



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Electrotechnique  
Réseaux électriques  
Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :

**Hasni Aissa Haroun**

Le :

## **Gestion optimale de l'intégration des sources PV au réseau distribution par utilisation des méthodes : GA, PSO, GWO**

---

**Jury :**

Mr.	Mahdad Belkacem	Pr	Université de Biskra	encadreur
Dr.	Tkouti Nacira	MCB	Université de Biskra	Président
Dr.	Salhi Ahmed	MCA	Université de Biskra	examinateur

Année universitaire : 2021 – 2022



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Electrotechnique  
Réseaux électriques

---

Présenté et soutenu par :

**Hasni Aissa Haroun**

Le :

**Gestion optimale de l'intégration des sources PV au  
réseau distribution par utilisation des méthodes :  
GA, PSO, GWO**

---

Présenté par :

**Hasni Aissa Haroun**

Avis favorable de l'encadreur :

**Pr. Mahdad Belkacem**

*Signature*

Avis favorable du Président du Jury

*Signature*

*Dédicace*

*A mes chers parents*

*A toute ma famille*

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

*Je dédie ce modeste travail*

*Hasni Aïssa Haroun*

---

*Remerciements*

*En introduction de cette lettre, je remercie Dieu tout-puissant qui m'a aidé car il m'a donné clarté de vision, patience et courage et m'a donné la capacité de travailler continuellement sur cette mémoire et durant toutes ces longues années d'études. D'abord, je veux remercier Pr. Belkacem Mahdad pour son encadrement et la qualité de son enseignement, ses conseils, sa confiance, son support et son intérêt.*

*Enfin, mes sincères remerciements vont à ma famille, mes parents, ainsi qu'à tous mes proches et amis qui m'ont accompagné, aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de cet humble travail.*

---

# SOMMAIRE

---

Dédicace

Remerciements

Liste des figures, tableaux et Symboles

Introduction générale.....1

## **I. Chapitre 1 : Structures des réseaux de distribution.....3**

I.1 Introduction.....3

I.2 Les caractéristiques des réseaux électriques .....3

I.3 Le système électrique verticalement intègre .....4

I.3.1 Le réseau de transport .....4

I.3.2 Le réseau de répartition.....5

I.3.3 Le réseau de distribution .....5

I.3.3.1 Les réseaux de distribution aériens .....6

I.4 Topologies des réseaux électriques .....7

I.4.1 Topologie des réseaux de distribution .....7

I.4.1.1 Réseau radial type 1 .....7

I.4.1.2 Réseau radial type 2 .....8

I.4.1.3 Réseau radial type 3 .....8

I.5 Amélioration de la qualité d'énergie dans les réseaux de distribution .....9

I.5.1 La reconfiguration le système de distribution .....9

I.5.1.1 Méthode proposée.....10

I.5.1.2 Explication du principe de reconfiguration .....10

I.5.1.3 Les avantages reconfiguration le système de distribution .....12

I.5.2 La compensation d'Energie réactive.....13

I.5.2.1 Le facteur de puissance .....13

I.5.2.2 L'amélioration du facteur de puissance.....13

I.5.2.3 Types des compensations .....13

I.5.2.4 Principe de base de la compensation shunt.....14

I.5.3 Les régulateurs de tension dans les réseaux distribution.....15

I.5.3.1 Les avantages des régulateurs de tension .....16

I.6 Conclusion .....16

## **II. Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution.....18**

II.1 Introduction.....18

II.2 Partie 1 : Méthodes d'analyses .....18

II.2.1 Méthodes d'écoulement de puissance .....18

II.2.2 Méthode de Gauss-Seidel.....18

II.2.3 Méthode de Newton-Raphson.....18

# SOMMAIRE

---

II.2.4	Méthode de flux de charge à découplage rapide.....	19
II.2.5	Méthode BIBC/BCBV .....	19
II.2.6	Méthode de Balayage avant / balayage arrière (backword /forword) .....	19
II.3	Partie 2 : Méthodes d'optimisation métaheuristiques .....	23
II.3.1	Définition de l'Optimisation.....	23
II.3.2	Algorithmes d'optimisation métaheuristiques .....	24
II.3.2.1	Optimisation par Algorithme Génétique (AG) .....	24
II.3.2.2	Optimisation par Essaim de Particules (PSO) .....	33
II.3.2.3	Optimisation par loup gris (GWO) .....	41
II.4	Conclusion .....	49
<b>III.</b>	<b>Chapitre 3 : Généralisés sur la production distribuée .....</b>	<b>49</b>
III.1	Introduction.....	49
III.2	La production décentralisée .....	49
III.3	Différents types de production décentralisée .....	49
III.3.1	Energies non renouvelables .....	49
III.3.2	L'énergies renouvelables.....	50
III.3.2.1	Les différentes sources d'énergies renouvelables .....	51
III.4	Conclusion .....	66
<b>IV.</b>	<b>Chapitre 4 : Résultats de simulation .....</b>	<b>67</b>
IV.1	Introduction.....	67
IV.2	Réseau de distribution radial.....	67
IV.3	Structure d'un réseau de distribution.....	67
IV.4	Ecoulement de puissance du réseau de distribution radial.....	69
IV.4.1	Puissance fournie au réseau.....	69
IV.4.2	Puissance dans les branches et la ligne .....	69
IV.4.3	Amplitude et angle de la tension.....	70
IV.4.4	Les pertes de puissance active et réactive .....	71
IV.5	Partie 1 : Analyse de l'état du réseau radial .....	72
IV.5.1	Analyse de réseau sans optimisation.....	75
IV.5.2	Augmentation de la charge.....	79
IV.5.3	Intégration des sources PV sans optimisation .....	85
IV.6	Intégrations des sources PV avec optimisations.....	88
IV.6.1	Application de l'algorithme génétique (GA).....	88
IV.6.1.1	Minimisation des pertes actives totales .....	89
IV.6.1.2	Minimisation de la déviation de tension totale .....	96
IV.6.2	Application de l'algorithme (PSO) .....	103
IV.6.2.1	Minimisation des pertes totales.....	104

---

# SOMMAIRE

---

IV.6.2.2	Minimisation de la déviation de tension totale .....	110
IV.6.3	Application de l'algorithme (GWO) .....	117
IV.6.3.1	Minimisations les pertes active totale.....	119
IV.6.3.2	Minimisation la déviation de tension totale .....	125
IV.6.4	Etude comparative .....	132
IV.7	Conclusion .....	134
<b>Conclusion générale.....</b>		<b>133</b>
<b>Bibliographies</b>		
<b>Résumé</b>		

---

# Figures

Figure 1.1 : Structure du réseau électriques .....	5
Figure 1.2 : Réseau rural de type aérien.....	6
Figure 1.3:Schéma unifilaire du réseau radial type 1 sans dérivation et sans reconfiguration .....	8
Figure 1.4:Représentation unifilaire d'un réseau radial type 2 avec trois dérivations et avec reconfiguration .....	8
Figure 1.5:Représentation unifilaire d'un réseau radial type 3 avec trois dérivations et avec Reconfiguration. ....	9
Figure 1.6: Configuration initiale du réseau de distribution avec trois lignes de bouclages .....	10
Figure 1.7: Reconfiguration 1 : raccordement de la ligne de bouclage 6-11 .....	11
Figure 1.8 : Reconfiguration 1 : raccordement de la ligne de bouclage 6-11 et ouverture au niveau du point de sectionnement 10-11 .....	12
Figure 1.9:Schéma bloc des types de compensation .....	14
Figure 1.10: Principe de la compensation shunt .....	15
Figure 2.1:Organigramme de méthode BFA .....	22
Figure 2.2:Optimum global d'une fonction non linéaire .....	23
Figure 2.3 : Principe général des algorithmes génétique.....	25
Figure 2.4:Illustration du codage des variables. ....	26
Figure 2.5:Le codage réel et le codage binaire .....	27
Figure 2.6 : Illustration schématique du codage des variables réelles .....	27
Figure 2.7: Représentation d'une sélection par tournoi d'individus pour un critère de maximisation (chaque individu représente une solution possible). ....	28
Figure 2.8: Exemple de croisement à un point simple .....	29
Figure 2.9 : Exemple de croisement en deux points .....	29
Figure 2.10: Représentation schématique de la mutation simple .....	30
Figure 2.11: Représentation en 3D de la fonction à optimiser. ....	31
Figure 2.12: La courbe de convergence de l'AG.....	32
Figure 2.13: La valeur de la fonction objective après 10 exécutions.....	33
Figure 2.14:Schéma de principe du déplacement d'un particule.....	36
Figure 2.15: Schéma général d'un PSO .....	37
Figure 2.16: La courbe de convergence de PSO.....	38
Figure 2.17 : La valeur de la fonction objective après 10 exécutions PSO.....	39
Figure 2.18:Résumé des améliorations de convergence les plus importantes développées pour PSO ..40	
Figure 2.19:classement dans group des loups .....	41
Figure 2.20:Comportement de chasse des loups gris : (A-B) chasser, approcher et suivre des proies. (C-D-E) poursuivre, harceler et encercler. (F) situation stationnaire et attaque [21].....	42
Figure 2.21: Schéma général d'un GWO [20].....	44
Figure 2.22 : Topologie de migration en anneau aléatoire.....	45
Figure 2.23:Le mécanisme de mise à jour de la position de chaque loup pour attraper une proie dans I-GWO.....	46
Figure 2.24: Organigramme de fonction de la méthode GWO -bp .....	48
Figure 3.1: Quelques énergies renouvelables. ....	50
Figure 3.2: Principe de la production de l'énergie géothermique. ....	51
Figure 3.3: Les sources de l'énergie biomasse .....	51
Figure 3.4: Les types de l'énergie hydraulique .....	52

---



## Liste des figures, tableaux et Symboles

---

Figure 3.5:Les élément parc éolien.....	53
Figure 3.6: Exemple de fermes éolienne.....	53
Figure 3.7 : Les compensant essentielle de nacelle .....	54
Figure 3.8:Transformation de l'énergie de vent de l'énergie électrique .....	55
Figure 3.9:Architecture d'une ferme d'éoliennes à vitesse variable avec des liaisons en tensions alternatives .....	56
Figure 3.10 : La chaine de la production d'énergie électrique par source PV.....	57
Figure 3.11:Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque .....	58
Figure 3.12: La cellule en silicium cristallin .....	59
Figure 3.13: La cellule couches minces .....	59
Figure 3.14: Schéma équivalent du modèle à une exponentielle(3P) .....	60
Figure 3.15: Schéma équivalent du modèle à une exponentielle5P(réel).....	60
Figure 3.16: Les systèmes photovoltaïques raccordés aux réseaux publics(autonomes) .....	61
Figure 3.17: Les systèmes photovoltaïques raccordés aux réseaux publics (non autonomes) .....	62
Figure 3.18: Schéma l'injonction totalité de la production .....	62
Figure 3.19: Schéma l'injonction de surplus de la production .....	63
Figure 3.20: Représentation horizontale (bidirectionnelle) des réseaux électriques actuels .....	63
Figure 4.1: Montre la structure d'un réseau de distribution radial. ....	68
Figure 4.2: Représentation de jeux de barres dans le réseau de distribution radial. ....	69
Figure 4.3 : schéma bloc de la stratégie d'optimisation.....	72
Figure 4.4: Topologie du réseau radial 33.....	73
Figure 4.5: Répartitions des puissances active et réactive des charges .....	77
Figure 4.6 : Répartition des pertes de puissance active et réactive dans les lignes.....	77
Figure 4.7: Répartitions de l'angle de charge et les tensions .....	78
Figure 4.8: Comparaissons de les puissance active (demandé, transformée et les pertes totales) .....	79
Figure 4.9:Evolution des pertes active dans les lignes avec augmentation de la charge (Kl=1.1, Kl=1.2 ,Kl=1.3 ,Kl=1.4,Kl=1.5 ).....	80
Figure 4.10:Evolution des pertes réactive dans les lignes avec augmentation de la charge (Kl=1.1, Kl=1.2 ,Kl=1.3 ,Kl=1.4,Kl=1.5 ).....	81
Figure 4.11 : Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.1 .....	81
Figure 4.12: Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.2 .....	82
Figure 4.13: Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.3 .....	82
Figure 4.14: Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.4 .....	83
Figure 4.15:: Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.5 .....	83
Figure 4.16:Les courbes de l'angle de charge et le module de tension : Intégration d'une source PV de 1000 KW au JB 6.....	85
Figure 4.17: Les courbes de l'angle de charge et le module de tension : Intégration d'une source PV de 1000 KW au JB 18.....	86
Figure 4.18:Les courbes de l'angle de charge et le module de tension : Intégration d'une source PV de 1000 KW au JB 33.....	86
Figure 4.19 : Comparaison des résultats obtenus : a) réduction des pertes, b) réduction de la déviation de tension. ....	87
Figure 4.20:: Organigramme de recherche à base de l'algorithme génétique. ....	89

---

## Liste des figures, tableaux et Symboles

---

Figure 4.21:: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 6.....	90
Figure 4.22: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 18.....	91
Figure 4.23: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 33.....	91
Figure 4.24: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 6.....	92
Figure 4.25: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB18.....	92
Figure 4.26: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 33.....	93
Figure 4.27: Comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV.....	94
Figure 4.28 : Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33.....	95
Figure 4.29: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 6-18-33.....	95
Figure 4.30: Comparaison des résultats en termes de valeur des pertes totales, sans et avec intégration de trois sources PV.....	96
Figure 4.31: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV au JB : 6.....	97
Figure 4.32: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV au JB : 18.....	97
Figure 4.33: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV au JB : 33.....	98
Figure 4.34: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au.....	98
Figure 4.35 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 18.....	99
Figure 4.36: répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 33.....	99
Figure 4.37: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33.....	101
Figure 4.38: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration de trois sources PV aux JB 6-18-33.....	101
Figure 4.39: Comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV.....	102
Figure 4.40: Comparaison des résultats en termes de valeur des déviations de tension totale, sans et avec intégration de trois sources PV.....	102
Figure 4.41: Organigramme de recherche à base de l'algorithme PSO.....	103
Figure 4.42: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 6.....	104
Figure 4.43: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 18.....	105
Figure 4.44: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB33.....	105
Figure 4.45: répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 6.....	106
Figure 4.46: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 18.....	106
Figure 4.47: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 33.....	107
Figure 4.48: comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV.....	108
Figure 4.49: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33.....	109

---

## Liste des figures, tableaux et Symboles

---

Figure 4.50: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration de trois source PV aux JB :6-18-33 .....	109
Figure 4.51: comparaison des résultats en termes de valeur des pertes totales, sans et avec intégration de trois sources PV. ....	110
Figure 4.52: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV aux JB 6.....	111
Figure 4.53: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV aux JB 18.....	111
Figure 4.54: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV aux JB 33.....	112
Figure 4.55: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 6.....	112
Figure 4.56: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 18.....	113
Figure 4.57: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB33.....	113
Figure 4.58: Comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuelle des sources PV .....	114
Figure 4.59: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33 . ....	115
Figure 4.60 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration de trois sources PV aux JB 6-18-33.....	116
Figure 4.61: Comparaison des résultats en termes de valeur des déviations de tension totale, sans et avec intégration de trois sources PV.....	116
Figure 4.62: organigramme de recherche à base de l'algorithme GWO.....	118
Figure 4.63: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 6.....	119
Figure 4.64 : Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 18.....	120
Figure 4.65: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB33 .....	120
Figure 4.66: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB06.....	121
Figure 4.67: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB18.....	121
Figure 4.68: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB33.....	122
Figure 4.69: comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV .....	123
Figure 4.70: Courbe de convergence, optimisation les pertes active totale : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33 .....	124
Figure 4.71 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 06-18-33 .....	124
Figure 4.72: Comparaison des résultats en termes de valeur des pertes totales, sans et avec intégration de trois sources PV. ....	125
Figure 4.73: Courbe de convergence, optimisation la déviation de tension totales : Intégration d'une source PV au JB6.....	126
Figure 4.74: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV au JB18.....	127
Figure 4.75: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale: Intégration d'une source PV au JB33.....	127
Figure 4.76 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB06....	128
Figure 4.77: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB18.....	128
Figure 4.78 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB33....	129

---

## Liste des figures, tableaux et Symboles

---

Figure 4.79: comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV .....	130
Figure 4.80: Courbe de convergence, optimisation la déviation de tension totale : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33. ....	131
Figure 4.81: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration de trois sources PV aux JB (6-18-33). ....	131
Figure 4.82 comparaison des résultats en termes de valeur des déviation de tension totale , sans et avec intégration de trois sources PV .....	132

### Tableaux

Tableau 1-1:Tensions normalisées selon CRI.....	4
Tableau 2-1: Les résultats de la convergence de l'algorithme GA.....	32
Tableau 2-2:Les résultats de la convergence de l'algorithme PSO .....	38
Tableau 3-1:Comparaison entre le réseau électrique traditionnel et intelligent.....	64
Tableau 4-1: Caractéristiques des lignes : réseau test 33 jeux de barres.....	74
Tableau 4-2: Caractéristiques des charges : réseau test 33 jeux de barres .....	75
Tableau 4-3 : Résultats de l'écoulement de puissance : réseau test 33 jeux de barres. ....	77
Tableau 4-4: Résultats de l'écoulement de puissance : cas 1 .....	78
Tableau 4-5: Les résultats d'analyse de l'état de réseau à 33JB après augmentation de charge .....	84
Tableau 4-6: Résultats d'analyses primaires : intégration des sources PV .....	87
Tableau 4-7: les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de AG : l'intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33).....	93
Tableau 4-8 : Les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de AG : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33).....	94
Tableau 4-9: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de AG : Intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33).....	100
Tableau 4-10: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de AG : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6,18 et 33). ....	100
Tableau 4-11:les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de PSO : l'intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33). ....	107
Tableau 4-12: Les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de PSO : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33). ....	108
Tableau 4-13: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de PSO : Intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33) .....	114
Tableau 4-14: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de PSO : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6,18 et 33). ....	115
Tableau 4-15: les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de GWO : l'intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33).....	122
Tableau 4-16 : Les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de GWO : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33).....	123
Tableau 4-17: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de GWO : Intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33).....	129
Tableau 4-18: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de GWO : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6,18 et 33). ....	130
Tableau 4-19: Résultats d'optimisation des pertes obtenues par GA, PSO, GWO : Intégration individuelle.....	133
Tableau 4-20 : Résultats d'optimisation de la déviation de tension obtenues par GA, PSO, GWO : Intégration individuelle	133
Tableau 4-21: Résultats d'optimisation des pertes et la déviation de tension obtenues par GA, PSO, GWO : Intégration de trois sources PV .....	133

---

# Symboles

<b>UTE C 18-510</b>	La norme <b>UTE C 18-510</b> regroupe un ensemble de prescriptions relatives à la sécurité concernant les manœuvres et actions sur ou à proximité des installations électriques.
<b>HTB</b>	Haut tension B
<b>HTA</b>	Haut tension A
<b>BTB</b>	Bass tension B
<b>BTA</b>	Bass tension A
<b>CEI</b>	La Commission Electrotechnique Internationale
<b>HT</b>	Haut tension
<b>MT</b>	Moyen tension
<b>BT</b>	Bas tension
<b>NF</b>	Normalement Fermé
<b>NO</b>	Normalement Ouvert
<b>Source HTA</b>	Les centrales haut tension ou les transformateur
<b>FACTS</b>	Un système de transmission flexible en courant alternatif
<b>SCADA</b>	Un système de contrôle et d'acquisition de données en temps réel
<b>p.u</b>	Per. Unit
<b>JB</b>	Jeu de Barre
<b>BFSM</b>	Backword/forward a simple méthode
<b>AG</b>	Algorithme génétique
<b>PSO</b>	Optimisation des essaims de particules

---

## Liste des figures, tableaux et Symboles

---

---

GWO	Optimisation du loup gris
Gén	Génération
Bit	Binaire unit
PV	Photovoltaïque
DC	Direct current
AC	Alternatif current
WAMPAC	Wide Area Monitoring Protection & Control Solutions
DR	Réponse Déclanchement
DSM	Manuel diagnostique et statistique
BFA	Méthode backword / forward
LDATA	Load (Charge) data
BDATA	Bus data
$\Delta$ P	Les pertes active totale
DVT	La dérivation de tension totale

---

---

# Introduction générale

La tâche principale du réseau de distributions électrique consiste à satisfaire la demande des consommateurs en électricité avec une qualité d'énergie conforme aux normes techniques.

Ces normes techniques exigent la réduction des chutes de tensions aux niveaux des jeux de barres de charges, la minimisation des pertes actives totales, réduction de surcharge dans les lignes, afin d'assurer le nombre de coupure et de garantir une meilleure continuité de service.

Avec le développement des sources distribuées à base des énergies renouvelables, est considérés comme une alternative vitale pour l'amélioration de l'exploitation des réseaux de distribution. Beaucoup de projets dans le monde d'intégration des sources distribués tels que l'éolienne et le solaire et ont été élaborés.

Ce projet de fin d'étude vise comme objective principale, l'application des méthodes métaheuristiques pour l'intégration des sources distribuées dans des emplacements efficaces permettant ainsi de minimiser les pertes actives totales et de réduire les déviations de tensions aux niveaux des jeux de barres de charges. Trois méthodes ont été adaptées et appliqués à savoir, l'algorithme génétique (GA), l'algorithme d'essaim de particule (PSO), et l'algorithme nommée GWO. L'efficacité de ces trois méthodes est validée sur un réseau test type radial possédant 33 jeux de barres. Ce projet de fin d'étude est structuré autour de quatre chapitres :

Nous commençons dans le Chapitre 1 par donner une description de différents types et architectures des réseaux, en précisant les caractéristiques des réseaux distribution, les différents types de lignes aux réseaux de distribution électriques, et la topologie de réseau distribution radial.

Nous présentons dans le Chapitre 2 les méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution. Dans la première partie on commence à décrire les méthodes d'analyse des réseaux de distribution tels que la méthode de gauss-Seidel, la méthode de Newton-Raphson et en Particulier la méthode utilisée BFA. La deuxième partie du chapitre est dédié à exposé quelques méthodes d'optimisation métaheuristiques à savoir, l'algorithme génétique, l'algorithme d'essaim de particule, et l'algorithme GWO.

Dans le Chapitre 3 présente dans la première partie une description de la production décentralisée et les conditions d'intégration des énergies renouvelables. Dans la deuxième

---

## Introduction générale

---

Partie nous exposons une comparaison entre le réseau de distribution classique et les réseaux intelligents à base des sources renouvelables en précisant leurs impacts sur la qualité d'énergie fournie. On

Le Chapitre 4 est consacré entièrement à l'analyse des résultats d'optimisation à base des trois méthodes (GA, PSO et GWO). Les performances des trois méthodes ont été validées sur un réseau test type radial 33 jeux de barres. Les algorithmes ont été adaptés pour optimiser deux fonctions objectives à savoir, la minimisation de la valeur des pertes totales et l'amélioration de la déviation de tension. Une étude comparative entre le cas sans optimisation et le cas avec optimisation démontre l'intérêt de l'utilisation des méthodes d'optimisation dans le domaine de gestion et fonctionnement des réseaux de distribution.

---



# CHAPITRE 1

# I. Chapitre 1 : Structures des réseaux de distribution

## I.1 Introduction

Les réseaux électriques sont des biens qui garantissent une alimentation fiable et de qualité en énergie électrique pour la vie quotidienne et pour l'économie des pays.

Le réseau de distribution assure le transit de l'énergie électrique vers les points de consommation.

Ce chapitre s'articule autour des parties suivantes :

- ✓ Les caractéristiques des réseaux électriques.
- ✓ La distribution de l'électricité.
- ✓ Amélioration de la qualité d'énergie dans les réseaux de distribution.

## I.2 Les caractéristiques des réseaux électriques

L'ensemble des constituants d'un réseau électrique peut être agencé selon différentes structures, leur complexité déterminera la disponibilité de l'énergie électrique, le coût d'investissement et le plan de protection associé. Le choix de l'architecture, au travers de grands choix technologiques, sera donc fait pour chaque application sur le critère de l'optimum technico-économique [1]. La norme en vigueur (UTE C 18-510) définit 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

## Chapitre 1 : Structures des réseaux de distribution

---

- ✓ TBT - pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V

La Commission Électrotechnique Internationale (publication 38-CEI) a donc été amenée à normaliser une gamme de tensions visant à regrouper les techniques et les marchés autour de valeurs qui résultent d'un compromis entre ce qui existe dans le monde et ce qui va se développer, les valeurs des tension normalisés sont récapitulées dans le Tableau (1.1).

Les tension	Tension comprise entre	Les valeurs Normalisées sont
Haut tension HT	35 KV et 230KV	45KV_66KV _110KV _132KV _150KV_220KV
Moyen tension MT	1000V et 35KV	3,3KV_6,6KV _11KV _22KV _33KV
Bass tension BT	100V et 1000 V	400V_690V _1000V (à50 HZ)

Tableau I-1:Tensions normalisées selon CRI

En Algérie, l'alimentation des clients est réalisée, pour le niveau de la tension HTA, en général, à 10 kV, 30 kV. Les caractéristiques locales du réseau de distribution où les particularités de l'installation électrique du client peuvent entraîner des modifications sur ces choix de niveau de tension.

### I.3 Le système électrique verticalement intègre

Le réseau électrique est organisé en différents niveaux de tension : le réseau de transport et de répartition auxquels sont connectés les grands groupes de production centralisée, et le réseau de distribution alimentant la plupart des consommateurs. Cette structure verticale (transport, répartition, distribution) est schématisée par la Figure (1.1).

#### I.3.1 Le réseau de transport

Les réseaux de transport assurent le transport de l'énergie électrique sur de grandes distances. Afin de minimiser les pertes joules sur les lignes, ces réseaux sont à très haute tension (de 63 kV à 400 kV). Du point de vue topographique, pour des raisons de sécurité de fonctionnement, les réseaux de transport sont des réseaux maillés. Les flux de puissance sont bidirectionnels. D'une manière générale, les réseaux de transport, comparativement aux réseaux de distribution, sont très supervisés afin de pouvoir effectuer des contrôles de la tension, de la fréquence, la répartition des flux de puissance et des coûts de production, etc. [2]

### I.3.2 Le réseau de répartition

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. (Mentionnant que la terminologie "réseau de répartition" tend à disparaître, ce niveau de tension étant généralement englobé dans le terme "transport"). [3]

### I.3.3 Le réseau de distribution

Le réseau de distribution (30kV, 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 ; cette structure arborescente simplifie considérablement le système de protections puisque le transit de puissance se fait de manière unilatérale du poste source (HTB/HTA) vers les postes HTA/BT et les consommateurs finaux. Ceci permet notamment la localisation et l'élimination rapide de défauts, ainsi que le comptage de l'énergie aux postes sources. Cette structure est donc parfaitement adaptée à un système verticalement intégré dans lequel la production est centralisée et la consommation distribuée.[3]

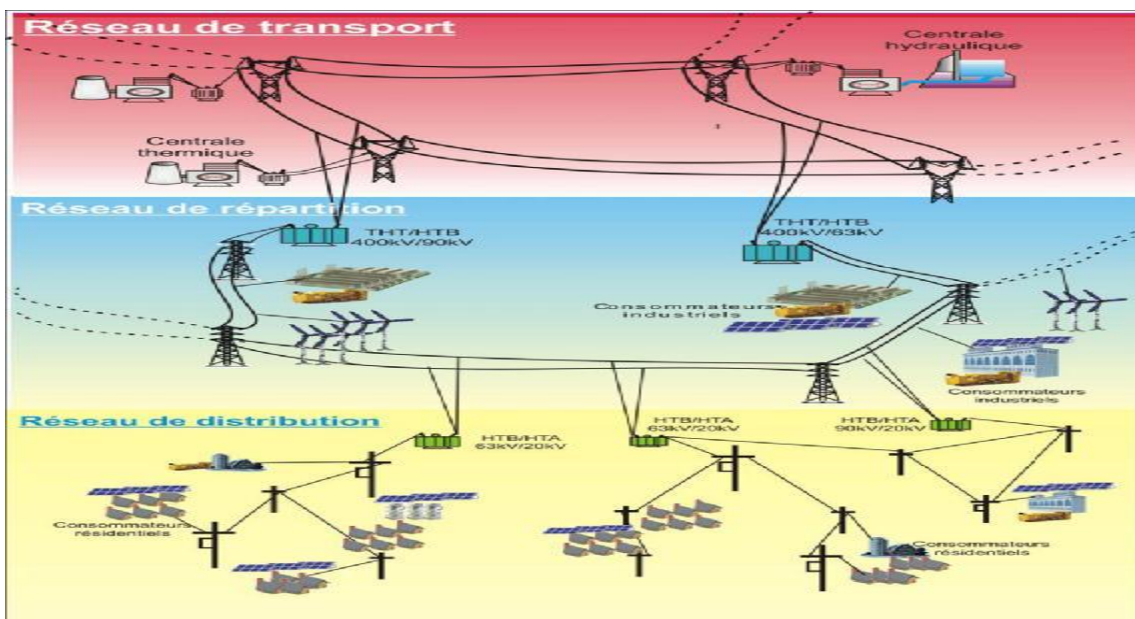


Figure I.1 : Structure du réseau électriques

### I.3.3.1 Les réseaux de distribution aériens

Les réseaux de distribution aériens, associés aux zones rurales de faible densité de charge, sont de structure arborescente bouclable mais exploitée en radial. Les boucles peuvent se situer entre les postes HTB/HTA ou entre départs voisins du même poste source. La Figure(1.2) illustre la structure radiale. Le départ type est constitué d'une ossature principale de section relativement forte et des dérivations de section plus faible alimentant des grappes de plusieurs postes HTA/BTA. Au poste source, un disjoncteur MT (Moyen Tension), à cycle de réenclenchements rapides puis lents, est installé en tête de l'ossature pour éliminer les défauts auto-extincteurs, fugitifs et semi-permanents. En tête de chaque dérivation, il est installé un IACT (Interrupteur Aérien à Creux de Tension). Ce dernier permet d'isoler la dérivation en cas de défaut en s'ouvrant automatiquement pendant les déclenchements lents du cycle du disjoncteur de départ, évitant ainsi d'affecter l'ossature principale. L'emploi récent des IAT (Interrupteurs Aériens Télécommandés) dans l'exploitation des réseaux HTA aériens a beaucoup réduit les durées de coupure et par conséquent l'énergie non distribuée. Ces IAT, placés le long des ossatures et aux points de bouclage, permettent de localiser et d'isoler rapidement le tronçon en défaut et effectuer les secours nécessaires.[3]

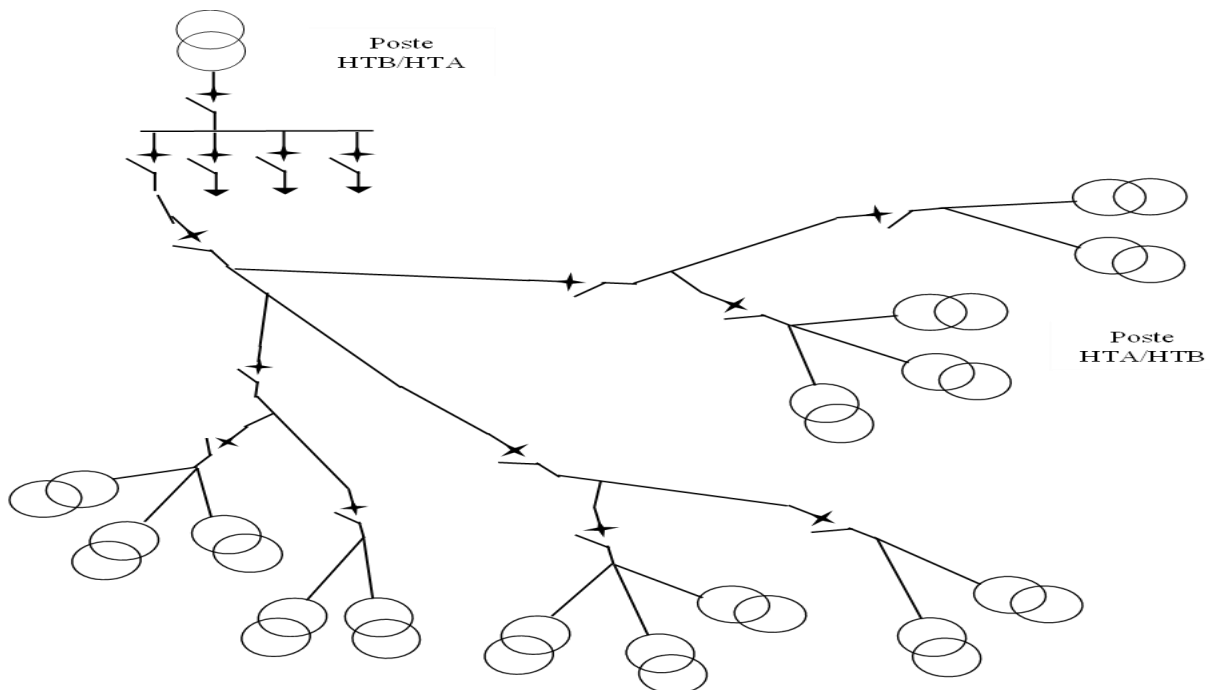


Figure I.2 : Réseau rural de type aérien

### I.4 Topologies des réseaux électriques

Les topologies diffèrent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau fiabilité recherché, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont comme suit :

- **Réseau maillé**

Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport.

