre 1 : Généralité des réseaux électriques et la production décentralisée</b>	
1-1 Introduction .....	3
1.2. Structure du réseau électrique et son rôle .....	3
1.2.1. Le réseau de transport et de répartition .....	3
1.2.2. Le réseau de distribution .....	4
1.2.3 Les niveaux de tensions des réseaux .....	4
1.2.4. Architecture des réseaux électriques .....	5
1.2.5. Les principaux schémas de réseau de distribution .....	6
1.2.5.1. Distribution en «Antenne» ou «Simple dérivation» .....	6
1.2.5.3. Distribution en « Double dérivation ».....	7
1.3. La production décentralisée .....	8
1.3.1. Définition .....	8
1.3.2. Technologies de la production décentralisées .....	9
1.3.2.1. Sources conventionnelles .....	9
1.3.2.1.1. Unités de secours.....	9
1.3.2. 2. Sources renouvelables .....	9
1.3.2. 2.1. Piles.....	9
1.3.2.2.2. Cogénération .....	9
1.3.2.2.3. L'énergie solaire photovoltaïque .....	10
1.3.2.2.4. L'énergie solaire thermique.....	10
1.3.2.2.5. L'énergie éolienne .....	10
1.3.2.2.6. L'énergie géothermique.....	11
1.3.2.2.7. L'énergie hydraulique .....	11

---

1.3.2. 2.9. L'énergie biomasse .....	12
1.3.3. Différentes modèles de GED dans le réseau électrique.....	12
1.3.3.1.GED de type 1 .....	12
1.3.3.2.GED de type 2 .....	12
1.3.3.3. GED de type 3 .....	12
1.3.3.4.GED de type4 .....	13
1.4. Bénéfices potentiels des GED .....	13
1.5. Difficultés des GED .....	14
1.6. Impact de la production décentralisée sur le réseau de distribution .....	14
1.6.1. Impacts sur le sens de transit de puissance.....	15
1.6.2. Impacts sur la stabilité du système.....	16
1.6.3. Impacts sur la qualité de service .....	16
1.6.3.1. Creux et élévation de la tension .....	16
1.6.3.2. Flicker.....	17
1.6.3.3. Harmoniques .....	17
1.6.4. Impacts sur l'observabilité et de contrôlabilité du système .....	18
1.6.5. Impacts sur la continuité de service .....	18
1.6.6. Impact sur le plan de la protection .....	18
1.6.6.1. Courant de court-circuit .....	18
1.6.6.2. Influence sur la sélectivité des protections .....	18
1.6.6.3. Aveuglement de la protection du départ en défaut.....	19
1.6.6.4. Protection de découplage .....	20
1.7.Conclusion.....	20

## ***Chapitre 2 : Elaboration d'un algorithme de calcul par PSO***

2.1 Introduction .....	21
2.2. Présentation de l'algorithme PSO .....	21
2.3. Mode de fonctionnement de l'algorithme PSO .....	22
2.4. Fonctionnement de l'algorithme PSO .....	23
2.5. Description de notre problème d'optimisation .....	25
2.5.1. Ecoulement de puissance par la méthode BFS .....	26
2.5.1.1 Formulation de la matrice BIBC .....	26
2.5.1.2. Formulation de la matrice BCBV .....	27
2.5.1.3. Algorithme de BFS modifier.....	28
2.6. Organigramme de l'algorithme de calcul optimal.....	29
2.6.1. Paramètres du PSO .....	29
2.6.2. Contraintes .....	29
2.7. Conclusion .....	31

## ***Chapitre 3 : Résultat et interprétation***

3.1 .Introduction.....	33
3.2 .Résultats et interprétations.....	33
3.3. Réseau de distribution de N'goussa (464 JDB) .....	33
3.4. Facteur de puissance égal à 1 FP=1.....	33
3.4.1. Variation de taux de pénétration .....	35
3.4.2. Profile de tension dans déférent zones .....	37
3.5. Facteur de puissance égal à 0.9 FP=0.9.....	39
3.5.1. Variation de taux de pénétration .....	40
3.5.2. Profile de tension dans déférent zones.....	42
3.6. Comparaisant entre le résultat FP=0.9 et FP unitaire.....	44

3.7. Conclusion.....	44
Conclusion générale.....	45

## Introduction générale : [1]

L'énergie électrique dans le monde entier est devenue un bien de consommation nécessaire pour la vie quotidienne que pour l'économie des pays. Les moindres problèmes d'origine électrique influent considérablement sur la continuité des activités économiques. La possession des réseaux électriques fiables et économiques fonctionnant convenablement assure une continuité du service et une bonne qualité d'énergie, cela est devenue primordiale afin de contribuer positivement au développement de nos sociétés modernes.

A nos jours, les sources d'énergie électrique sont divisées en deux : sources centralisées contrôlées par le dispatching national et sources décentralisées non contrôlables par le dispatching. Généralement, les sources de production centralisées sont connectées aux réseaux de transport et les sources de production décentralisées sont connectées aux réseaux de distribution.

Les réseaux de distribution sont des réseaux de topologie radiale ramifiée de rapport R/X élevé et leurs jeux de barres sont tous des jeux de barres (JDB) de charges. Ceci a causé plusieurs problèmes tels que les pertes d'énergie et une grande chute de tension. Le réseau de distribution de N'goussa (une région de Ouargla) a un problème de chute de tension qui peut atteindre 20% de la tension nominale. L'utilisation d'une production décentralisée dans ce réseau de distribution pour améliorer le profile de tension pose un problème : comment choisir le meilleur emplacement de GED avec une taille optimale dans ce réseau de distribution pour améliorer le profile de tension.

Cette problématique fait l'objet de recherche de ce mémoire. Pour cela ,nous avons réalisé un programme sur le logiciel « **MATLAB** » pour optimiser une fonction objective qui est l'indice de sensibilité de la tension VSI (Voltage Sensitivity Index) en utilisant la méthode de l'écoulement de puissance BFS(Backward Forward Sweep). Cette fonction sera pas la suite optimisée par la méthode d'essaim de particulaire (PSO) pour trouver la taille optimale de GED à chaque JDB puis sélectionner le meilleur JDB eu comparant les résultats obtenus.

Le plan de travail de ce mémoire est organisé autour de trois chapitres :

Dans le premier chapitre,on donne une vision globale des concepts classiques des réseaux électriques qui restent toujours d'actualité comme les cheminements de l'énergie électrique et les schémas d'exploitation et Une description et un état de l'art sur la production décentralisée et les différentes technologies de production décentralisée telles que les micro turbines, l'éolien, l'hydraulique, le solaire thermique, le solaire photovoltaïque ...)est aussi présentés.

Le deuxième chapitre décrit la méthode d'optimisation PSO, l'écoulement de puissance par la méthode BFS et l'algorithme de calcul de notre problème.

Pour améliorer le profil de tension de ce réseau ,une production décentralisée sera rajoutée.

Dans le troisième chapitre, l'algorithme présenté au chapitre deux est appliqué sur le réseau de distribution de N'goussa (464 nœuds)

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale, dans laquelle nous ferons un bref résumé de ce travail.

Ensuite, l'ensemble des résultats obtenus sont présentés et discutés.

# Chapitre 1

*Généralité des réseaux  
électriques et la production  
décentralisée*

## 1-1 Introduction : [2]

A l'origine, le réseau électrique a été construit et dimensionné pour transporter l'énergie électrique produite par les centres de production jusqu'aux centres de consommation les plus éloignés. Ainsi, les transits de puissances circulent de l'amont (réseau de transport) depuis les productions d'énergie électrique de type grosses centrales thermiques, hydraulique ou nucléaire, vers l'aval (réseau de distribution) représenté par les consommateurs. Le réseau électrique met donc en œuvre des milliers de kilomètres de ligne, des milliers de poste de transformation, ainsi que de nombreux organes de coupure et d'automates de réglage,...etc. dimensionnés pour assurer le bon fonctionnement de la fourniture d'énergie électrique. La présence d'une source de production décentralisée dans un réseau de distribution a des avantages et inconvénients sur le fonctionnement et la protection de ce réseau.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes structures et architectures du réseau électrique. Ensuite, nous avons parlé de la production décentralisée et son impact sur les réseaux de distribution.

## 1.2. Structure du réseau électrique et son rôle : [3]

Le réseau électrique est hiérarchisé par niveau de tension, celui-ci est fractionné en trois principales subdivisions à savoir le réseau de transport, de répartition et de distribution.

### 1.2.1. Le réseau de transport et de répartition :

La première de ces divisions est le réseau de transport (400 kV, 225 kV) ou réseau de haute tension de niveau B (HTB). C'est à ce niveau de tension que sont assurées les interconnexions entre régions au niveau nationale et les échanges (importation/exportation) d'énergie électrique au niveau internationale. Sur ce réseau sont connectées les centrales de production classique comme les centrales nucléaires. Ces réseaux ont une architecture maillée, ainsi les productions ne sont pas isolées mais toutes reliées entre elles ou interconnectées, cette structure permet une sûreté de fonctionnement accrue par rapport à une structure de réseau dite radiale puisqu'elle assure la continuité du service ou d'alimentation en cas d'aléas comme la perte d'une ligne, d'une production, etc.

Le deuxième niveau de tension est le réseau de répartition (63kV, 90kV), celui-ci assure le transport des réserves en électricité composées de l'énergie puisée au réseau de transport et de

productions de plus petites échelles vers les zones de consommations et à quelques gros clients industriels directement connectés à celui-ci.

La gestion de la tension et de la fréquence des réseaux de transport et de répartition est effectuée de manière centralisée.

### 1.2.2. Le réseau de distribution :

La troisième et dernière subdivision est le réseau de distribution (20 kV, 400V). Ce réseau a pour fonction d'alimenter l'ensemble de la clientèle principalement connectée à ce réseau. Son exploitation est gérée par un Gestionnaire de Réseau de Distribution (GRD). Les réseaux de distribution ont principalement une structure radiale. A la différence d'une structure maillée, une structure radiale est une structure arborescente. Ainsi, le flux de puissance n'a qu'un trajet possible pour transiter du poste de transformation HTB/HTA ou HTA/BT vers le point de consommation considéré.

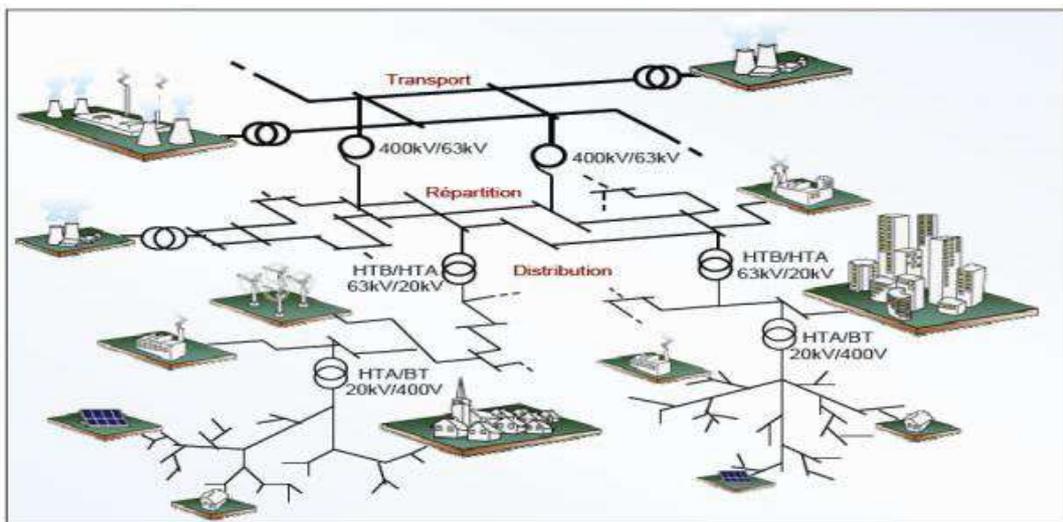


Figure 1.1: Structure du réseau électrique.

### 1.2.3 Les niveaux de tensions des réseaux : [4]

La nouvelle norme de la commission électrotechnique internationale CEI ainsi que les textes législatifs en vigueur en Algérie depuis juin 2002, définissent les niveaux de tension alternative comme suit:

- HTB : pour une tension composée supérieure à 50 kV.
- HTA : pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV.
- BTB : pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 kV.

- BTA : pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V.
- TBT : pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V.

La définition des différents niveaux de tension résulte à la fois de choix historiques et d'optimisations technico-économiques entre le coût d'installation et de maintenance des ouvrages et leur capacité à transporter l'énergie électrique du point de production au point consommateur en générant un minimum de pertes. Ainsi, le niveau de tension HTA à 20 kV s'est imposé pour la distribution car, il permet de minimiser le nombre de postes sources et de limiter les chutes de tension tout en utilisant des matériels peu exigeants en termes de tenue de tension.

#### 1.2.4 Architecture des réseaux électriques : [4]

L'énergie électrique produite est directement injectée sur le réseau de transport maillé à très haute tension pour être transportée sur de grandes distances avec un minimum de pertes. Elle "descend" ensuite sur les réseaux de répartition, puis ceux de distribution d'où elle est distribuée aux gros consommateurs et aux réseaux de distribution à basse tension.

Les réseaux de transport d'énergie et d'interconnexion sont liés entre eux sous forme de boucle, réalisant ainsi une structure semblable aux mailles d'un filet (Figure 1.2.a).

Les réseaux de répartition qu'ils alimentent ont fréquemment une structure bouclée (Figure 1.2.b) et peuvent alors être exploités soit en boucle fermée (le réseau est dit bouclé) soit en boucle ouverte (le réseau est alors dit débouclé). Certaines alimentations se font aussi en antenne (poste G, Figure 1.2.b) ou encore en piquage en prélevant une partie de l'énergie circulant sur une ligne reliant deux postes (poste H, Figure 1.2.b).

Ces réseaux de répartition à caractère régional fournissent l'énergie aux réseaux de distribution à moyenne tension assurant l'alimentation d'un grand nombre d'utilisateurs, soit directement, soit après transformation en basse tension. Leur configuration et leur mode d'exploitation sont variables. On peut trouver, selon les pays, des réseaux maillés exploités débouclés, des réseaux à structure radiale (Figure 1.2.d) ou des réseaux à structure arborescente (Figure 1.2.c).

D'une façon générale, ce sont les caractéristiques des sources de production, les besoins des utilisateurs et l'expérience d'exploitation qui, ajoutés à des considérations économiques, conduisent à choisir la structure topologique des réseaux.

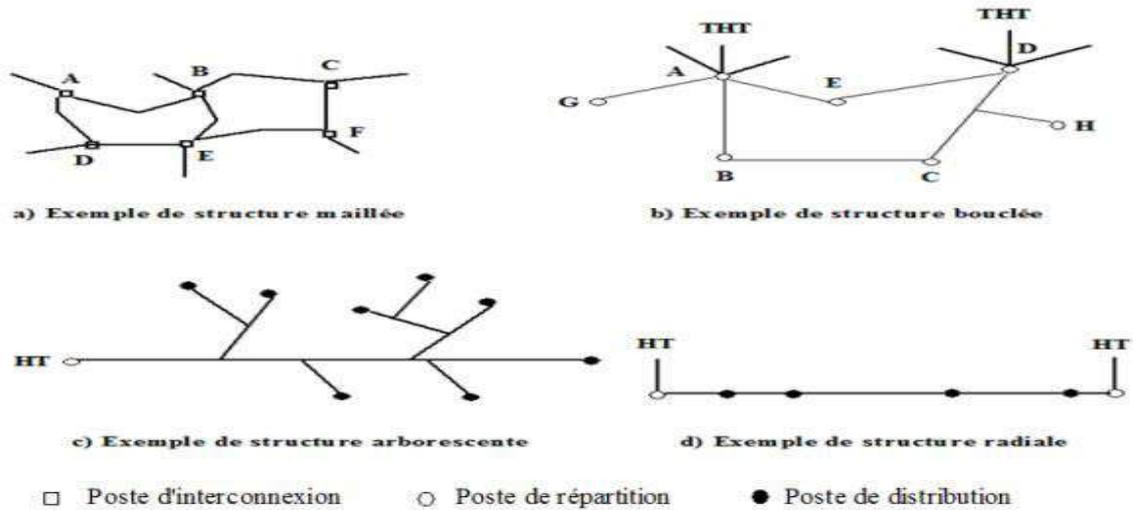


Figure 1.2 : Architectures des réseaux électriques.

### 1.2.5. Les principaux schémas du réseau de distribution : [3]

Les réseaux de distribution ont comme point de départ les postes sources. Ils comportent des transformateurs HTB/HTA à partir desquels la HTB est distribuée en triphasé sans neutre et entre 5 et 33 kV.

Les transformateurs HTB/HTA peuvent être couplés. En aval des transformateurs, la partie HTA est constituée de cellules « arrivée », « couplage » et « départ ».

A partir de ces départs, on réalise des schémas (selon les besoins de continuité de service et de contraintes de coût) :

1. en « Antenne » ou « Simple dérivation », Aérien
2. en « Boucle » ou « Coupure d'Artère », Souterrain
3. en « Double dérivation »,

#### 1.2.5.1. Distribution en «Antenne» ou «Simple dérivation» :

Il est principalement utilisé dans les zones rurales, En cas de défaut sur un tronçon de câble ou dans un poste, les utilisateurs sont privés d'alimentation le temps de la réparation.

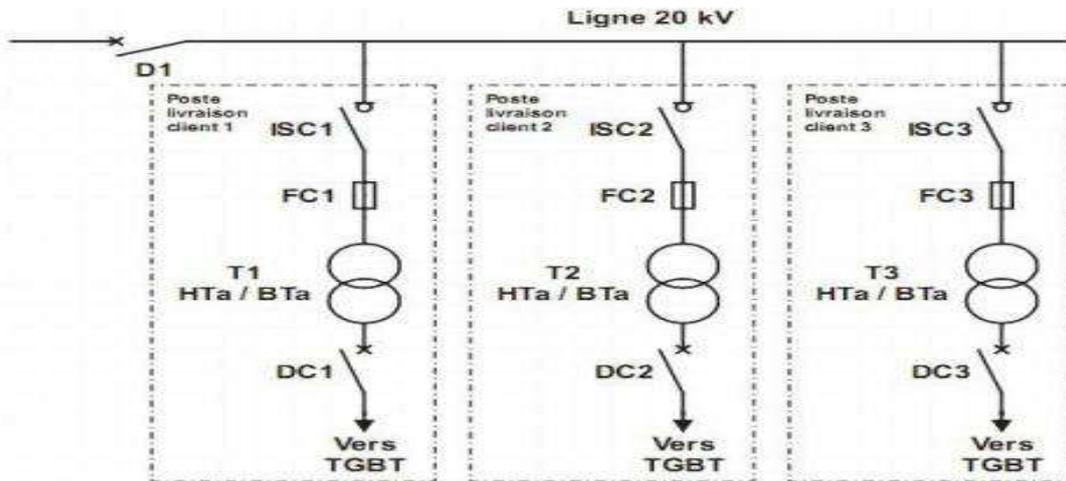


Figure 1.3: Schéma de distribution en Antenne

**1.2.5.2. Distribution en «Coupure d'artère» ou en «Boucle» :**

Il est utilisé en zone urbaine. En cas de défaut sur un tronçon de câble ou dans un poste, on isole le tronçon en défaut par l'ouverture des 2 appareils de protection ou de sectionnement qui l'encadrent et on réalimente la boucle en refermant le disjoncteur.