- **Réseau bouclé**

Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT.

- **Réseau radial**

C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT.

- **Réseau arborescent**

Cette structure est très utilisée en milieu rural et quelque fois en milieu urbain où la charge n'est pas très sensible aux interruptions.[4]

#### I.4.1 Topologie des réseaux de distribution

Plusieurs configurations peuvent être envisagées, on peut citer :

##### I.4.1.1 Réseau radial type 1

Ce réseau se caractérise par une structure simple et protégée par un système de protection simple, cette structure ne permet pas d'assurer une bonne continuité de service aux consommateurs. Généralement, cette topologie est destinée pour alimenter les consommateurs de la troisième catégorie. La Figure(1.3) montre la structure d'un réseau radial simple type1 possédant uniquement une ligne principale sans dérivation [6].

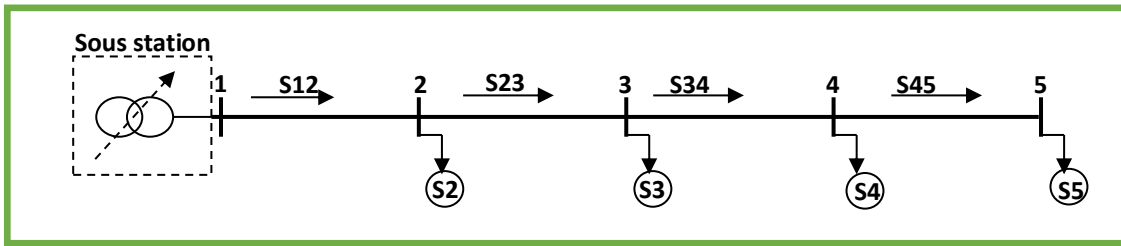


Figure I.3:Schéma unifilaire du réseau radial type 1 sans dérivation et sans reconfiguration

S2, S3, S4, S5 : représentent les puissances des charges localisées dans les jeux de barres : 2, 3, 4, 5 respectivement.

S12, S23, S34, S45 : sont appelées les puissances transitées dans les lignes.

## I.4.1.2 Réseau radial type 2

Ce type de réseau se compose d'une ligne principale et une seule dérivation. La Figure (1.4) montre la structure d'un réseau radial type2 possédant une ligne principale et une seule dérivation. Ce réseau ne possède pas la possibilité d'être reconfigurer avec d'autre réseau. Le sens de flux de puissances dans les lignes est unidirectionnel. [6]

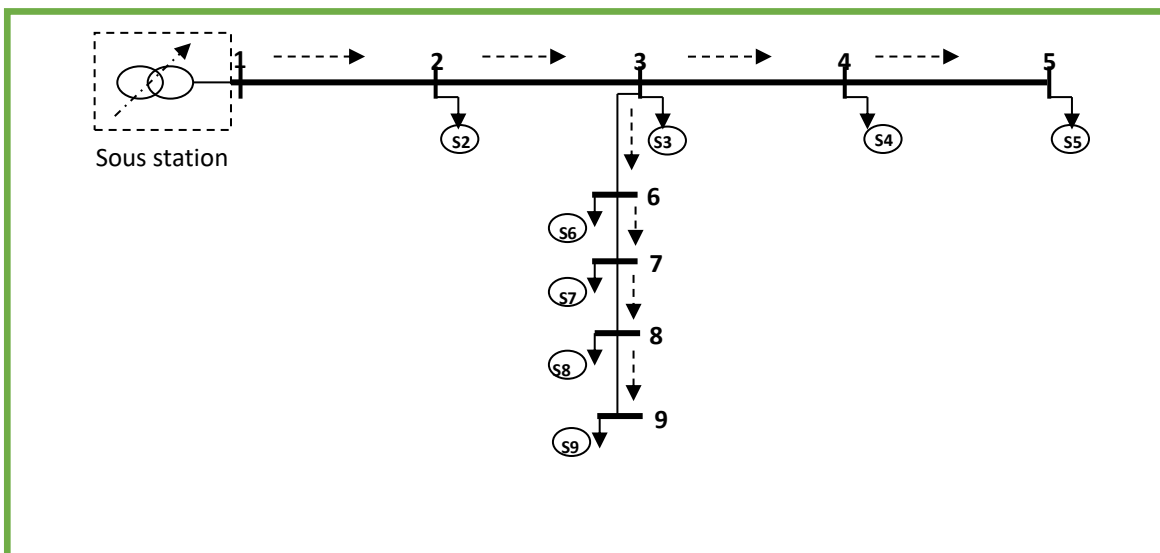


Figure I.4:Représentation unifilaire d'un réseau radial type 2 avec trois dérivations et avec reconfiguration

## I.4.1.3 Réseau radial type 3

Ce type de réseau alimente les consommateurs à travers une ligne principale et plusieurs dérivations avec la possibilité d'être reconfigurer avec d'autres réseaux de distribution. Ce

## Chapitre 1 : Structures des réseaux de distribution

réseau est appelé parfois réseau bouclable ce qui permet d'alimenter les consommateurs en cas de panne d'un des tronçons d'alimentation. Ce réseau se caractérise par le surdimensionnement des sections des conducteurs et l'installation de plusieurs points de sectionnement dans des localisations bien déterminées la Figure (1.5). Représentation unifilaire d'un réseau radial type 3 avec trois dérivations et avec Reconfiguration. [6]

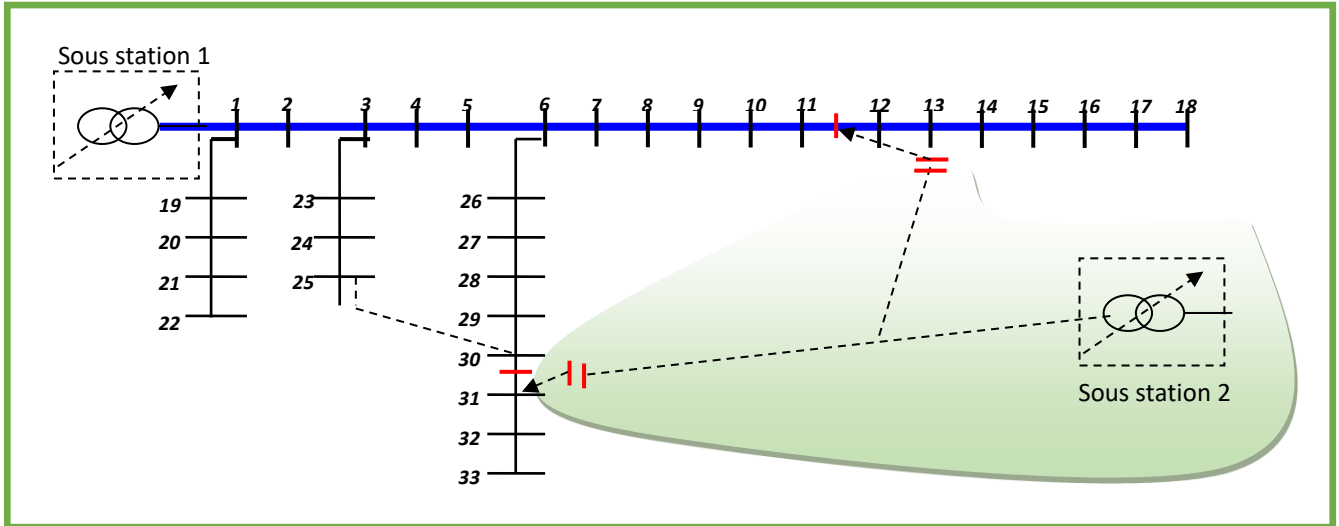


Figure I.5: Représentation unifilaire d'un réseau radial type 3 avec trois dérivations et avec Reconfiguration.

### I.5 Amélioration de la qualité d'énergie dans les réseaux de distribution

Il existe trois modes de réglages qui doivent être élaborés par les experts chargés de l'exploitation pour améliorer la qualité d'énergie :

- 1) Réglage de la tension aux niveaux de la sous station principale et les postes auxiliaires
- 2) Compensation de l'Énergie re active
- 3) La reconfiguration des réseaux :

#### I.5.1 La reconfiguration le système de distribution

La reconfiguration est le processus d'ouverture des interrupteurs de sectionnement et de fermeture d'un interrupteur de couplage correspondant à chaque interrupteur de sectionnement. Cela doit être fait de manière à ce que la radicalité du système soit maintenue et qu'aucune des charges ne soit isolée [7], la caractéristique de la reconfiguration des réseaux de distribution afin de réduire la perte de puissance réelle dans des conditions de fonctionnement normales. Et très efficace sur le plan informatique car il ne nécessite pas le concept de flux de puissance optimal et nécessite moins d'opérations de commutation.



## I.5.1.1 Méthode proposée

Dans la méthode proposée, deux règles heuristiques sont à considérer :

\* Si la chute de tension sur le commutateur à tête d'équerre ouverte est importante, fermer ce commutateur à tête d'équerre. On s'attend à ce qu'en raison de la plus grande chute de tension, cette commutation entraîne une réduction maximale de la perte.

\* Si la chute de tension sur le commutateur à tête d'équerre ouverte est négligeable, cette option est mise au rebut. On s'attend à ce qu'en raison de la plus petite chute de tension, cette commutation ne cause pas de réduction des pertes.

## I.5.1.2 Explication du principe de reconfiguration

La tâche principale de la technique de reconfiguration des réseaux de distribution est de trouver l'emplacement des lignes de bouclages ainsi que les points des sectionnements les plus efficaces pour améliorer la qualité d'énergie fournie aux consommateurs. Pour plus d'illustration, on suppose un réseau constitué du système de distribution illustré à la Figure (1.6). Il contient trois lignes de bouclage (tie line) et trois points de sectionnement (Switch) ((11 .10) ;(13.14) ;(9.3)).

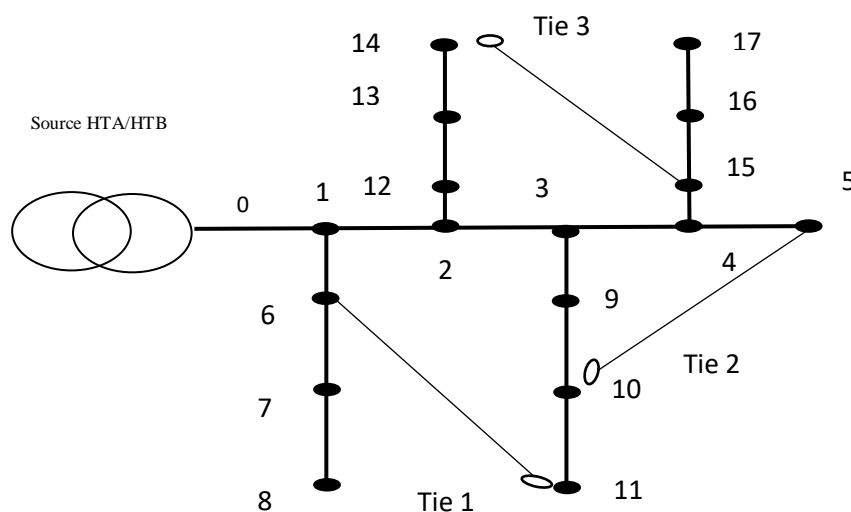


Figure I.6: Configuration initiale du réseau de distribution avec trois lignes de bouclages

## Chapitre 1 : Structures des réseaux de distribution

---

En pratique, plusieurs variantes de reconfiguration sont à considérer, cela nécessite l'application des méthodes métaheuristiques permettant l'identification de la variante optimale en termes de localisation des lignes de bouclages et les points de sectionnement. A titre d'exemple, la configuration initiale du réseau peut être modifiée par l'action simultanée sur le bouclage de la ligne 6-11 et l'ouverture du point de sectionnement 10-11, puisque, en général les réseaux sont exploités en configuration radiale. La Figure (1.7) représente la structure du réseau après le bouclage de la ligne 6-11, alors que la Figure (1.8) montre la configuration finale du réseau après l'ouverture de la section de ligne 10-11.

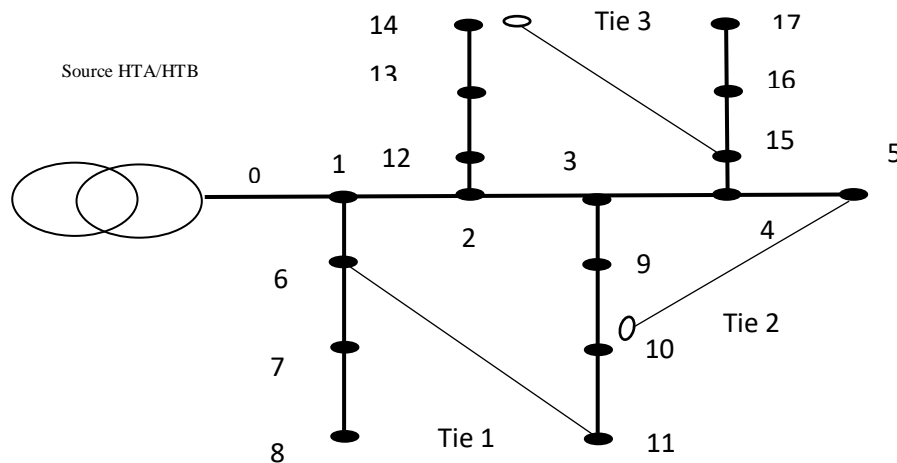


Figure 1.7: Reconfiguration 1 : raccordement de la ligne de bouclage 6-11

En pratique, plusieurs variantes de reconfiguration sont à considérer, cela nécessite l'application des méthodes métaheuristiques permettant l'identification de la variante optimale en termes de localisation des lignes de bouclages et les points de sectionnement. A titre d'exemple, la configuration initiale du réseau peut être modifiée par l'action simultanée sur le bouclage de la ligne 6-11 et l'ouverture du point de sectionnement 10-11, puisque, en général les réseaux sont exploités en configuration radiale. La Figure (1.7) représente la structure du réseau après le bouclage de la ligne 6-11, alors que la Figure (1.8) montre la configuration finale du réseau après l'ouverture de la section de ligne 10-11.

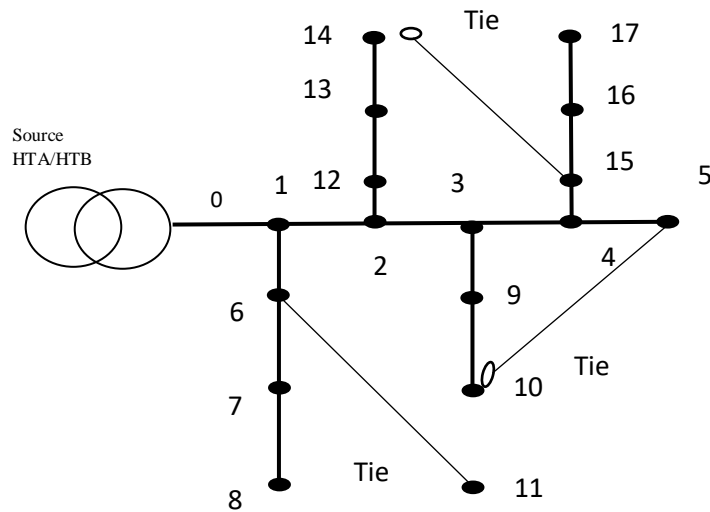


Figure I.8 : Reconfiguration 1 : raccordement de la ligne de bouclage 6-11 et ouverture au niveau du point de sectionnement 10-11

Il faut noter que la nouvelle reconfiguration ne doit pas perturber d'autres consommateurs, c'est pour cette raison, le choix d'une variante de reconfiguration s'effectue après l'analyse technique et économique

### I.5.1.3 Les avantages de la reconfiguration du système de distribution

- La minimisation des pertes ohmiques.
- La réduction et l'équilibrage des charges des branches.
- La diminution des chutes de tension au long des branches et l'équilibrage du niveau de tension aux nœuds consommateurs.
- L'amélioration de la fiabilité de l'alimentation des consommateurs.
- La réduction des coûts des manœuvres.
- Minimise le nombre d'opérations de commutation et donc plus rapide. [9]

### I.5.2 La compensation d'Énergie réactive

L'amélioration du facteur de puissance d'une installation consiste à installer une batterie de condensateurs ou compensateurs synchrones ou bancs de condensateurs ou Compensateurs statiques de puissance réactive (FACTS...) ..., source d'énergie réactive. La batterie de condensateurs de puissance diminue la quantité d'énergie réactive fournie par la source.

#### I.5.2.1 Le facteur de puissance

C'est le quotient de la puissance active consommée et de la puissance apparente fournie.

$$F = \frac{P}{S} = \cos\varphi \quad (1.1)$$

**Le  $\cos \varphi$**  : est le facteur de puissance du fondamental et ne prend pas en compte la puissance véhiculée par les harmoniques. Un facteur de puissance proche de 1 indique une faible consommation d'énergie réactive et optimise le fonctionnement d'une installation.

#### I.5.2.2 L'amélioration du facteur de puissance

Cette amélioration présente de nombreux avantages :

- \* diminution de la facture d'électricité en évitant la consommation d'énergie réactive au-delà de la franchise allouée par le distributeur (40% de l'énergie active consommée) pour les abonnés au tarif vert ( $S > 250\text{kVA}$ ).
- \* réduction de la puissance souscrite pour les abonnés au tarif jaune ( $36\text{kVA} < S < 250\text{kVA}$ ),
- \* diminution de la section des câbles.
- \* diminution des pertes en ligne.
- \* réduction de la chute de tension.
- \* augmentation de la puissance disponible du transformateur.

#### I.5.2.3 Types des compensations

Nous avons conclu les types dans la Figure (1.9) suivant :

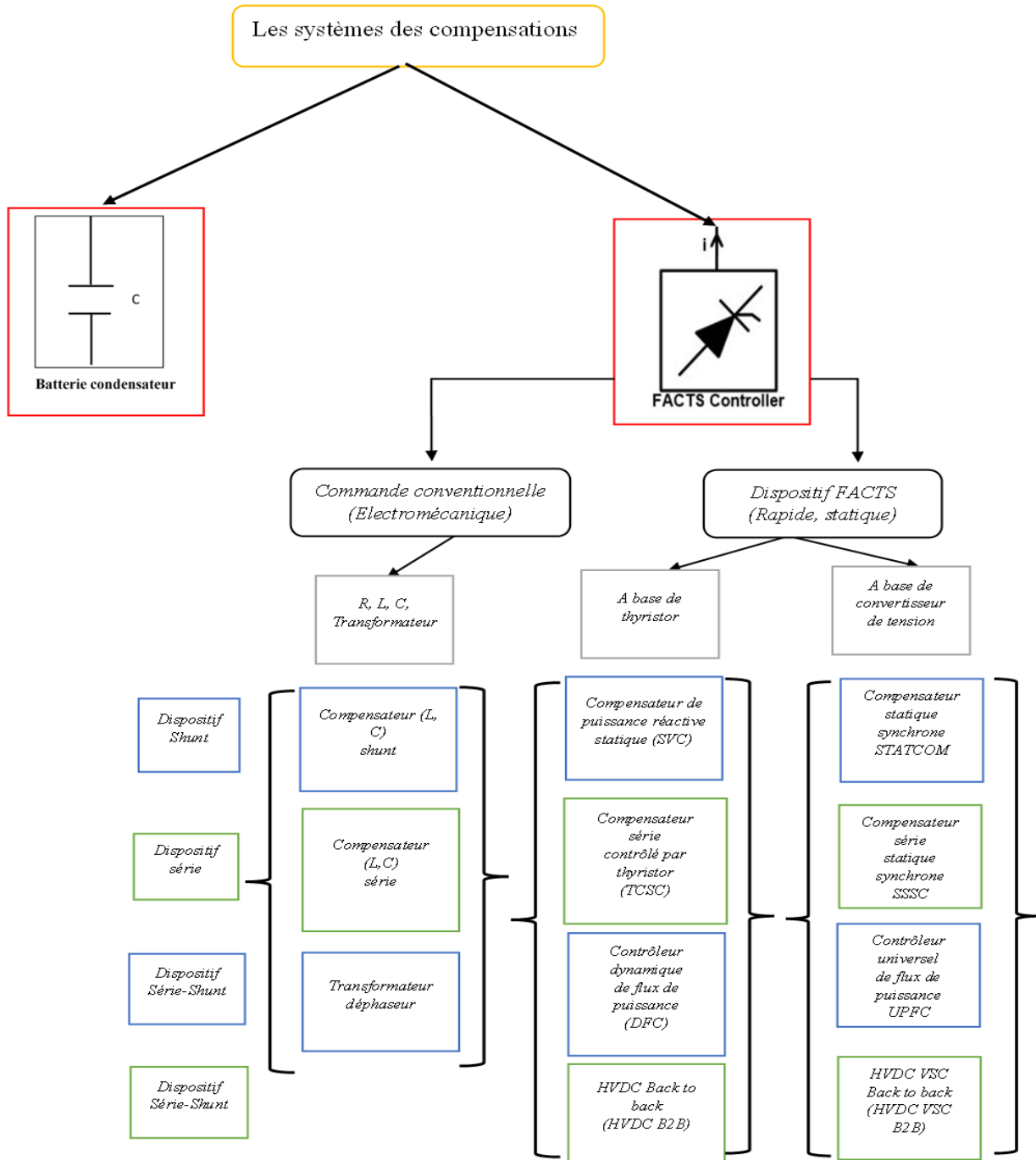


Figure I.9:Schéma bloc des types de compensation

## I.5.2.4 Principe de base de la compensation shunt

On insère maintenant de la ligne un compensateur d'énergie réactive idéal. En effet, la chute de la tension à travers une ligne est donnée par la relation en négligeant le terme résistif de la ligne. la Figure (1.10) l'insertion de compensation dans la ligne [10]

- **Réglage de la tension**

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} \times R_{12} + Q_{12} \times X_{12}}{U_1} \quad (1.2)$$

$$\Delta U_{12}^c = \frac{P_{12} \times R_{12} + Q_{12}^c \times X_{12}}{U_1} = \frac{P_{12} \times R_{12} + (Q_{12} - Q_{SVC}) \times X_{12}}{U_1} \quad (1.3)$$

$$\Delta U_{12}^c = \frac{P_{12} \times R_{12} + Q_{12} \times X_{12}}{U_1} - \frac{Q_{SVC} \times X_{12}}{U_1} = \Delta U_{12} - \Delta U_c \quad (1.4)$$

Avec :

$$\Delta U_c = \frac{Q_{SVC} \times X_{12}}{U_1}$$

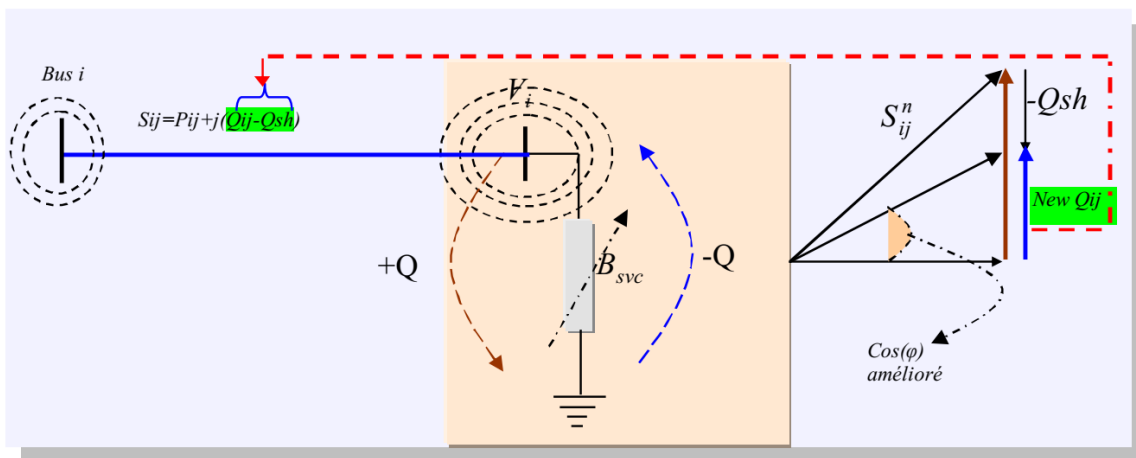


Figure I.10: Principe de la compensation shunt

### I.5.3 Les régulateurs de tension dans les réseaux distribution

Les tensions régulées garantissent que les produits et l'équipement électriques fonctionnent de façon optimale. Les produits et l'équipement électriques sont généralement conçus pour fonctionner dans une plage de tension limitée. Une tension mal régulée entraîne souvent des performances défavorables ou inacceptables de l'équipement. Les fortes charges électriques et les longues lignes de distribution font diminuer les tensions du système.

Les régulateurs de tension permettent aux services publics de maintenir les niveaux de tension dans des plages acceptables, ce qui permet aux clients des services publics d'être sûrs d'un fonctionnement adéquat de l'équipement électrique.

### I.5.3.1 Les avantages des régulateurs de tension

- Commandes électroniques dotées de fonctions avancées prenant en charge la technologie de réseau électrique intelligent et les communications SCADA
- Commande multi phase permettant de faire fonctionner deux ou trois régulateurs avec un seul et unique contrôleur
- Les commutateurs à prises de réglage Quik-Drive offrent un actionnement sur 32 paliers en moins de 10 secondes, améliorant ainsi la qualité de l'alimentation en offrant une récupération plus rapide après des variations de tension importantes
- Commutateurs à prises de réglage avec technologie à vide, valeurs nominales de charge plus élevées et réduction des exigences d'entretien

## I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans la première phase un aperçu sur les structures des réseaux de distribution tout en précisant leur avantage et inconvénients. La deuxième phase a été consacrée à présenter en bref les différentes topologies du réseau de distribution. Le chapitre suivant est consacré à exposer les différentes sources distribuées intégrées récemment dans les réseaux électriques et en particulier dans les réseaux de distribution

# CHAPITRE

# 2



## **II. Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution**

### **II.1 Introduction**

Les problèmes d'optimisation et d'analyse occupent actuellement une place importante dans la communauté scientifique travaillant dans les réseaux électriques. Ce qui a conduit à l'émergence de nouvelles méthodes telles que les méthodes métaheuristiques basées sur l'intelligence artificielle

Ce chapitre s'articule autour des parties suivantes :

- ✓ Méthodes d'analyses.
- ✓ Méthodes d'optimisation métaheuristiques

### **II.2 Partie 1 : Méthodes d'analyses**

#### **II.2.1 Méthodes d'écoulement de puissance**

Plusieurs méthodes sont disponibles pour l'évaluation de l'écoulement de puissance dans les réseaux de distribution radiaux. Certains d'entre eux ont été discutés comme sous :

#### **II.2.2 Méthode de Gauss-Seidel**

C'est la première méthode inventée. Il donne des taux de convergence très lents par rapport à d'autres méthodes itératives, mais implique une très petite quantité de mémoire et n'implique pas nécessairement la résolution de matrices.

#### **II.2.3 Méthode de Newton–Raphson**

Plusieurs méthodes sont basées sur cette technique. Le clip de convergence est sensiblement rapide, seulement il peut rarement faiblir en raison de difficultés innées de fatalité dans les bassins d'attraction de l'intrigue itérative fondamentale.

### II.2.4 Méthode de flux de charge à découplage rapide

Pendant les opérations d'un système électrique, il est essentiel que les travailleurs disposent d'un niveau élevé d'informations sur les éventualités. Il est indispensable que les travailleurs sachent quels changements de flux de puissance peuvent survenir en raison de pannes de générateur. Ces informations conditionnelles pourraient également être utilisées pour prévoir les futures pannes de courant dans le réseau électrique. Dans ce cas, la méthode de flux de charge découplée rapide est généralement utilisée pour récupérer facilement les informations requises.

### II.2.5 Méthode BIBC/BCBV

Dans cette méthode, deux matrices développées d'injection de bus au courant de bus (BIBC) et de courant de dérivation à la tension de bus (BCBV), et une multiplication matricielle simple (DLF) sont utilisées pour obtenir des solutions de flux de charge. La solution converge très tôt ; donc le temps d'exécution est très faible.

### II.2.6 Méthode de Balayage avant / balayage arrière (backward /forward)

La loi de Kirchhoff sur le courant et la loi de Kirchhoff sur la tension sont utilisées pendant le flux arrière pour calculer les tensions de bus du dernier nœud vers le premier nœud de chaque ligne ou d'un transformateur Branch. Ensuite, le principe linéaire proportionnel est utilisé pour trouver les rapports des parties réelles et imaginaires de la tension spécifiée aux tensions calculées au niveau du bus du poste. Pendant le balayage vers l'avant, les tensions aux bus partant du premier nœud vers le dernier nœud sont mises à jour par les parties réelles et imaginaires de la tension de bus calculée en multipliant avec le rapport correspondant. L'ensemble du processus s'arrête après l'inadéquation des tensions calculées et spécifiées à la sous-station et lorsque le taux de convergence est inférieur à la limite de tolérance.

La méthode de balayage arrière-avant a été largement utilisée pour résoudre les problèmes de flux de puissance dans les réseaux de distribution car il converge très rapidement et consomme moins de mémoire de calcul. [11]

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

### ➤ Balayage vers arrière

En partant du nœud/bus d'extrémité en remontant vers le bus de mou, le flux de puissance dans chaque branche peut être calculé à l'aide de,

$$S_n = S_i \sum_{m \in M} S_m + loss_n \quad (2.1)$$

$S_n$  : la puissance transite dans branche (n).