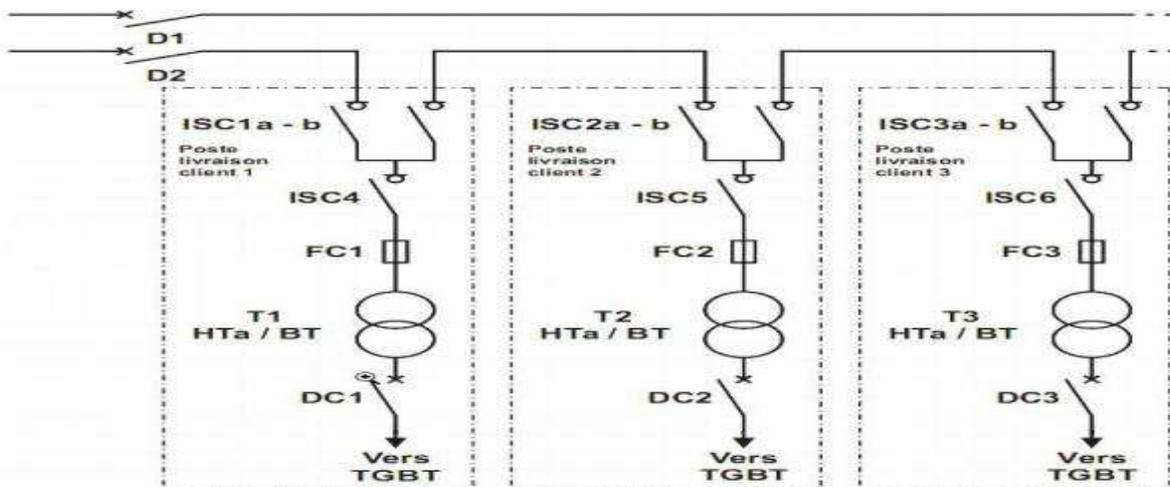


Figure 1.5 : Schéma de distribution en Coupure d'artère.

**1.2.5.3. Distribution en « Double dérivation » : [7]**

Il est utilisé pour assurer une continuité de service optimale. En cas de défaut sur l'une des lignes, l'alimentation de l'abonné est permutée sur la seconde.

Les deux arrivées sont différentes mais peuvent être issues du même poste source. On ne peut se connecter sur les deux arrivées en même temps grâce au verrouillage mécanique présent

entre A1 & A2. Il est possible que la seconde arrivée (ou la troisième) soit un groupe électrogène (diesel, gaz, autre).

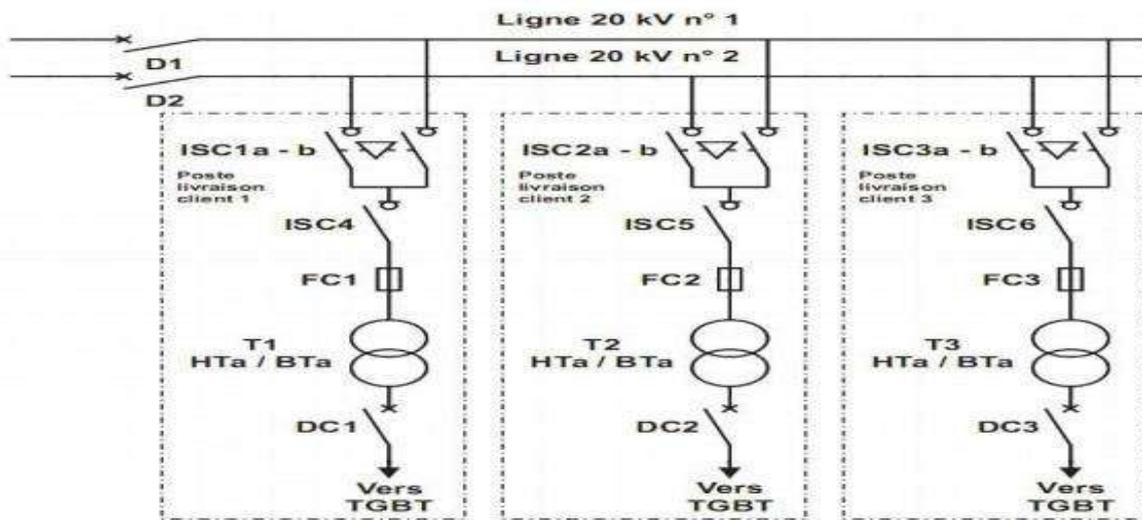


Figure 1.4: Schéma de distribution en double dérivation

### 1.3. La production décentralisée :

#### 1.3.1 Définition : [7]

La production décentralisée ou dispersée se définit par opposition à la production classique, par unités de grosses puissances raccordées au réseau HT, dont la localisation et la puissance ont fait l'objet d'une planification, et qui sont commandées de manière centralisée pour participer au contrôle de la fréquence et de la tension et assurer un fonctionnement fiable et économique de l'ensemble du réseau. Ces unités centralisées sont dites « dispatchables » .

Par rapport aux unités classiques, les unités décentralisées sont caractérisées par des puissances ne dépassant pas 50 à 100 MW, ne sont pas planifiées de manière décentralisée, ni actuellement coordonnées, elles sont généralement raccordées au réseau de distribution (<15MW) et ne sont pas non plus actuellement destinées à assurer des services systèmes.

Cette production décentralisée se développe dans tous les pays, sur base d'énergies renouvelables ou de production traditionnelle, installées par des producteurs indépendants.

### 1.3.2. Technologies de la production décentralisée : [9]

Les technologies pour les productions décentralisées sont actuellement réparties dans deux groupes : sources conventionnelles et sources renouvelables.

#### 1.3.2.1. Sources conventionnelles :

Energies fossiles (gaz, charbon, pétrole) : les technologies utilisant ces énergies primaires sont nombreuses et bien éprouvées.

##### 1.3.2.1.1. Unités de secours

- ❖ Les turbines à combustion (puissance sur le marché de 25KW à 200MW) ;
- ❖ Les microturbines à combustion (de 30 à 25kW) ;
- ❖ Les moteurs à gaz (de 5kW à 5MW) ;
- ❖ Les moteurs diesel (de 100kW à 25MW) ;
- ❖ Les moteurs Stirling (de 5 à 50kW).

#### 1.3.2.2. Sources renouvelables :

##### 1.3.2.2.1. Piles à combustible : [10-11]

Ce sont des dispositifs efficaces et écologiques qui convertissent l'énergie chimique d'un combustible en énergie électrique à courant continu par une réaction chimique d'ions, d'hydrogène chargés positivement avec de l'oxygène ou un autre agent oxydant. L'hydrogène est utilisé comme carburant. Ils peuvent produire de l'énergie électrique tant que leurs intrants sont fournis. Cela signifie que les piles à combustible représentent des sources d'énergie dispatchables.

##### 1.3.2.2.2. Cogénération : [7]

La cogénération électricité – chaleur est une technique qui permet de récupérer la chaleur produite par toute microcentrale électrique proche des bâtiments et fonctionnant à haute température, qu'ils s'agissent de centrales thermiques classiques ou de certains types de piles à combustible. Le rendement énergétique global d'une telle installation peut atteindre 90% et

l'utilisation locale de la chaleur produite permet d'éviter une consommation supplémentaire d'énergie pour le chauffage des bâtiments.

### 1.3.2.2.3. L'énergie solaire photovoltaïque : [4]

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.



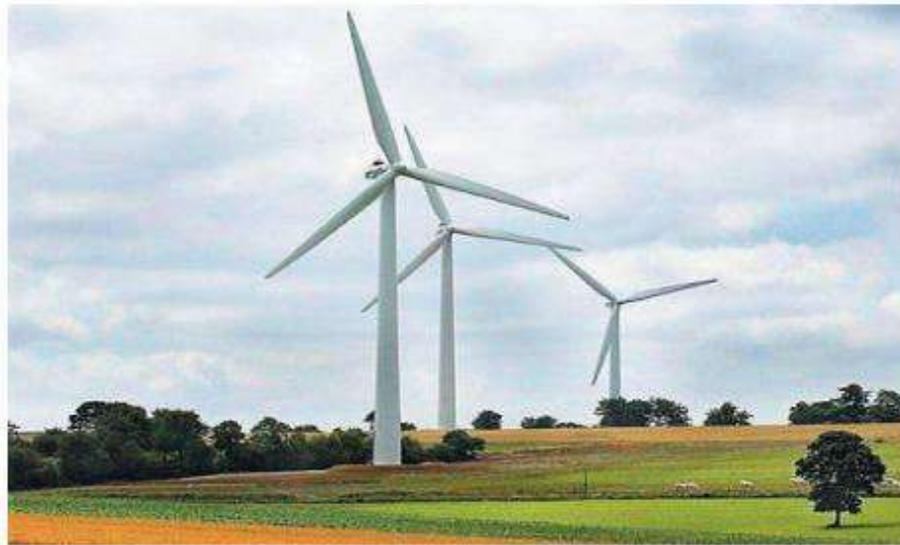
Figure 1.6: Énergie solaire photovoltaïque

### 1.3.2.2.4. L'énergie solaire thermique : [4]

Les centrales solaires thermiques sont des centrales thermiques utilisant des turbines à vapeur. Celle-ci étant produite par chauffage de l'eau via un fluide caloporteur en utilisant le rayonnement solaire concentré sur un échangeur par des miroirs paraboliques.

### 1.3.2.2.5. L'énergie éolienne : [7]

Une éolienne est une machine permettant de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de type éolienne. Cette énergie mécanique éolienne a été utilisée au cours des âges pour pomper l'eau ou moudre le grain. Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité de type éolienne qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau).



**Figure 1.7:** Énergie éolienne.

#### **1.3.2.2.6. L'énergie géothermique :**

Le principe de la géothermie consiste à puiser dans une nappe phréatique ou le plus souvent à prélever l'énergie gratuite contenue dans le sol pour chauffer une habitation, cette énergie est constamment renouvelée par la nature, le soleil, le vent, la pluie. C'est donc une énergie renouvelable.

#### **1.3.2.2.7. L'énergie hydraulique :**

Les centrales hydrauliques fonctionnent grâce à l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau des rivières, des lacs ou des fleuves. La puissance produite dépend de la chute et du débit d'eau. Pour la production décentralisée, des microcentrales hydrauliques sont employées avec un ordre de grandeur de puissance de 5MW. Ce type de production présente comme avantages la gratuité de l'énergie primaire et la production électrique. Les inconvénients principaux sont le prix élevé de l'investissement initial.

#### **1.3.2.2.8. Marémotrice : [4]**

Les centrales marémotrices peuvent s'apparenter à des centrales hydrauliques au fil de l'eau à ceci près que les turbines sont réversibles pour profiter du flux et du reflux des marées. Cette source d'énergie, malgré la disponibilité considérable elle reste anecdotique.

**1.3.2.2.9. L'énergie biomasse : [7]**

Certaines centrales thermiques à flamme utilisent comme source primaire des combustibles issus de la biomasse (bois, biogaz, paille, déchets organiques, etc.) ou de déchets industriels et domestiques.

**1.3.3. Différents modèles de GED dans le réseau électrique :**

Les modèles de GED sont classés en fonction de leur capacité d'injection de puissance active et/ou réactive dans le réseau. En conséquence, les modèles GED sont regroupés de la manière suivante :

**✓ 1.3.3.1. GED de type 1: [12-13]**

Le GED capable d'injecter de la puissance active (P) uniquement comme photovoltaïque (PV), micro turbines, piles à combustible intégrées au réseau à l'aide d'onduleurs, est modélisé comme une charge négative.

**✓ 1.3.3.2. GED de type 2 : [14]**

Le GED capable d'injecter à la fois de la puissance active (P) et de la puissance réactive (Q) sont les unités de GED qui sont basées sur la machine synchrone comme les petites hydroélectriques, géothermiques et les cycles combinés.

Le GED avec les générateurs synchrones peut être modélisé soit avec contrôle de la tension (tension à ces bornes constant) ou avec contrôle du facteur de puissance (facteur de puissance constante). Les GED avec le mode de contrôle de tension sont considérés comme des nœuds PV et ces GED avec le contrôle du facteur de puissance sont considérés comme des nœuds PQ.

**✓ 1.3.3.3. GED de type 3 :**

Les unités GED équipées de compensateur synchrone sont considérées comme catégorie de type3.

**✓ 1.3.3.4. GED de type 4: [15]**

Le générateur à induction à cage d'écureuil à vitesse fixe (SQIG) utilisé pour le système de production d'éoliennes (WTG) entre dans cette catégorie. SQIG en mode super-synchrone est

capable d'injecter de la puissance active dans le réseau alors qu'il exige une puissance réactive du réseau.

#### **1.4. Bénéfices potentiels des GED : [16-17]**

Les avantages de la production décentralisée sont énumérés ci-dessous :

- S'ils sont installés correctement et avec la bonne taille, ils amélioreront le profil de tension du système d'alimentation électrique et ils réduiront considérablement les pertes du système.
- En générant de l'énergie à proximité des centres de charge, ils éliminent le besoin de transmettre la puissance en vrac, ce qui réduit la pression sur les systèmes de transmission;
- Une grande partie de l'énergie électrique fournie par les GED est fondée sur des sources d'énergie renouvelables qui sont très respectueuses de l'environnement et ne produisent pas d'émissions de gaz à effet de serre ;
- Le GED est un très bon choix pour l'électrification rurale où les coûts de transmission et de distribution sont trop élevés ;
- Les unités GED modulaires peuvent être installées facilement et rapidement par les services publics et les clients ;
- Si les GED sont attribués correctement, ils peuvent améliorer la fiabilité du système et la qualité de l'alimentation ;
- Les technologies GED continuent à progresser, leur coût diminue et leur efficacité augmente, il est donc envisagé qu'elles deviennent des choix plus attractifs pour la production d'électricité dans le futur;
- Les GED accroissent la diversité des sources d'énergie et, par conséquent, sur les marchés de l'énergie libéralisés, ils accroissent la concurrence entre les acteurs du marché, améliorant ainsi la qualité et diminuant le coût de l'énergie pour les utilisateurs finaux;
- Puisque les GED sont modulaires, leur risque d'investissement est faible et leur délai d'exécution est court
- Les unités GED modulaires à petite échelle peuvent suivre de près les variations de charge. Comme les unités GED sont petites et n'ont pas besoin de beaucoup d'espace, contrairement aux

centrales électriques centralisées, elles peuvent être facilement installées dans les centres de distribution ;

- Les GED sont efficaces dans le rasage de pointe et contribuent ainsi à la réduction des coûts d'exploitation du système ;
- Grâce à l'amélioration de l'environnement, les GED réduisent les coûts des soins de santé.

### **1.5. Difficultés des GED : [17-18-19]**

Malgré leurs avantages très précieux, les GED peuvent entraîner certains défis énumérés ci-dessous.:

- Les systèmes de distribution ont été conçus et construits à l'origine pour gérer les flux de puissance unidirectionnels allant des utilitaires aux utilisateurs finaux, tandis que l'ajout d'unité GED peut conduire à une alimentation bidirectionnelle du flux de puissance. Cette caractéristique affecte et perturbe particulièrement les performances des relais de protection.
- Dans les systèmes de distribution intégrés GED, l'îlotage peut se produire. L'îlotage peut mettre en danger l'équipage et le public et provoquer des surtensions.
- Le processus de contrôle des GED appartenant à des clients semble difficile.
- Dans les GED fondées sur l'énergie renouvelable telle que le PV et le vent, la puissance de sortie sont fonctions de l'irradiation solaire / de la vitesse du vent, leur puissance de sortie est donc intermittente et elles ne sont pas dispatchables.

### **1.6. Impact de la production décentralisée sur le réseau de distribution : [20]**

La tendance vers la dérégulation devient de plus en plus répandue dans le monde, d'ailleurs, la préoccupation accordée à l'aspect environnemental et au développement durable a encouragé les producteurs à développer la production décentralisée d'électricité sur la base des énergies nouvelles et renouvelables.

Ces évolutions sont les deux facteurs essentiels qui favorisent l'introduction des nombreux producteurs de taille petite ou moyenne aux réseaux électriques au niveau de tension inférieure (HTA et BT).

Ce nouveau phénomène peut être positif et négatif à la fois. D'une part, l'insertion des unités de la génération d'énergie dispersée (GED) est présentée comme un facteur de renforcement des moyens de production du système. D'autre part, elles apportent également des impacts négatifs à échelle du système en le fragilisant notamment dans les situations critiques.

Dans la littérature, plusieurs études qui ont été faites afin d'identifier et d'évaluer les impacts de la production décentralisée sur le réseau HTA, et de proposer des solutions adaptées.

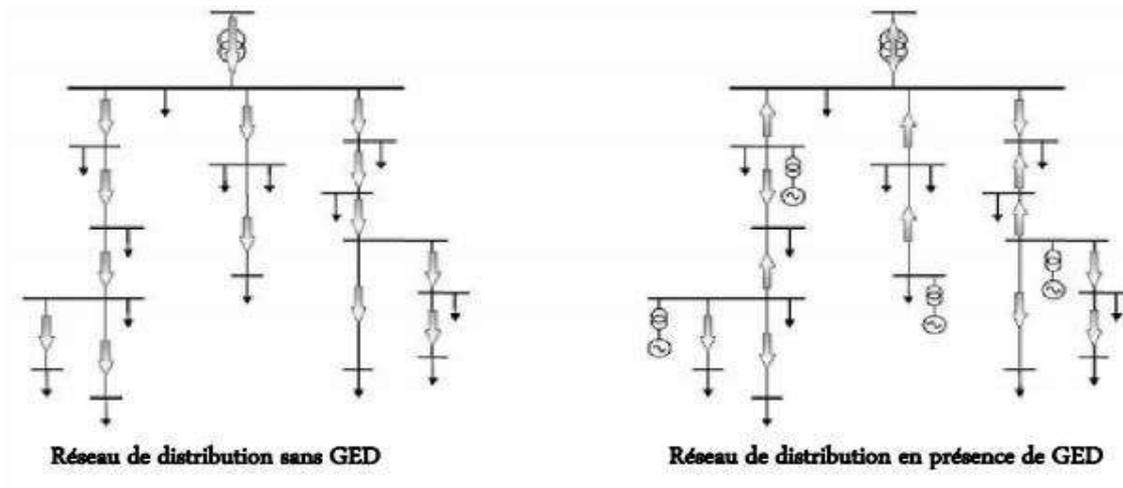
Les gestionnaires du réseau se préoccupent de ce type d'étude lors de la phase de planification ou de l'approbation d'un projet de raccordement des GED. Les principaux impacts à rappeler sont les suivants.

### **1.6.1. Impacts sur le sens de transit de puissance : [20]**

Les réseaux sont dimensionnés pour recevoir les flux d'énergie du réseau de transport vers la distribution. L'insertion des GED dans les niveaux de tension autres que le réseau de transport peut créer une injection de puissance dans le sens contraire, c'est-à-dire de la distribution vers le transport.

Les équipements, notamment les protections doivent alors être bidirectionnelles ainsi, sachant que les réseaux aux niveaux de tension inférieure sont normalement surdimensionnés afin de faire face à l'accroissement de consommation, on n'aura peut-être pas, à court terme, de problèmes liés à des limites de la capacité de transfert d'énergie ; mais à plus long terme, lorsque le taux de pénétration de GED augmentera, la modification du sens de transit de puissance pourra éventuellement provoquer des congestions locales.

La figure 1.8 illustre le sens de transit de puissance dans le réseau de distribution avant et après l'insertion des GED .



**Figure.1.8** : Sens de transit de puissance dans le réseau de distribution avant et après l'insertion des GED.

### 1.6.2. Impacts sur la stabilité du système : [20]

Les génératrices de production décentralisées peuvent être de type synchrone ou asynchrone. L'insertion de générateurs synchrones dans le réseau va changer le temps critique d'élimination de défaut (correspondant à la durée maximale d'une perturbation à laquelle le système peut résister sans perte de stabilité). Ceci influencera directement la limite de la stabilité dynamique du système en considération.

### 1.6.3. Impacts sur la qualité de service :

L'effet de l'intégration de GED sur la qualité de l'énergie concerne trois aspects majeurs :

- ❖ Les creux et l'élévation de la tension.
- ❖ Flicker.
- ❖ Harmoniques.

#### 1.6.3.1. Creux et élévation de la tension : [21]

La production décentralisée peut affecter la qualité de la tension d'alimentation de plusieurs façons. En connectant le GED à une ligne de distribution légèrement chargée, le flux de puissance peut être inversé et la tension au point de connexion commence à augmenter, cela signifie que la tension d'alimentation des clients connectés à proximité des unités GED commence à augmenter aussi. Cette augmentation de tension a un effet stationnaire et dépend

fortement du rapport  $X / R$  de la charge et de la puissance injectée par le GED. Cependant, la GED peut également avoir un effet transitoire sur le niveau de tension.

Une variation rapide du courant d'une unité GED cause une augmentation ou diminution soudaine du courant de la ligne et donc un effet sur la tension de cette dernière. Par exemple, lorsque le vent commence à souffler, la production d'éoliennes augmente rapidement jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur nominale. La variation rapide de la sortie d'éolienne change le flux de la puissance dans la ligne et peut occasionner un transitoire de la tension, une variation brusque de la puissance également se produisant dépasse une certaine limite supérieure, à ce stade l'éolienne se déconnecte afin de se protéger contre les surcharges et les forces mécaniques fortes. Cette déconnexion peut provoquer une augmentation du courant et par conséquent une chute de la tension d'alimentation.

### 1.6.3.2. Flicker : [22]

Le terme Flicker désigne les variations de tension de courte durée apparaissant dans le réseau électrique et risquant de provoquer le scintillement des ampoules électriques à incandescence. Ce phénomène peut surgir si l'unité de production d'énergie renouvelable est raccordée à un réseau ayant une faible puissance de court-circuit, les variations fréquentes de son énergie primaire causant alors des variations importantes de puissance. Ce phénomène est surtout observé pour les éoliennes à vitesse constante, car il n'existe pas de tampon entre l'énergie mécanique en entrée et l'énergie électrique injectée au réseau.

### 1.6.3.3. Harmoniques : [22]

Les harmoniques de tension et de courant sont toujours présents dans un réseau de distribution. Ils sont essentiellement provoqués par la présence de charges non linéaires et de convertisseurs de puissance. Ces harmoniques provoquent une surchauffe de l'équipement, un fonctionnement défectueux du système de protection, et des interférences dans les circuits de communication. Les dispositifs d'électronique de puissance utilisés pour optimiser la puissance extraite des unités de production d'énergie renouvelable (éoliennes à vitesse variables et panneaux photovoltaïques) présentent l'inconvénient d'être des sources d'harmoniques.

#### **1.6.4. Impacts sur l'observabilité et de contrôlabilité du système :**

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

#### **1.6.5. Impacts sur la continuité de service : [20]**

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

#### **1.6.6. Impact sur le plan de la protection : [7]**

La protection du réseau de distribution consiste normalement en un simple schéma de protection contre les surintensités, car il n'y a qu'une seule source d'alimentation et le flux de puissance est défini la connexion de GED au réseau de distribution conduit à de multiples sources du courant de défaut qui peuvent affecter la détection des perturbations.

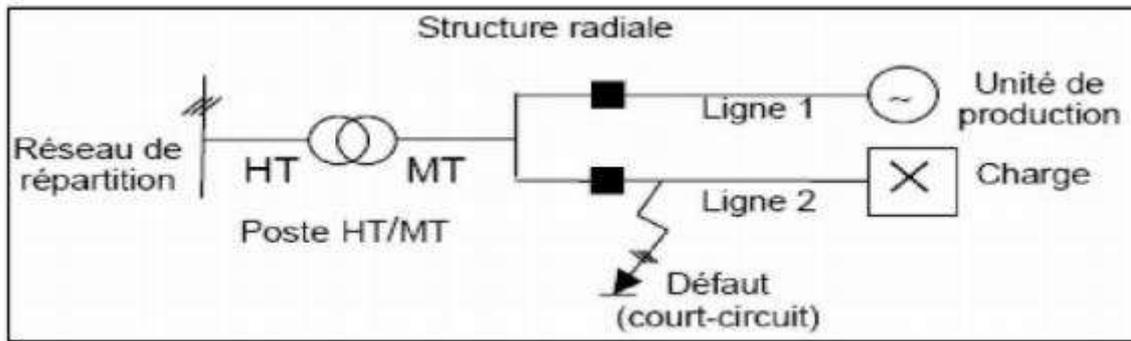
##### **1.6.6.1. Courant de court-circuit : [7]**

L'impact sur le courant de court-circuit est surtout dû aux fermes éoliennes qui suivant la technologie peuvent, en cas de défaut sur le réseau, alimenter et donc accroître le courant de court-circuit circulant dans le réseau. La contrainte ici est de ne dépasser ni les valeurs maximales admissibles pour les différents appareillages de réseaux et les conducteurs ni le pouvoir de coupure des organes de protection. Chaque appareil de coupure possède un pouvoir de fermeture et un pouvoir de coupure sur défaut, un dépassement des valeurs de dimensionnement de l'appareil de coupure a pour conséquence un risque de non-coupure de l'arc ou de non-fermeture du courant de défaut avec un fort risque de destruction de l'appareillage.

##### **1.6.6.2. Influence sur la sélectivité des protections : [22]**

La sélectivité des protections peut être affectée par l'introduction d'unités de production décentralisée dans le réseau de distribution dont la structure est de type radial. Pour illustrer cette influence, considérons le schéma de la figure 1.9 ci-après d'alimentation par une sous-station du réseau d'une charge par la liaison 2, et la connexion à la sous-station par la liaison 1 d'une unité de production décentralisée. Ces deux liaisons sont chacune protégées par un disjoncteur contre les surintensités comme c'est l'usage.

Dans cet exemple, la protection de la ligne 1 déconnecte inutilement l'unité de production lors d'un défaut sur la ligne 2, car le courant du générateur lors de ce défaut est supérieur au seuil de protection en cas de défaut sur la ligne 2. Les seuils de protection doivent donc être revus pour que seule la ligne en défaut soit déconnectée.

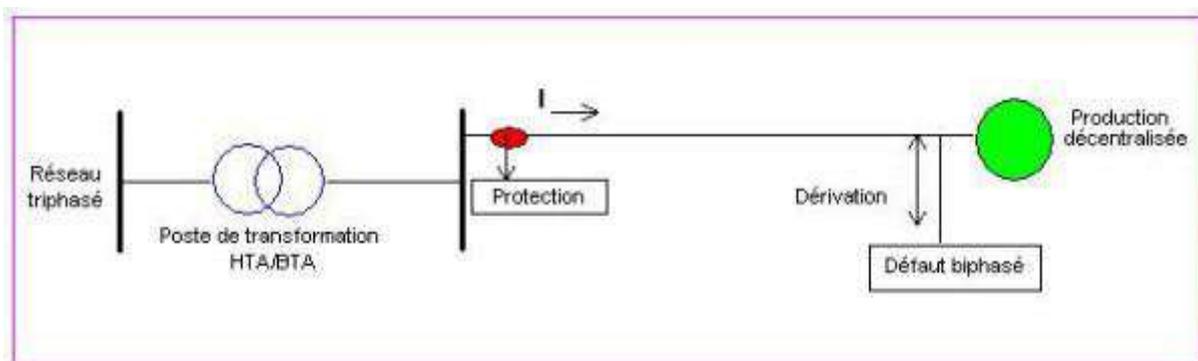


**Figure.1.9 :** Impact de DEG sur la sélectivité du défaut

Pour toute implantation d'une unité de production décentralisée dans le réseau de distribution, il faut impérativement vérifier la sélectivité des protections.

### 1.6.6.3. Aveuglement de la protection du départ en défaut : [20]

Lorsque la production décentralisée est loin du poste source HT/MT et qu'un défaut apparaît sur une dérivation proche de la centrale, il peut arriver que l'impédance de la ligne entre le poste source et le défaut devienne très importante devant l'impédance entre la centrale et le défaut ; on observe alors une diminution du courant de défaut injecté au niveau du poste source par rapport au cas où la centrale n'est pas en fonctionnement (Figure 1.10). Il peut donc arriver que la protection au niveau du poste source ne détecte plus dans un premier temps le défaut.



**Figure.1.10 :** Aveuglement de la protection du départ en défaut

Dans ce cas il faudra attendre que la centrale se déconnecte par les relais minimums de tension entre phases de sa protection de découplage pour que la protection au poste source retrouve sa sensibilité. L'élimination des défauts est donc retardée de la temporisation du relais à minimum de tension (1 à 1.5 s). Pour s'affranchir de ce problème, le raccordement du producteur sur un autre départ de caractéristique différente ou sur un départ dédié constitue la solution.

#### **1.6.6.4. Protection de découplage : [20]**

En cas de défaut sur la ligne à laquelle est raccordée une installation de production décentralisée, cette dernière doit impérativement se découpler automatiquement et rapidement pour ne pas maintenir le défaut sous tension. Cette fonction est assurée par la protection dite de découplage. Cette protection comporte généralement un ensemble de relais (relais homopolaire de tension, relais à saut de vecteur, etc.) et constitue un dispositif relativement complexe.

L'ouverture du disjoncteur au poste de départ provoque ainsi le découplage des unités de production décentralisée raccordées sur ce départ, ceci même en l'absence de défaut.

### **1.7. Conclusion :**

L'intégration de production décentralisée dans le réseau de distribution provoque de nombreuses modifications du comportement du réseau. Tout d'abord, les transits de puissance, le plan de tension et les courants de court-circuit sont modifiés. Ces modifications peuvent être bénéfiques pour le réseau mais également préjudiciables (augmentation des tensions et des courants de court-circuit).

Un des bénéfices de la production décentralisée est l'amélioration de profile de tension des réseaux. Donc l'objectif du chapitre suivant est l'élaboration d'un algorithme de calcul basé sur la technique d'optimisation par essaim de particule (PSO) et la méthode de l'écoulement de puissance BFS pour améliorer le profil de tension des réseaux.

# Chapitre 2

*Elaboration d'un algorithme  
de calcul optimal par PSO*

## 2.1. Introduction

L'optimisation peut être définie comme la science qui détermine la meilleure solution à certains problèmes mathématiquement définis, qui sont souvent des modèles de physique réels. L'optimisation est une technique qui permet de « quantifier » les compromis entre des critères parfois non commensurables. En fait, elle cherche à améliorer une performance en se rapprochant d'un point optimum. L'Optimisation par Essaim de Particules (**OEP**), connu sous le nom anglophone de Particle Swarm Optimization (**PSO**), est un algorithme inscrit dans la famille des algorithmes évolutionnaires. Il donne de bons résultats aux problèmes techniques et complexes.

Dans ce chapitre, nous présentons en détail le principe d'optimisation de l'essaim de particules (PSO), la méthode écoulement de puissance BFS, leurs algorithmes ainsi que la fonction objective à optimiser. Finalement, un algorithme de calcul est abordé à la fin du chapitre qui synthétise la méthode de calcul.

## 2.2. Présentation de l'algorithme PSO : [23-24-25]

L'Optimisation par Essaim de Particules est un algorithme évolutionnaire, proposé par Russel Eberhart (ingénieur en électricité) et James Kennedy (socio psychologue) en 1995. Cette méthode trouve sa source dans les observations faites lors des simulations informatiques de vols groupés d'oiseaux et de bancs de poissons de Reynold , Heppner & Grenander . Autrement-dit, elle s'inspire fortement de l'observation des relations grégaires d'oiseaux migrateurs, qui pour parcourir de « longues distances » (migration, quête de nourriture, parades aériennes, etc.), doivent optimiser leurs déplacements en termes d'énergie dépensée, de temps, etc. un exemple d'une formation en forme de V est présentée dans la figure 2.1.



**Figure 2.1 :** Volée d'Anser en formation en V.

Le déplacement de ses animaux en essaim est complexe, sa dynamique obéit à des règles et facteurs bien spécifiques qu'il s'agit de cerner :

- Chaque individu dispose d'une certaine intelligence limitée qui lui permet de prendre une décision.
- Chaque individu doit connaître sa position locale et disposer d'information locale de chaque individu se trouvant dans son voisinage.
- Obéir à ces trois règles simples, « rester proche des autres individus », « aller dans une même direction » ou « voler à la même vitesse ».

Tous ses facteurs et règles sont indispensables pour le maintien de la cohésion dans l'essaim, ceci par l'adoption d'un comportement collectif complexe et adaptatif.

### **2.3. Principe de la méthode PSO :** [26]

La population dans l'algorithme PSO est nommée essaim, chaque individu du groupe est dit particule. Le déplacement de toute particule (illustré par la figure 2.2) est régi par des règles et conditions bien spécifiques, influencé par le mouvement des autres particules du voisinage.

Dans un tel contexte ce déplacement a une signification et doit parallèlement répondre à une logique, fondement même du PSO, qui consiste à chercher un optimum dans un voisinage donné, Ce déplacement est influé par les trois composantes suivantes :

- **Une composante d'inertie :** la particule s'efforce de suivre instinctivement son cap de déplacement.
- **Une composante cognitive :** la particule fait tout pour se diriger vers la meilleure position rencontrée jusqu'à présent.

- **Une composante sociale** : la particule s'inspire de l'expérience du parcours des autres particules, pour se diriger vers la meilleure position rencontrée par ses voisines.

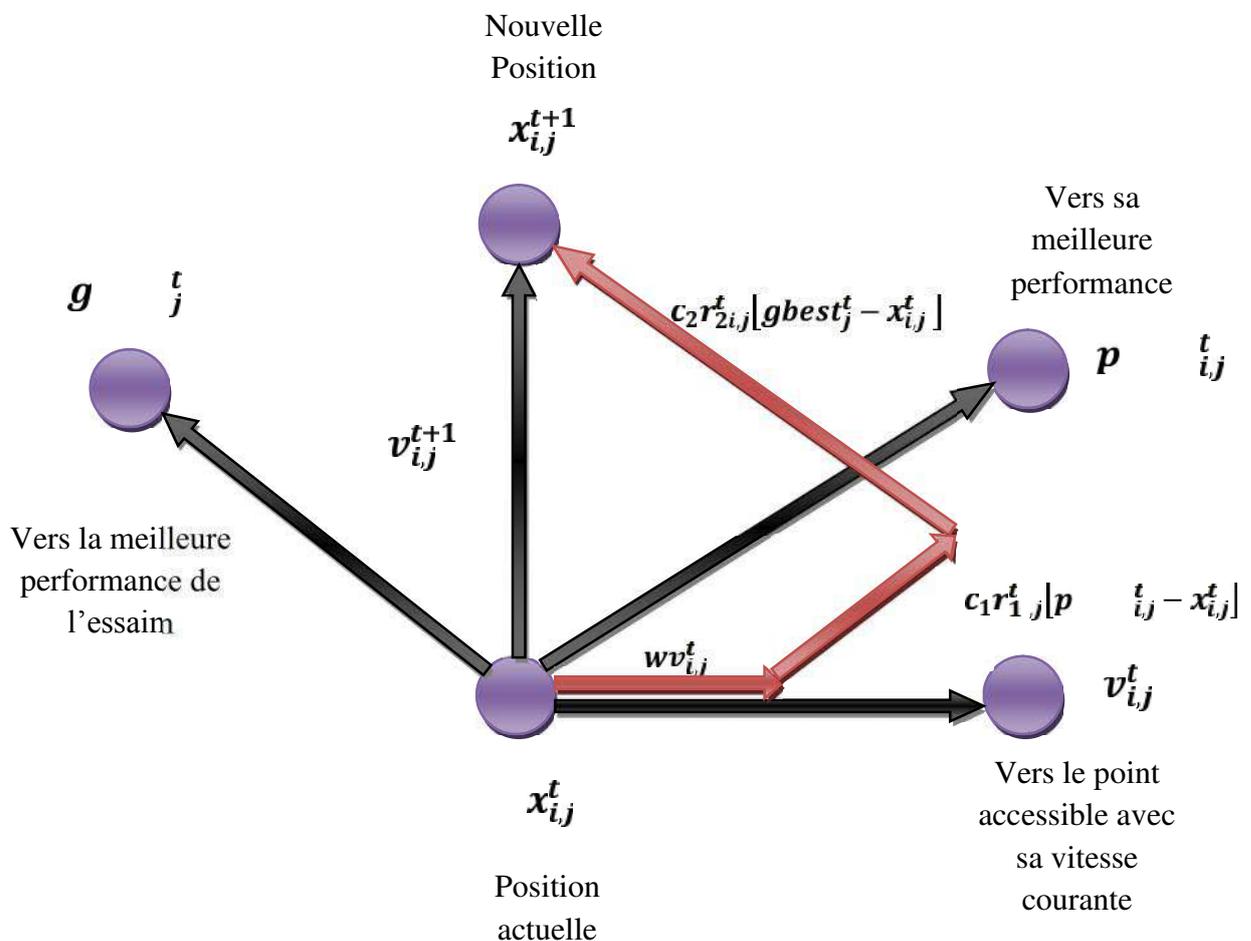


Figure 2.2 : Le principe de Déplacement d'une particule  $i$ .

A terme, on se rend compte que toutes les particules, après un certain nombre d'itérations, convergent vers une même position, qui est la meilleure rencontrée par l'ensemble des particules. Cela ne signifie pas pour autant, dans l'absolu, que c'est la meilleure position du voisinage, elle est juste la meilleure rencontrée.

#### 2.4.Algorithme de la méthode PSO : [27]

En réalité, il existe deux types d'algorithmes de PSO : le PSO discret, et le PSO continu, nous intéressons uniquement au PSO continu telle qu'elle est définie dans les travaux de Michel Gourgand et Sylvain Kemmoé Tchomté.

Dans l'espace de recherche de dimension  $D$ , une particule  $i$  de l'essaim est représentée par son vecteur position et par son vecteur vitesse ; formulés ainsi :

$$\vec{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$$

$$\vec{v}_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$$

L'appréciation de la qualité de sa position est évaluée par la valeur de la "fonction objective" en ce point. Il est indispensable que cette particule puisse mémoriser la meilleure position par laquelle elle est déjà passée, formulée comme suit :

$$\vec{P}b_{i,j} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$$

La meilleure position atteinte par les particules de l'essaim est formulée comme suit :

$$\vec{G}b_j = (g_1, g_2, \dots, g_D)$$

La notion de **Gbest** (global best), est calculée sur la version PSO Globale (PSOG) où toutes les particules de l'essaim sont issues de la particule *i*.

Au commencement de l'algorithme, les particules de l'essaim sont initialisées de manière aléatoire/régulière dans l'espace de recherche. Par la suite, à chaque itération, les particules se déplacent, en fusionnant les trois composantes citées ci-dessus.

- $w_{i,j}^t$  : représente la composante d'inertie du déplacement, où le paramètre  $w$  gère l'influence de la direction de déplacement sur le déplacement futur.
- $c_1 r_{1,j}^t [p_{i,j}^t - x_{i,j}^t]$  : représente la composante cognitive du déplacement, où le paramètre  $c_1$  gère le comportement cognitif de la particule.
- $c_2 r_{2,j}^t [g_j^t - x_{i,j}^t]$  : représente la composante sociale du déplacement où le paramètre  $c_2$  gère l'aptitude sociale de la particule.

La fusion de ces trois composantes nous permet d'abord de dégager la vitesse qui elle-même nous offre la possibilité de calculer la position de la particule.

Ces deux variables sont obtenues par l'utilisation de l'équation (2.1) et de l'équation (2.2), successivement comme suit :

$$v_{i,j}^{t+1} = w_{i,j}^t + c_1 r_{1,i,j}^t [p_{i,j}^t - x_{i,j}^t] + c_2 r_{2,i,j}^t [g_j^t - x_{i,j}^t], j \in \{1, 2, \dots, D\} \quad (2.1)$$

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t + v_{i,j}^{t+1}, j \in \{1, 2, \dots, D\} \quad (2.2)$$

$w$  est une constante, appelée coefficient/pourcentage d'inertie.