(i) : est le nœud final de la branche 'n'

$S_i$  : la puissance de la charge connectée dans le jeu de barre (bus) / nœud

$S_m$  : la puissance de (m) branche

$loss_n$  : les pertes de la branche (m)

M : est le nombre de branches connectées à la (n) branche du (i) nœud

### ➤ Balayage vers l'avant

En partant des branches connectées au bus de mou et en avançant vers les branches d'extrémité, le courant dans le bus émetteur « j » de la (n) branche et les tensions dans le bus récepteur « i » sont calculés à l'aide des équations suivantes :

$$I_n = \left( \frac{S_n}{V_j} \right)^* \quad (2.2)$$

$$V_i = V_j - Z_n \times I_n \quad (2.3)$$

Les pertes de puissance de branche peuvent être calculées en utilisant

$$loss_n = (V_j - V_i) \times I_n^* \quad (2.4)$$

### ➤ Critère de convergence

Les tensions calculées dans les itérations précédentes et présentes sont comparées. Dans les itérations successives, si le décalage maximal entre les tensions est inférieur à la tolérance spécifiée, c'est-à-dire 0,0001, la solution est dite convergente. L'écart de tension peut être calculé à l'aide de l'équation [12].

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

$$\Delta V_i^{(k)} = \left| V_i^{(k)} \right| - \left| V_i^{(k+1)} \right| \quad (2.5)$$

K : le nombre de l'itération.

### ➤ La propriété de la méthode

- ✚ Il suit une approche ascendante, c'est-à-dire que la déduction du raisonnement se déplace de bas en haut.
- ✚ Il est également appelé approche basée sur les données car il s'appuie sur les données existantes pour atteindre l'état de l'objectif
- ✚ Il est axé sur la conclusion, c'est-à-dire que son objectif est de parvenir à la conclusion à partir de l'état initial

### ➤ Les étape de méthode balayage arrière-avant (backward / forward )

1. Inséré Le type des lignes (principale, latérale, sous-latérale et mineure) est identifié en déterminant les vecteurs des jeux de barres constituant chaque type de ligne.
2. Le profil de tension est initialisé à tous les JB à 1,0 pu.
3. Les courants de charges, les courants traversant les branches des lignes mineures, sous latérales, latérales et de la ligne principale ainsi que les puissances transitées dans les Branches sont calculées en backward.
4. Les tensions sont calculées en forward. Le processus se répète d'une manière itérative avec les nouvelles tensions obtenues à chaque JB et la différence maximale de grandeurs de tension pour deux itérations successives est prise comme critère de convergence.
5. Les pertes totales de puissance sont calculées en fonction des caractéristiques résistance et réactance de chaque branche, des puissances transitées dans chaque branche et des tensions au niveau de chaque jeu de barre ; Figure (2.1) représente l'Organigramme de calcul de la méthode BFSM.[13]

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

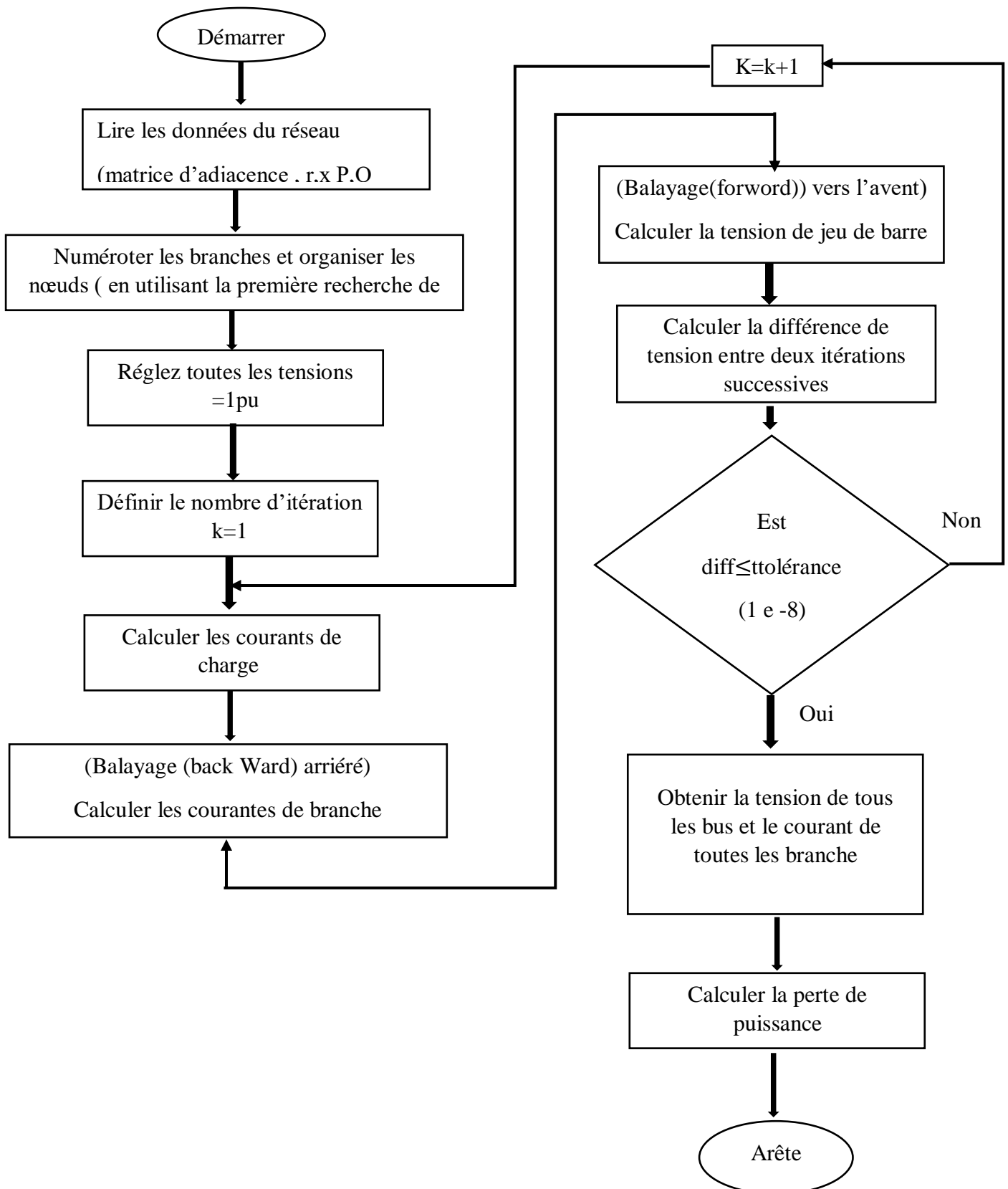


Figure II.1: Organigramme de méthode BFA

## II.3 Partie 2 : Méthodes d'optimisation métaheuristiques

### II.3.1 Définition de l'Optimisation

L'optimisation est une partie de la mathématique qui s'intéresse à déterminer la solution globale parmi un ensemble de solutions candidates qui forment l'espace de recherche d'un problème envisagé, cet optimum minimise ou maximise une fonction qui s'appelle fonction objective ou bien fonction de coût. Une optimisation peut se trouver avec et sans contraintes. Les premières méthodes d'optimisation étaient originellement inspirées à partir des travaux de Lagrange et Hamilton plusieurs méthodes algorithmiques itératives ont été étudiées à cette époque par Newton et Gauss, Selon la nature de la fonction objective linéaire ou non linéaire, il peut exister une ou plusieurs solutions pour un sous espace restreint de l'espace de recherche nommé voisinage, ces solutions sont locales et non globales qui sont schématisées par la Figure sous dessous [14].

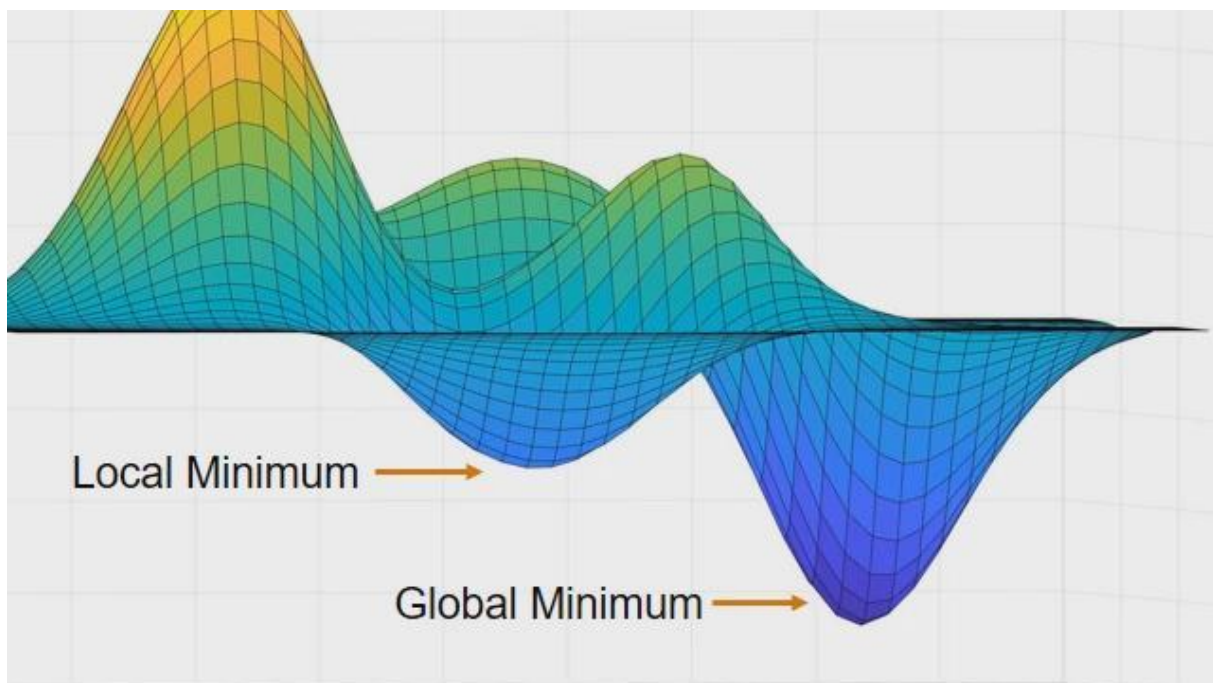


Figure II.2:Optimum global d'une fonction non linéaire

### II.3.2 Algorithmes d'optimisation métaheuristiques

Les algorithmes métaheuristiques (MHA) ont été très populaires au cours des deux dernières décennies pour résoudre problèmes d'optimisation d'ingénierie. Ces algorithmes sont inspirés d'évolution, swarm, biologie et physique. Au cours de la dernière décennie, de nombreux algorithmes d'optimisation inspirés de la nature tels que AG, PSO, GWO... .

#### II.3.2.1 Optimisation par Algorithme Génétique (AG)

Les algorithmes génétiques développés par J. Holland sont une technique importante dans la recherche du meilleur choix d'un ensemble de solutions disponibles pour un design particulier. Leurs fondements théoriques furent exposés par Goldberg. Ils tentent de simuler le processus d'évolution des espèces dans leur milieu naturel : soit une transposition artificielle de concepts basiques de la génétique et des lois de survie énoncés par Darwin.

##### II.3.2.1.1 Principe Les algorithmes génétiques

Un algorithme génétique recherche les extrema d'une fonction défini sur un espace de données. Pour l'utiliser, on doit disposer des cinq éléments suivants Figure (2.3) représenté principe général des algorithmes génétique.

1. Un principe de codage de l'élément de population. Cette étape associe à chacun des points de l'espace d'état une structure de données. Elle se place généralement après une phase de modélisation mathématique du problème traité. Le choix du codage des données conditionne les succès des algorithmes génétiques. Les codages binaires ont été très employés à l'origine. Les codages réels sont désormais largement utilisés, notamment dans les domaines applicatifs, pour l'optimisation de problèmes à variables continues.

2. Un mécanisme de génération de la population initiale. Ce mécanisme doit être capable de produire une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est important car il peut rendre plus ou moins rapide la convergence vers l'optimum global.

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

3. Une fonction à optimiser. Celle-ci prend ses valeurs dans  $\mathbb{R}^+$  et est appelée fitness ou fonction d'évaluation de l'individu. Celle-ci est utilisée pour sélectionner et reproduire les meilleurs individus de la population.

4. Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace d'état. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, l'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace d'état.

5. Des paramètres de dimensionnement : taille de la population, nombre total de générations ou critère d'arrêt, probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation [15].

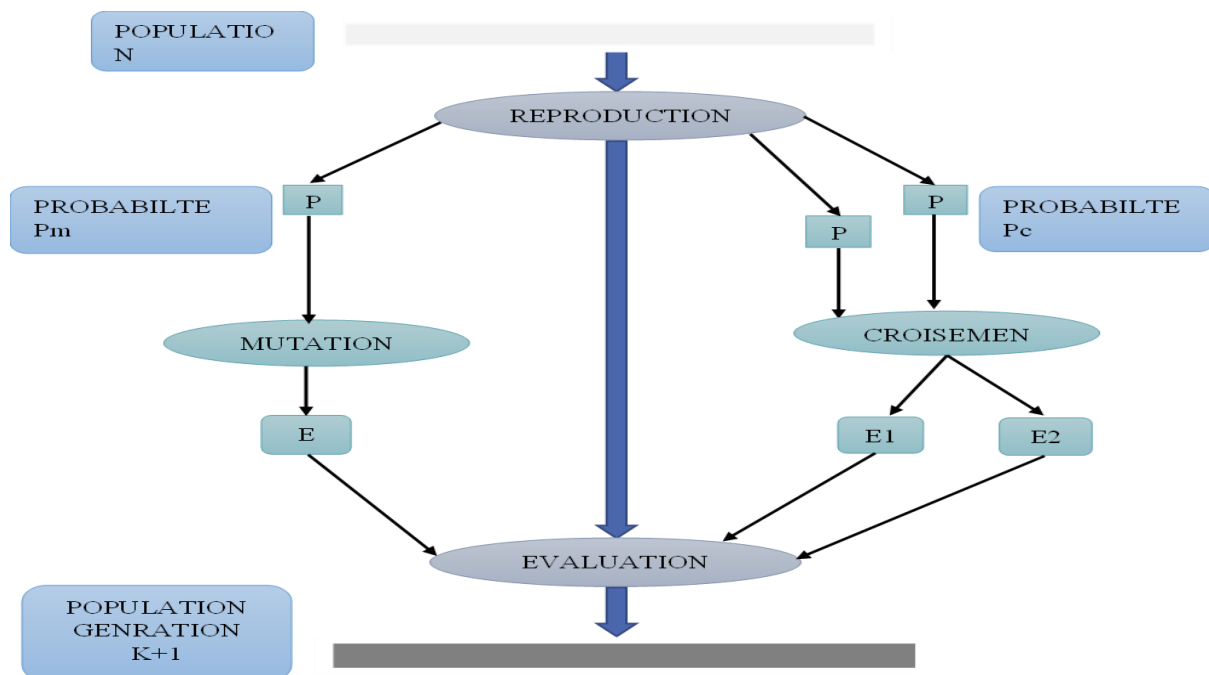


Figure II.3 : Principe général des algorithmes génétique

### II.3.2.1.2 Les AG sont basées sur les phases suivantes

- Initialisation : Une population initiale de N chromosomes est tirée aléatoirement.
- Évaluation : Chaque chromosome est décodé, puis évalué.





## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

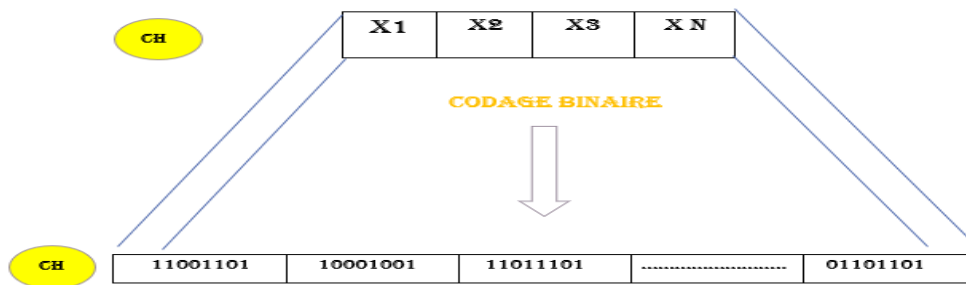


Figure II.5:Le codage réel et le codage binaire

- **Codage réel**

Il a le mérite d'être simple Chaque chromosome est en fait un vecteur dont les composantes sont les paramètres du processus d'optimisation par exemple, si on recherche l'optimum d'une fonction de n variables, on peut utiliser tout simplement un chromosome contenant les n variables. Avec ce type de codage, la procédure d'évaluation des chromosomes est plus rapide vu l'absence de l'étape de transcodage (du binaire vers le réel) Les résultats donnés par montrent que la représentation réelle aboutit souvent à une meilleure précision et un gain important en termes de temps d'exécution, la Figure (2.6) représente illustration schématique du codage des variables réelles [16].

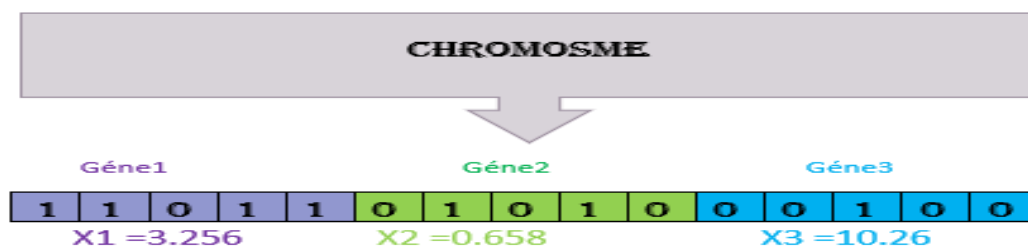


Figure II.6 : Illustration schématique du codage des variables réelles

### II.3.2.1.4 Fitness

La fonction fitness désigne la fonction d'évaluation d'un individu. Cette fonction est liée à la fonction à optimiser et permet de définir le degré de performance d'un individu. D'une

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

manière générale, un algorithme génétique manipule les solutions potentielles d'un problème donné afin d'atteindre la solution optimale ou une solution jugée satisfaisante [17].

### II.3.2.1.5 Les opérateurs utilisés par les AG

#### ➤ L'opérateur sélection

La sélection a pour objectif d'identifier les individus qui doivent se reproduire cet opérateur ne crée pas de nouveaux individus mais identifie les individus sur la base de leur fonction d'adaptation, les individus les mieux adaptés sont sélectionnés alors que les moins bien adaptés sont écartés. Il existe plusieurs méthodes de sélection, les plus connues étant la « roue de la fortune » et la « sélection par tournoi » dans la Figure (2.7) représentation d'une sélection par tournoi d'individus pour un critère de maximisation (chaque individu représente une solution possible). [16]

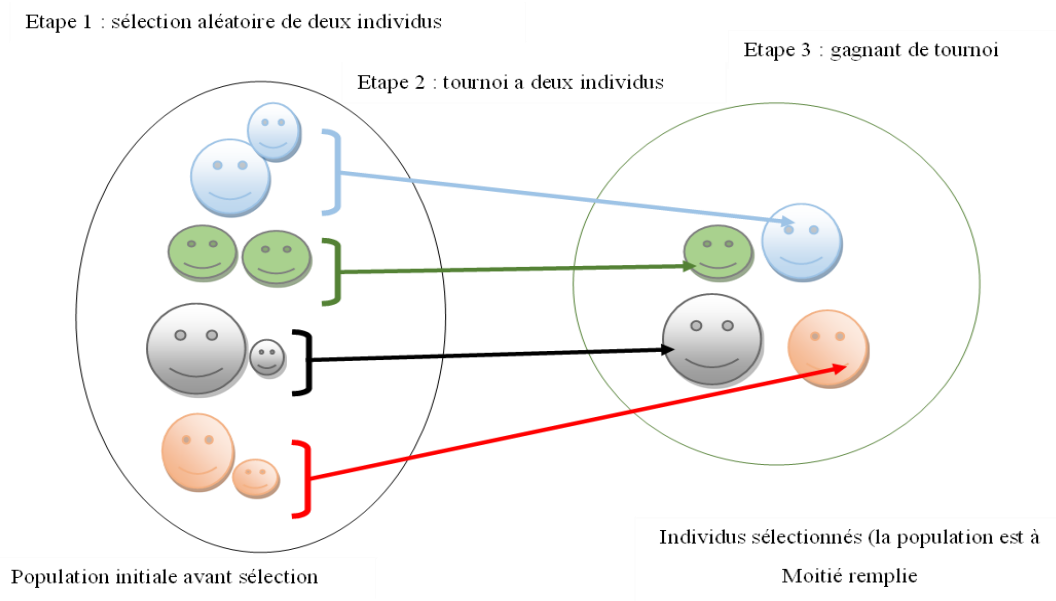


Figure II.7: Représentation d'une sélection par tournoi d'individus pour un critère de maximisation (chaque individu représente une solution possible).

#### ➤ L'opérateur croisement

Dans un algorithme génétique, des parties des individus sélectionnés (parents) sont échangées par croisement. Il peut être effectué sur un ou plusieurs parents pour former un ou plusieurs enfants (ou descendants). Il existe, là aussi, de nombreuses méthodes de croisement.

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

- **Croisement en un Point**

Pour chaque couple, on choisit au hasard un point de croisement (Figure 2.8) Le croisement s'effectue directement au niveau binaire, et non au niveau des gènes. Un croisement peut être coupé au milieu d'un gène.

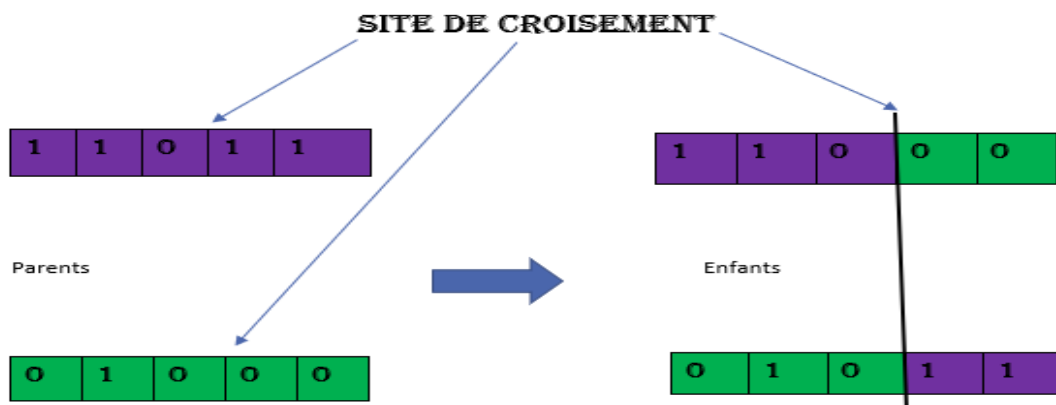


Figure II.8: Exemple de croisement à un point simple

- **Croisement en deux Points**

On choisit au hasard deux points de croisements successifs. Cet opérateur est généralement considéré comme plus efficace que le précédent dans Figure (2.9) représentation exemple de croisement en deux points.

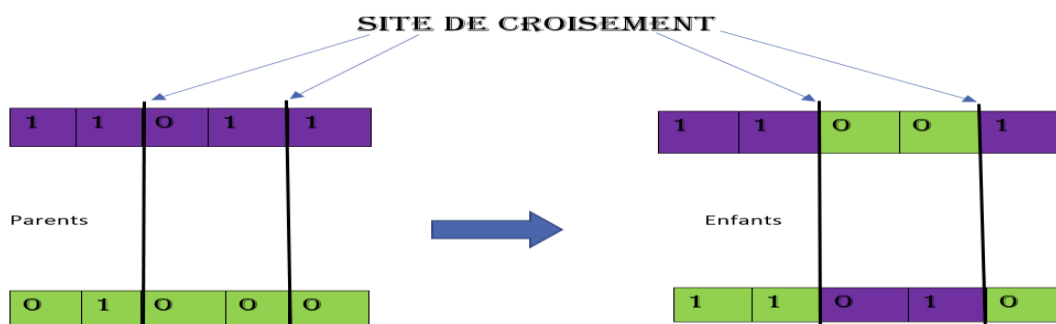


Figure II.9 : Exemple de croisement en deux points

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

### ➤ L'opérateur Mutation

Nous définissons une mutation comme étant l'inversion d'un bit dans un chromosome. Cela revient à modifier aléatoirement la valeur d'un paramètre du dispositif. Les mutations jouent le rôle de bruit et empêchent l'évolution de se figer. Elles permettent d'assurer une recherche aussi bien globale que locale, selon le poids et le nombre des bits mutés dans la Figure (2.10) Représentation schématique de la mutation simple .

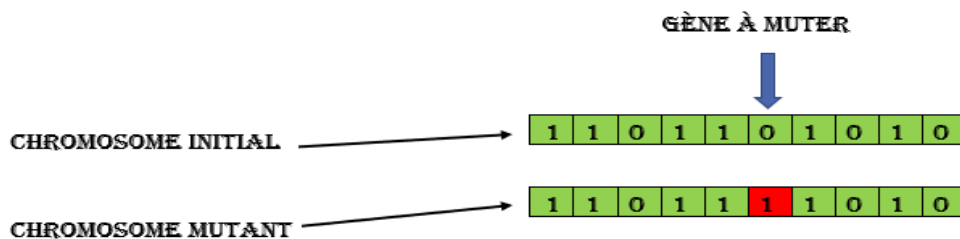


Figure II.10: Représentation schématique de la mutation simple

#### II.3.2.1.6 Exemple d'application

Cet exemple est dédié à la minimisation d'une fonction mathématique nommée `DEJONG5FCN`. Le code source de cette fonction en Matlab est présenté sous dessous. Les paramètres de GA utilisés sont : la population 50, la Génération maximale 100. La fonction objective à optimiser est composée de deux variables. La représentation en 3D de la fonction à optimiser est présentée dans la Figure (2.11).

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

```
%DEJONG5FCN Compute DeJongs fifth function.

% Copyright 2003-2007 The MathWorks, Inc.

a =[-32, -16, 0, 16, 32, -32, -16, 0, 16, 32, -32, -16,
0, 16, 32 -32, -16, 0, 16, 32, -32, -16, 0, 16, 32;
-32, -32, -32, -32, -32, -16, -16, -16, -16, -16, 0, 0,
0, 0, 0, 16, 16, 16, 16, 16, 32, 32, 32, 32 ]';

if(nargin == 0)
    plotobjective(@dejong5fcn,65.536 * [-1 1; -1 1]);
    return
end

scores = zeros(size(xin,1),1);
for i = 1:size(xin,1)
    p = xin(i,:);
    p = max(-65.536,min(65.536,p));
    k = 0.002;
    for j = 1:25
        k = k + 1 / (j + (p(1) - a(1,j))^6 + (p(2) - a(2,j)) ^ 6);
    end
    scores(i) = 1/k;
end
```

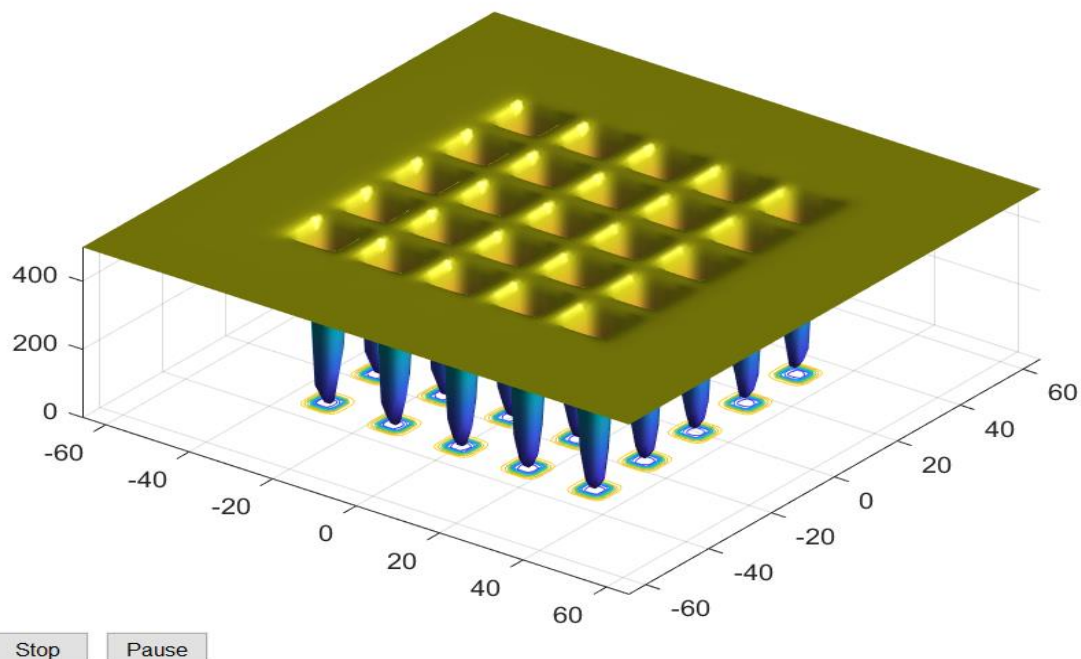


Figure II.11 : Représentation en 3D de la fonction à optimiser.

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

- Les solutions après la minimisation de la fonction objective sont :

$X1 = -31.9783$ ,  $X2 = -31.9783$

- La valeur moyenne de la fonction objective (mean) est 0.9980 , la meilleur (best) solution est 0.9980
- Le temps de convergence pour une seule exécution est : 2.100216 s

Vue l'aspect stochastique de l'algorithme génétique, le programme doit être exécuté plusieurs fois pour localiser la valeur optimale. Les résultats d'optimisation obtenues sont :

- Le temps d'exécution : 16.404 s
- La meilleure valeur de la fonction objective : 0,9980

La courbe de convergence de l'algorithme GA après avoir exécuté 10 fois l'algorithme est présentée dans la Figure (2.11).

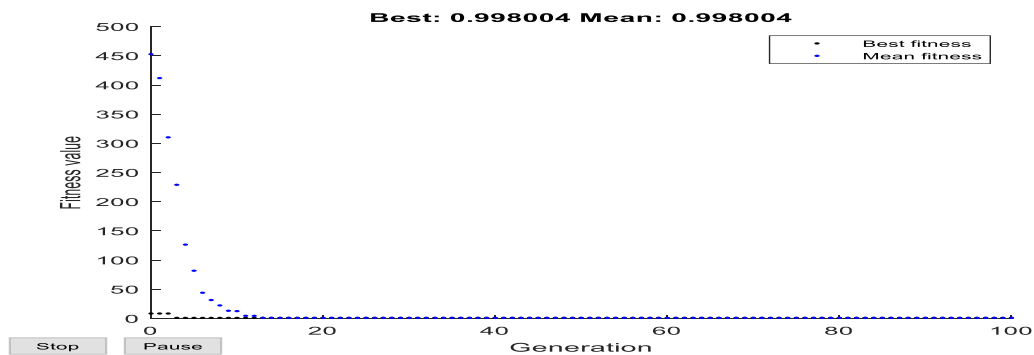


Figure II.12: La courbe de convergence de l'AG

Le nombre d'exécution	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X1	-15,973	31,9783	31,9783	-15,98	-0,0132	-0,0278	-31,965	-31,953	-15,986	0,0132
X2	-15,975	-31,978	-31,978	-31,97	-31,965	0,0278	-15,978	-15,978	-31,97	-31,965
Les valeurs de chaque itérations	0,9980	6,9033	2,9821	2,9821	10,7632	1,9920	2,9821	0,9980	1,9920	1,9920

Tableau II-1: Les résultats de la convergence de l'algorithme GA

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

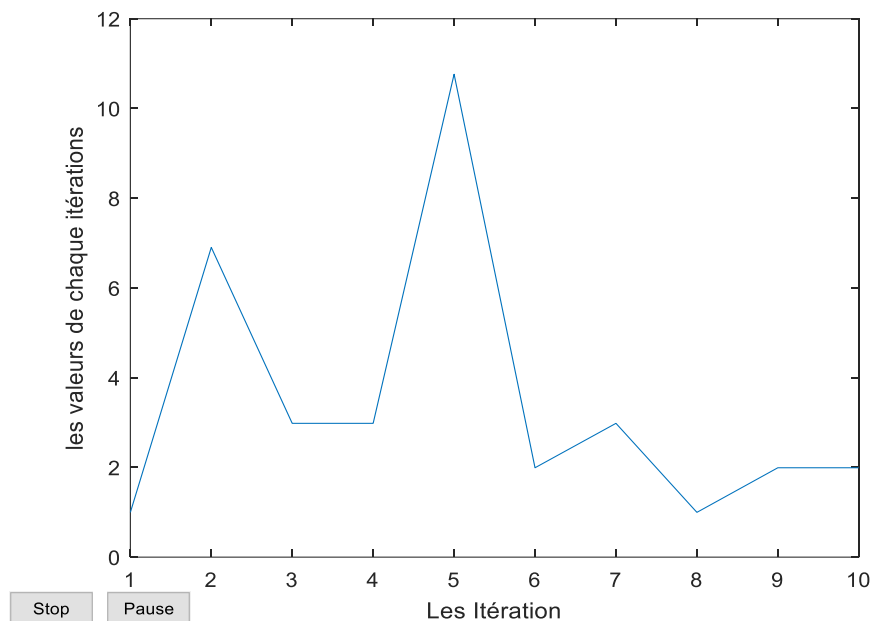


Figure II.13: La valeur de la fonction objective après 10 exécutions

### II.3.2.2 Optimisation par Essaim de Particules (PSO)

L'optimisation par essaim de particules (le PSO en anglais : Particle Swarm Optimazation) est une méta-heuristique à base de population de solution. Elle a été proposée en 1995 par Kennedy et Eberhart. L'algorithme PSO est inspiré du comportement social d'animaux évoluant en essaim, tels que les poissons qui se déplacent en bancs ou les oiseaux migrateurs. En effet, on peut observer chez ces animaux des dynamiques de déplacement relativement complexes, alors qu'individuellement chaque individu a une intelligence limitée et une connaissance seulement locale de sa situation dans l'essaim. L'intelligence globale de l'essaim est donc la conséquence directe des interactions locales entre les différentes particules de l'essaim. Kennedy et Eberhart se sont inspirés de ces comportements sociaux pour créer l'algorithme PSO. Contrairement aux autres algorithmes évolutionnaires tel que l'algorithme génétique où la recherche de la solution optimale évolue par compétition entre les individus en utilisant des opérateurs de croisements et de mutations, le PSO utilise plutôt la coopération entre les individus. [18]



## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

### II.3.2.2.1 L'algorithme PSO

L'algorithme PSO est initialisé par une population de solutions potentielles aléatoires, interprétées comme des particules se déplaçant dans l'espace de recherche. Chaque particule est attirée vers sa meilleure position découverte par le passé ainsi que vers la meilleure position découverte par les particules de son voisinage (ou de tout l'essaim, dans la version globale de l'algorithme). L'algorithme PSO comprend plusieurs paramètres de réglage qui permettent d'agir sur le compromis exploration – exploitation. L'exploration est la capacité de tester différentes régions de l'espace à la recherche de bonnes solutions candidates. L'exploitation est la capacité de concentrer la recherche autour des solutions prometteuses afin de s'approcher le plus possible de l'optimum. Le choix des paramètres reste en grande partie empirique. Une analyse complète de l'algorithme a été faite par Clerc et Kennedy [18].

### II.3.2.2.2 Les types des l'algorithmes PSO

#### ➤ Algorithme de PSO avec le coefficient d'inertie (PSO-CI) [19]

L'algorithme PSO classique peut être décrit sous forme vectorielle de la façon suivante :

$$V_{(t+1)} = W * V_{(t)} + C_1 rand_1 * (P \text{ best}_i - X(t)) + C_2 rand_2 * (G \text{ best}_i - X(t)) \quad (2.6)$$

La combinaison des paramètres du coefficient d'inertie ( $W$ ) et l'intensité d'attraction ( $C_1$  et  $C_2$ ) permet de régler l'équilibre entre les phases de diversification et d'intensification du processus de recherche. Ont démontré qu'une bonne convergence peut être obtenue en rendant dépendants ce paramètre

$$W = (w_{max} - w_{min}) * \frac{(iter_{max} - iter)}{iter_{max}} + w_{min} \quad (2.7)$$

Avec

$W$  : est le coefficient d'inertie, cette valeur varie de  $w_{min}$  à  $w_{max}$ . Avec  $iter$  représente l'itération courante et  $iter_{max}$  est le nombre maximal d'itération.

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

### ➤ Algorithme de PSO avec le facteur de constriction k (PSO-FC) [19]

La deuxième variante basé sur le facteur de constriction K . Dans l'application de cette algorithme d'essaim de particule avec l'approche de facteur de constriction K (PSO-FC), la vitesse est modifiée par un facteur connu K. L'utilisation d'un facteur de constriction K permet de prévenir l'explosion de l'essaim, d'assurer la convergence. L'équation devient alors :

$$\begin{cases} V_{(t+1)} = K (V_{(t)} + C_1 rand_1 * (P best_i - X_{(t)}) + C_2 rand_2 * (G best_i - X_{(t)})) \\ X_{(t+1)} = X_{(t)} + V_{(t+1)} \end{cases} \quad (2.8)$$

Avec

$$K = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi^1}|} \quad (2.9)$$

Avec  $4.1 \leq \varphi \leq 4.2$

Des nombreux tests sont menés pour déterminer les valeurs optimales de C1 et C2 . Dans la majorité des cas, on utilise  $\varphi = 4.1$  et  $C1 = C2 = 2.05$ ; ce qui donne un coefficient K approximativement égal à  $K = 0.729$ .

### ➤ Algorithme de PSO avec Coefficients d'Accélération variable PSO-TVAC [19]

Dans ce cas, les coefficients cognitif et social  $C_1, C_2$  ne sont plus constants mais variables en fonction de génération (itération), autrement dit dans le temps dont le but est de guider l'exploration tantôt vers la direction de l'expérience de l'individu (coefficient cognitif dominant) tantôt vers la direction de l'expérience de groupe (coefficient social dominant) .Enfin

L'interaction de ces deux facteurs dirige l'exploration vers la solution voulue

$$\begin{cases} V_{(t+1)} = K (V_{(t)} + C_1 rand_1 * (P best_i - X_{(t)}) + C_2 rand_2 * (G best_i - X_{(t)})) \\ X_{(t+1)} = X_{(t)} + V_{(t+1)} \end{cases} \quad (2.10)$$

Avec

$$K = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi^1}|} \quad (2.11)$$

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

Avec  $4.1 \leq \varphi \leq 4.2$

C'est réalisé en changeant les coefficients d'accélération et avec le temps de telle sorte que le composant cognitif soit réduit tandis que le composant social est augmenté comme les revenus de recherche. Les coefficients d'accélération sont exprimés par l'équation suivante

$$\begin{cases} C_1 = (C_{1f} - C_{1i}) \frac{iter}{iter\ max} + C_{1i} \\ C_2 = (C_{2f} - C_{2i}) \frac{iter}{iter\ max} + C_{2i} \end{cases} \quad (2.12)$$

Avec  $C_{1f}$ ,  $C_{1i}$ , et  $C_{2f}$ ,  $C_{2i}$  sont les coefficients sociaux cognitive respectivement d'accélération initial et final. Pour le coefficient d'inertie sont donné par l'équation :

$$\text{Avec : } K = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi^1}|} \quad (2.13)$$

Avec  $4.1 \leq \varphi \leq 4.2$

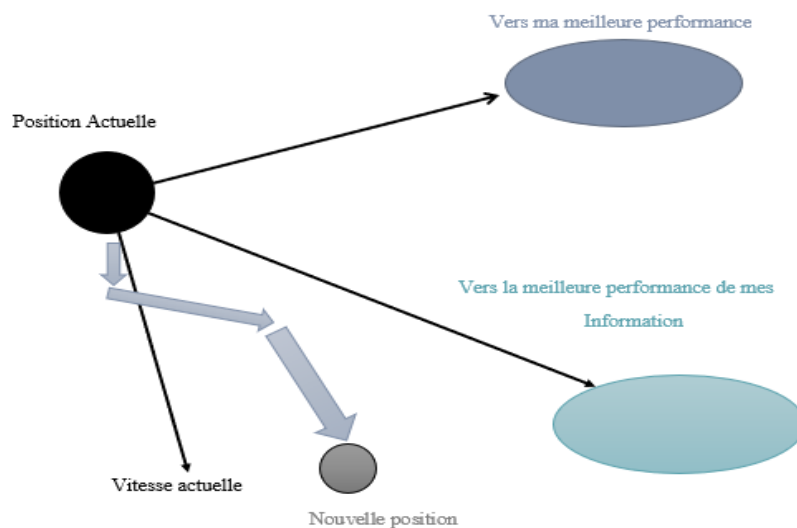


Figure II.14: Schéma de principe du déplacement d'une particule

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

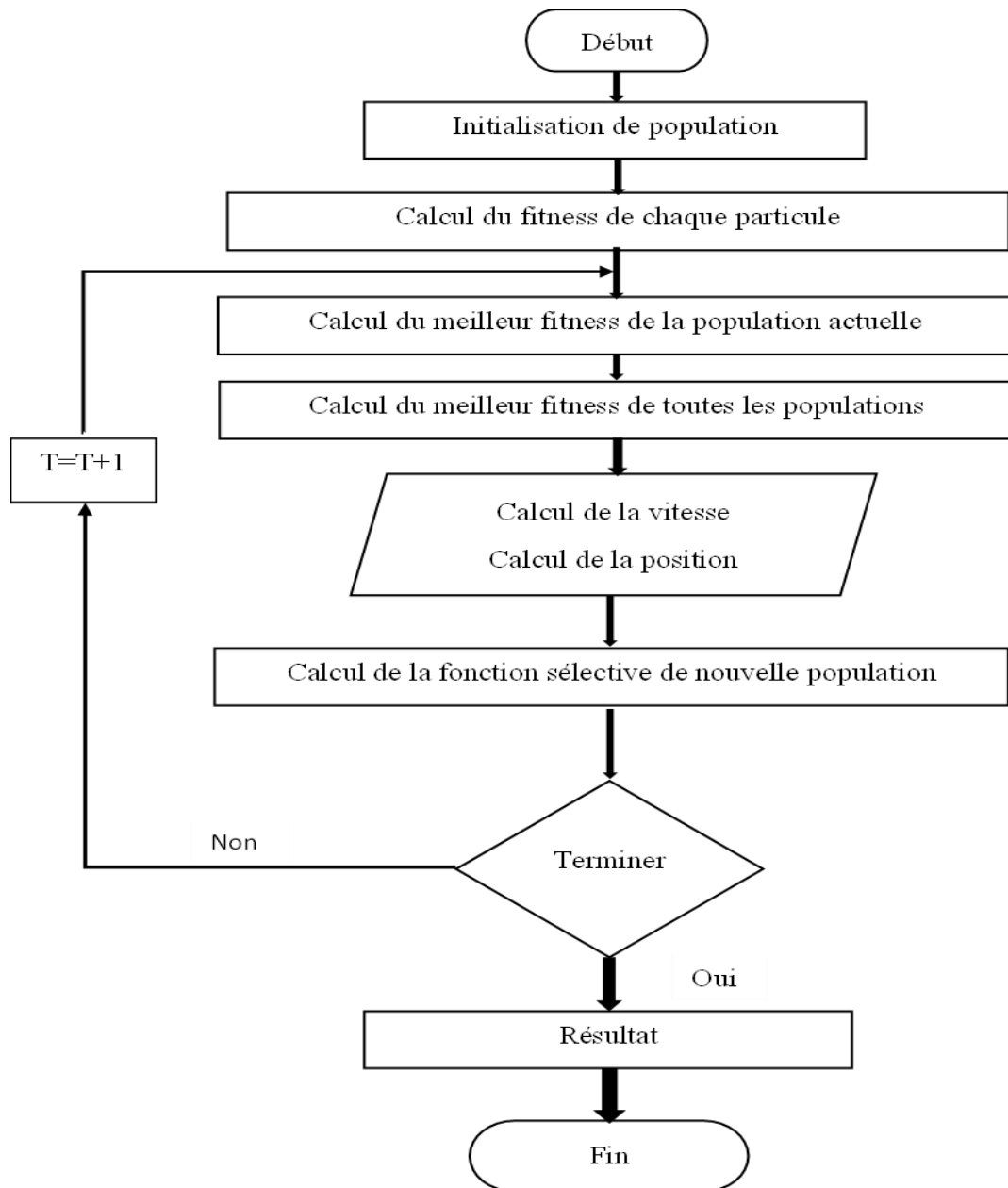


Figure II.15: Schéma général d'un PSO

### II.3.2.2.3 Exemple d'application

L'algorithme PSO est appliqué pour la minimisation la même fonction objective ce que nous avons appliqué dans l'exemple précédent, Nommée à `DEJONG5FCN`. Les paramètres de PSO utilisés sont : les particules 50, les itération maximale 100.

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

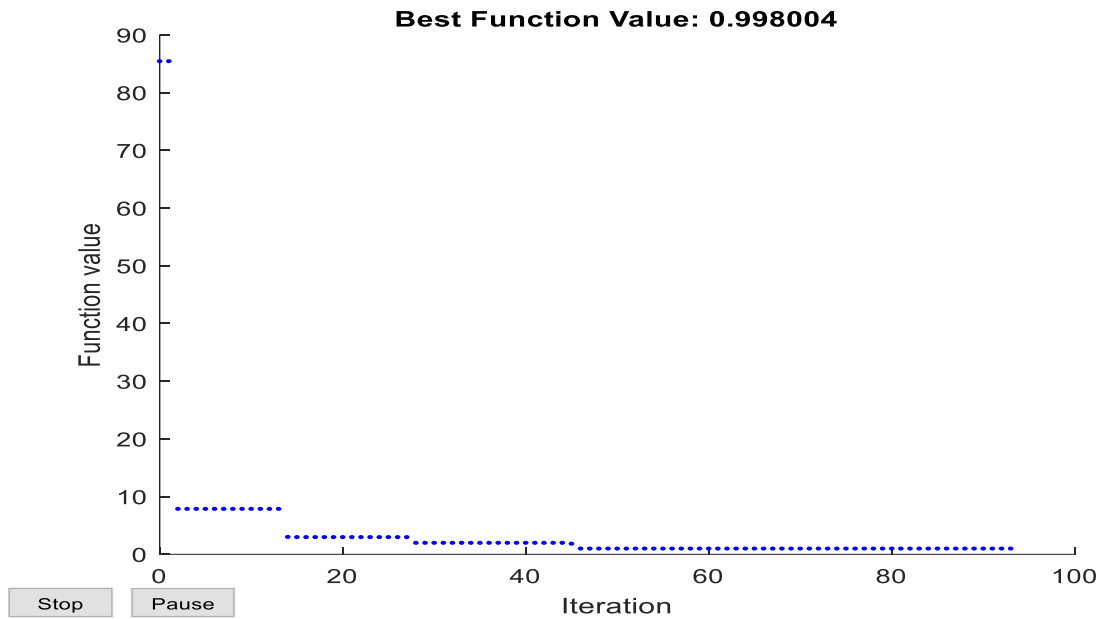


Figure II.16: La courbe de convergence de PSO

- Les solutions après la minimisation de la fonction objective sont :  
 $X1 = -31.9783$ ,  $X2 = -31.9783$
- La valeur moyenne de la fonction objective (mean) est 0.9980, la meilleur (best) solution est 0.9980
- Le temps de convergence pour une seule exécution est : 2.4857 s

Vue l'aspect stochastique de PSO le programme doit être exécuté plusieurs fois pour localiser la valeur optimale. Les résultats d'optimisation obtenues sont :

- Le temps d'exécution : 16.404 s
- La meilleure valeur de la fonction objective : 0,9980

La courbe de convergence de l'algorithme PSO après avoir exécuté 10 fois l'algorithme est présentée dans la Figure (2.17).

Nombre d'exécution	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X1	-15,973	31,9783	31,9783	-15,98	-0,0132	-0,0278	-31,965	-31,953	-15,986	0,0132
X2	-15,975	-31,978	-31,978	-31,97	-31,965	0,0278	-15,978	-15,978	-31,97	-31,965
Les valeurs de chaque itérations	0,9980	0,9980	0,9980	0,9980	0,9980	0,9980	0,9980	0,9980	0,9980	0,9980

Tableau II-2: Les résultats de la convergence de l'algorithme PSO

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

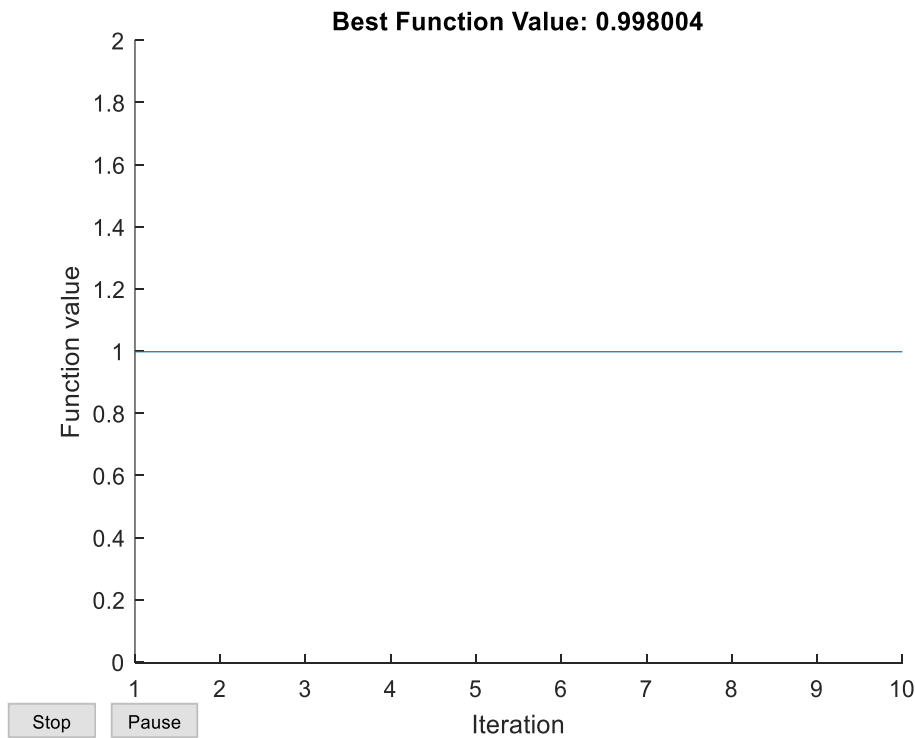


Figure II.17 : La valeur de la fonction objective après 10 exécutions PSO

### ➤ Interprétation

Les résultats obtenus par utilisation de l'algorithme PSO est similaire celle trouvées par la méthode de AG, mais l'algorithme PSO est meilleur en termes de nombre d'exécution par rapport à l'AG.

#### II.3.2.2.4 Développement de la méthode PSO

Diogo Freitas et d'autres [35] ont pu recueillir tous les développements et améliorations de la méthode des essime de particule PSO.

La Figure (2.18) suivante Résumé des améliorations de convergence les plus importantes développées pour PSO

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

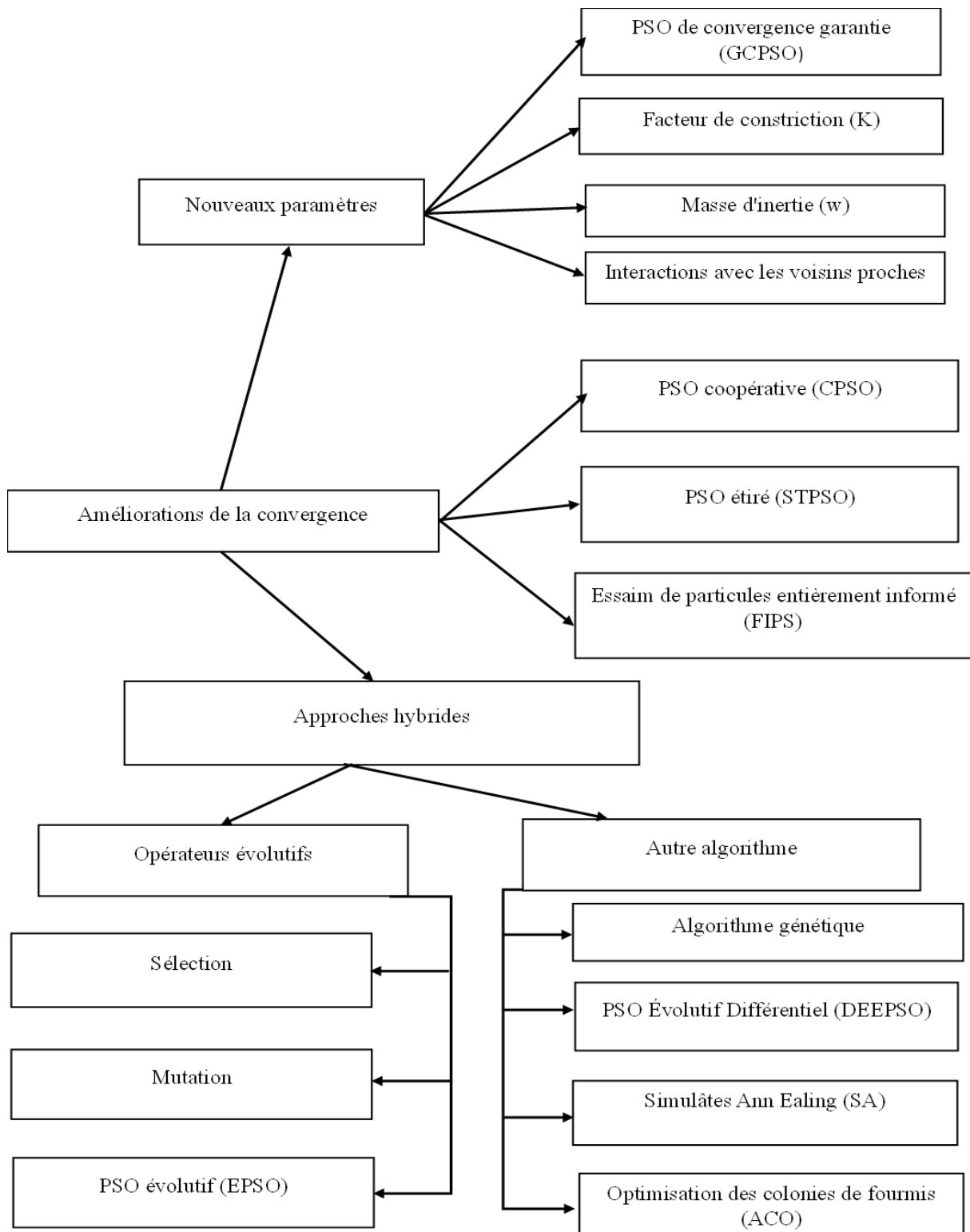


Figure II.18:Résumé des améliorations de convergence les plus importantes développées pour PSO

### II.3.2.3 Optimisation par loup gris (GWO)

L'optimisation du loup gris est l'un des algorithmes d'optimisation inspirés biologiquement, proposé par Mirjalili et al en 2014. L'algorithme GWO imite la nature de la chasse de la famille des loups gris. Les loups gris préfèrent généralement être en meute.

- Le groupe des loups gris comprend de 5 à 12 individus. Ils ont une hiérarchie sociale stricte à 4 niveaux.
- Les loups gris sont classés hiérarchiquement en alpha ( $\alpha$ ), bêta ( $\beta$ ), delta ( $\delta$ ) et oméga ( $\omega$ ) dans la meute dans la Figure (2.19) classement dans group des loups .
- Les leaders sont un male et une femelle, appelés alphas. Le leader alpha décide de l'action des meutes. L'ensemble du pack reconnaît l'alpha en maintenant ses queues. Seul l'alpha le chef dans le pack. L'alpha domine en tant que bon administrateur. Ce n'est peut-être pas le membre le plus fort de la package, mais il a l'expérience.
- Le deuxième niveau consiste en bêta. Sont des loups subordonnés, qui aident l'alpha dans la prise de décision ou d'autres activités de groupe. Le bêta-loup peut être un male ou une femelle et est le meilleur successeur au cas où l'un des loups alpha cesserait. Il joue le rôle d'un conseiller de l'alpha et du discipliner pour la meute.
- Les omégas sont au troisième niveau. Ils doivent se soumettre à tous les autres loups dominants. Ce sont les derniers loups autorisés à manger. Bien que les omégas soient moins bien classés, la meute entière est confrontée à des combats internes et à des problèmes sans eux. Ils aident à satisfaire l'ensemble et à maintenir la structure de dominance. Si le loup n'est pas de type alpha, bêta ou oméga, il est appelé sous (subordonné) ou delta dans certaines références. Les loups du delta doivent se soumettre aux alphas et aux betas, mais ils dominent les omégas [20]



Figure II.19:classement dans group des loups



## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

### II.3.2.3.1 Le comportement social des loups gris est

- Suivi, chasser et approcher la proie.
- Poursuivre, encercler et harceler la proie jusqu'à ce qu'elle cesse de bouger.
- Attaque vers la proie.



Figure II.20: Comportement de chasse des loups gris : (A-B) chasser, approcher et suivre des proies. (C-D-E) poursuivre, harceler et encercler. (F) situation stationnaire et attaque [21].

### II.3.2.3.2 Modèle mathématique et algorithmique

#### ➤ Hiérarchie sociale

- La solution la plus adaptée en tant que loup Alpha ( $\alpha$ ).
- Deuxième meilleure solution en tant que loup bêta ( $\beta$ ).
- Troisième meilleure solution en tant que loup Delta ( $\delta$ ).
- Reste des solutions candidates sous forme de loups Omega ( $\omega$ ).

#### ➤ Encercler la proie

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (2.14)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2.15)$$

Où  $t$  indique l'itération courante,  $\vec{A}$  et  $\vec{C}$  sont des vecteurs de coefficients,  $\vec{X}_p$  est le vecteur de position de la proie et  $\vec{X}$  indique le vecteur de position d'un loup gris

$$\vec{X}_1(t+1) = \vec{X}(t) - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}$$

$$\vec{A} = 2\vec{a} \vec{r}_1 - \vec{a} \quad \text{and} \quad \vec{C} = 2\vec{r}_2 \quad (2.16)$$

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

Les composantes de  $\vec{a}$  sont décroissantes linéairement de 2 à 0 au cours des itérations et  $\vec{r}_1$ ,  $\vec{r}_2$  sont des vecteurs aléatoires dans [0, 1].

### ➤ Chasse

À chaque itération, les loups oméga mettent à jour leurs positions en fonction des positions  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\delta$  alpha, bêta et delta car  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\delta$  ont une meilleure connaissance de l'emplacement potentiel des proies.

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (2.17)$$

$$\vec{X}_{1(t+1)} = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha), \vec{X}_{2(t+1)} = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta), \vec{X}_{3(t+1)} = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (2.18)$$

$$\vec{X}_{1(t+1)} = (\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3) / 3 \quad (2.19)$$

### ➤ Attaquer des proies (exploitation)

Lorsque la proie arrête de bouger alors le loup gris termine la chasse en attaquant la proie et modélise mathématiquement que l'on diminue la valeur de  $\vec{a}$ .  $\vec{A}$  est une valeur aléatoire dans l'intervalle [-2a, 2a], où a est diminué de 2 à 0 au fil des itérations.

$|A| < 1$  forcer les loups à attaquer la proie (exploitation)

### ➤ Recherche de proie (exploration)

$|A| > 1$  oblige les loups gris à s'éloigner de la proie pour, espérons-le, trouver une proie plus adaptée (exploration)

Un autre composant de GWO qui favorise l'exploration est  $\vec{C}$ . Il contient une valeur aléatoire entre [0, 2].  $C > 1$  accentue l'attaque tandis que  $C < 1$  minimise l'attaque.

### II.3.2.3.3 L'algorithme GWO présente de nombreux avantages qui peuvent être résumés comme suit

- C'est un algorithme à dérivée libre
- il a des paramètres inférieurs à ajuster
- il a des opérateurs inférieurs par rapport à d'autres algorithmes évolutifs.

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

- il peut conserver des informations sur l'espace de recherche avec des itérations et enregistrera meilleure solution obtenue
- il est simple et facile à mettre en œuvre.[21]

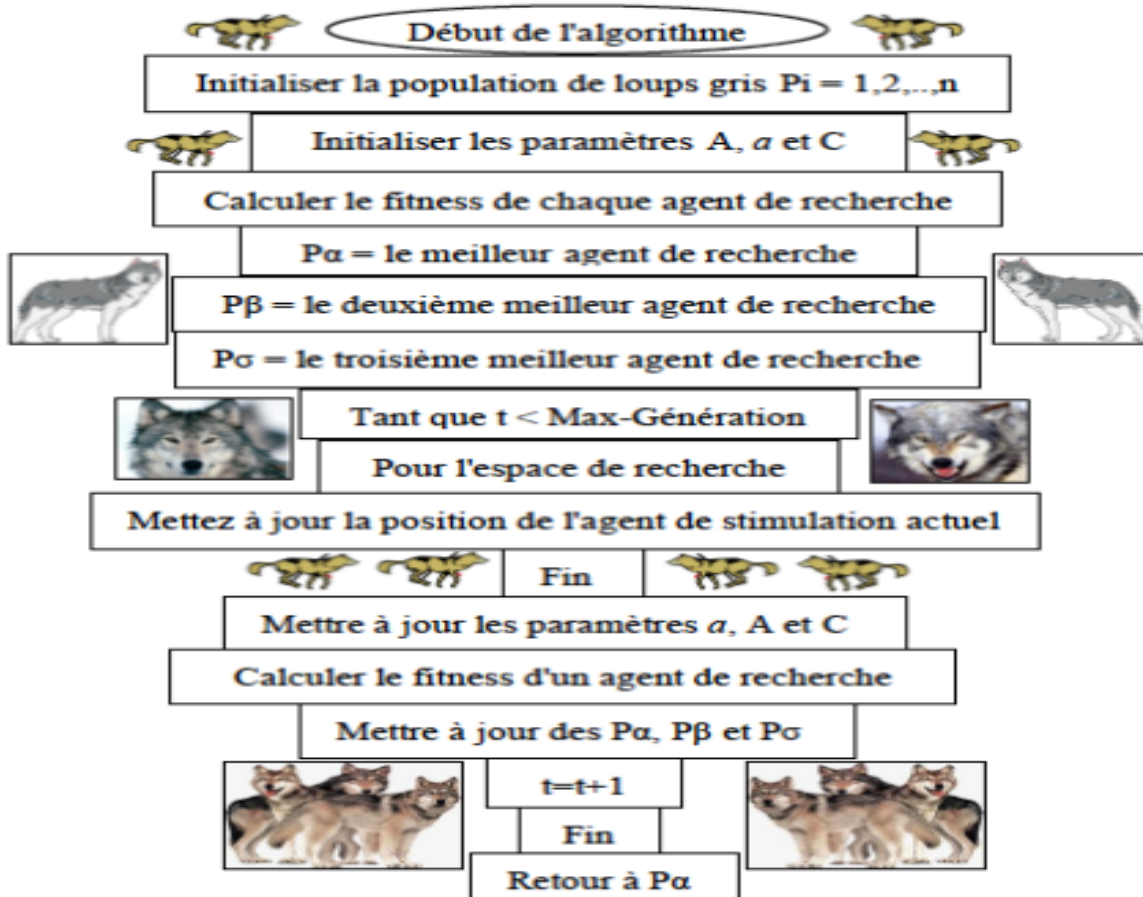


Figure II.21: Schéma général d'un GWO [20]

### II.3.2.3.4 Le développement de la méthode GWO

Le problème avec GWO est que sa boucle d'optimisation peut ne pas soutenir une population diversifiée en raison d'un manque d'opérateurs évolutifs. Ce problème est commun à tous les algorithmes d'optimisation, il existe donc de nombreux nouveaux développements de la méthode, notamment :

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

### ➤ L'algorithme Distributed Grey Wolf Optimiser (DGWO)

L'algorithme Distributed Grey Wolf Optimiser (DGWO) dans le but d'améliorer la diversité des GWO en organisant leurs populations en petites îles sur la base d'un modèle insulaire.