- $c_1, c_2$  sont deux constantes, appelées coefficients/pourcentage d'accélération.
- $r_1, r_2$  sont deux nombres aléatoires tirés uniformément dans  $[0, 1]$ , et ce à chaque itération  $t$  et pour chaque dimension  $j$ .

A la fin du déplacement des particules dans une itération donnée, les nouvelles positions sont évaluées et les deux vecteurs  $\vec{P}b_i$  et  $Gbest$  sont réindexés, conformément aux deux équations (2.3) et (2.4).

$$\vec{P}b_i(t+1) = \begin{cases} \vec{P}b_i(t), & \text{si } f(\vec{x}_i(t+1)) \geq \vec{P}b_i(t) \\ \vec{x}_i(t+1), & \text{sinon} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\vec{G}b_j(t) = m_{\vec{P}b_i} f(\vec{P}b_i(t+1)), \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.4)$$

La figure 2.2 illustre le principe de déplacement d'une particule  $i$ .

Les étapes suivantes représentent l'Algorithme de PSO, où  $N$  représente le nombre de particules de l'essaim

- 1-Initialiser aléatoirement  $N$  particules : position et vitesse.
- 2-Evaluer les positions des particules.
- 3-Pour chaque particule  $i$ ,  $\vec{P}b_i = \vec{x}_i$
- 4-Calculer  $\vec{G}b_j$  selon (2.4)
- 5-Tant que le critère d'arrêt n'est pas satisfait faire
  - 6-Déplacer les particules selon (2.1) et (2.2)
  - 7-Evaluer les positions des particules
  - 8-Mettre à jour  $\vec{P}b_i$  et  $\vec{G}b_j$  selon (2.3) et (2.4)
- 9-fin

## 2.5. Description problème d'optimisation considéré :

Pour améliorer le profil de tension du réseau, nous intéressons à l'indice de sensibilité de tension (VSI) qui donne une indication directe du jeu de barre le plus sensible en tension, Le nœud caractérisé par une valeur de VSI plus faible sera choisi comme le meilleur emplacement de GED. Notre fonction objective est donc l'indice de sensibilité de tension (VSI) qui est calculé à partir de l'équation suivante :

$$V_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{n-1} (1-V_k)^2}{n}} \quad (2.5)$$

Où  $V_k$  est la tension de nœud  $k$ ,  $n$  est le nombre de nœuds et  $i$  le nœud candidat.

Les tensions  $V_k$  sont calculées lors de l'écoulement de puissance du réseau de distribution par la méthode de BFS pour chaque jeu de barre candidat.

### 2.5.1. Ecoulement de puissance par la méthode BFS : [28]

Cette méthode comprend deux étapes : le balayage vers l'arrière et le balayage vers l'avant. Dans le balayage vers l'arrière, la tension et les courants sont calculés en utilisant la loi de Kirchhoff de tensions et loi de Kirchhoff de courant à partir du nœud le plus éloigné du nœud source. Dans le balayage vers l'avant, la tension aval est calculée à partir du nœud source. Les données d'entrée de cet algorithme sont données par des données orientées par nœud. Les données de base requises sont des puissances actives et réactives, la nomenclature des nœuds d'émission et de réception et un modèle d'impédance de séquence positive pour toutes les branches.

#### 2.5.1.1 Formulation de la matrice BIBC :

Le réseau de distribution radiale illustré à la Figure 2.3 peut être utilisé comme exemple. Les puissances injectées peuvent être converties en courants équivalents injectés  $I_i$ .

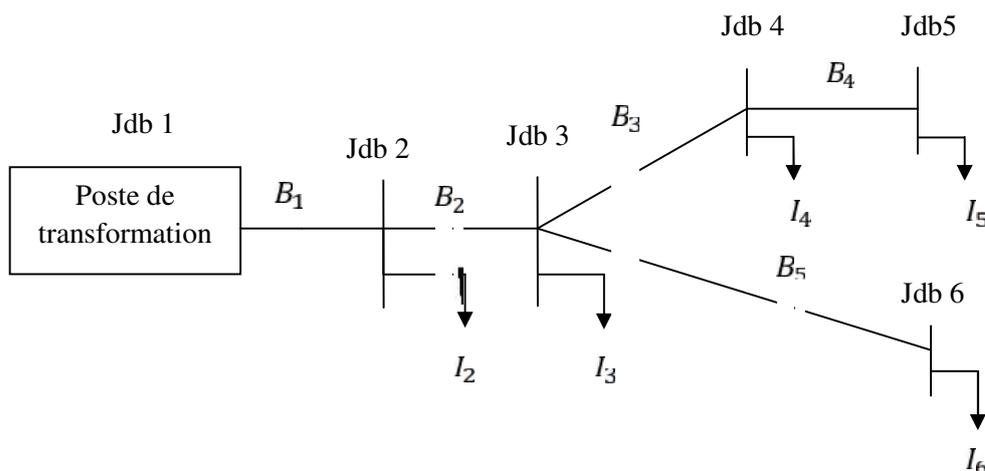


Figure 2.3 : Exemple de système de distribution radiale.

Un ensemble d'équations peut être écrit en appliquant la loi de Kirchhoff à ce réseau de distribution. Ensuite, les courants des branches peuvent être formulés en fonction des courants équivalents injectés. Par exemple, les courants des branches  $B_5, B_3$  et  $B_1$  peuvent être exprimés comme suit:

$$\begin{aligned} B_5 &= I_6 \\ B_3 &= I_4 + I_5 \\ B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \end{aligned} \tag{2.6}$$

En outre, la matrice BIBC peut être obtenue comme :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \tag{2.7}$$

### Algorithme pour la formation de la matrice de BIBC [28]

Étape (1) : Créer une matrice nulle de dimension  $m * (n-1)$

Où,

$m$  : nombre de branches.

$n$  : nombre de Jdb.

Étape (2) : Si une section de ligne ( $B_k$ ) est située entre le bus  $i$  et le bus  $j$ , copier le colonne du  $i^{ém}$  bus de la matrice BIBC à la colonne du  $j^{ém}$  bus et remplir un +1 dans la position de la  $k^{iém}$  ligne et de la  $j^{iém}$  colonne de bus.

Étape (3) : Répéter l'étape (2) jusqu'à ce que toutes les sections de ligne soient incluses dans la matrice BIBC.

#### 2.5.1.2. Formulation de la matrice BCBV : [29]

La matrice BCBV est responsable des relations entre les branches courants et tensions de Jdb. La variation correspondante des tensions de Jdb, qui est générés par la variation des courants de branche, peuvent être trouvés directement en utilisant la matrice BCBV

$$V_2 = V_1 - B_1 Z_1 \tag{2.8}$$

$$V_3 = V_2 - B_2 Z_2 \tag{2.9}$$

$$V_4 = V_3 - B_3 Z_3 \tag{2.10}$$

En utilisant l'équation (2.8) et l'équation (2.9), la tension du Jdb 4 peut être réécrite comme :

$$V_4 = V_1 - B_1 Z_1 - B_2 Z_2 - B_3 Z_3 \tag{2.11}$$

À partir de l'équation (2.11), on peut voir que la tension du Jdb peut être exprimée en fonction des courants de branche, des paramètres de ligne et de la tension de la sous-station de même .Les procédures peuvent être utilisées pour les autres Jdb, et la matrice BCBV peut être donnée comme :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_1 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 & 0 & 0 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 & 0 \\ Z_1 & Z_2 & 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

### Algorithme pour la formation de la matrice BCBV [28]

Étape (1) : Créer une matrice nulle de dimension (n-1) \* m

m : nombre de branches

n : nombre de Jdb

Étape (2) : Si une section de ligne (B<sub>k</sub>) est située entre le Jdb i et le Jdb j, copier la rangée du  $i^{iém}$  Jdb de la matrice BCBV à la rangée du  $j^{iém}$  Jdb et remplir par l'impédance de ligne ( $Z_i$ ) dans la position de la  $j^{iém}$  rangée de Jdb et de la  $k^{iém}$  colonne.

Étape (3) : Répéter l'étape (2) jusqu'à ce que toutes les sections de ligne soient incluses dans la matrice BCBV ou aura donc :

$$[\Delta V] = [B \quad ] [B] \quad (2.13)$$

#### 2.5.1.3. Algorithme de BFS modifié :

1<sup>ère</sup> Etape : Lire les données du réseau

2<sup>ème</sup> Etape : Modifier la puissance du  $i^{iém}$  JDB (JDB candidat) comme suit :

$$S(i) = S'(i) - SGED(i) \times (FP + j\sqrt{1 - F^2}) \quad (2.14)$$

S(i) : Nouvelle puissance du  $i^{iém}$  JDB

S'(i): Ancienne puissance du  $i^{iém}$  JDB

SGED(i) : Puissance de GED au  $i^{iém}$  JDB

FP : Facteur de puissance de GED.

avec  $j = \sqrt{-1}$

3<sup>ème</sup> Etape : Initialiser la tension de tous les jeux de barres à 1 pu

4<sup>ème</sup> Etape : Détermination des matrices [BIBC]et [BCBV].

**5<sup>ème</sup> Etape :** Calculer les courants injectés  $[I^{(k)}]$  en appliquant l'équation suivante :

$$I_i^{(k)} = \left( \frac{P_i + j I_i}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (2.15)$$

**6<sup>ème</sup> Etape :** Calculer les courants traversant les branches en appliquant l'équation suivante :

$$[B^{(k)}] = [B \quad ] [I^{(k)}] \quad (2.16)$$

$$[B^{(k+1)}] = V_{1+} [B \quad ] [I^{(k)}] \quad (2.17)$$

**7<sup>ème</sup> Etape :** Calculer les nouvelles tensions (modules et phases) au niveau de tous les jeux de barres en appliquant l'équation (2.17).

**8<sup>ème</sup> Etape :** Une fois le test de convergence est vérifié, les valeurs des tensions de la dernière itération sont retenues, et on calcule l'indice de sensibilité de tension (VSI) de Jdb candidat i selon le l'équation (2.5).

Sinon retourner à l'étape 5

## 2.6. Organigramme de l'algorithme de calcul optimal :

Pour chaque taux de Pénétration Maximum (TPM) du GED et pour chaque nœud candidat, on applique l'algorithme de PSO, Donc en fixe (n-1) valeurs optimales (pour chaque nœud) , La valeur minimale de toute les valeurs retrouvées l'emplacement idéal du GED est la valeur optimale de réseau et le leur nœud est nœud meilleur.

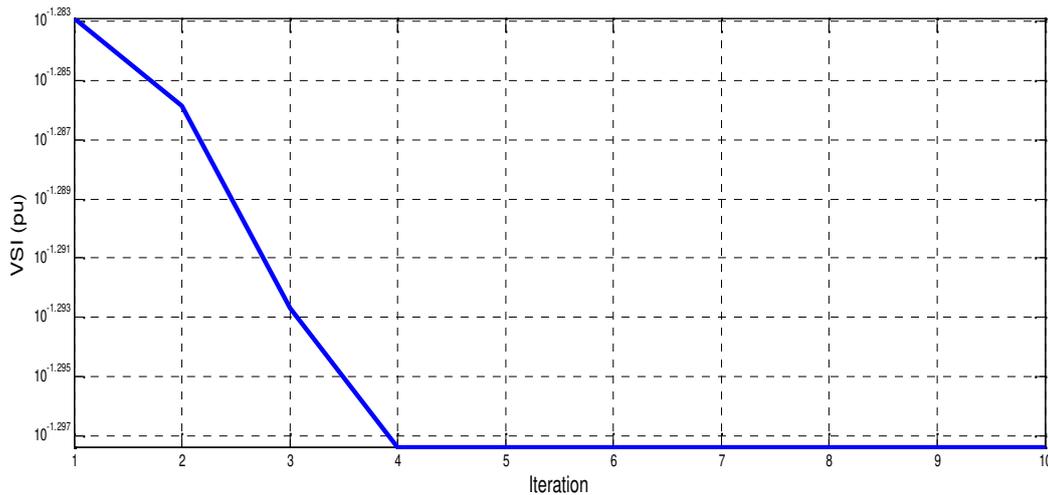
### 2.6.1. Paramètres du PSO :

Les paramètres du PSO utilisés dans notre problème sont représentés sur le tableau suivant :

Tableau 2.1 : Valeurs des paramètres du PSO de notre problème.

Paramètre	Nombre de particules	Nombre d'itérations	C1	C2	W
Valeur	05	10	1.4962	1.4962	0.7298

Après la simulation de l'algorithme par Logiciel «Matlab» sur le simulation de l'algorithme de calcul établi sous «Matlab» sur le réseau de distribution de N'goussa, on obtenu les résultats suivants :



**Figure 2.4 :** Convergence de la fonction objective «VSI » pour le réseau de distribution de N° goussa.

La figure 2.4. représente la variation de la fonction objective de PSO (VSI) en fonction du nombre d'itération. On remarque que la convergence de PSO à la l'optimum globale est obtenue avant la 10ième itération, cela prouve la puissance de la méthode PSO pour la minimisation de notre problème.

### 2.6.2. Contraintes :

Les contraintes de notre problème est :

$$0 < (i) < TPM$$

Où:

$$TP(i) = \frac{S_G(i)}{S_T} \quad ; \quad \text{Taux de pénétration de Jdb}(i)$$

$$TPM = \frac{S_G^m}{S_T} \quad ; \quad \text{Taux de pénétration maximum.}$$

$S_{Totale}$ : Puissance totale de réseau.

$S_{GED}(i)$ : Puissance de GED au Jdb(i).

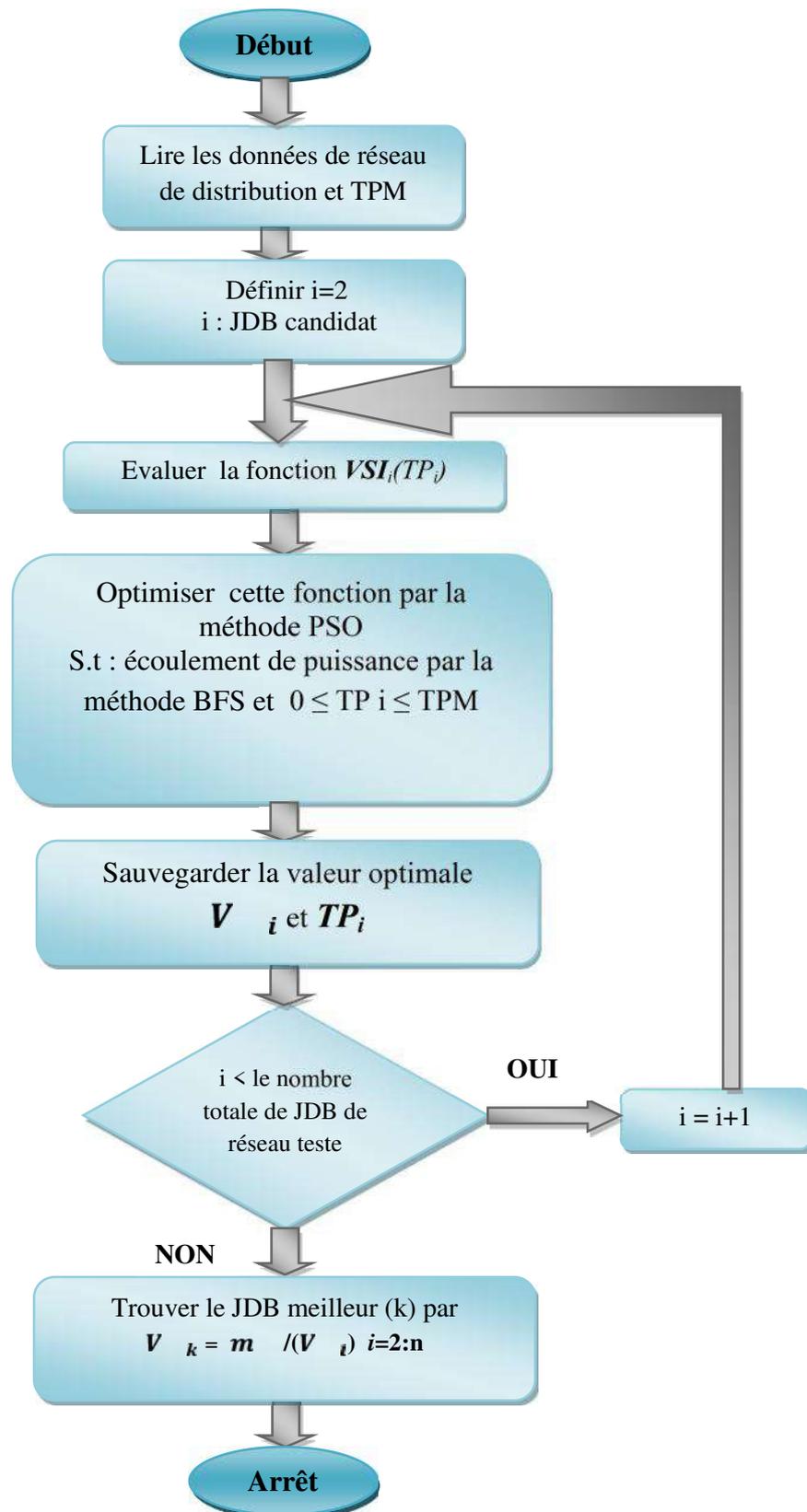


Figure 2.5 : Algorithme de calcul optimal.

**2.7. Conclusion :**

La méthode (PSO) est inspirée du monde des animaux (espèces d'oiseaux). Depuis sa création, cette méthode a rencontré un franc succès, en raison de sa simplicité et de son efficacité sur, une vaste gamme de problèmes, sans toutefois que l'utilisateur ait à modifier la structure de base de l'algorithme.

Dans ce chapitre, l'algorithme d'optimisation par la méthode PSO d'une fonction objective VSI est présenté. Cette fonction objective est calculée par la méthode d'écoulement de puissance de réseau de distribution BFS.

Dans le chapitre suivant, nous allons appliquer cet algorithme pour améliorer le profil de tension du réseau de N'goussa.

# Chapitre 3

*Résultat et interprétation*

### 3.1. Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de déterminer l'emplacement et la taille optimale du GED dans les réseaux de distribution pour améliorer le profil de tension.

Des calculs de l'algorithme représenté au chapitre 2 sur le logiciel de «Matlab» seront effectués pour améliorer le profil de tension du réseau de distribution de N'goussa (464 JDB) et pour deux valeurs du facteur de puissance de GED (1 et 0,9).

Une comparaison entre le profile de tension avant l'insertion et après l'insertion de GED sera faite dans ce chapitre.

### 3.2. Résultats et interprétations :

Nous appliquons notre programme sur le réseau de distribution de N'gaussa qui possède une chute de tension de presque de 20%.

Afin de confirmer le choix du JDB candidat, des résultats seront représentés par deux facteurs de puissance  $FP = 1$  et  $FP = 0,9$  et pour différents valeurs du taux de pénétration.