Le modèle d'îlot améliore les performances et la durée d'exécution des algorithmes d'optimisation. Cela offre également de meilleures possibilités d'évolution et d'amélioration des solutions inappropriées sur chaque île. L'algorithme génétique distribué, l'évolution différentielle distribuée, l'optimisation des essaims de particules distribuées et les algorithmes de colonies de fourmis distribuées ne sont que quelques exemples d'algorithmes d'optimisation réussis basés sur les îles.

DGWO applique le GWO d'origine aux habitants de chaque île et permet ensuite l'échange de solutions sélectionnées entre les îles sur la base de la topologie de boucle stochastique et de la meilleure et de la pire politique de migration [31]

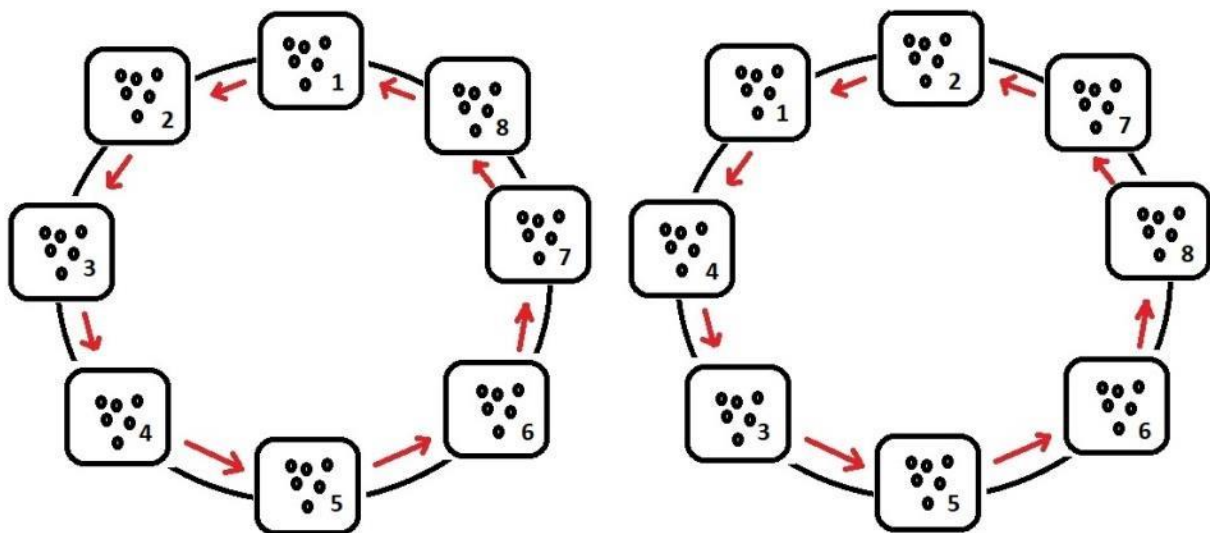


Figure II.22 : Topologie de migration en anneau aléatoire.

### ➤ Méthode I - GWO

Cette méthode est inspirée des classiques GWO algorithme. Dans cet algorithme on considère que l'alpha le loup a la meilleure connaissance de la position de la proie et d'autres les loups de la meute doivent suivre le loup alpha dans l'ordre. Dans cette méthode, chaque loup met à jour sa position en fonction de tous les loups choisis avant lui. Autrement dit, les  $(n - 1)$  loups les

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

postes sont pris en compte dans la mise à jour des postes du nième loup (Figure 2.23). Il y a la possibilité de trouver un problème solutions (proies) beaucoup plus rapidement en moins d'itérations. Cependant, ils ne garantissent pas toujours de trouver une bonne solution [32]

I-GWO est proposé sur la base des équations :

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}| \quad (2.20)$$

$$\vec{X}_\alpha(t+1) = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha) \quad (2.21)$$

$$\vec{X}_1(t+1) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} X_i(t); \quad n=4,5 \dots \dots (2.22).$$

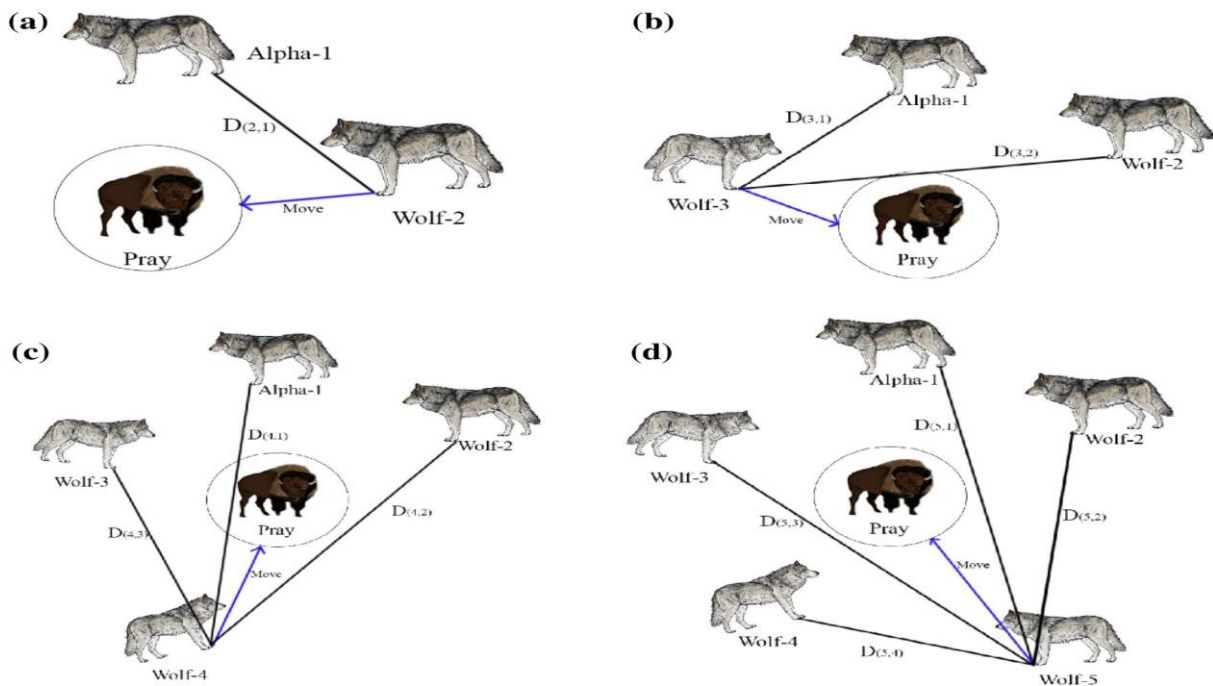


Figure II.23:Le mécanisme de mise à jour de la position de chaque loup pour attraper une proie dans I-GWO

### ➤ Optimiseur de loup gris avec prédation par filet à bulles

GWO encercle les proies et amènera les loups à s'approcher progressivement des loups  $\alpha$ ,  $\beta$ , par itération continue, ce qui peut réduire la diversité de la population et faire tomber l'algorithme dans des valeurs locales optimales. Il est défavorable de résoudre des problèmes avec plusieurs valeurs idéales locales. Nous portons notre attention sur le comportement de recherche de nourriture des baleines et profitons de la prédation du réseau de bulles de baleines pour promouvoir le loup pionnier  $\alpha$ . Les baleines sont les plus grands mammifères du monde

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

---

et elles ont une façon unique de chercher de la nourriture, appelée méthode d'alimentation par bulles. Les baleines plongent dans l'océan à environ 12 mètres, puis créent une bulle en spirale autour de leur proie, puis nagent jusqu'à la surface. Inspiré par ce comportement de recherche de nourriture,[34] Whale (baleines) Optimisation Algorithm (WOA) a été proposé par

Mirgalelli et al [33]. Les avantages de WOA sont un fonctionnement simple, moins de paramètres à définir, une bonne capacité d'optimisation globale et une vitesse de convergence rapide.

Nous profitons de la méthode de chasse à la baleine pour améliorer les résultats de la méthode des loups gris sur Figure (2.24) représente organigramme de fonction de la méthode GWO -bp

## Chapitre 2 : Méthodes d'analyse et d'optimisation des réseaux de distribution

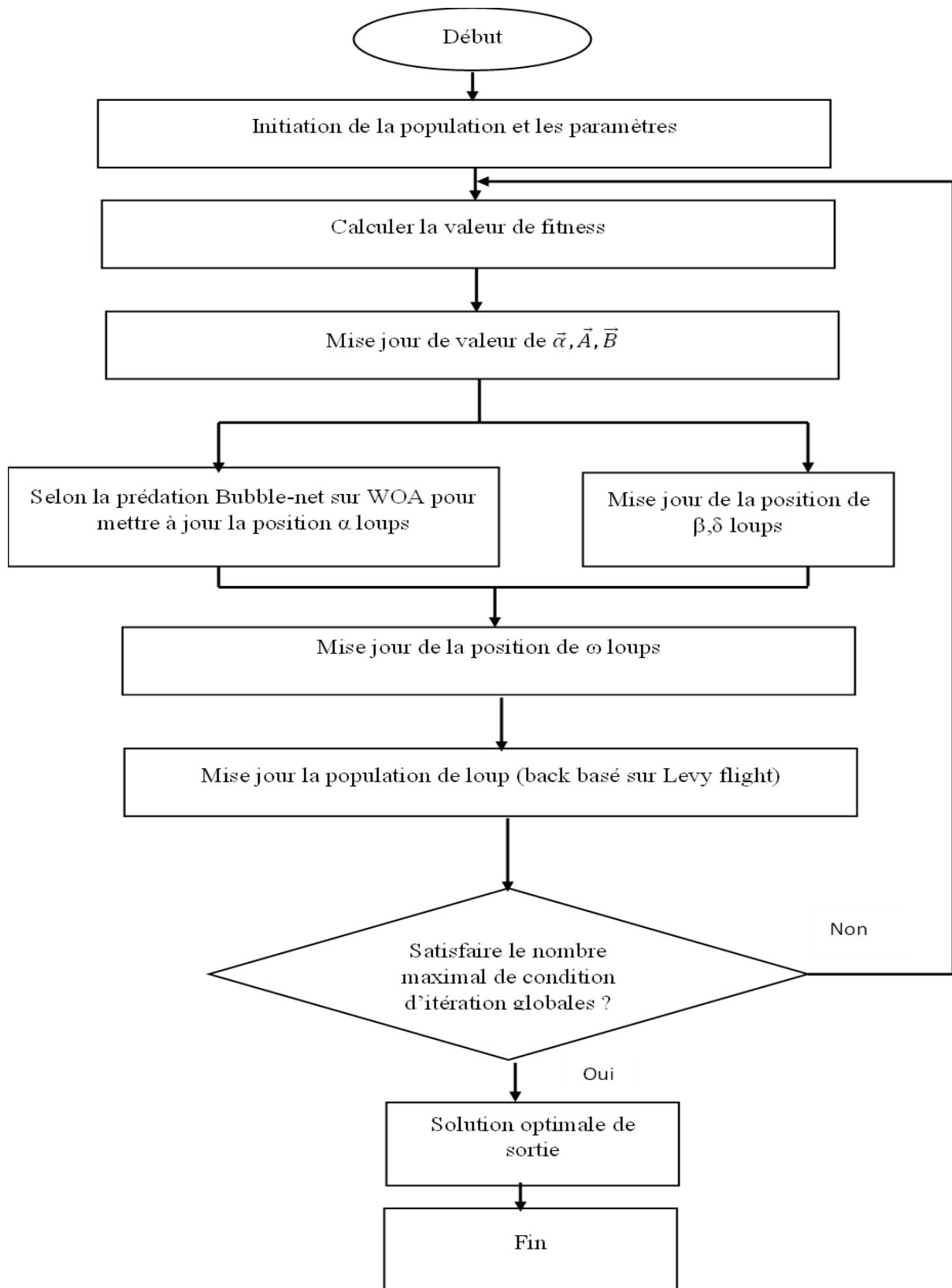


Figure II.24: Organigramme de fonction de la méthode GWO -bp

### II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans la première phase un aperçu sur les méthodes d'analyse des réseaux électriques tout en précisant la méthode de backward/forward. La deuxième phase a été consacré à présenter en bref quelques méthodes métaheuristiques (AG, PSO, GWO). Le prochain chapitre sera consacré à présentés une description de différentes sources distribuées.



# CHAPITRE

3

## III. Chapitre 3 : Généralisés sur la production distribuée

### III.1 Introduction

L'utilisation des énergies renouvelables permettrait de répondre aux besoins énergétiques de la population actuelle, mais également aux besoins des générations à venir. En effet, ces énergies sont renouvelables et leur plus grande utilisation permettra de mieux assurer la pérennité des ressources de la terre et des énergies fossiles pour les futures générations.

Quelle est les différentes sources distribuées intégrés récemment dans les réseaux électriques et en particulier dans les réseaux de distribution, ainsi le réseau de distribution doit évoluer vers un réseau flexible et intelligent qui intègre au mieux les énergies renouvelables.

Ce chapitre s'articule autour des parties suivantes :

- ✓ La production décentralisée.
- ✓ Structure moderne des réseaux électriques

### III.2 La production décentralisée

La production distribuée ou décentralisée est réalisée par l'installation de production d'énergie de petites ou moyennes capacités, organisée autour du réseau de distribution électrique. Les productions décentralisées utilisent généralement des sources renouvelables, notamment : La géothermie, la petite centrale hydraulique, la biomasse, le solaire et l'éolien [5].

### III.3 Différents types de production décentralisée

#### III.3.1 Energies non renouvelables

Plus de 80% de la production centralisée d'électricité dans le monde utilise des sources d'énergie non renouvelables dans le cas de la production décentralisée les données sont absentes mais il est certain que cette proportion est beaucoup plus faible du fait de la prépondérance de l'éolien, deux types de technologies non renouvelables peuvent être décrits ici :

- **La thermique** : le principe est le même que celui utilisé dans les centrales thermiques de grande puissance

- **L'hydrogène** : le gaz di hydrogéné, vecteur énergétique par électrolyse de l'eau ou par réaction chimique, peut être utilisé pour générer de l'électricité dans piles combustibles par réaction avec le dioxygène [22]

### III.3.2 L'énergies renouvelables

Les technologies de production d'électricité renouvelable exploitent les flux énergétiques existants naturellement (vent, soleil, chaleur, marées, rivières, etc.) et les convertissent en puissance électrique c'est à-dire une source inépuisable qui se renouvelle de telle sorte que l'utilisation actuelle n'ait pas d'impact sur la disponibilité future. Cependant, les phénomènes naturels ont des constantes de temps, des cycles et des densités d'énergie variables et très souvent non stockables ou transportables [23].

Hydraulique (Eau : turbines).

- Biomasse (bois CO<sub>2</sub> de combustion = CO<sub>2</sub> de la croissance des arbres : photosynthèse).
- Energie géothermique.
- Solaire (thermique et photovoltaïque)
- Eolienne (Vent).

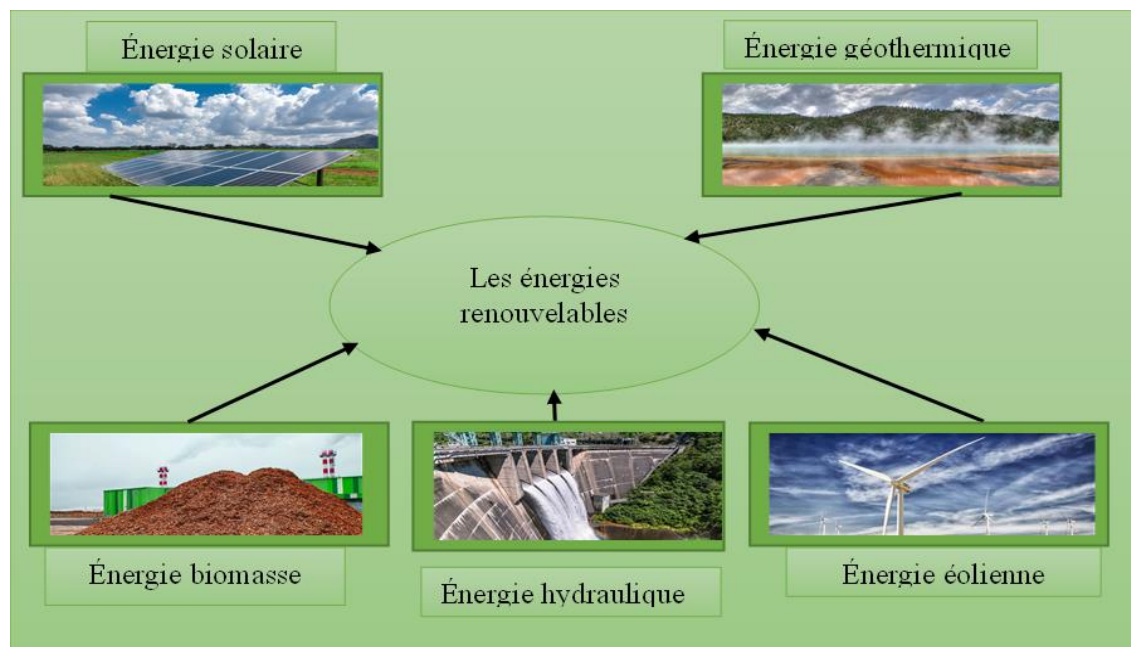


Figure III.1: Quelques énergies renouvelables.

### III.3.2.1 Les différentes sources d'énergies renouvelables

#### III.3.2.1.1 L'énergie géothermique

L'énergie géothermique dépend de la chaleur de la terre (Figure (3.2)). Cette énergie permet de produire de l'électricité dans les centrales géothermiques, grâce à l'eau très chaude des nappes dans le sous-sol de la terre. Cette énergie n'émet aucun gaz à effet de serre et sa matière première, la chaleur de la terre, est totalement gratuite.[5]

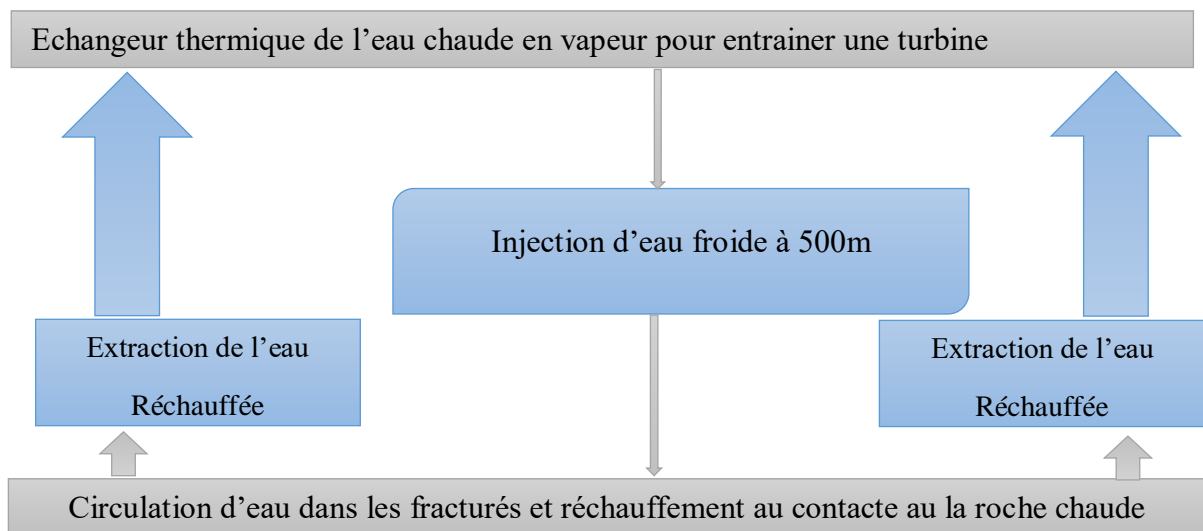


Figure III.2: Principe de la production de l'énergie géothermique.

#### III.3.2.1.2 L'énergie biomasse

La biomasse correspond à la biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que de la biodégradable des déchets industriels et ménagers (Figure (3.3))[5].

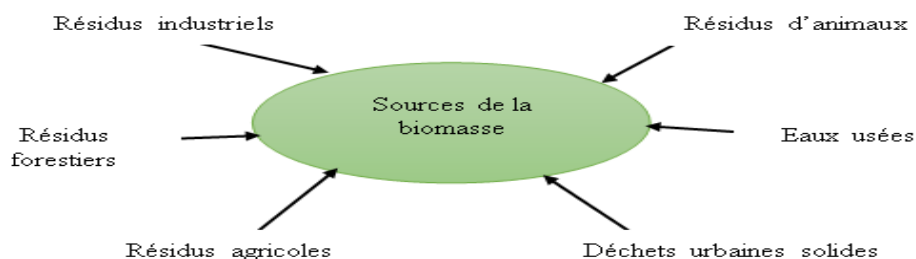


Figure III.3: Les sources de l'énergie biomasse

### III.3.2.1.3 Energie hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergie mise en jeu lors du déplacement ou de l'accumulation d'un fluide incompressible telle que l'eau douce ou l'eau de mer. Ce déplacement va produire un travail mécanique qui est utilisé directement ou converti sous forme d'électricité (Marémotrice ; Hydrolienne, Barrage Figure (3.4) ).



L'énergie Hydraulique

L'énergie Hydrolienne

L'énergie Marémotrice.

Figure III.4: Les types de l'énergie hydraulique

### III.3.2.1.4 L'énergie éolienne

Une éolienne produit de l'électricité grâce au vent qui met en mouvement un rotor, permettant sa transformation en énergie mécanique. La vitesse de rotation de l'arbre entraîné par le mouvement des pales est accélérée par un multiplicateur. Cette énergie mécanique est ensuite transmise au générateur. Un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur, pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau électrique

Un parc éolien est constitué de plusieurs éoliennes espacées de plusieurs centaines de mètres et connectées entre elles par un réseau interne souterrain et raccordées au réseau public par l'intermédiaire d'un poste de livraison (Figure (3.5) [5] ).

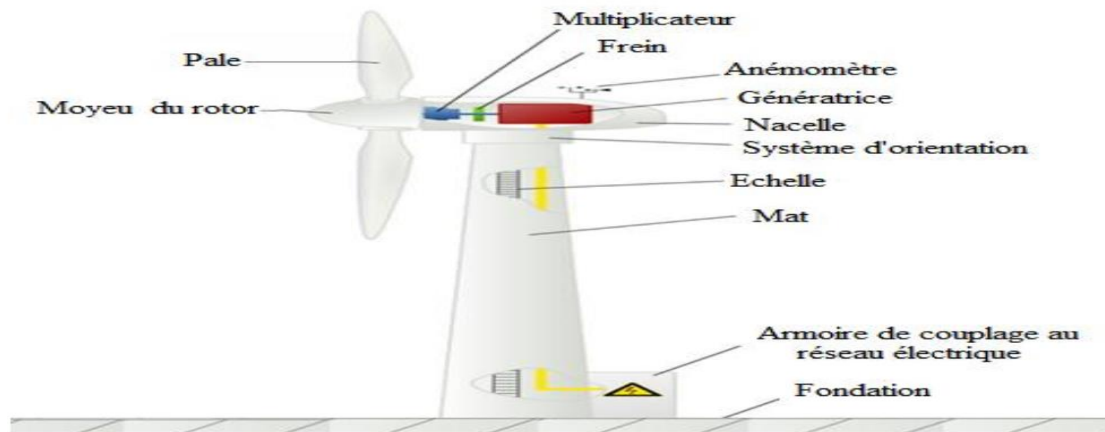


Figure III.5: Les éléments d'un parc éolien

### ➤ Fermes éoliennes

Le regroupement d'un ensemble d'éoliennes à vitesse variable ou à vitesse fixe constitue une ferme éolienne shore.



Figure III.6: Exemple de fermes éoliennes

### ➤ Distribution statistique de la vitesse du vent

La distribution des vitesses du vent représente un indicateur pour le potentiel éolien. Sa connaissance permet l'estimation de l'énergie éolienne disponible sur le site. La distribution des vitesses du vent peut être décrite par une fonction mathématique.

La représentation mathématique de la distribution de la vitesse du vent est définie généralement par la fonction de Weibull qui est un modèle reconnu de façon générale par la communauté scientifique puisqu'il a démontré de bons résultats. Quant à la représentation de la distribution de fréquence de la vitesse du vent, elle est décrite par l'équation suivante :

$$f_v(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{(k-1)} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}, \quad 0 < v < \infty \quad (3.1)$$

## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

---

Avec  $f_v(v)$  : la fonction de densité de probabilité de Weibull. La loi de Weibull. C'est un modèle à deux paramètres :

- un paramètre de forme  $k$  qui décrit la dispersion des données (il indique une plus ou moins grande dissymétrie de la distribution des vitesses du vent) .
- un paramètre d'échelle  $c$  qui est lié à la vitesse moyenne par la fonction gamma (il caractérise, un peu comme la moyenne, l'intensité du vent) [5].

### ➤ Les composants essentiels d'une éolienne

**Rotor :** Le rotor est le capteur d'énergie qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique.

**Nacelle :** Son rôle est d'abriter l'installation de génération de l'énergie électrique ainsi que ses périphériques. Différentes configurations peuvent être rencontrées suivant le type de la machine. La Figure (3.7) présente une coupe d'une nacelle avec ses différents composants.

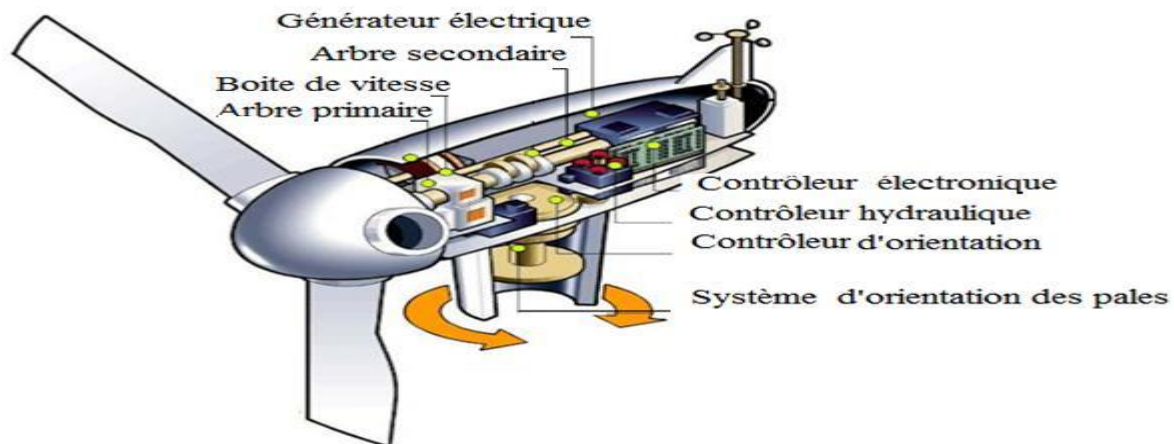


Figure III.7 : Les composants essentiels de nacelle

### ➤ Génératrice :

Les éléments essentiels sont :

- \* **Contrôleur électronique** : il est chargé de surveiller le fonctionnement de l'éolienne.
- \* **Dispositif d'orientation de la nacelle** : Il permet la rotation de la nacelle à l'extrémité supérieure de la tour, autour de l'axe vertical. De nombreuses éoliennes comportent un système de blocage mécanique de la position de la nacelle suivant une orientation donnée.

## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

**Tour :** Son rôle est d'une part de supporter l'ensemble rotor- nacelle pour éviter que les pales ne touchent le sol, mais aussi de placer le rotor à une hauteur suffisante, de manière à sortir autant que possible le rotor du gradient de vent qui existe à proximité du sol en améliorant ainsi le captage de l'énergie.

**Les pales :** Les pales est la partie très importante des éoliennes. De leur nature dépendront le bon fonctionnement et la durée de vie de la machine ainsi que le rendement du moteur éolien.[5]

### ➤ Principe de fonctionnement

L'énergie éolienne est une solution performante et écologique en phase avec les orientations de la politique énergétique moderne. Cette énergie en provenance du vent traverse la turbine éolienne qui est un élément d'interface entre le domaine de la mécanique des fluides et de la mécanique traditionnelle dont l'intérêt d'apporter récupérer l'énergie cinétique présentée dans le vent et la transformée en énergie mécanique de rotation (Figure (3.8) ) [23].

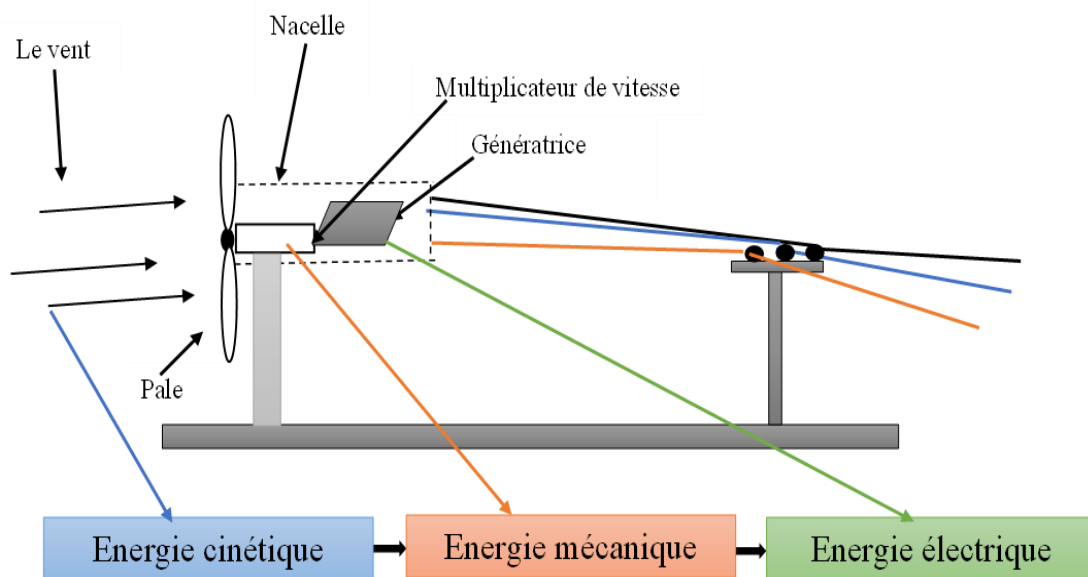


Figure III.8: Transformation de l'énergie de vent de l'énergie électrique

### ➤ L'architecture de connexion des éoliennes au réseau

L'architecture de connexion des éoliennes au réseau Figure (3.9). il a consisté à les connecter au réseau au moyen des liaisons en tensions alternatives à travers un transformateur.[24]



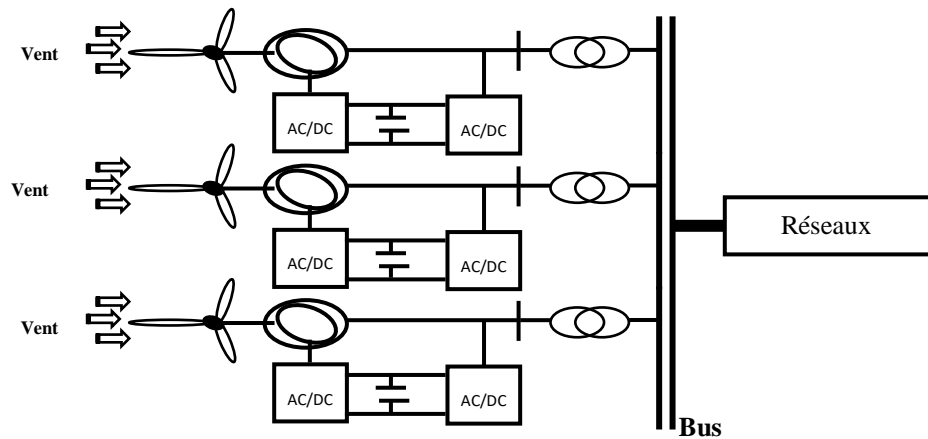


Figure III.9: Architecture d'une ferme d'éoliennes à vitesse variable avec des liaisons en tensions alternatives

### ➤ Modélisation du générateur éolien

L'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la distribution des vitesses du vent et de sa courbe caractéristique puissance-vitesse. La technologie utilisée et la taille de la machine sont les deux principaux paramètres dont dépend la caractéristique puissance-vitesse de la machine [24]. on peut écrire :

$$P_w = \begin{cases} P_{n,w} & \text{if } v_{in} < v < v_{out} \\ P_{n,w} \left( \frac{v - v_{in}}{v_r - v_{in}} \right) & \text{if } v_{in} < v < v_r \\ 0 & \text{if } v_{in} > v \text{ et } v > v_{out} \end{cases} \quad (3.2)$$

$P_{n,w}$  : est la puissance nominale est la vitesse du vent à la hauteur du moyeu.

- La puissance active et réactive générée par la ferme est représentée par :

$$P_{wF} = \sum_{i=1}^n P_{wgi} \quad (3.3)$$

$$Q_{wF} = \sum_{i=1}^n Q_{wgi} \quad (3.4)$$

### ➤ Avantages de l'énergie éolienne

- L'énergie éolienne a de nombreux avantages
- C'est une énergie sûre, propre et renouvelable.
- Retombées économiques pour les communes où elle est installée.

## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

---

- Effets positifs sur le développement régional et l'emploi.

### ➤ Inconvénients de l'énergie éolienne

- Les principaux inconvénients de l'énergie éolienne sont :
- Discontinuité du vent.
- Un certain impact visuel, car elle modifie le paysage.
- Effets sonores dans les alentours du parc.

### III.3.2.1.5 L'énergie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie obtenue à partir de la lumière et la chaleur du soleil. Cette énergie devient une priorité de plus en plus pour les pays. L'énergie solaire est une énergie verte. Elle produit une faible quantité de polluants. L'impact environnemental se trouve principalement durant les étapes de la fabrication, de l'installation du transport et du recyclage des infrastructures. Le processus de transformation de l'énergie solaire en énergie électrique n'a aucun impact sur l'environnement Figure (3.10) représente la chaine de la production d'énergie électrique par source PV

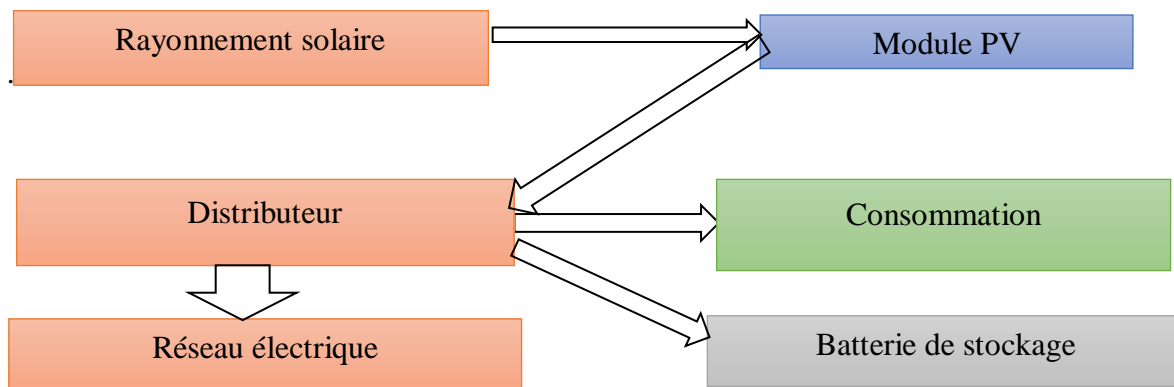


Figure III.10 : La chaîne de la production d'énergie électrique par source PV

### ➤ L'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologique [25].

## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

---

### ➤ Rayonnement solaire

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre  $150.10^6 Km$ , la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante  $180.10^6 GW$ , c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux autres sources d'énergie.

### ➤ Les cellules PV

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique Figure(3.11) représente le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque. [26]

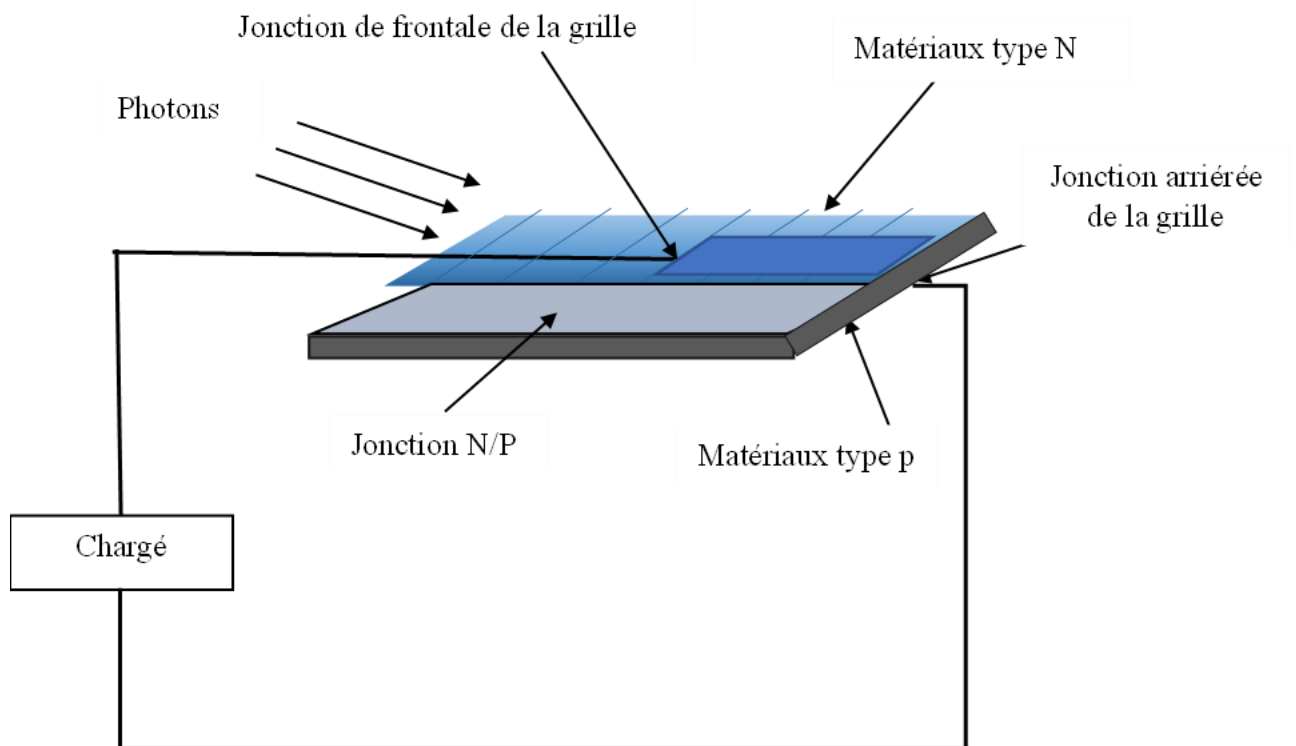


Figure III.11:Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque

### ➤ Différents types des cellules photovoltaïques

Actuellement, il existe deux principaux types de cellules :

#### ❖ Les cellules en silicium cristallin

Ce type de cellule est constitué de fines plaques de silicium, un élément chimique très abondant et qui s'extrait notamment du sable ou du quartz. Les cellules en silicium cristallin sont d'un bon rendement (de 14 à 15 % pour le multicristallin et de près de 16 à 19 % pour le

## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

---

monocristallin). Elles représentent plus de 90 % du marché actuel Figure(3.12) représente la cellule en silicium cristallin[25].

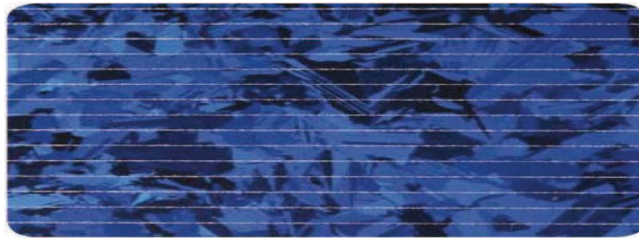


Figure III.12: La cellule en silicium cristallin

### ❖ Les cellules en couches minces

Les cellules en couches minces sont fabriquées en déposant une ou plusieurs couches semi-conductrices et photosensibles sur un support de verre, de plastique, d'acier... Cette technologie permet de diminuer le coût de fabrication, mais son rendement est inférieur à celui des cellules en silicium cristallin (il est de l'ordre de 5 à 13 %) Figure(3.13) représente la cellule couches minces

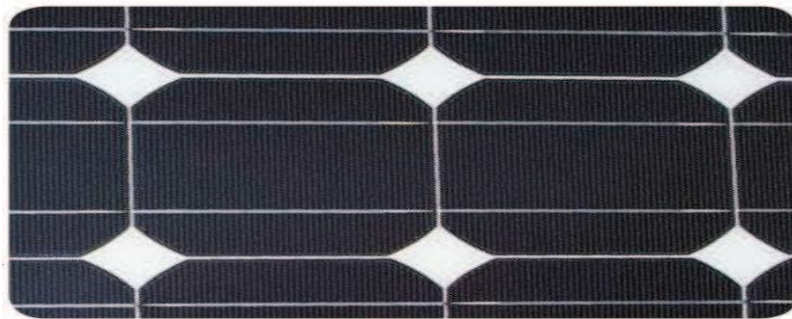


Figure III.13: La cellule couches minces

### ❖ Circuit électrique d'une cellule [26]

#### ✓ Circuit électrique idéal

La cellule photovoltaïque peut être représentée par le circuit électrique équivalent donnée par la Figure (3.14) composé d'un générateur de courant et d'une diode parallèle. Le courant  $I$  généré par la cellule s'écrit alors.

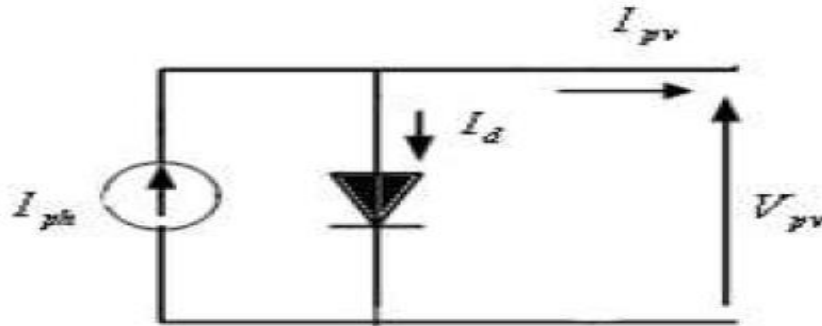


Figure III.14: Schéma équivalent du modèle à une exponentielle(3P)

L'omission des plusieurs paramètres nous amène a la relation décrivant ce modèle :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (3.5)$$

La diode étant un élément non linéaire .sa caractéristique I-V est donnée par la relation :

$$I_d = I_{s1} \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (3.6)$$

Le courant débité équivalant à :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (3.7)$$

✓ **Modèle à cinq paramètres (5P) (réel)**

En réalité, il existe l'influence de résistances dans la génération du courant, et le circuit électrique équivalent est alors représenté par la Figure (3.15).

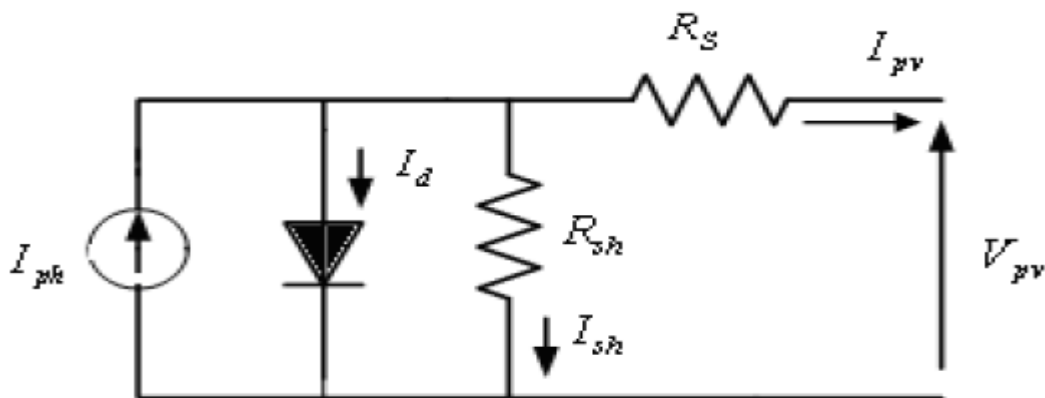


Figure III.15: Schéma équivalent du modèle à une exponentielle 5P (réel)

## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

La caractéristique courant-tension pour une température donnée et un éclairement solaire fixé par la relation suivante

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left( e^{\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{V_{t,a}}} - 1 \right) - \left( \frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{R_{sh}} \right) \quad (3.8)$$

### ➤ Les systèmes photovoltaïques raccordés aux réseaux publics [27]

Le générateur photovoltaïque convertit la radiation solaire incidente en puissance électrique et en général, on distingue deux types d'installation des systèmes photovoltaïques :

- Autonomes ou « standalone », qui ne sont pas connectées au réseau. Ces installations sont utilisées pour électrifier des circuits isolés, distants du réseau électrique, difficiles à alimenter car ils sont situés dans des zones peu accessibles ou caractérisées par de basses consommations d'énergie qui rendent presque inutile un quelconque branchement au réseau public. Dans ces installations il est nécessaire de stocker l'énergie produite par les modules photovoltaïques en utilisant des batteries pour garantir une continuité d'énergie, de nuit ou lorsqu'il n'y a pas assez de soleil (Figure (3.16))

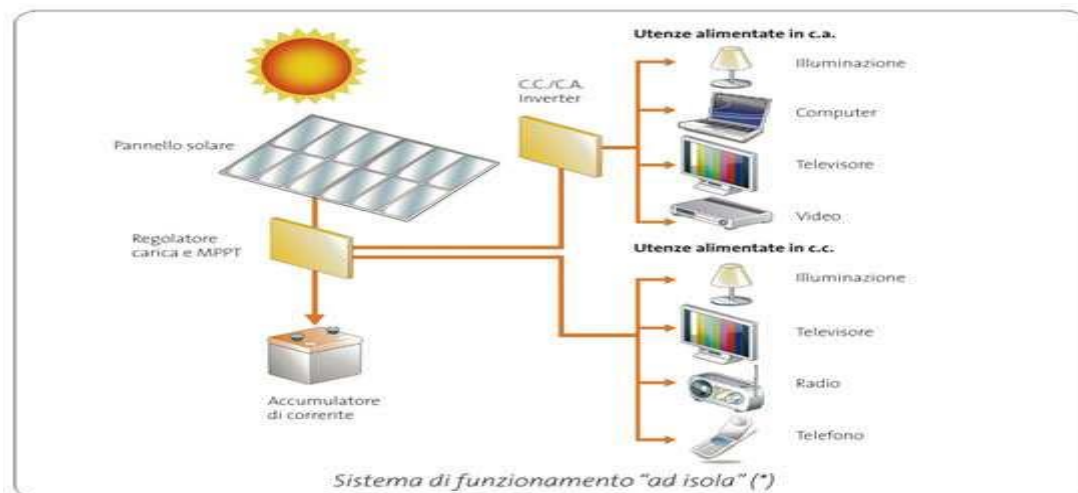


Figure III.16: Les systèmes photovoltaïques raccordés aux réseaux publics(autonomes)

- Non autonomes ou « grid connecte » proposées dans cette étude, c'est-à-dire système relié en parallèle au réseau électrique public, et conçu pour injecter dans le réseau l'énergie électrique produite par les champs PV. Dans Les systèmes reliés au réseau, les consommateurs standards de puissance AC sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur DC/AC). Figure (3.17) représente Les systèmes photovoltaïques raccordés aux réseaux publics(non autonomes)

## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

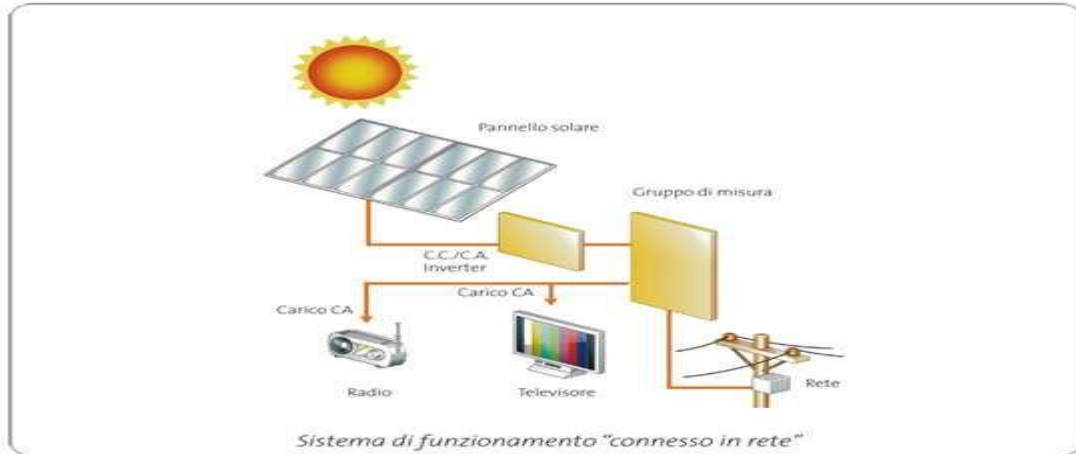


Figure III.17: Les systèmes photovoltaïques raccordés aux réseaux publics (non autonomes)

Il existe deux types d'installations pour l'injection de la production d'énergie solaire dans le réseau électrique.:

### ➤ Injection de la totalité de la production [27]

L'énergie produite par le générateur photovoltaïque est directement injectée sur le réseau électrique. Les périodes d'injections sur le réseau coïncident aux périodes de production photovoltaïque. La Figure (3.18) représenté schéma l'injection totalité de la production

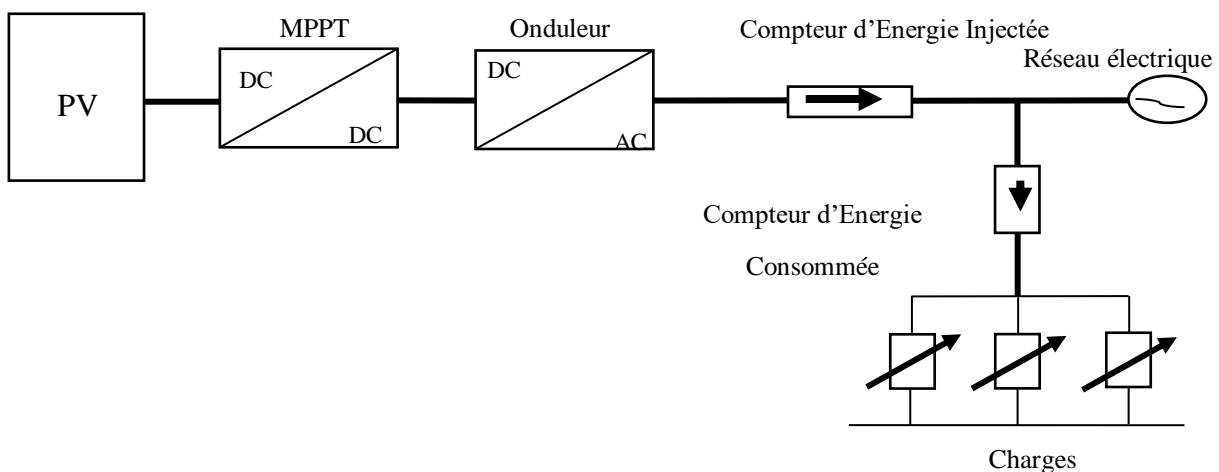


Figure III.18: Schéma l'injection totalité de la production

## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

### ➤ Injection du surplus de production

L'énergie produite par le générateur photovoltaïque est consommée directement par les charges, le surplus d'énergie de production par rapport à la consommation instantanée est injecté au réseau local de distribution. La Figure (3.19) repère schéma l'injonction de surplus de la production

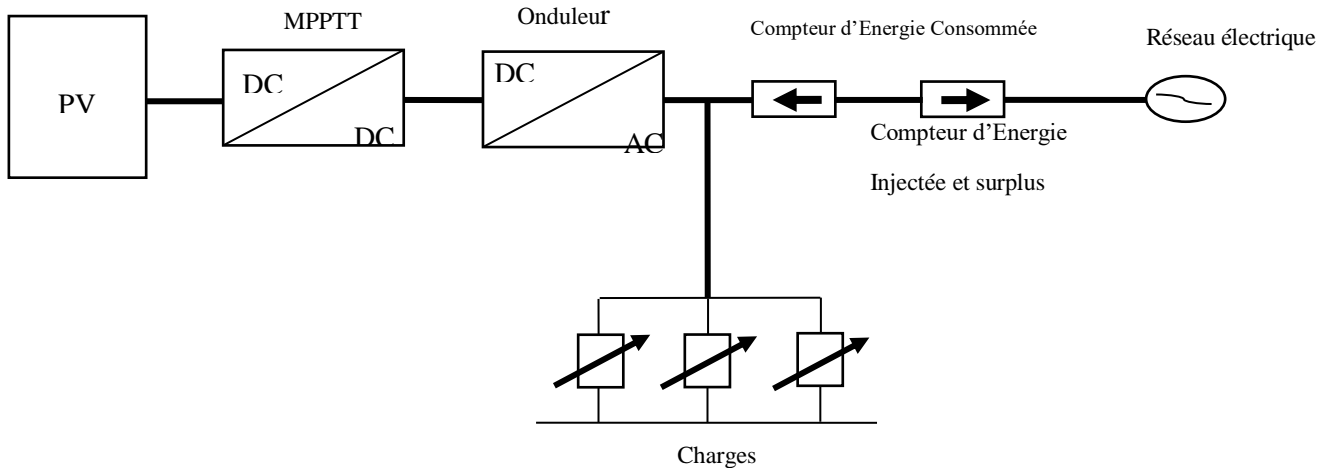


Figure III.19: Schéma l'injonction de surplus de la production

### ➤ Structure moderne des réseaux électriques

La Figure (3.20) présente quelques changements significatifs dans la structure actuelle du réseau électrique par rapport à celle classique. Les réseaux électriques actuels ou réseaux intelligents permettent le transfert de l'énergie dans les deux sens, afin de donner l'occasion d'intégration à d'autres sources parmi lesquelles les sources d'énergies de type renouvelable. Aussi les réseaux intelligents permettent l'insertion des nouvelles formes disponibles dans la vie quotidienne comme les véhicules électriques [28].

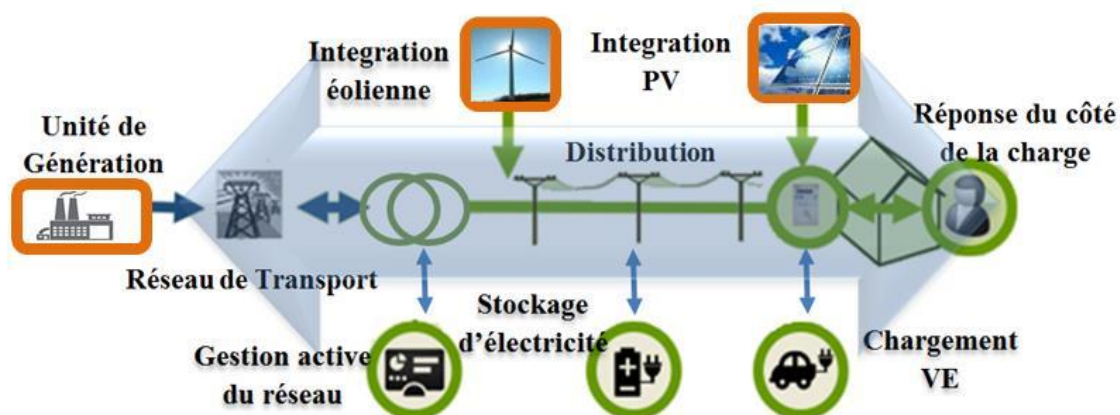


Figure III.20: Représentation horizontale (bidirectionnelle) des réseaux électriques actuels



## Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée

---

### ❖ Définition du réseau intelligent

Un réseau électrique intelligent est un réseau électrique capable d'intégrer au meilleurs coût les comportements et les actions de tous les utilisateurs qui y sont reliés : producteurs, consommateurs ainsi que ceux qui sont les deux à la fois, l'objectif est d'assurer au système électrique d'être durable et rentable, avec des pertes faibles et avec des niveaux élevés de Sécurité, de fiabilité et de qualité de fourniture ». Cette intégration est réalisée grâce à l'utilisation de capteurs et d'équipements numériques de protection, de mesure et de communication en interface avec les centres de contrôle et de pilotage.

Le réseau électrique intelligent offre à tous les consommateurs la possibilité d'obtenir des informations précises sur leurs usages électriques. Cela permet au consommateur de mieux connaître et piloter sa propre consommation, son éventuelle autoproduction et d'améliorer son efficacité énergétique en liaison avec le réseau et ses opérateurs.[28]

### ❖ Comparaison entre les réseaux électriques anciens et actuels

Les principales différences entre un réseau électrique intelligent et un réseau électrique classique sont présentées dans le Tableau (3.1) .[28]

Réseau traditionnel	Smart Grid
Electromécanique, état solide	Digitale/Microprocesseur
Une seule direction et communication localisée.	Bidirectionnel, réseau de communication étendue.
Génération centralisée.	Adopte une génération distribuée et mixte (décentralisée).
Protection, surveillance et contrôle limités.	WAMPAC, protection adaptative plus fiable.
Surveillance manuelle et localisée.	Surveillance autonome, et à distance (utilisation du système SCADA
Restauration manuelle lente.	Automatique, et Self-Healing
Vérification manuelle des équipements.	Surveillance des équipements à distance.
Systèmes de contrôle des défauts limités (quelques détecteurs).	Pénétration des systèmes de contrôle de défauts (détections à grande échelle du réseau électrique)
Fiabilité estimée.	Fiabilité prédictive du réseau, plus efficacement améliorée
Besoin en réserve très limité	Permet la réponse de la charge (DR), et la Gestion du cote charge DSM.

Tableau III-1:Comparaison entre le réseau électrique traditionnel et intelligent

## **Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée**

---

### **❖ Technologies du (Smart grid) réseaux intelligent [29]**

Es nombreux domaines technologiques des réseaux intelligents, chacun composé d'ensembles de technologies individuelles, couvrent l'ensemble du réseau, de la production à la transmission et à la distribution jusqu'aux différents types de consommateurs d'électricité.

### **❖ Technologies de surveillance et de contrôle étendues :**

- **Surveillance et controlee etendues:**

Des unités de mesure sont nécessaires pour la surveillance et l'A-charge en temps réel des composants et des performances du système d'alimentation, sur toutes les interconnexions et sur des grandes zones géographiques, aident les opérateurs à comprendre et à optimiser le comportement et les performances du système.

### **❖ Technologies d'intégration et de distribution des énergies renouvelables**

L'intégration des ressources renouvelables de grande échelle (niveau du transport) à petite échelle (niveau résidentiel) peut présenter des difficultés pour la distribution et le contrôle de ces ressources ainsi que pour le fonctionnement du système électrique en raison de leur production intermittente, qui ne correspond pas aux schémas de la demande. Les systèmes de stockage d'énergie, peuvent résoudre ou peuvent même aider à atténuer ces problèmes en découplant la production et la livraison d'énergie.

### **➤ Intégration des énergies renouvelables dans les smart grids**

L'augmentation de la pénétration et de la production de l'électricité à partir des sources d'énergies renouvelables, en particulier les éolien et les systèmes photovoltaïques ont reçu une croissance rapide dans les réseaux intelligents, et tient également au fait que ces sources sont propres et durables. La production d'énergie électrique à partir de ces sources d'énergies renouvelables peut être très élevée (supérieure à la demande) ou très faible (inférieure à la demande) en fonction des sources d'énergie disponibles, à savoir la vitesse du vent et le rayonnement solaire. Cependant, cette pénétration pose de nombreux défis, tels que l'efficacité des prévisions, la gestion du stockage d'énergie, les systèmes de gestion de la demande, le contrôle de la tension et la stabilité du système d'alimentation.[30]

De plus, l'insertion massive d'énergies renouvelables sur les réseaux électriques pose des problèmes techniques, en particulier pour les opérateurs de réseaux :

## **Chapitre3 : Généralisés sur la production distribuée**

---

- La première préoccupation concerne l'emplacement des installations de production. En effet, l'intégration de la production décentralisée conduit à l'opération bidirectionnelle, tandis que le réseau traditionnellement conçu pour transporter de l'énergie dans un seul sens.
  
- La seconde, concerne la gestion des moyens de production intermittents dans le système électrique. Pour les faibles taux de pénétration, l'impact de la production intermittente est limité et peut-être géré par le système électrique. D'autre part, lorsque le taux de pénétration augmente, les déséquilibres peuvent se produire. Trois facteurs principaux influencent l'apparition des déséquilibres :
  
- L'impact sur le réseau est plus fort lorsque la production n'est pas corrélée (correspond) à la consommation.
  
- Le besoin d'investissement est plus élevé lorsque le développement s'effectue dans des zones moins peuplées où les réseaux de transport et de distribution sont conçus avec plus de précision.
  
- La magnitude des adaptations de réseau nécessaires à l'insertion des petites installations à basse tension dépend très fortement de leur niveau de concentration [30].

### **III.4 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans la première phase un aperçu sur la production décentralisée en précisant les types d'énergie renouvelables. La deuxième phase a été consacré à présenter en bref la structure de réseaux électrique moderne en précisant l'intégration des sources renouvelables dans réseaux intelligente. Le chapitre suivant est consacré à exposer l'analyse des résultats de simulation.