### 3.3. Réseau de distribution de N'goussa (464 JDB) :

Les caractéristiques du réseau de distribution de N'goussa sont données au tableau suivant :

**Tableaux.3.1.** Les caractéristiques du réseau de distribution de N'goussa

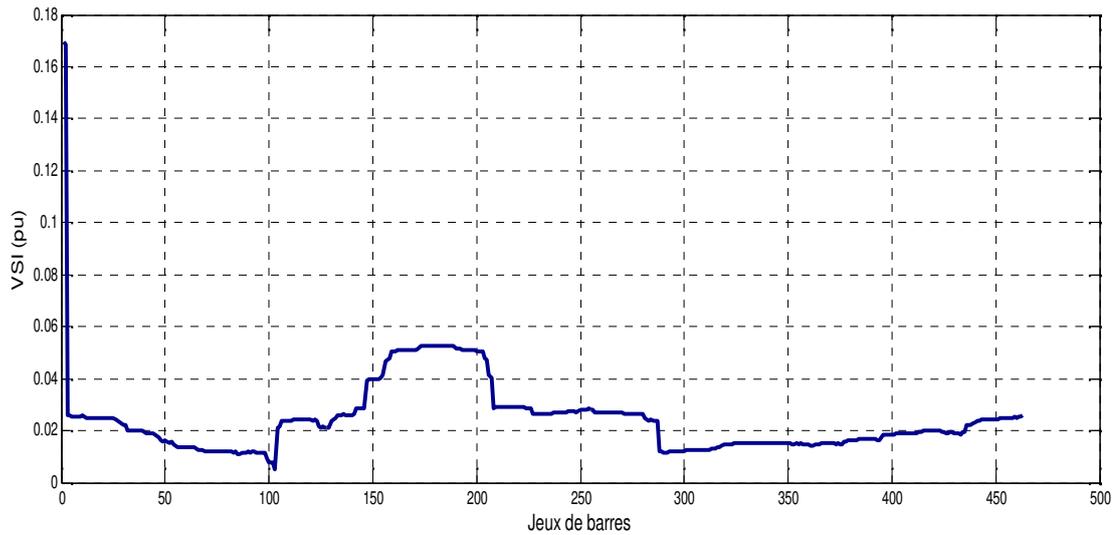
Nombre de jeux de barres	Nombre de branches	Jeu de barre de référence N°	Tension nominale (kV)	Puissance totale (kVA)	Les pertes actives sans GED (kW)	Chute de tension maximale
464	463	1	30	5517.3	809.2	20.74%

Les données de ce réseau sont présentées au annexe A.

### 3.4. Facteur de puissance égal à 1 (FP=1) :

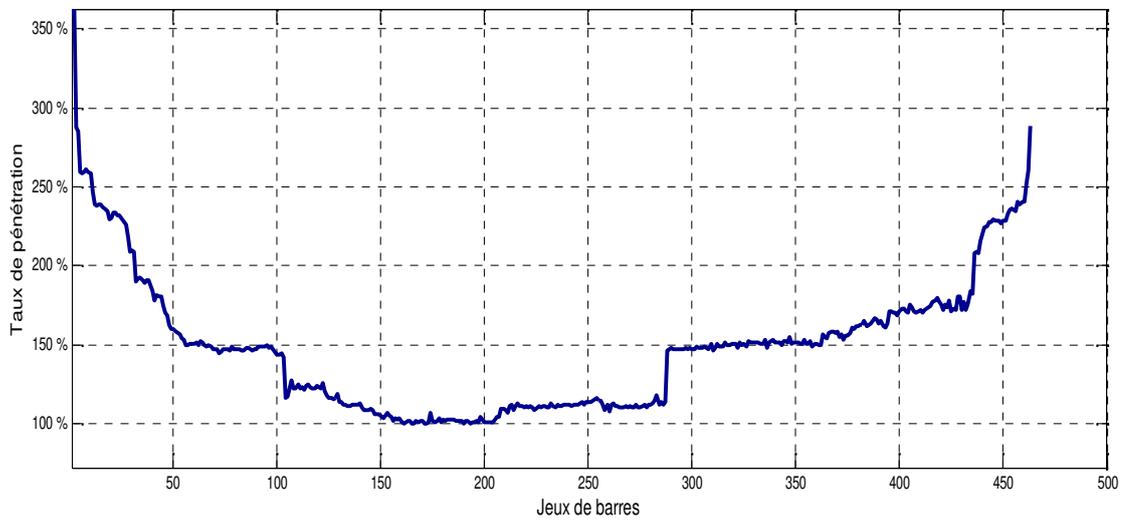
Pour déterminer la valeur optimale de GED de chaque Jdb de réseau de distribution de N'goussa (464 JDB), on va augmenter le taux de pénétration maximum (TPM) jusqu'à 400% pour avoir un grand espace de recherche pour la méthode d'optimisation PSO

Après la simulation de l'algorithme de calcul établi sous «Matlab» sur le réseau de distribution de N'goussa, on obtient les résultats suivants :



**Figure.3.1 :** Valeurs optimales de VSI des Jdb après l’application de l’algorithme PSO pour facteur de puissance égale 1 (FP=1)

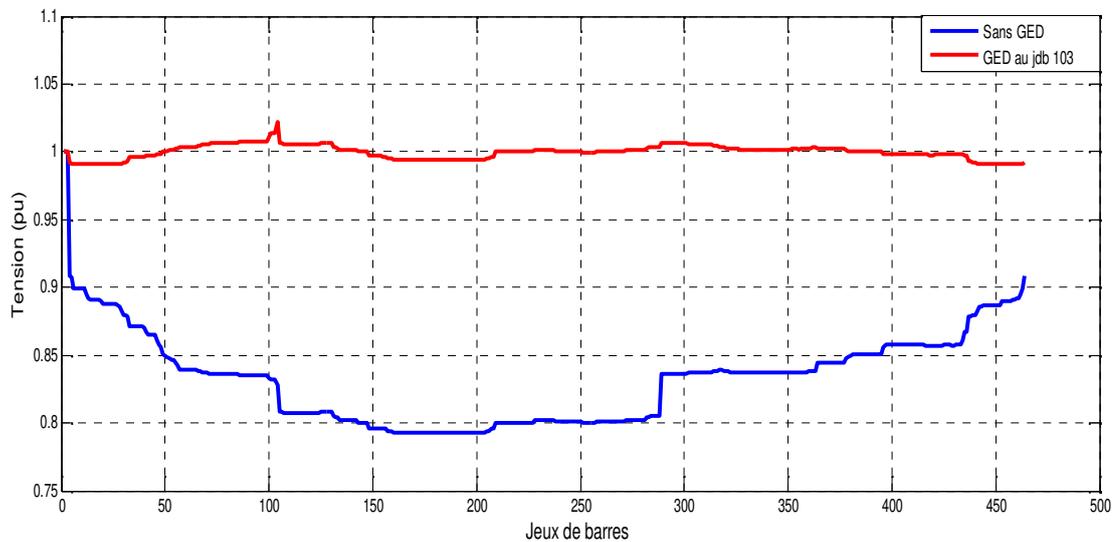
La figure 3.1. représente les valeurs optimales de VSI pour chaque Jdb. On remarque que la meilleure valeur optimale de VSI (valeur minimale) est situé dans le jeu de barre 103 avec une valeur de 0.005105 pu.



**Figure.3.2 :** Taux de pénétration optimale des Jdb pour FP=1

La figure 3.2. représente les taux de pénétration optimale pour chaque Jdb. On remarque que tous les taux de pénétration optimale sont supérieur à 100.1% (taux de pénétration optimale de jdb 161 avec un VSI=0.05056 pu), et on remarque aussi que le jeu de barre 103 donne un taux de pénétration optimale de 142.1%.

La figure suivante représente le profil de tension de réseau avant et après l'intégration de GED au jdb 103 avec un taux de pénétration optimale de 142.1%.



**Figure.3.3** : Profil de tension du réseau avant et après l'intégration de GED au jdb 103 avec un TP optimale et FP=1.

Notant qu'après l'intégration de GED avec un taux de pénétration optimale de 142.1% dans le jdb 103, une amélioration conséquente du profile de tension sur tout les jdb avec une chute de tension maximale inférieur à 0.94%.

A travers ces résultats, nous notons que cette solution est impossible réellement car le taux de pénétration optimal du GED est supérieur à 100% et dans ce cas une partie la puissance du GED retourne à la source.

### 3.4.1. Variation de taux de pénétration :

Dans cette partie, on doit varier le taux de pénétration maximale pour avoir leur effet sur le VSI. Les valeurs de TPM retenus sont 10, 20,30...100%.

La figure 3.4. représente la variation de VSI pour plusieurs valeurs de TPM avec un facteur de puissance égal à 1. On remarque que pour tout les jdb, chaque fois qu'on augmente la valeur de TPM la valeur de VSI diminue. On remarque aussi que pour des TPM inférieurs à 50% la meilleure valeur de VSI se trouve entre le jdb 146 et 208, et pour TPM supérieur à 50% la meilleur valeur de VSI se trouve entre le jdb 102 et 146 et entre le jdb 209 et 288.

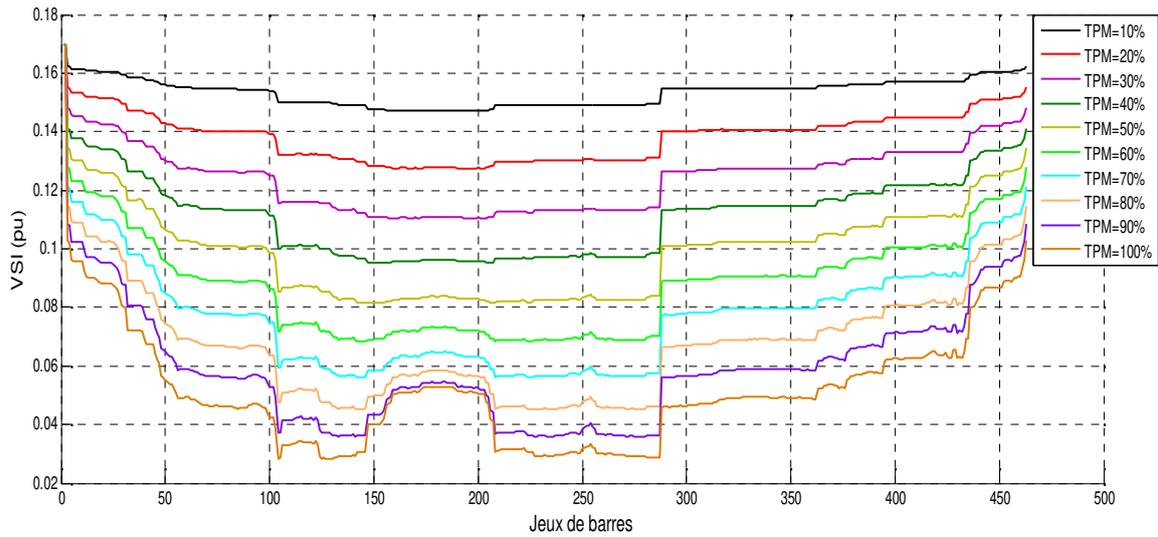


Figure.3.4 : Résultat de variation de VSI pour plusieurs valeurs de TPM avec un FP= 1

A partir des résultats de la figure.3.4, on divise le réseau sur 3 zones comme le montre la figure ci-dessous:

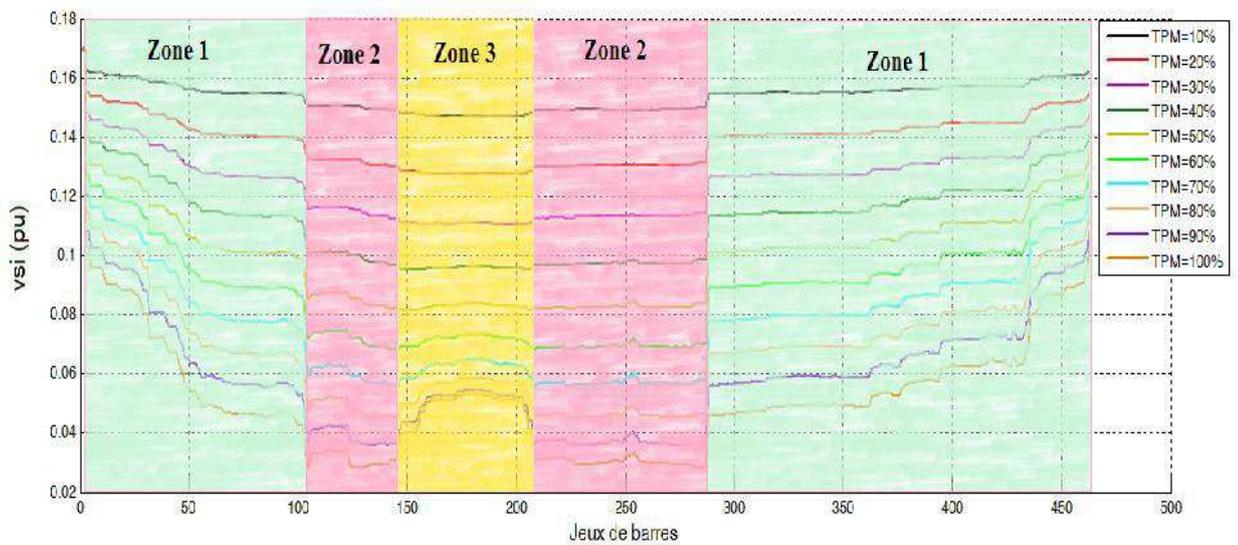


Figure.3.5 : Représentation des zones du réseau selon l'indice VSI

Pour représenter les résultats, on va sélectionner un seul jdb de chaque zone pour l'intégration de GED comme suivant :

**Zone 1** représenté par le jdb 300

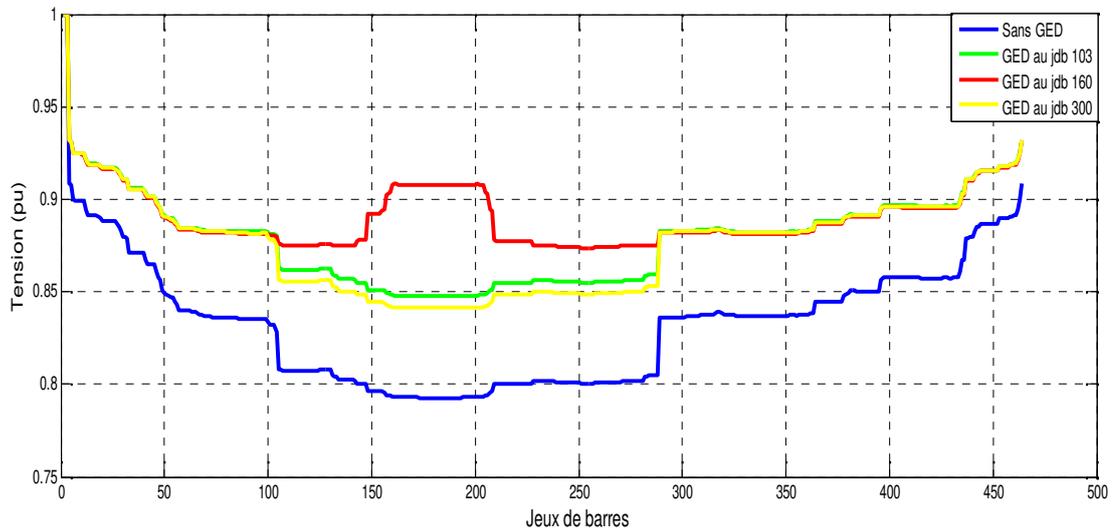
**Zone 2** représenté par le jdb 103

**Zone 3** représenté par le jdb 160

### 3.4.2. Profil de tension dans les différentes zones :

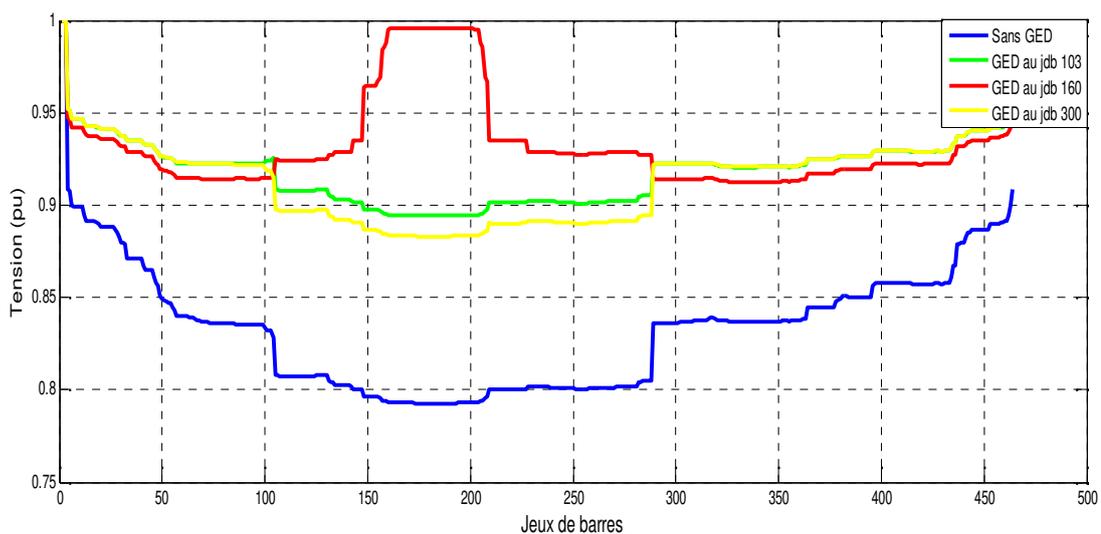
Dans cette partie, le GED est placé dans les jdb sélectionnés (jdb300, jdb103, jdb160) et le taux de pénétration maximum TPM est varié à chaque fois (TPM=30,60 et 90%) afin de comparer le profil de tension.

**-TPM=30% :**

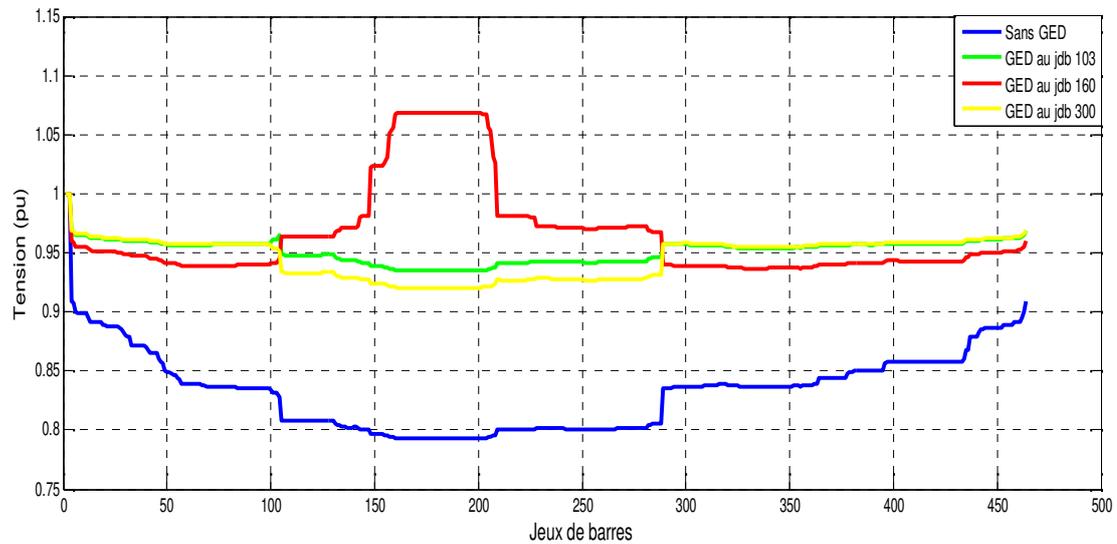


**Figure.3.6 :** Profil de tension avant et après l’insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=30% et FP=1

**-TPM 60% :**



**Figure.3.7 :** Profil de tension avant et après l’insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=60% et FP=1

**-TPM 90% :**

**Figure.3.8** : Profil de tension avant et après l'insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=90% et FP=1

Les figures 3.6, 3.7 et 3.8 représentent les profils de tension avant et après l'insertion de GED dans les trois zones (Jdb 103 et 160 et 300) avec des taux de pénétration maximums de TPM=30%, 60%.et 90% respectivement. Notant qu'après l'intégration de GED, on observe une amélioration de la chute de tension pour les trois cas.