# CHAPITRE

# 4

# IV. Chapitre 4 : Résultats de simulation

## IV.1 Introduction

Ce chapitre de résultats se compose de deux parties, la première partie est consacrée à l'analyse préliminaire du réseau radial par utilisation de la méthode nommée BFA pour déterminer l'état initial du réseau en termes de tension minimale, les pertes actives totales, les pertes actives et réactives dans les lignes. Les résultats obtenus permettent à l'exploitant du réseau de prendre des décisions techniques afin de garantir une exploitation efficace du réseau. La deuxième partie focalise sur l'amélioration de l'état du réseau en termes de réduction des pertes totales et réduction de la déviation de tension par l'application de trois méthodes d'optimisation métaheuristiques à savoir, l'algorithme génétique, l'algorithme d'essaim de particule et l'algorithme nommé GWO.

## IV.2 Réseau de distribution radial

La technique proposée pour le calcul de l'écoulement de puissance dans le réseau de distribution radial, se base principalement sur la connaissance de la topologie ou l'architecture du réseau. Pour cela, cette technique nécessite uniquement la lecture des données du réseau : le nombre des jeux de barres et les charges branchées au niveau de chacun d'eux, ainsi que les branches qui le forment, jeux de barres de départ, jeux de barres d'arrivée et la caractéristique résistance et réactance de chaque branche.

## IV.3 Structure d'un réseau de distribution

La connaissance de la topologie du réseau se fait par l'identification du type de chaque jeu de barres et de chaque ligne. Généralement, les réseaux de distribution qui ont une forme radiale, comportent un jeu de barres de référence qui est souvent le premier jeu de barres du réseau, et trois autres types de jeux de barres la Figure (4.1) représente l'emplacement des lignes et les jeux des barres dans le réseau radial :

- jeu de barres de référence (Slack bus)
- Jeu de barres terminal (JB terme)
- Jeu de barres commun (JB com)

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

- Jeu de barres intermédiaire (JB inter)

Tous ces jeux de barres se lient à travers des branches qui représentent des tronçons de lignes pour former un réseau de distribution radial. En plus et généralement aussi ces réseaux

Contiennent quatre types de lignes :

- Ligne principale (main line)
- Ligne latérale (latéral line)
- Ligne sous-latérale (sub latéral line)
- Ligne mineure (minor line)

Donc par cette identification, on peut connaître la topologie du réseau quel que soit sa complexité et quel que soit sa taille.[13]

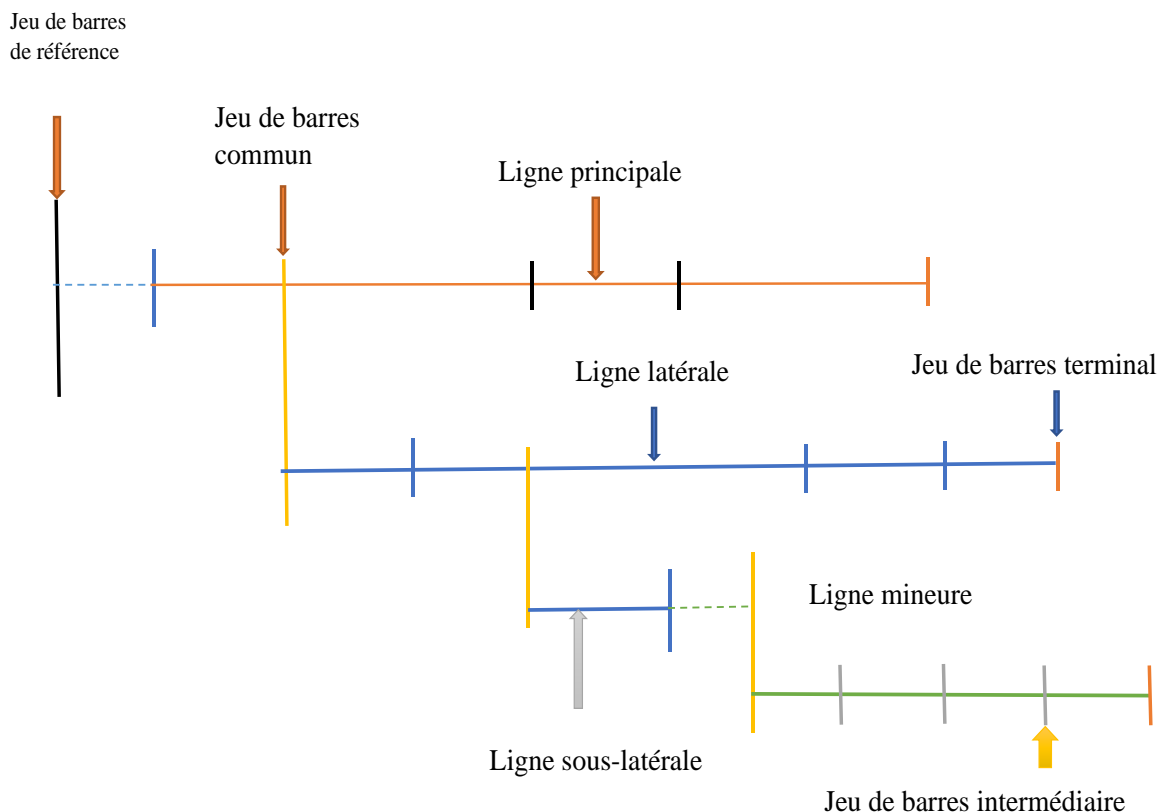


Figure IV.1: Montre la structure d'un réseau de distribution radial.

## IV.4 Ecoulement de puissance du réseau de distribution radial

L'identification de la topologie du réseau par la détermination des vecteurs des types des jeux de barres et des lignes est exploitée dans la solution de l'écoulement de puissance pour calculer :

- La puissance transitée dans chaque branche ;
- Les pertes totales de puissance active et réactive dans le réseau ;
- La tension de chaque jeu de barres.

### IV.4.1 Puissance fournie au réseau

La puissance totale fournie au réseau est donnée comme suit :

$$P_t = \sum_{i=1}^n P_i + P_{loss} \quad (4.1)$$

$n$  : le nombre de jeux de barres

$P_i$  : la demande de puissance de charge au jeu de barres  $i$

$P_{loss}$  : les pertes de puissance totales dans les lignes

### IV.4.2 Puissance dans les branches et la ligne

Une branche d'un réseau de distribution radial est modélisée comme une résistance en série avec une inductance pure [5].

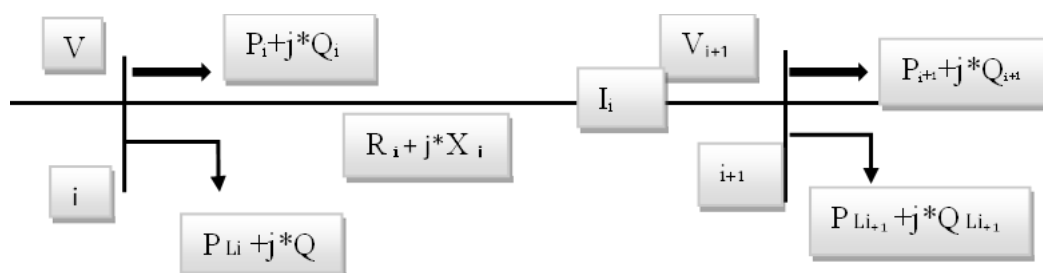


Figure IV.2: Représentation de jeux de barres dans le réseau de distribution radial.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

La puissance active transitée du jeu de barres (**i**) au jeu de barres (**i+1**) s'écrit comme suit :

$$P_i = P'_{i+1} + R_i \frac{(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)}{V_{i+1}^2} \quad (4,2)$$

Ou  $P'_{i+1} = P_{i+1} + P_{Li+1}$

$P_{Li+1}$  : la puissance active de la charge au niveau du jeu de barr (**i+1**)

$P_i$  : la puissance active transitée dans la branche (**i**)

$$Q'_i = Q'_{i+1} + X_i \frac{(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)}{V_{i+1}^2} \quad (4,3)$$

Avec :  $Q'_{i+1} = Q_{i+1} + Q_{Li+1}$

$Q_{Li+1}$  : La puissance réactive de la charge au niveau du jeu de barres (**i+1**) ;

$Q_i$  : La puissance réactive transitée dans la branche (**i**).

### IV.4.3 Amplitude et angle de la tension

D'après la Figure (4.2) le courant dans la branche (**i,i+1**) s'écrit de deux façons

$$\begin{cases} I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i \angle -\delta_i} \\ I_i = \frac{(V_i \angle \delta_i - V_{i+1} \angle \delta_{i+1})}{R_i + jX_i} \end{cases} \quad (4,4)$$

En assimilant les équation (4,3), on obtient :

$$\frac{(V_i \angle \delta_i - V_{i+1} \angle \delta_{i+1})}{R_i + jX_i} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i \angle -\delta_i} \quad (4,5)$$

En assimilant les parties réelles et les parties imaginaires des deux côtés de l'équation (4,5)

On aura :

$$V_i^2 - V_i V_{i+1} \angle (\delta_{i+1} - \delta_i) = (P_i - jQ_i)(R_i + jX_i) \quad (4,6)$$

En élevant les deux côtés de l'équation (4,6) à la puissance 2, on obtient :

$$\begin{cases} (V_i V_{i+1})^2 \cos(\delta_{i+1} - \delta_i)^2 = [V_i^2 - (P_i R_i + Q_i X_i)]^2 \\ (V_i V_{i+1})^2 \sin(\delta_{i+1} - \delta_i)^2 = (Q_i R_i - P_i X_i)^2 \end{cases} \quad (4,7)$$

En assemblant les équation (4,7) coté à l'autre, une nouvelle équation est obtenue :

$$(V_i V_{i+1})^2 = [V_i^2 - (P_i R_i + Q_i X_i)]^2 + (Q_i R_i - P_i X_i)^2 \quad (4,8)$$

L'équation (4,8) s'écrit comme suit :

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (P_i R_i + Q_i X_i)^2 + (Q_i R_i - P_i X_i)^2 \quad (4,9)$$

On obtient l'équation suivant :

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (P_i R_i)^2 + (Q_i X_i)^2 + (Q_i R_i)^2 + (P_i X_i)^2 \quad (4,10)$$



## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

L'équation de l'amplitude de la tension au niveau de chaque jeu de barres du réseau de distribution radial est obtenue comme suit

$$V_{i+1} = [V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (R_i^2 + X_i^2) \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2}]^{1/2} \quad (4,11)$$

L'angle de tension peut s'écrire :

$$\tan(\delta_{(i+1)} - \delta_i) = \frac{(Q_i R_i - P_i X_i)}{[V_i^2 - (P_i R_i + Q_i X_i)]} \quad (4,12)$$

$$\delta_{i+1} = \delta_i - \tan^{-1} \frac{(Q_i R_i - P_i X_i)}{[V_i^2 - (P_i R_i + Q_i X_i)]} \quad (4,13)$$

L'équation de déviation de tension :

$$DVT = \sum_{i=1}^{nbr} |1 - V_i| \quad (4,14)$$

Contraintes d'inégalités :

$$V(\min) \leq V \leq V(\max)$$

### IV.4.4 Les pertes de puissance active et réactive

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

$$P_{Loss, i} = R_i \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (4,15)$$

Les pertes de toutes les branches de l'équation

$$P_{T, Loss} = \sum_{i=1}^{nbr} P_{Loss, i} \quad (4,16)$$

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

$$Q_{Loss, i} = X_i \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (4,17)$$

Les pertes totales de puissance réactive dans le réseau peuvent être déterminées en additionnant les pertes de toutes les branches de l'équation

$$Q_{T, Loss} = \sum_{i=1}^{nbr} Q_{Loss, i} \quad (4,18)$$

### Objectif du travail pratique :

Dans Cette étude la stratégie d'exploitation optimal des réseaux de distribution (figure (4.3)) se caractérise par la minimisation de deux fonctions objectives à savoir, la minimisation des pertes actives totales et l'amélioration des niveaux de tensions aux niveaux des jeux de barres de charges.

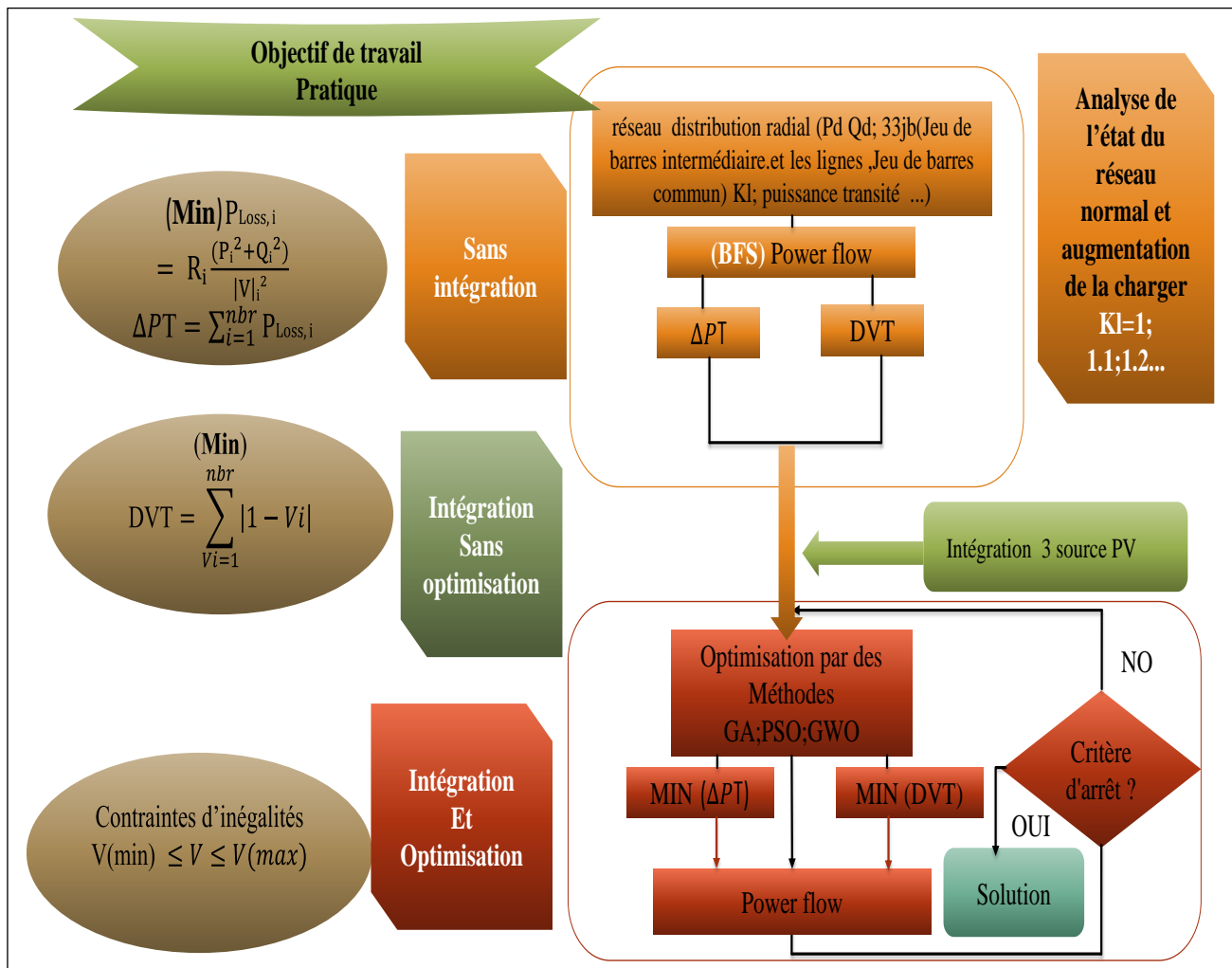


Figure IV.3 : schéma bloc de la stratégie d'optimisation

## IV.5 Partie 1 : Analyse de l'état du réseau radial

Le calcul de l'écoulement de puissance nécessite deux entrées pour fournir les caractéristiques du réseau électrique. Ces deux entrées sont des données des branches et des données de charges électriques. Les informations sur le réseau peuvent être rassemblées dans deux Tableaux x (LDATA, BDATA). Le Tableau LDATA contient Les données des lignes qui représentent les

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

caractéristiques des conducteurs de réseau. Le Tableau BDATA contient les données de charges électriques qui peuvent être établies en collectant les consommations des puissances actives et réactives à chaque jeu de barres.

Le réseau test électrique à analyser est réseau radial (33-Bus) composé de 33 jeux de barres et de 32 branches. Il se compose également de 32 charges. La tension de service est de 12.66 kV. Ce réseau assure l'alimentation à l'état normal d'une charge de  $3715+j2300$  KVA.

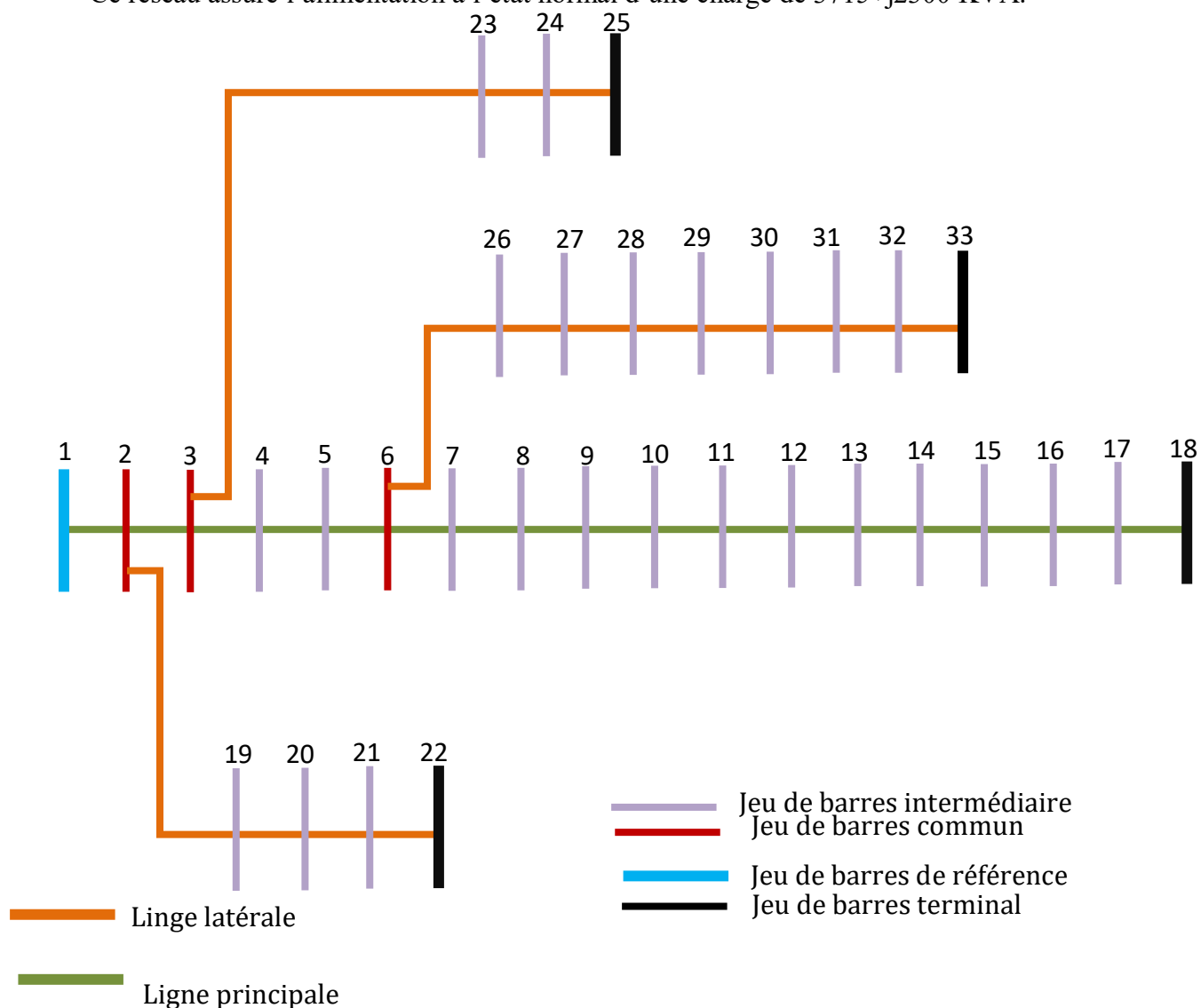


Figure IV.4: Topologie du réseau radial 33.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

DE	À	R (p)	X (p.u)	B/2 (p.u)
1	2	0.0575	0.0293	0
2	3	0.3076	0.1567	0
3	4	0.2284	0.1163	0
4	5	0.2378	0.1211	0
5	6	0.5110	0.4411	0
6	7	0.1168	0.3861	0
7	8	0.4439	0.1467	0
8	9	0.6426	0.4617	0
9	10	0.6514	0.4617	0
10	11	0.1227	0.0496	0
11	12	0.2336	0.0772	0
12	13	0.9159	0.7206	0
13	14	0.3379	0.4448	0
14	15	0.3687	0.3282	0
15	16	0.4656	0.3400	0
16	17	0.8042	1.0738	0
17	18	0.4567	0.3581	0
2	19	0.1023	0.0976	0
19	20	0.9385	0.8457	0
20	21	0.2555	0.2985	0
21	22	0.4423	0.5848	0
3	23	0.2815	0.1924	0
23	24	0.5603	0.4424	0
24	25	0.5590	0.4374	0
6	26	0.1267	0.0645	0
26	27	0.1773	0.0903	0
27	28	0.6607	0.5826	0
28	29	0.5018	0.4317	0
29	30	0.3166	0.1613	0
30	31	0.6080	0.6008	0
31	32	0.1937	0.2258	0
32	33	0.2128	0.3308	0

Tableau IV-1: Caractéristiques des lignes : réseau test 33 jeux de barres.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

TYPE	N°= Jeu de barre	Pdi (KW)	Pdi (KVAR)
1	1	0	0
3	2	100.0000	60.0000
3	3	90.0000	40.0000
3	4	120.0000	80.0000
3	5	60.0000	30.0000
3	6	60.0000	20.0000
3	7	200.0000	100.0000
3	8	200.0000	100.0000
3	9	60.0000	20.0000
3	10	60.0000	20.0000
3	11	45.0000	30.0000
3	12	60.0000	35.0000
3	13	60.0000	35.0000
3	14	120.0000	80.0000
3	15	60.0000	10.0000
3	16	60.0000	20.0000
3	17	60.0000	20.0000
3	18	90.0000	40.0000
3	19	90.0000	40.0000
3	20	90.0000	40.0000
3	21	90.0000	40.0000
3	22	90.0000	40.0000
3	23	90.0000	50.0000
3	24	420.0000	200.0000
3	25	420.0000	200.0000
3	26	60.0000	25.0000
3	27	60.0000	25.0000
3	28	60.0000	20.0000
3	29	120.0000	70.0000
3	30	200.0000	600.0000
3	31	150.0000	70.0000
3	32	210.0000	100.0000
3	33	60.0000	40.0000

Tableau IV-2: Caractéristiques des charges : réseau test 33 jeux de barres

### IV.5.1 Analyse de réseau sans optimisation

Cas1 : ce premier cas d'étude consiste à déterminer l'état initiale du réseau le calcul des tensions aux niveaux des jeux de barres, les pertes totales, et les pertes aux niveaux des lignes. Ce calcul

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

préliminaire est très important à évaluer par l'expert chargé de l'exploitation des réseaux électriques, en termes de déterminer de localier les jeux de barres critiques, et de prendre des décisions concernant l'empalment des batteries de condensateurs et l'intégration des sources distribuées pour assurer une meilleure exploitation du réseau à l'état normal et l'état future. Les résultats de l'écoulement de puissances en termes de module de tension et angles de charges sont récapitulés dans le Tableau (4.3)

TYPE	N°= Jeu de barre	Tension (p.u)	ANGLE (Deg)	PTr (KW)	QTr (KVAR)	Q injc (KVAR)
1	1	1	0	3916.900	2434.500	0
3	2	0.9970	0.0149	0	0	0
3	3	0.9829	0.0984	0	0	0
3	4	0.9755	0.1658	0	0	0
3	5	0.9681	0.2342	0	0	0
3	6	0.9497	0.1447	0	0	0
3	7	0.9463	-0.0872	0	0	0
3	8	0.9414	-0.0538	0	0	0
3	9	0.9352	-0.1312	0	0	0
3	10	0.9294	-0.1979	0	0	0
3	11	0.9285	-0.1914	0	0	0
3	12	0.9270	-0.1811	0	0	0
3	13	0.9209	-0.2777	0	0	0
3	14	0.9187	-0.3584	0	0	0
3	15	0.9173	-0.3975	0	0	0
3	16	0.9159	-0.4222	0	0	0
3	17	0.9139	-0.5017	0	0	0
3	18	0.9133	-0.5119	0	0	0
3	19	0.9965	0.0040	0	0	0
3	20	0.9929	-0.0636	0	0	0
3	21	0.9922	-0.0831	0	0	0
3	22	0.9915	-0.1036	0	0	0
3	23	0.9793	0.0672	0	0	0
3	24	0.9727	-0.0221	0	0	0
3	25	0.9694	-0.0662	0	0	0
3	26	0.9478	0.1859	0	0	0
3	27	0.9453	0.2445	0	0	0
3	28	0.9339	0.3387	0	0	0
3	29	0.9257	0.4276	0	0	0
3	30	0.9227	0.5365	0	0	0
3	31	0.9180	0.4562	0	0	0
3	32	0.9171	0.4340	0	0	0
3	33	0.9168	0.4266	0	0	0

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

Tableau IV-3 : Résultats de l'écoulement de puissance : réseau test 33 jeux de barres.

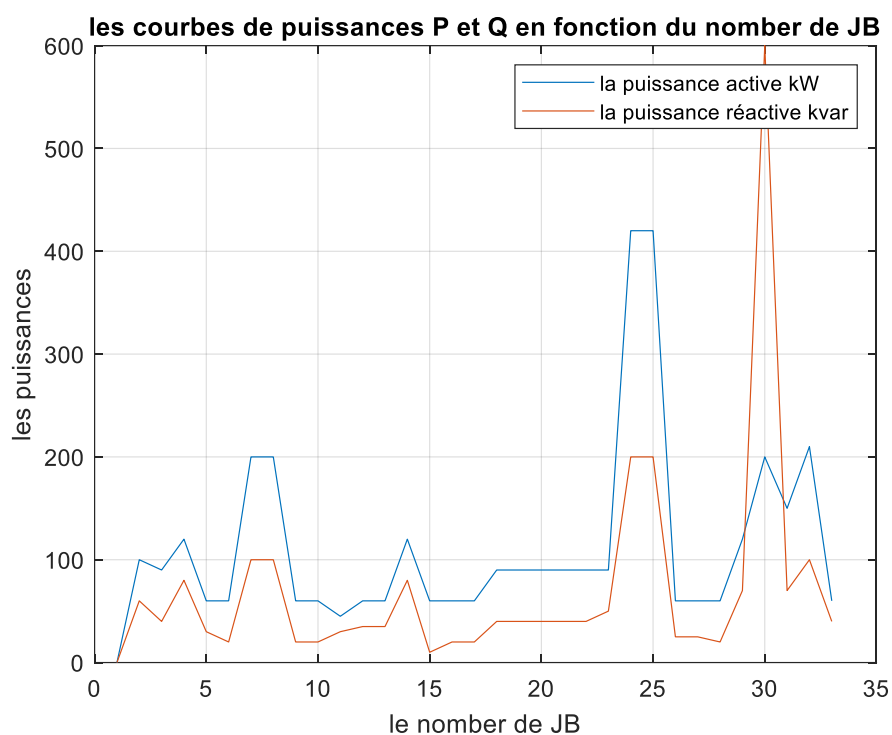


Figure IV.5: Répartitions des puissances active et réactive des charges

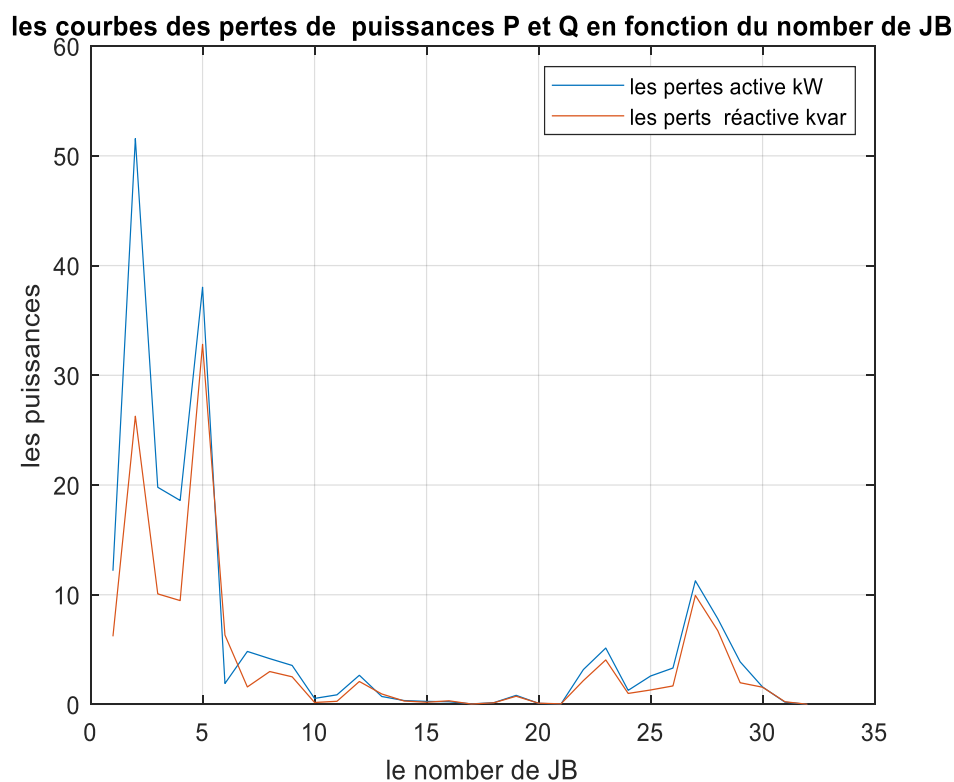


Figure IV.6 : Répartition des pertes de puissance active et réactive dans les lignes

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

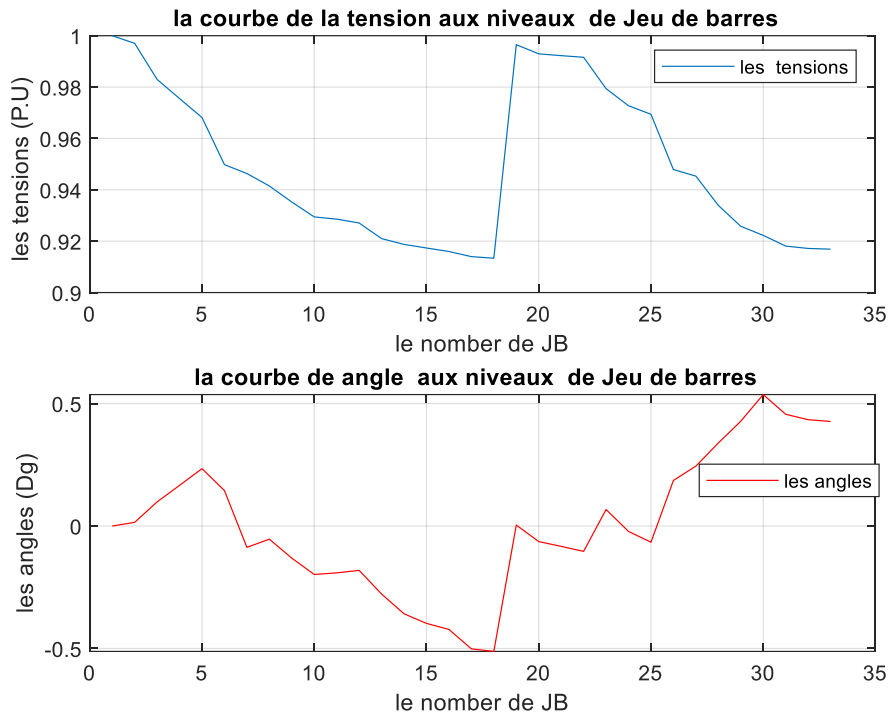


Figure IV.7: Répartitions de l'angle de charge et les tensions

La puissance demandée	$P_d = 3715.0000$ (KW) et $Q_d = 2300.00$ (KVAR)
La puissance transformé	$P_{Tr} = 3896.000$ (KW) et $Q_{Tr} = 2420.600$ (KVAR)
La tension minimale (p. u)	JB18 = 0.9133
DV (p.u)	1.5309(p.u)
Les pertes totales	$PL = 201.8827$ (KW) $QL = 134.5495$ (KVAR)

Tableau IV-4: Résultats de l'écoulement de puissance : cas 1



## Chapitre 4 : Résultats de simulation

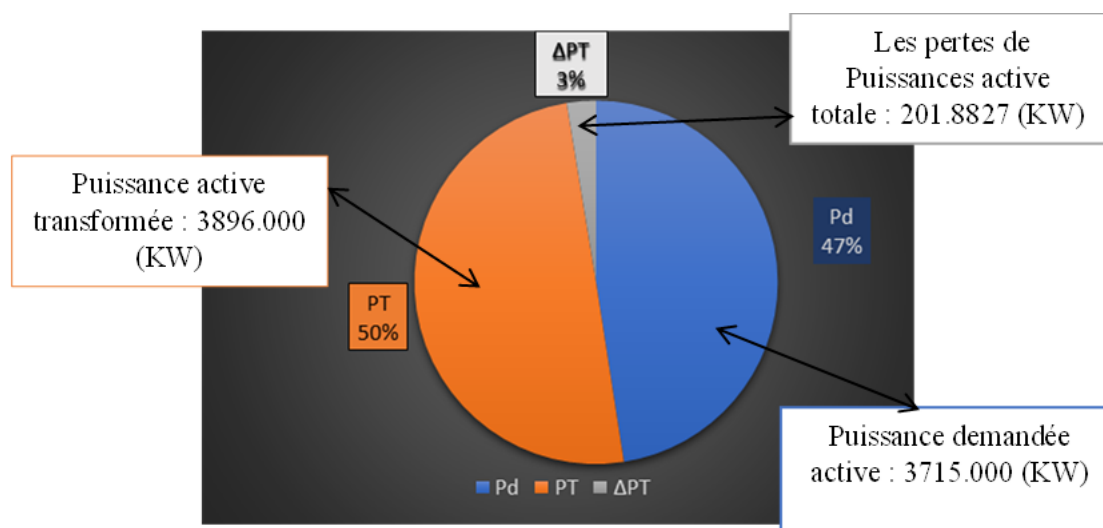


Figure IV.8: Comparaisons de la puissance active (demandée, transformée et les pertes totales)

### Interprétation :

D'après les résultats d'analyse obtenus on remarque ce qui suit :

- Les charges importantes sont localisées dans les jeux de barres (24 et 25), en particulier le jeu de barres 24 alimente une charge possédant une puissance réactive importante.
- D'après les résultats d'analyse présentés dans le Tableau (3), la valeur des pertes actives totales est de 201.8827 KW ce qui représente 3%
- On remarque que les pertes actives et réactives sont importantes dans les lignes principales de départ (du jeu de barre 1 ou jeu de barre 5) cette information est très importante à tenir en considération en cas de surcharge
- On remarque que la tension minimale est de 0.931(p.u) localisé au jeu de barres 18, selon le critère de stabilité de tension ce jeu de barres est considéré comme l'emplacement efficace à l'installation du système de compensation et l'intégration des sources distribuées.