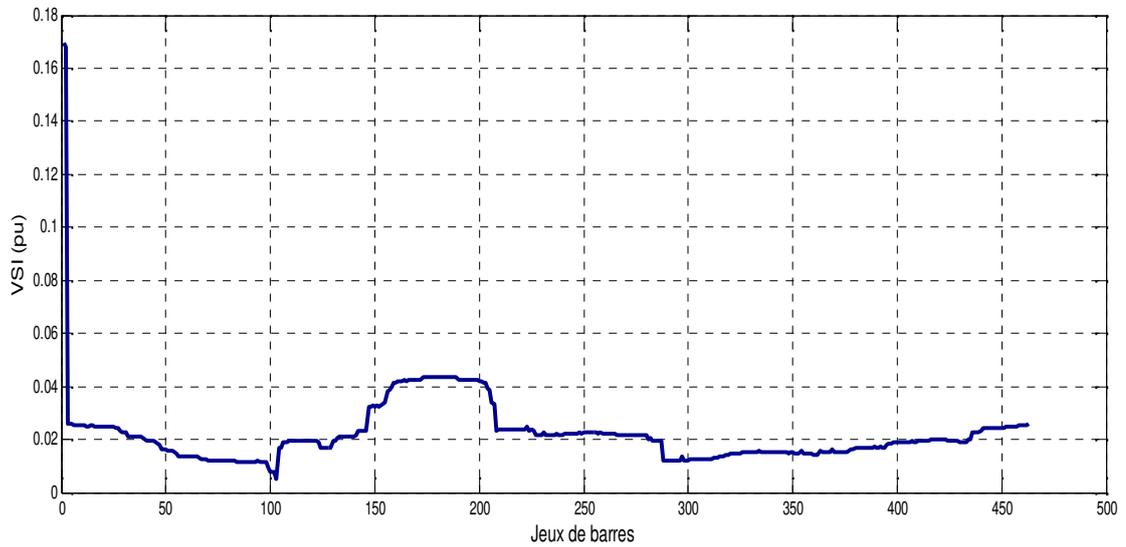
Pour la figure 3.6, les chutes de tension maximales dans les trois cas sont respectivement 15.24%, 12.66% et 15.88%, donc le meilleur profil de tension est celui de la zone 3 (GED au jdb 160) avec un VSI =0.1105pu

On remarque d'après la figure.3.7 que le meilleur profil de tension est obtenu par l'insertion de GED dans la zone 3 (GED au jdb 160) avec une chute de tension 8.74% et avec un VSI de 0.07162pu. Et pour les zones 1 et 2, on remarque que leurs profils sont presque similaires avec des VSI de 0.08919pu et de 0.08382pu respectivement.

D'après la figure.3.8, on observe une augmentation de niveau de tension au voisinage de jdb candidat dans la zone 3. Le meilleur profil de tension est obtenu par la zone 2 (GED au jdb 103) avec une chute de tension de 6.31% avec un VSI de 0.04938 pu.

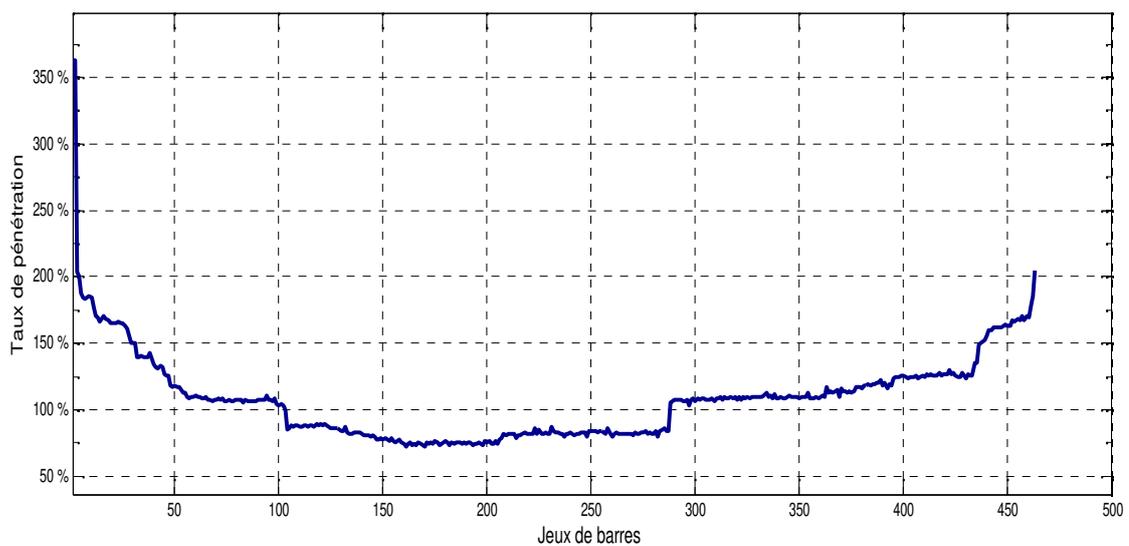
**3.5. Facteur de puissance égal de 0.9 (FP=0.9) :**

Pour bien comparer entre les résultats, on répète les mêmes démarches pour le facteur de puissance 0.9.



**Figure.3.9 :** Valeurs optimales de VSI des Jdb après l’application de l’algorithme PSO pour FP=0.9

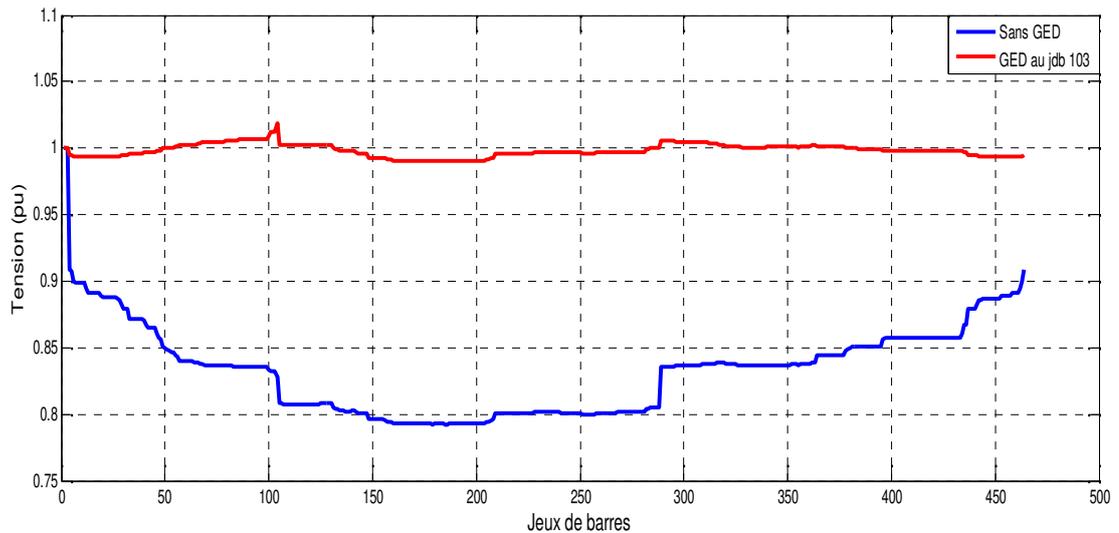
La figure 3.9. représente les valeurs optimales de VSI pour chaque Jdb par l’application de l’algorithme PSO. On remarque que la meilleure valeur optimale (la valeur minimale de VSI) est celle de jdb 103 (VSI de Jdb103=0.004943 avec un taux de pénétration optimale 99.56%)



**Figure.3.10 :** Taux de pénétrations optimales aux chaque Jdb pour FP = 0.9

La figure 3.10. représente les tailles optimales de GED dans chaque Jdb après l'application de l'algorithme PSO pour facteur de puissance égal à 0.9. On remarque que la valeur minimale de taux de pénétration de GED est située dans le jdb 161 avec un taux de pénétration optimale 71.90%.

La figure suivant représenter le profile de tension de réseau avant et après l'intégration de GED sure le jdb 103 avec un taux de pénétration optimale 99.56%



**Figure.3.11** : Profile de tension de réseau avant et après l'intégration de GED au jdb 103 avec un taux de pénétration optimale 99.56% et FP=0.9

Notant qu'après l'intégration de GED avec un taux de pénétration optimale 99.56% au jdb 103 une amélioration excellente de la profile de tension sur tout le jdb avec une chute de tension plus faible (0.99%).

A travers ce résultat, nous notons que cette solution est possible car il la puissance optimale de GED est inférieur à 100% et dans ce cas la puissance de GED ne retourner pas à la source.

### 3.5.1. Variation de taux de pénétration :

Comme la partie 1 (fp=1), on va sélectionner les zones par la variation de TPM.

La figure 3.12. Représente le profile de tension de réseau après l'injection de plusieurs valeurs de TPM avec un facteur de puissance égal à 0.9

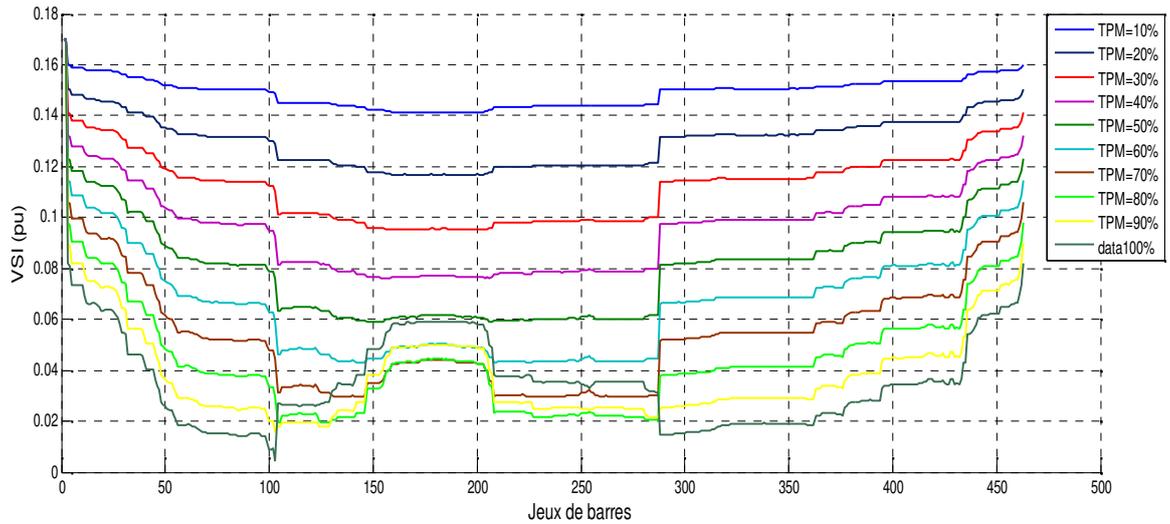


Figure.3.12 : Résultat à variation de VSI pour plusieurs valeurs de TPM avec un FP=0.9

A partir de la figure.3.12, on peut garder les mêmes zones que le premier cas et les mêmes jdb candidats.

On peut sélectionner les bonnes zones selon le taux de pénétration comme :

- Zone 3 pour des taux de pénétration inférieur à 50%
- Zone 2 pour des taux de pénétration entre 50 et 90%
- Zone 1 pour des taux de pénétration supérieur à 90%

Le jdb 103 reste le jdb meilleur pour des taux de pénétration supérieur à 70%.

Par la suite, On garde les mêmes zones que le premier cas et les mêmes jdb candidats

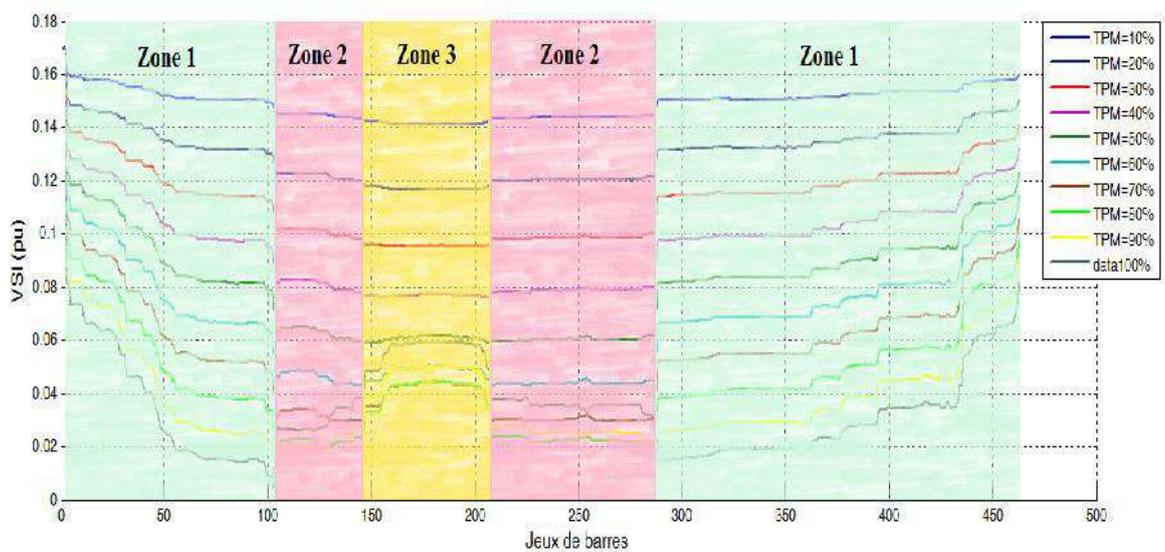


Figure.3.13 : Représentation les zones dans le réseau

3.5.2. Profil de tension dans déférant zones :

-TPM=30% :

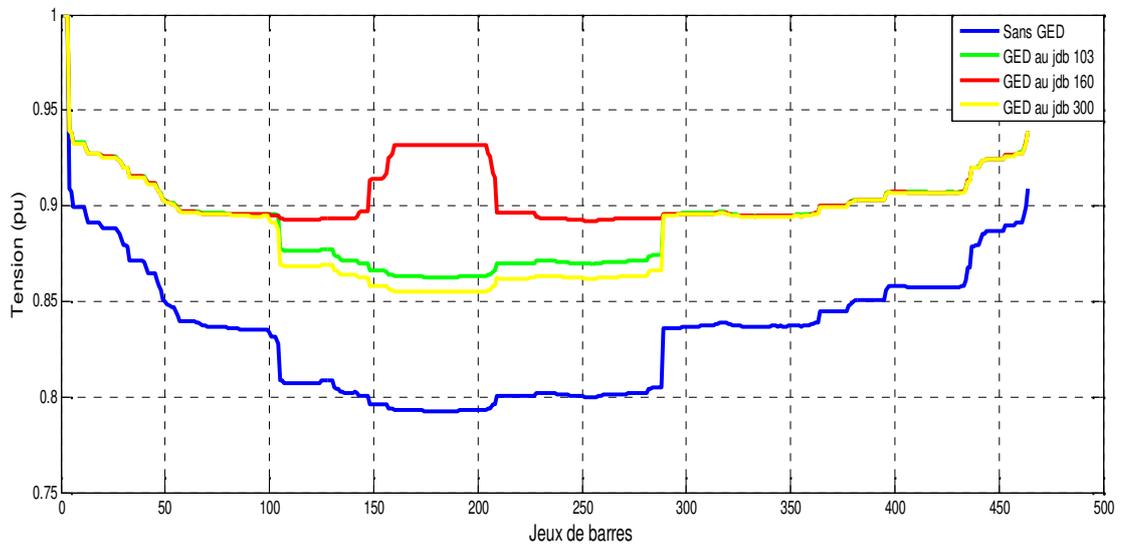


Figure.3.14 : Profil de tension avant et après l’insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=30% et FP=0.9

-TPM=60% :

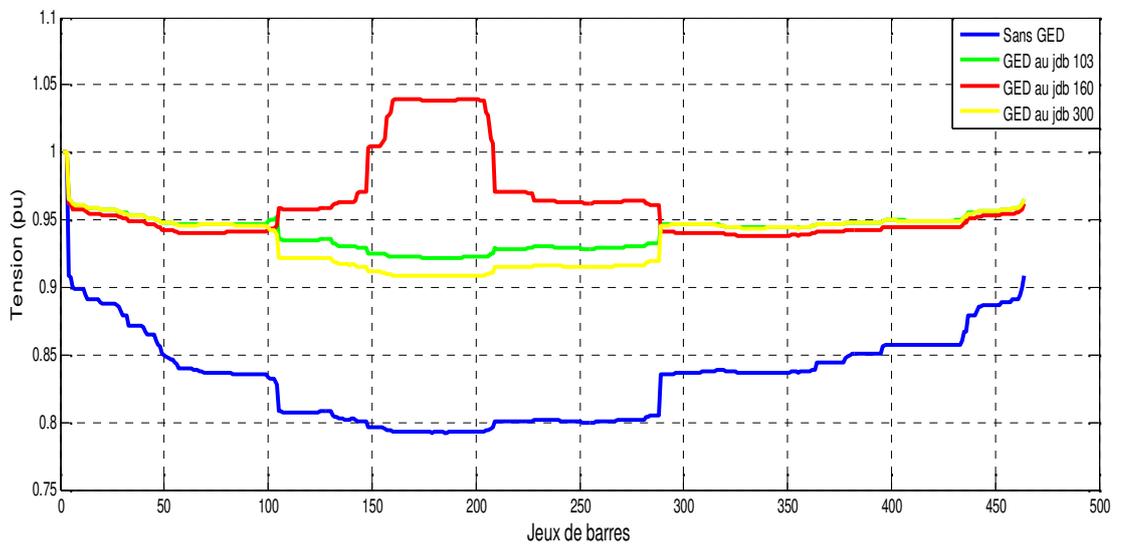
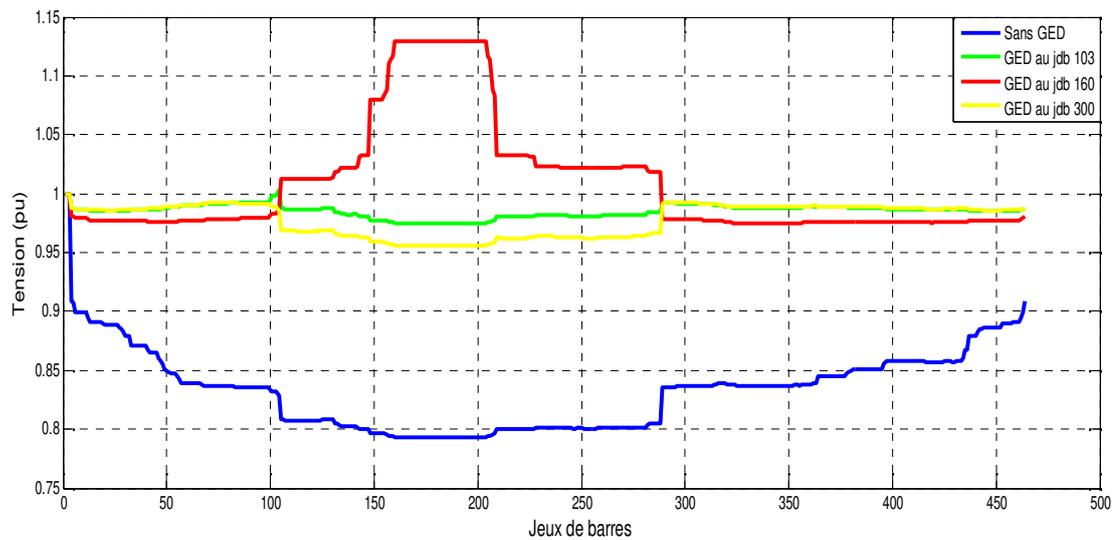


Figure.3.15 : Profil de tension avant et après l’insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=60% et FP=0.9

**-TPM=90% :**



**Figure.3.16 :** Profile de tension avant et après l'insertion de GED aux Jdb (103, 160,300) avec TPM=90% et FP=0.9

La figure 3.14, 3.15 et 3.16 représentent les profils de tension avant et après l'insertion de GED dans les trois zones (Jdb 103 et 160 et 300) avec des taux de pénétration maximum =30, 60 et 90%. Notant qu'après l'intégration de GED une amélioration de chute de tension pour tous les cas.

Pour TPM 30%, les chute de tension maximale dans les trois cas sont respectivement 13.74%, 10.79% et 14.53%, donc la meilleure profile de tension est celle de la zone 3 (GED au jdb 160) avec un VSI =0.09532 pu.

Et pour TPM=60%, les chute de tension maximale dans les trois cas sont respectivement 7.8%, 6.17% et 9.17%, donc la meilleure profile de tension est celle de la zone 3 (GED au jdb 160) avec un VSI =0.04872 pu

Et pour TPM=90%, le profile de tension meilleur est celle de la zone 2 avec une chute de tension 2.55% et on observe une surtension Jusqu'à 13% au voisinage de jdb candidat pour l'insertion

### 3.6. Comparaissant entre le résultat FP=0.9 et FP unitaire :

Pour bien comparer entre les résultats, on peut regrouper les résultats dans le tableau suivant :

**Tableau 3.2** : Comparaissant entre le résultat FP=0.9 et FP unitaire

FP	TPM 30%		TPM 60%		TPM 90%	
	Zone sélectionnée	VSI min	Zone sélectionnée	VSI min	Zone sélectionnée	VSI min
<b>1</b>	3	0.1105	3	0.07162	2	0.04938
<b>0.9</b>	3	0.0953	3	0.04882	2	0.01559

On remarque que si :

- le TPM augmente le VSI diminue.
- Les VSI de FP 0.9 sont inférieurs à ceux de FP 1.

### 3.7. Conclusion :

Dans ce travail, nous avons présenté une étude de l'emplacement et la taille optimale de GED par la méthode d'optimisation PSO, Cette méthode est programmée sur MATLAB, et appliqué sur le réseau de N'goussa (464 jeux de barres).

L'étude est réalisée sur deux types de GED qui sont : GED de facteur de puissance unitaire et GED opérant à un facteur de puissance 0,9 en retard, en variant le taux de pénétration maximum de GED (espace de recherche), La méthode PSO donne la taille optimale de GED pour améliorer le profil de tension de chaque JDB.

On peut conclure que :

- L'injection de puissance de GED dans le réseau électrique améliorer le profil de tension.
- Le meilleur emplacement du GED dépend de taux de pénétration et il est généralement aux Jdb terminaux.
- Le profil de tension avec un GED de FP =0,9 en retard est meilleur par rapport à celui GED a facteur de puissance unitaire, puisque le GED fonctionnant avec un facteur de puissance retardé fournit une puissance réactive au réseau , donc il fonctionne comme un compensateur.
- Un taux de pénétration élevé génère des sur tension aux voisinages les Jdb candidat.

## Conclusion générale :

La technologie de la production décentralisée d'énergie électrique elle n'est plus uniquement limitée à fournir de l'énergie dans les zones difficiles d'accès, elle permet de répondre à des besoins très divers, et couvre à ce titre une large plage de puissances et des nombreuses solutions des problèmes, un de ces problèmes est la faiblesse de le profile de tension dans les réseaux de distribution. Pour résoudre ce problème par la production décentralisée nous devons étudier à la fois l'emplacement et la taille de GED optimale.

Dans le premier chapitre nous avons abordé d'une manière très brève les réseaux de distribution et leurs fonctionnements et la production décentralisée et les différentes technologies de production décentralisée.

Le deuxième chapitre c'est explique l'algorithme de calcul basé sur la méthode d'optimisation PSO et la méthode l'écoulement de puissance BFS.

Pour finaliser cette étude, nous avons traduisis notre l'algorithme de calcul par un programme sur «MATLAB» puis nous avons appliqués sur le réseau de distribution de N'goussa. Le but principal est de déterminé l'emplacement optimale et la puissance optimale de GED en fonction de la valeur TPM pour améliore le profile de tension.

Comme nous avons vu auparavant ; le choix du meilleur emplacement de GED pour amélioration le profile de tension se faite selon deux critères, à savoir, VSI et le taux de pénétration. Et nous avons combiné entre les deux critères cités au-dessus pour déterminer le meilleur emplacement, donc on peut conclure que :

- l'emplacement meilleur de GED ce trouve généralement au voisinage des JDB terminaux
- le raccordement de GED avec un facteur de puissance 0.9 en retard améliore le profile de tension par rapport à un GED de facteur de puissance unitaire.
- L'emplacement mielleux dépend de taux de pénétration maximal
- Si le TPM augmente les le profile de tension améliore.
- Un taux de pénétration très élevé peut provoquer une surtension dans le réseau.

Finalement, on donne comme perspectives de ce travail l'insertion de plusieurs GED aux différents JDB.

## ***Bibliographie***

- [1] KETFI Nadhir, « Contribution à la gestion des réseaux de distribution en présence de génération d'énergie dispersée ».mémoire de magister .Université de Batna, 06 / 12 / 2014.
- [2] J.F.CANARD, « Impact de la génération d'énergie dispersée dans les réseaux de distribution », Thèse de doctorat de l'INPG, Décembre 2000.
- [3] G. RAMI, « Contrôle de tension auto adaptatif pour des productions décentralisées d'énergies connectées au réseau électrique de distribution », Thèse de doctorat de l'INPG, 09 novembre 2006
- [4] O. RICHARDOT, « Réglage Coordonné de Tension dans les Réseaux de Distribution à l'aide de la Production Décentralisée », Thèse de doctorat de l'INPG, 10 Octobre 2006.
- [5] N. Lahaçani AOUZELLAG, « Contribution à l'Amélioration de la Flexibilité dans les Réseaux Electriques liée à l'Intégration des Générateurs Eoliens », Thèse de doctorat de l'université A.MIRA de Bejaïa, 03 Novembre 2011.
- [6] M.JACOBPatrick, « Distribution de l'énergie», ac-aix-marsoille.fr, avril 2014
- [7] Foued KOUADRA « Etude Des Variations Rapides De Tension Pour Le Raccordement D'une Production Décentralisée Dans Un Réseau Mt », mémoire de Magistère en Electrotechnique de l'université Constantine, Algérie 2009.
- [8] « \_Arrêté du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation de production d'énergie électrique », Journal Officiel de la République Française, Avril 2008.
- [9] T. Thu Pham « influence de la production décentralisée sur la gestion des infrastructures critiques des réseaux de puissance » thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, 2006.
- [10] Paliwal P, Patidar NP, Nema R K .Planning of grid integrated distributed generators: a review of technology, objectives and techniques. Renew Sus- tain Energy Rev2014 ; 40:557–70.
- [11] Khurmi R, Sedh.R. Materials science.S.Chand ; 2008.
- [12] Puttgen HB, Mac Gregor PR, Lambert FC. Distributed generation: semantic hype or the dawn of a new era IEEE Trans Power Energy Manage 2003, 1(1):22–9.
- [13] Blaabjerg F, Teodorescu R, Liserre M, Timbus AV. Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems. IEEE Trans Ind Electron October 2006; 53(5):1398–409.
- [14] Freitas Walmir, Vieira Jose CM, Morelato Andre. Influence of excitation system control modes on the allowable penetration level of distributed synchronous generators. IEEE Trans Energy Convers 2005; 20(2):474–80.

- [15] Pankita Mehta, Praghnes Bhatt, Vive k Pandya Optimal selection of distributed generating units and its placement for voltage stability enhancement and energy loss minimization, Ain Shams University Ain Shams Engineering Journal Received 31 July 2015; revised 24 October 2015; accepted 31 October 2015, [www.elsevier.com/locate/asej](http://www.elsevier.com/locate/asej)
- [16] Murty V, Kumar A. Optimal placement of DG in radial distribution systems based on new voltage stability index under load growth .Int J Electr Power Energy Syst2015;69:246–56. [26] Tan W-S, Hassan MY, Majid MS, Rahman HA .Optimal distributed renewable generation planning a review of different approaches .Renew Sustain Energy Rev2013; 18:626–45.
- [17] Khamis.A, Sharee fH, Bizkevelci E, Khatib T.A review of islanding detection techniques for renewable distributed generation systems.Renew Sustain.Energy Rev2013;28:483–93.
- [18] Short TA. Electric power distribution hand book. CR C press; 2014.
- [19] Gopalan SA, Sreeram V, Iu HHC .A review of coordination strategies and protection schemes for microgrids .Renew Sustain Energy Rev2014;32:222–8.
- [20] Mme NAAMA BAKHTA, LA PRODUCTION DECENTRALISEE, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran-Mohamed Boudiaf-faculté de génie électrique département d'électrotechnique, 2016 /2017.
- [21] Coster, Edward J. « Integration issues of distributed generation in distribution grids Proceedings of the IEEE, 99.1: 28-39. 2011.
- [22] Herman Bayem « Apport des méthodes probabilistes aux études d'intégration des énergies Renouvelables aux systèmes électriques ». Thèse de doctorat. Université Paris Sud - Paris XI.20
- [23] J. Kennedy and R. C. Eberhart. "Particle Swarm Optimization". In : Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks IV, pp. 1942–1948, Perth, Australia, November 1995.
- [24] Craig W. Reynolds. "Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. Computer Graphics", 21(4): 25–34, 1987.
- [25] F. Heppner and U. Grenander. A stochastic nonlinear odel for coordinated bird flocks. AAAS Publication, Washington, DC, 1990.
- [26] Y. Cooren, "Perfectionnement d'un algorithme adaptatif d'optimisation par essaim particulaire - applications en génie médical et en électronique," Thèse de Doctorat de l'Université Paris 12, Val de Marne, 2008.
- [27] GOURGAND et KEMMOE, Particle Swarm Optimization: A study of particle displacement for solving continuous and combinatorial optimization problems, 2009.
- [28] <http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/50970/5/chapter%202>.

## Annexes

Donnes du réseau de distribution de N'goussa (464 jdb) dans les tableaux A.1.et A2

La tension de base est égale à 30 kV, la puissance de base est égale 100 MVA .

Tableau. A.1 : Données du réseau de distribution de N'goussa (464 jdb)

N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
1	1	2	0,00189	0,00067	37	34	38	0,01916	0,007
2	2	3	0,00397	0,00389	38	34	39	0,04024	0,0147
3	3	4	0,99167	0,97222	39	33	40	0,00555	0,00544
4	4	5	0,01087	0,01066	40	40	41	0,04284	0,042
5	5	6	0,08965	0,08789	41	41	42	0,0353	0,03461
6	6	7	0,00357	0,0035	42	42	43	0,00245	0,00089
7	7	8	0,00745	0,00272	43	43	44	0,00255	0,00093
8	8	9	0,00221	0,00078	44	43	45	0,00085	0,00031
9	8	10	0,00745	0,00272	45	42	46	0,05514	0,05406
10	10	11	0,002	0,00067	46	46	47	0,03927	0,0385
11	7	12	0,04919	0,04822	47	47	48	0,02777	0,02722
12	12	13	0,03614	0,03543	48	48	49	0,07933	0,07778
13	13	14	0,00357	0,0035	49	49	50	0,01309	0,01283
14	14	15	0,00319	0,00117	50	50	51	0,01309	0,01283
15	15	16	0,01299	0,00474	51	51	52	0,01621	0,00941
16	16	17	0,00095	0,00033	52	52	53	0,01621	0,00941
17	14	18	0,00389	0,00381	53	53	54	0,00139	0,00136
18	18	19	0,01535	0,01505	54	54	55	0,03269	0,03204
19	19	20	0,01468	0,01439	55	55	56	0,02856	0,028
20	20	21	0,01416	0,00517	56	56	57	0,0478	0,04686
21	21	22	0,00789	0,00278	57	57	58	0,03193	0,01167
22	22	23	0,01139	0,00401	58	58	59	0,01597	0,00583
23	21	24	0,02129	0,00778	59	59	60	0,00532	0,00194
24	21	25	0,00353	0,00124	60	59	61	0,01597	0,00583
25	20	26	0,00309	0,00303	61	58	62	0,0397	0,01451
26	26	27	0,01785	0,0175	62	57	63	0,00278	0,00272
27	27	28	0,01785	0,0175	63	63	64	0,00317	0,00311
28	28	29	0,03451	0,03383	64	64	65	0,00595	0,00583
29	29	30	0,05163	0,01886	65	65	66	0,00595	0,00583
30	30	31	0,00532	0,00194	66	66	67	0,01785	0,0175
31	31	32	0,00532	0,00194	67	67	68	0,0119	0,01167
32	32	33	0,13838	0,05056	68	68	69	0,00595	0,00583
33	33	34	0,01277	0,00467	69	69	70	0,00595	0,00583
34	34	35	0,00617	0,00226	70	70	71	0,00575	0,00564
35	35	36	0,00617	0,00226	71	71	72	0,00218	0,00214
36	35	37	0,00316	0,00111	72	72	73	0,00258	0,00253

N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
73	73	74	0,00958	0,0035	116	113	117	0,0119	0,01167
74	74	75	0,00284	0,001	117	117	118	0,00111	0,00109
75	74	76	0,00958	0,0035	118	118	119	0,00852	0,00311
76	73	77	0,00079	0,00078	119	118	120	0,00111	0,00109
77	77	78	0,00079	0,00078	120	117	121	0,05642	0,02061
78	78	79	0,00238	0,00233	121	112	122	0,00397	0,00389
79	79	80	0,00238	0,00233	122	111	123	0,18777	0,0686
80	80	81	0,00128	0,00047	123	110	124	0,00106	0,00039
81	82	83	0,00159	0,00156	124	106	125	0,0958	0,035
82	80	82	0,00198	0,00194	125	105	126	0,00101	0,00058
83	83	84	0,00357	0,0035	126	126	127	0,0479	0,0175
84	84	85	0,00476	0,00467	127	126	128	0,00101	0,00058
85	85	86	0,0119	0,01167	128	128	129	0,00021	7,78e-05
86	86	87	0,00319	0,00117	129	128	130	0,00101	0,00058
87	87	88	0,02129	0,00778	130	130	131	0,14573	0,08458
88	88	89	0,02203	0,00805	131	131	132	0,02211	0,01283
89	89	90	0,01064	0,00389	132	132	133	0,02211	0,01283
90	90	91	0,10048	0,03671	133	133	134	0,07504	0,04356
91	91	92	0,0298	0,01089	134	134	135	0,02412	0,014
92	92	93	0,00745	0,00272	135	135	136	0,00905	0,00525
93	93	94	0,00394	0,00144	136	136	137	0,00905	0,00525
94	93	95	0,00745	0,00272	137	137	138	0,00126	0,00044
95	92	96	0,00319	0,00117	138	137	139	0,01809	0,0105
96	90	97	0,02129	0,00778	139	136	140	0,00284	0,001
97	89	98	0,0066	0,00241	140	135	141	0,11709	0,04278
98	88	99	0,01064	0,00389	141	134	142	0,0268	0,01556
99	86	100	0,06129	0,06008	142	142	143	0,20852	0,07618
100	100	101	0,06129	0,06008	143	143	144	0,01075	0,00393
101	101	102	0,01206	0,007	144	144	145	0,00201	0,00117
102	102	103	0,00595	0,00583	145	145	146	0,00201	0,00117
103	101	104	0,15001	0,08707	146	146	147	0,00235	0,00136
104	104	105	0,78859	0,45772	147	147	148	0,98524	0,57186
105	105	106	0,04154	0,02411	148	148	149	0,01776	0,01031
106	106	107	0,43633	0,42778	149	149	150	0,00958	0,0035
107	107	108	0,00139	0,00136	150	150	151	0,00958	0,0035
108	108	109	0,00099	0,00097	151	151	152	0,00958	0,0035
109	109	110	0,00793	0,00778	152	151	153	0,00958	0,0035
110	110	111	0,00912	0,00894	153	150	154	0,00958	0,0035
111	111	112	0,0119	0,01167	154	149	155	0,0737	0,04278
112	112	113	0,03499	0,0343	155	155	156	0,09146	0,05308
113	113	114	0,04494	0,04406	156	156	157	0,469	0,27222
114	114	115	0,04151	0,01517	157	157	158	0,06387	0,02333
115	114	116	0,04494	0,04406	158	158	159	0,05796	0,03364

N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
159	159	160	0,25058	0,14544	202	202	203	0,02129	0,00778
160	160	161	0,01709	0,00992	203	202	204	0,00532	0,00194
161	161	162	0,01709	0,00992	204	159	205	0,01064	0,00389
162	162	163	0,02618	0,02567	205	158	206	0,03832	0,014
163	163	164	0,15967	0,05833	206	156	207	0,01064	0,00389
164	164	165	0,00639	0,00233	207	155	208	0,05322	0,01944
165	164	166	0,01916	0,007	208	144	209	0,0149	0,00544
166	163	167	0,02618	0,02567	209	209	210	0,10644	0,03889
167	167	168	0,00238	0,00233	210	210	211	0,02342	0,00856
168	168	169	0,05322	0,01944	211	211	212	0,02129	0,00778
169	169	170	0,0248	0,00906	212	212	213	0,00373	0,00136
170	169	171	0,08154	0,02979	213	212	214	0,00926	0,00338
171	168	172	0,00238	0,00233	214	211	215	0,02342	0,00856
172	172	173	0,04942	0,04846	215	215	216	0,01064	0,00389
173	173	174	0,2593	0,09473	216	216	217	0,01064	0,00389
174	174	175	0,00737	0,00428	217	217	218	0,00798	0,00292
175	175	176	0,00737	0,00428	218	218	219	0,00798	0,00292
176	176	177	0,0526	0,03053	219	218	220	0,01277	0,00467
177	177	178	0,02037	0,01182	220	217	221	0,01448	0,00529
178	178	179	0,06613	0,03838	221	216	222	0,0644	0,02353
179	178	180	0,01064	0,00389	222	215	223	0,12199	0,04457
180	177	181	0,00852	0,00311	223	210	224	0,00958	0,0035
181	181	182	0,00532	0,00194	224	143	225	0,00181	0,00066
182	182	183	0,00532	0,00194	225	225	226	0,00577	0,00203
183	183	184	0,0298	0,01089	226	226	227	0,01029	0,00362
184	183	185	0,10283	0,03757	227	142	228	0,00134	0,00078
185	182	186	0,02289	0,00836	228	228	229	0,00134	0,00078
186	176	187	0,00351	0,00128	229	229	230	0,03087	0,01128
187	176	188	0,02768	0,01011	230	230	231	0,00224	0,00082
188	175	189	0,00639	0,00233	231	231	232	0,00063	0,00022
189	174	190	0,00532	0,00194	232	230	233	0,03087	0,01128
190	173	191	0,04258	0,01556	233	229	234	0,00302	0,00175
191	191	192	0,00319	0,00117	234	234	235	0,00302	0,00175
192	191	193	0,02129	0,00778	235	235	236	0,00302	0,00175
193	172	194	0,00852	0,00311	236	236	237	0,00302	0,00175
194	194	195	0,02129	0,00778	237	237	238	0,0402	0,02333
195	195	196	0,00319	0,00117	238	238	239	0,00804	0,00467
196	195	197	0,04577	0,01672	239	239	240	0,0067	0,00389
197	195	198	0,02129	0,00778	240	240	241	0,01474	0,00856
198	167	199	0,01064	0,00389	241	241	242	0,02948	0,01711
199	167	200	0,033	0,01206	242	242	243	0,02948	0,01711
200	161	201	0,11709	0,04278	243	243	244	0,02948	0,01711
201	160	202	0,01277	0,00467	244	244	245	0,07169	0,04161

N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
245	245	246	0,01089	0,00383	288	85	289	0,00128	0,00047
246	246	247	0,00298	0,00292	289	84	290	0,00468	0,00171
247	245	248	0,01277	0,00467	290	290	291	0,02661	0,00972
248	244	249	0,00201	0,00117	291	290	292	0,00479	0,00175
249	249	250	0,00266	0,00097	292	84	293	0,00202	0,00071
250	250	251	0,3832	0,14	293	83	294	0,00252	0,00089
251	251	252	0,01437	0,00525	294	83	295	0,00213	0,00078
252	252	253	0,10847	0,03963	295	79	296	0,01703	0,00622
253	253	254	0,0066	0,00241	296	296	297	0,00158	0,00056
254	253	255	0,22949	0,08384	297	78	298	0,03374	0,01233
255	252	256	0,00373	0,00136	298	77	299	0,00426	0,00156
256	251	257	0,0011	0,00039	299	299	300	0,01064	0,00389
257	250	258	0,00266	0,00097	300	299	301	0,00319	0,00117
258	249	259	0,00335	0,00194	301	70	302	0,00574	0,00202
259	243	260	0,0082	0,00289	302	302	303	0,00473	0,00167
260	260	261	0,01196	0,00421	303	303	304	0,00316	0,00111
261	242	262	0,00938	0,00544	304	304	305	0,00316	0,00111
262	262	263	0,04896	0,01789	305	305	306	0,00379	0,00133
263	262	264	0,01064	0,00389	306	69	307	0,00639	0,00233
264	264	265	0,00284	0,001	307	307	308	0,004	0,00133
265	242	266	0,00852	0,00311	308	68	309	0,01277	0,00467
266	241	267	0,00284	0,001	309	309	310	0,00066	0,00023
267	240	268	0,00234	0,00086	310	310	311	0,00256	0,0009
268	268	269	0,00139	0,00049	311	311	312	0,00353	0,00124
269	239	270	0,02682	0,0098	312	312	313	0,01262	0,00444
270	238	271	0,01277	0,00467	313	67	314	0,00397	0,00389
271	237	272	0,00373	0,00136	314	314	315	0,00189	0,00067
272	272	273	0,00158	0,00056	315	66	316	0,0066	0,00241
273	237	274	0,02342	0,00856	316	65	317	0,02076	0,00758
274	236	275	0,03459	0,01264	317	64	318	0,00804	0,00467
275	235	276	0,00958	0,0035	318	318	319	0,041	0,0238
276	276	277	0,00479	0,00175	319	319	320	0,041	0,0238
277	277	278	0,00532	0,00194	320	320	321	0,0134	0,00778
278	277	279	0,00479	0,00175	321	321	322	0,0134	0,00778
279	234	280	0,00532	0,00194	322	322	323	0,01005	0,00583
280	280	281	0,00158	0,00056	323	323	324	0,01005	0,00583
281	133	282	0,01206	0,007	324	324	325	0,01064	0,00389
282	132	283	0,00319	0,00117	325	325	326	0,01703	0,00622
283	131	284	0,00479	0,00175	326	326	327	0,01064	0,00389
284	284	285	0,00319	0,00117	327	327	328	0,02129	0,00778
285	285	286	0,0016	0,00058	328	328	329	0,00266	0,00097
286	286	287	0,0016	0,00058	329	329	330	0,00106	0,00039
287	286	288	0,00095	0,00033	330	330	331	0,00757	0,00267

N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
331	330	332	0,00183	0,00064	374	374	375	0,00575	0,0021
332	332	333	0,01035	0,00364	375	374	376	0,00852	0,00311
333	330	334	0,00486	0,00171	376	365	377	0,00532	0,00194
334	329	335	0,00266	0,00097	377	52	378	0,09995	0,03652
335	335	336	0,00158	0,00056	378	51	379	0,00298	0,00109
336	328	337	0,01405	0,00513	379	50	380	0,05642	0,02061
337	337	338	0,00158	0,00056	380	49	381	0,01661	0,00607
338	337	339	0,01416	0,00517	381	381	382	0,01671	0,00611
339	327	340	0,01937	0,00708	382	382	383	0,02384	0,00871
340	326	341	0,01064	0,00389	383	383	384	0,01192	0,00436
341	341	342	0,00585	0,00214	384	384	385	0,01203	0,00439
342	342	343	0,00373	0,00136	385	385	386	0,02129	0,00778
343	343	344	0,00213	0,00078	386	386	387	0,02129	0,00778
344	343	345	0,00316	0,00111	387	387	388	0,05056	0,01847
345	342	346	0,03193	0,01167	388	388	389	0,00341	0,00124
346	346	347	0,00426	0,00156	389	388	390	0,05056	0,01847
347	346	348	0,00158	0,00056	390	387	391	0,02789	0,01019
348	341	349	0,0016	0,00058	391	386	392	0,07834	0,02862
349	349	350	0,00221	0,00078	392	385	393	0,06184	0,02259
350	349	351	0,0016	0,00058	393	384	394	0,03832	0,014
351	325	352	0,00533	0,00178	394	383	395	0,06174	0,02256
352	324	353	0,00404	0,00148	395	48	396	0,0875	0,03197
353	353	354	0,00066	0,00023	396	47	397	0,00804	0,00467
354	333	355	0,00833	0,00293	397	397	398	0,00704	0,00408
355	323	356	0,00379	0,00133	398	398	399	0,01118	0,00408
356	322	357	0,00585	0,00214	399	399	400	0,03864	0,01412
357	357	358	0,0011	0,00039	400	400	401	0,02416	0,00883
358	358	359	0,00836	0,00294	401	400	402	0,03864	0,01412
359	321	360	0,00532	0,00194	402	399	403	0,02821	0,01031
360	320	361	0,00536	0,00311	403	403	404	0,00319	0,00117
361	319	362	0,01171	0,00428	404	404	405	0,00201	0,00117
362	362	363	0,00158	0,00056	405	405	406	0,02501	0,00914
363	55	364	0,00809	0,00296	406	406	407	0,00884	0,00513
364	364	365	0,00213	0,00078	407	407	408	0,00777	0,00284
365	365	366	0,00213	0,00078	408	408	409	0,00958	0,0035
366	366	367	0,11709	0,04278	409	408	410	0,00777	0,00284
367	367	368	0,03161	0,01155	410	407	411	0,00891	0,00517
368	368	369	0,02661	0,00972	411	411	412	0,00426	0,00156
369	369	370	0,00106	0,00039	412	412	413	0,00373	0,00136
370	369	371	0,01916	0,007	413	413	414	0,04258	0,01556
371	368	372	0,00532	0,00194	414	414	415	0,04258	0,01556
372	367	373	0,01373	0,00502	415	415	416	0,066	0,02411
373	366	374	0,0298	0,01089	416	416	417	0,06738	0,02462

N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	N° de la branche	Nœud de départ	Nœud d'arrivée	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
417	417	418	0,11336	0,04142	460	460	461	0,002	0,00067
418	418	419	0,05322	0,01944	461	12	462	0,10996	0,04017
419	418	420	0,00873	0,00319	462	6	463	0,0004	0,00039
420	417	421	0,00213	0,00078	463	4	464	0,00341	0,00124
421	416	422	0,02555	0,00933					
422	422	423	0,00319	0,00117					
423	422	424	0,00106	0,00039					
424	415	425	0,228	0,0833					
425	414	426	0,01118	0,00408					
426	413	427	0,00373	0,00136					
427	412	428	0,02129	0,00778					
428	411	429	0,42578	0,15556					
429	429	430	0,00233	0,00078					
430	406	431	0,00319	0,00117					
431	405	432	0,14796	0,05406					
432	403	433	0,06759	0,02469					
433	46	434	0,03885	0,01419					
434	41	435	0,00134	0,00078					
435	435	436	0,0067	0,00389					
436	32	437	0,00128	0,00047					
437	437	438	0,00843	0,00297					
438	31	439	0,00447	0,00163					
439	30	440	0,15115	0,05522					
440	29	441	0,01362	0,00498					
441	28	442	0,00639	0,00233					
442	442	443	0,00639	0,00233					
443	27	444	0,00852	0,00311					
444	444	445	0,00852	0,00311					
445	445	446	0,00149	0,00054					
446	446	447	0,00075	0,00027					
447	447	448	0,00234	0,00086					
448	447	449	0,00075	0,00027					
449	446	450	0,0033	0,00121					
450	445	451	0,01277	0,00467					
451	445	452	0,00298	0,00109					
452	19	453	0,00213	0,00078					
453	453	454	0,01357	0,00478					
454	454	455	0,00985	0,00347					
455	455	456	0,00379	0,00133					
456	453	457	0,00213	0,00078					
457	18	458	0,03821	0,01396					
458	458	459	0,00167	0,00056					
459	13	460	0,03672	0,01342					

Tableau. A.2 : Les charges du réseau de distribution de N'goussa (464 jdb)

N° du Nœud	La puissance active	La puissance réactive	N° du Nœud	La puissance active	La puissance réactive
8	0,00049753	0,00036175	152	0,00014051	0,00010198
10	0,00031715	0,00023059	153	0,00014051	0,00010198
16	0,00093407	0,00067726	164	0,00013987	0,00010162
21	0,00061763	0,00044737	165	0,00013987	0,00010162
22	0,00061762	0,00044736	169	0,00013986	0,00010161
23	0,00015686	0,00011362	170	0,00013986	0,00010161
24	0,00061761	0,00044736	178	6,99E-05	5,08E-05
35	0,00015352	0,00011184	179	4,37E-05	3,17E-05
36	0,0006045	0,00044038	183	4,37E-05	3,17E-05
37	0,00015352	0,00011184	184	4,37E-05	3,17E-05
38	4,80E-05	3,50E-05	185	4,37E-05	3,17E-05
43	0,00015255	0,00011088	186	0,00013979	0,00010157
44	4,77E-05	3,47E-05	187	6,99E-05	5,08E-05
59	0,00014851	0,00010706	188	6,99E-05	5,08E-05
60	4,64E-05	3,35E-05	189	4,37E-05	3,17E-05
61	7,43E-05	5,35E-05	191	6,99E-05	5,08E-05
74	0,000148	0,00010656	192	4,37E-05	3,17E-05
75	4,63E-05	3,33E-05	195	6,99E-05	5,08E-05
80	7,40E-05	5,33E-05	196	0,0001049	7,62E-05
93	7,39E-05	5,32E-05	197	6,99E-05	5,08E-05
94	4,62E-05	3,33E-05	200	6,99E-05	5,08E-05
95	0,00011087	7,98E-05	202	7,00E-05	5,08E-05
96	4,62E-05	3,33E-05	205	7,00E-05	5,09E-05
97	4,62E-05	3,33E-05	206	7,00E-05	5,09E-05
98	7,39E-05	5,32E-05	207	0,0001404	0,00010192
114	0,00014268	0,00010312	212	8,83E-05	6,40E-05
115	4,46E-05	3,22E-05	213	7,06E-05	5,12E-05
118	8,92E-05	6,45E-05	218	7,06E-05	5,12E-05
119	0,00014268	0,00010312	219	0,00014127	0,00010243
120	4,46E-05	3,22E-05	220	4,41E-05	3,20E-05
121	0,00014268	0,00010312	221	8,83E-05	6,40E-05
122	7,13E-05	5,16E-05	222	4,41E-05	3,20E-05
123	8,92E-05	6,45E-05	223	8,83E-05	6,40E-05
124	0,00010702	7,74E-05	225	0,00055645	0,00040341
126	0,00014283	0,00010327	226	0,00055644	0,00040341
128	0,00014283	0,00010327	231	0,00055753	0,0004038
137	0,0005579	0,00040401	232	0,00014159	0,00010255
138	7,08E-05	5,13E-05	246	0,00035347	0,00025607
139	0,00055788	0,000404	247	8,84E-05	6,40E-05
140	4,43E-05	3,21E-05	253	0,00014123	0,00010238
151	0,00014051	0,00010198	254	0,00014123	0,00010238

N° du Nœud	La puissance active	La puissance réactive	N° du Nœud	La puissance active	La puissance réactive
255	0,00014122	0,00010237	316	4,64E-05	3,34E-05
256	0,00055616	0,00040312	330	0,00058268	0,00042033
257	0,00014125	0,00010238	331	0,00058267	0,00042033
258	8,84E-05	6,40E-05	332	0,00052718	0,0003803
259	0,00035349	0,00025609	333	0,00058266	0,00042033
260	0,00055683	0,00040339	335	0,00058268	0,00042033
262	0,00014144	0,00010246	337	0,00058268	0,00042033
264	0,00055691	0,00040344	338	9,25E-05	6,67E-05
265	0,00014144	0,00010246	339	0,00014798	0,00010675
266	0,00035361	0,00025616	343	0,00014802	0,00010676
268	0,00035375	0,00025624	344	0,00058281	0,00042038
269	0,0001415	0,0001025	346	9,25E-05	6,67E-05
270	8,84E-05	6,41E-05	347	0,00058278	0,00042037
272	0,00055747	0,00040376	349	0,00058282	0,00042039
273	8,85E-05	6,41E-05	350	0,00014802	0,00010676
274	0,00014158	0,00010254	351	0,00019427	0,00014013
277	0,00014159	0,00010255	353	0,0001851	0,00013348
278	8,85E-05	6,41E-05	354	0,00058308	0,00042048
280	0,00055753	0,00040379	355	0,00036994	0,00026687
281	0,00014159	0,00010255	357	0,00058325	0,00042058
282	8,88E-05	6,42E-05	358	0,00058325	0,00042058
286	0,00014219	0,0001029	359	7,41E-05	5,34E-05
287	0,00055987	0,00040515	360	4,63E-05	3,34E-05
288	3,55E-05	2,57E-05	362	0,00018539	0,00013365
290	9,25E-05	6,66E-05	369	0,00014928	0,00010783
291	7,40E-05	5,32E-05	370	7,46E-05	5,39E-05
292	0,00041605	0,00029951	371	4,66E-05	3,37E-05
293	0,00058248	0,00041931	372	7,46E-05	5,39E-05
294	9,25E-05	6,66E-05	374	0,00014929	0,00010783
296	0,00058266	0,0004195	375	7,46E-05	5,39E-05
297	4,62E-05	3,33E-05	376	7,46E-05	5,39E-05
299	7,40E-05	5,33E-05	377	0,00011197	8,09E-05
300	7,40E-05	5,33E-05	378	4,68E-05	3,38E-05
301	0,00058274	0,00041957	379	0,00015	0,00010839
302	0,00058298	0,00041982	388	0,00015025	0,00010865
303	0,00058297	0,00041982	389	7,51E-05	5,43E-05
304	0,00058297	0,00041981	390	7,51E-05	5,43E-05
305	0,00037014	0,00026655	391	7,51E-05	5,43E-05
307	0,00037025	0,00026665	392	7,51E-05	5,43E-05
309	0,00058327	0,00042011	393	9,39E-05	6,79E-05
310	0,00037033	0,00026674	394	9,39E-05	6,79E-05
311	0,00058327	0,00042011	395	0,0001127	8,15E-05
312	0,00058326	0,00042011	400	0,00011357	8,23E-05
314	0,00058364	0,00042045	401	7,57E-05	5,49E-05
315	4,63E-05	3,34E-05	408	0,00015138	0,00010977

---

<b>N° du Nœud</b>	<b>La puissance active</b>	<b>La puissance réactive</b>
409	7,57E-05	5,49E-05
418	0,0001513	0,00010974
419	0,00015129	0,00010974
420	0,0001513	0,00010974
422	0,00015132	0,00010975
423	0,00023644	0,00017148
424	9,46E-05	6,86E-05
425	9,46E-05	6,86E-05
426	4,73E-05	3,43E-05
427	0,00015137	0,00010977
429	0,00030263	0,00021949
430	0,00015131	0,00010975
431	0,00015138	0,00010977
432	0,00015139	0,00010978
433	0,0001514	0,00010978
437	0,00061108	0,00044278
438	7,76E-05	5,62E-05
439	7,76E-05	5,62E-05
440	9,71E-05	7,03E-05
442	4,89E-05	3,54E-05
447	0,0001566	0,00011336
448	4,89E-05	3,54E-05
449	0,0001566	0,00011336
450	0,0001566	0,00011336
451	7,83E-05	5,67E-05
453	0,00061841	0,00044812
454	0,00061839	0,00044811
455	0,00061838	0,00044811
456	9,82E-05	7,11E-05
458	0,00031453	0,00022803
460	0,00011803	8,56E-05
461	4,92E-05	3,57E-05
463	7,93E-05	5,77E-05

يستخدم الإنتاج الطاقة بالوحدات اللامركزية بشكل كبير في شبكات التوزيع الكهربائية و ذلك من اجل ضمان استمرارية و جودة التيار الكهربائي للمستهلك, ولكن يتطلب دمج هذه الوحدات في شبكات التوزيع الكهربائية إلى دراسة الموقع الأفضل و الحجم الأمثل لها.

الهدف من هذه الأطروحة هو تحديد أفضل مكان و أفضل حجم للوحدات اللامركزية بغرض تحسين توزيع الجهد في شبكة التوزيع الكهربائي. لهذا قمنا في هذه المذكرة بدراسة و محاكاة لشبكة التوزيع لمنطقة أنقوسة لاختيار المكان الأمثل لهذه الوحدات اللامركزية, وتمت هذه الدراسة بواسطة برنامج يعتمد على : حساب تدفق الطاقة بطريقة المسح للخلف والأمام و حساب مؤشر حساسية الجهد و طريقة استعمال عناصر السرب لتحديد الموقع و الحجم الأمثل وذلك لتحسين توزيع الجهد, حيث يتم تغيير معدل الاختراق الأقصى و مقارنة النتائج بين معامل الطاقة 0.9 و معامل الطاقة 1. النتائج المتحصل عليها مرضية و تفتح المجال لأبحاث أخرى

**الكلمات المفتاحية :** الوحدات اللامركزية, تدفق الطاقة بطريقة المسح للخلف والأمام, تحسين توزيع الجهد, طريقة استعمال عناصر السرب, شبكة التوزيع, معدل الاختراق الأقصى, معامل الطاقة

## **Résume :**

La production décentralisée GED est fortement utilisée dans les réseaux de distribution électrique afin d'assurer la continuité et la qualité de l'électricité du consommateur ce pendant, pour placer des GED dans les réseaux de distribution électrique il faut choisir un meilleur emplacement et une taille optimale de GED.

Le but de ce mémoire est de déterminer le meilleur emplacement et le taille de GED pour améliorer le profil de tension du réseau de distribution. Pour cela, nous présentons dans cette mémoire l'étude et la simulation du réseau de distribution de N'goussa pour retrouver l'emplacement optimal de GED. Cette étude est réalisée à l'aide d'un programme basé sur le calcul l'écoulement de puissance par la méthode BFS et le calcul l'indice de sensibilité de tension VSI ainsi que la méthode d'optimisation d'essaim de particules PSO. Pour déterminer l'emplacement optimal de GED, on change le taux de pénétration maximum et on compare entre les résultats facteur de puissance de GED unitaire et les résultats de facteur de puissance de GED égale 0,9. Les résultats obtenues sont satisfaisants et ouvrent les champs à d'autres recherches.

**Mots clés :** production décentralisé GED, l'indice de sensibilité de tension VSI, PSO, l'écoulement de puissance BFS, l'emplacement optimal de GED, améliore le profile de tension, réseau de distribution, taux de pénétration maximum, facteur de puissance.

## **Abstract:**

Decentralized generation is widely used in power distribution networks to ensure the continuity and quality of consumer electricity, but to place GEDs in power distribution networks, a better location and an optimal size of GED

The purpose of this memory is to determine the best location and the best size of GED to improve the distribution network voltage profile. For this purpose, we present in this memory the study and simulation of the N'goussa distribution network to select the optimal location of GED. This study is carried out by a program based on the calculation of the power flow by the BFS method and the calculation of the voltage sensitivity index VSI and PSO method. To determine the optimal location of GED, the maximum penetration rate is changed and the unit GED power factor results are compared to the GED power factor results equal to 0.9. The results obtained are satisfactory and open the fields to further research.

**Keywords :** decentralized production GED, voltage sensitivity index VSI, PSO, power flow BFS, the optimal location of GED, improves the voltage profile, distribution network, maximum penetration rate, power factor.