Cas 2 :

### IV.5.2 Augmentation de la charge

Ce deuxième test focalise à analyser le réseau radial lors de l'augmentation de la charge. Cette analyse est très importante pour déterminer la capacité de réserve du réseau et d'autre part nous

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

permet d'estimer aussi l'emplacement et la capacité des sources distribuées à intégrer dans le réseau. Dans les Figures (4.8) et (4.9)) les évolution de les pertes active et réactive avec augmentation des charges, et les Figures ((4.10), (4.11),(4.12),(4.13),(4.14)) représentent les répartitions de l'angle des charges et les tensions avec l'augmentation de la charge .

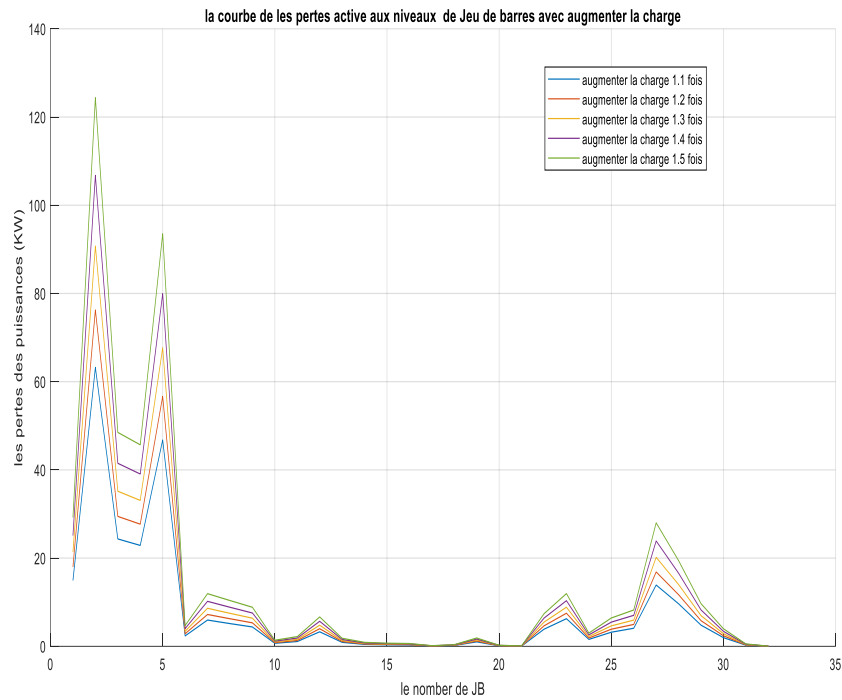


Figure IV.9:Evolution des pertes active dans les lignes avec augmentation de la charge (Kl=1.1, Kl=1.2 ,Kl=1.3 ,Kl=1.4,Kl=1.5 )

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

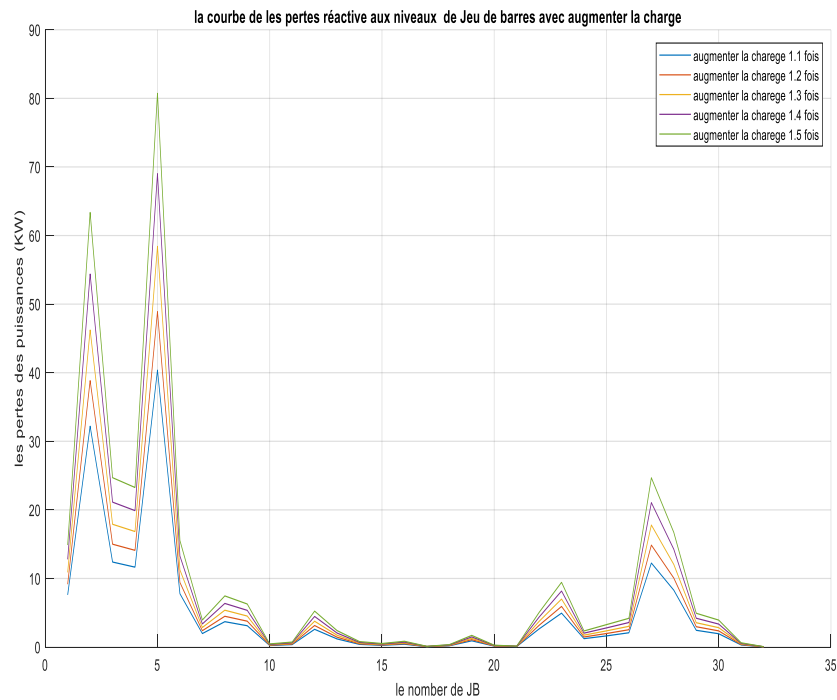


Figure IV.10: Evolution des pertes réactive dans les lignes avec augmentation de la charge ( $Kl=1.1, Kl=1.2, Kl=1.3, Kl=1.4, Kl=1.5$ )

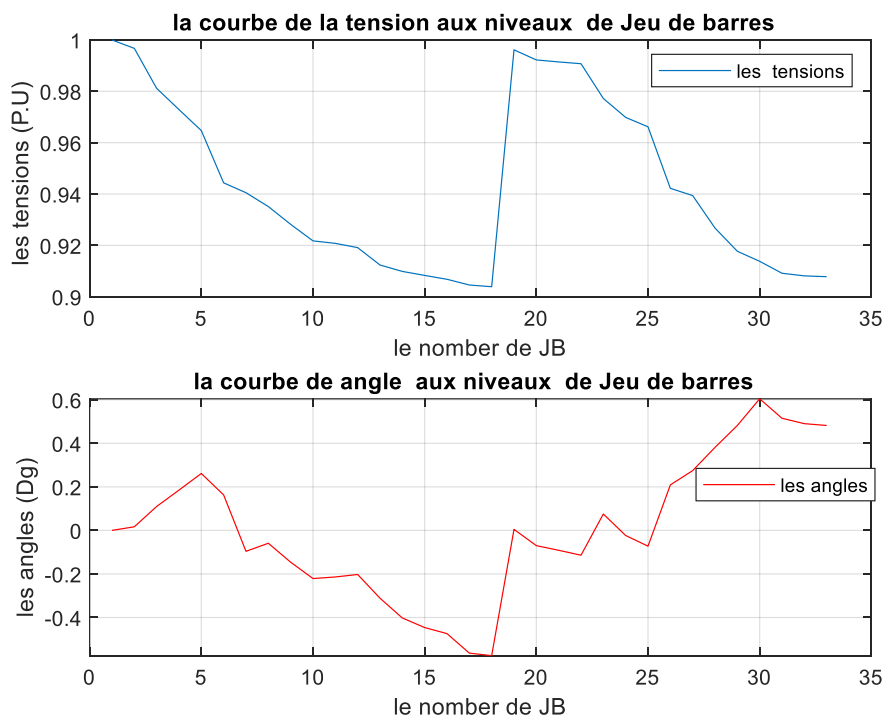


Figure IV.11 : Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres :  $KL=1.1$

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

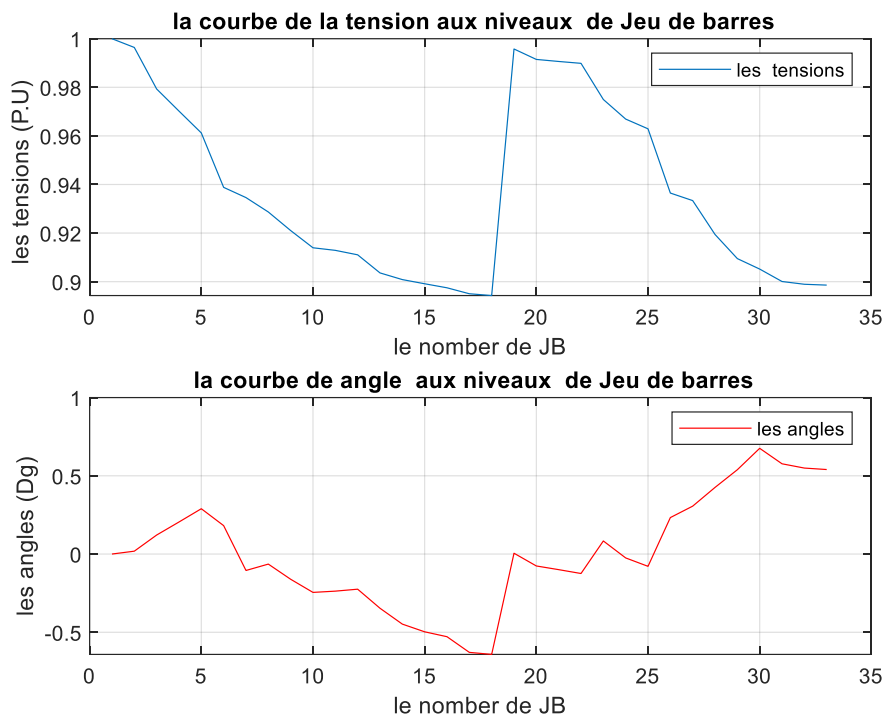


Figure IV.12: Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.2

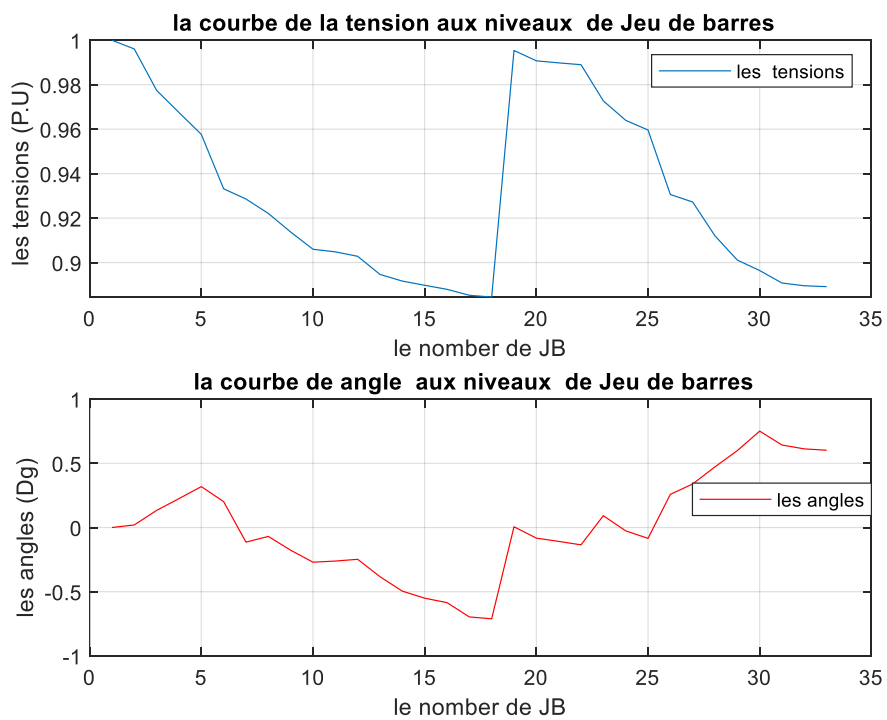


Figure IV.13: Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.3

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

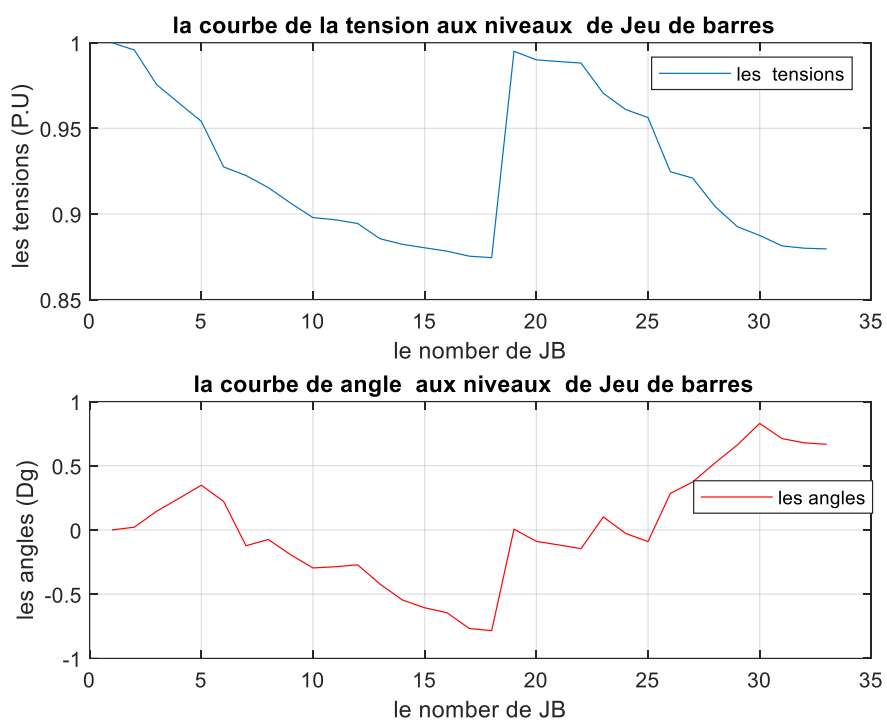


Figure IV.14: Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.4

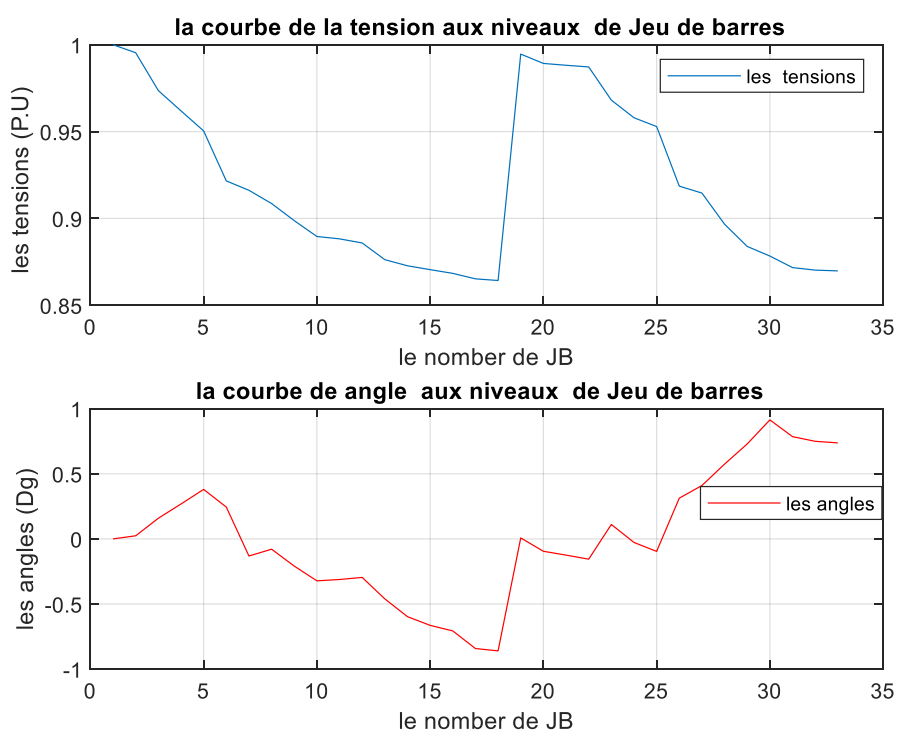


Figure IV.15: Répartitions de l'angle de charge et les tensions aux niveaux de jeux de barres : KL=1.5

Augmentation de la charge	Puissance active	Puissance réactive	ΔPT (KW)	Puissance transformé	DVT (p.u)	La tension minimal (p.u)
---------------------------	------------------	--------------------	----------	----------------------	-----------	--------------------------

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

	demandée totale (KW)	demandée totale (KVAR)		totale (KW)		
KI=1.1	4086.500	2530.000	248.0690	4334.600	1.8799	JB18=0.9039
KI=1.2	4458.000	2760.000	299.9317	4757.900	2.0674	JB18=0.8943
KI=1.3	4829.500	2990.000	357.7799	5187.300	2.2582	JB18=0.8845
KI=1.4	5201.000	3220.000	421.9532	5623.000	2.4527	JB18=0.8745
KI=1.5	5572.500	3450.000	492.8263	6065.300	2.6510	JB18=0.8642

Tableau IV-5: Les résultats d'analyse de l'état de réseau à 33JB après augmentation de charge

### Interprétation :

D'après les résultats d'analyse obtenus (Tableau 4-5) après avoir effectué une augmentation de la charge régulière aux niveaux de tous les jeux de barres on remarque ce qui suit :

- La valeur de la tension minimale est rapportée au jeu de barres 18.
- Les pertes actives augmentent avec l'augmentation de la puissance demandée. Pour KI de 1.1, la valeur des pertes est de 248.0690(KW) ce qui représente (6.07%). Pour le coefficient de surcharge de KI=1.5, la valeur des pertes actives engendrées augmente à 492.8263 (KW) ce qui représente (8.8%).
- On remarque que les pertes actives et réactives sont importantes dans les lignes principale à savoir la ligne 1 et 5 cette information est très importante à tenir en considération pour garantir une meilleure exploitation du réseau.
- La déviation de tension est plus élevée pour le facteur de surcharge de KI =1.5 p.u.
- Le réseau radial 33 jeux de barres n'a pas pu assurer une qualité d'énergie lors de l'augmentation de la puissance demandée, en effet, la tension minimale est inférieure à la valeur admissible qui est de 0.9 p.u, d'autre part les pertes active engendrés sont importante, ce qui nécessite le renforcement du réseau afin d'améliorer la qualité d'énergie fournie aux consommateurs.

### IV.5.3 Intégration des sources PV sans optimisation

Cas1 : selon les résultats d'analyse primaires, on choisit les jeux de barres (6-18-33), pour intégrer une source PV. Pour ce cas on installe une puissance de 1000 KW aux différents jeux de barres. La répartition des tensions et l'angle de charge aux niveaux des jeux de barres après avoir intégré une source PV aux jeux de barres 6, 18 et 33 sont présentes dans les Figures (4.15,4.16, et 4.17) respectivement. Le Tableau (4.6) récapitule les résultats obtenus en termes de perte totale et déviation de tension total.

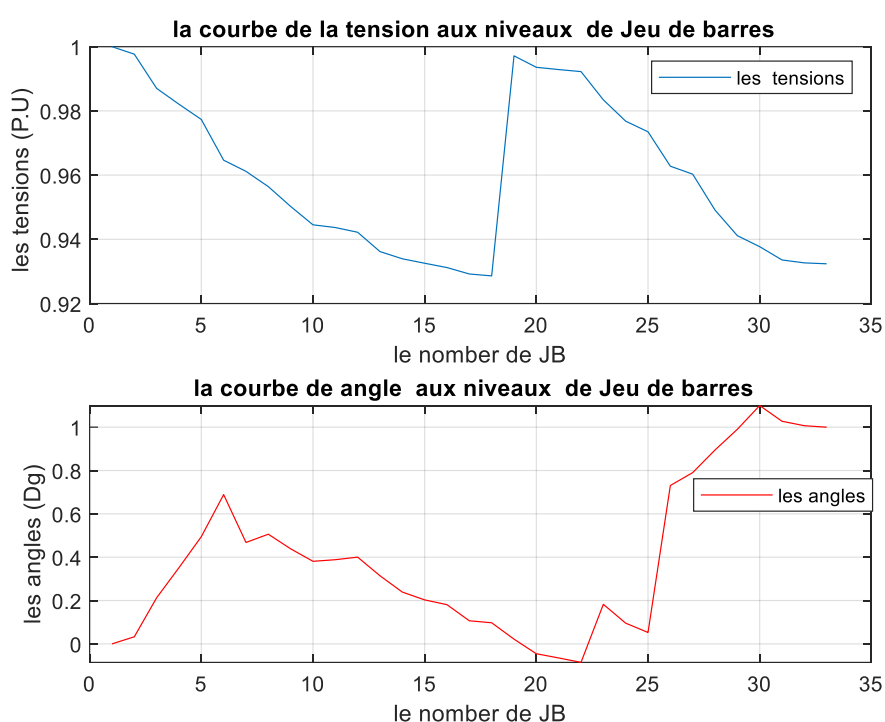


Figure IV.16: Les courbes de l'angle de charge et le module de tension : Intégration d'une source PV de 1000 KW au JB 6

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

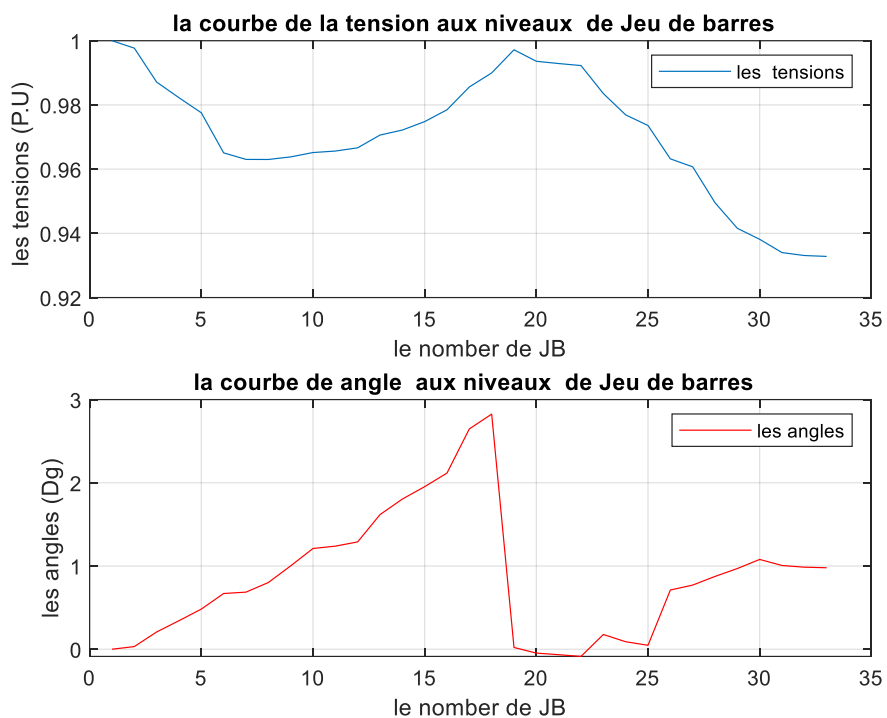


Figure IV.17: Les courbes de l'angle de charge et le module de tension : Intégration d'une source PV de 1000 KW au JB 18

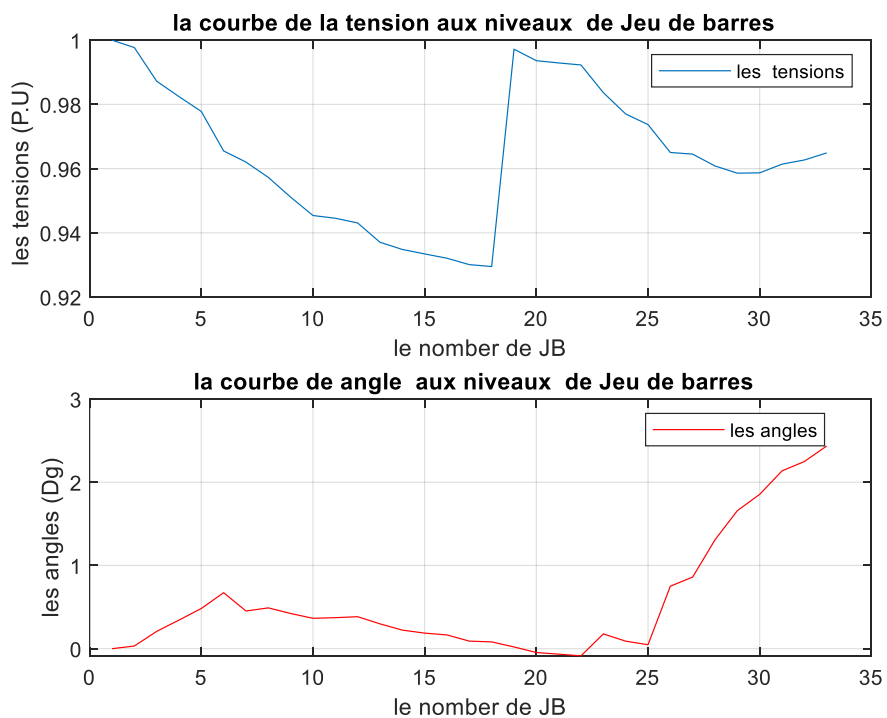


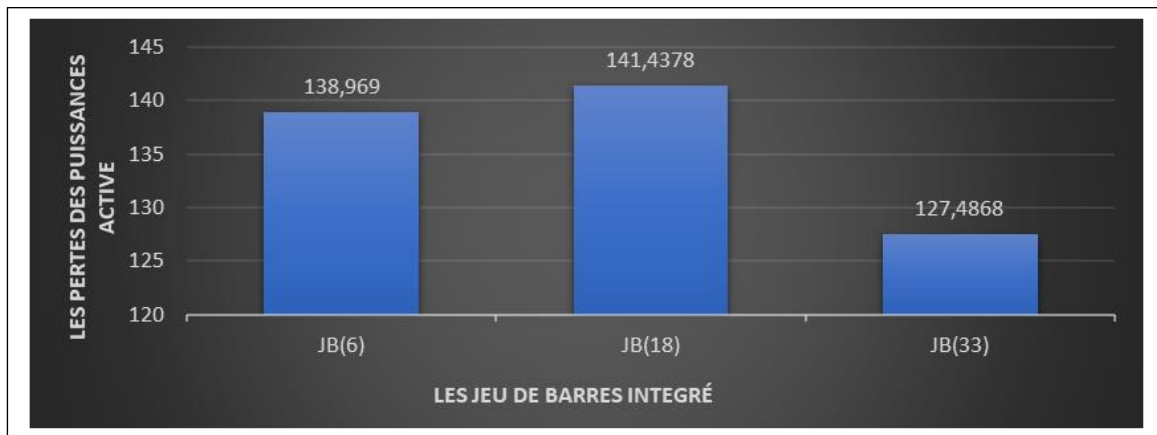
Figure IV.18: Les courbes de l'angle de charge et le module de tension : Intégration d'une source PV de 1000 KW au JB 33



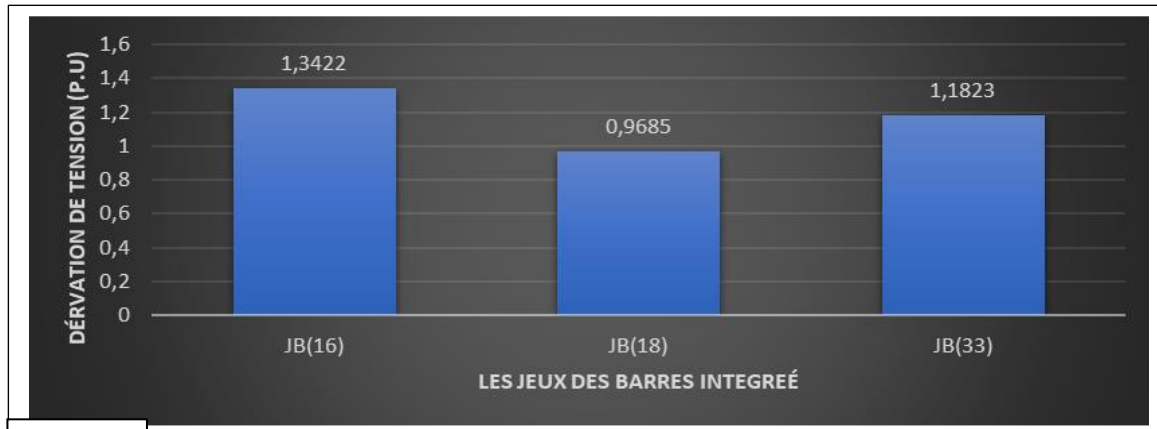
## Chapitre 4 : Résultats de simulation

N° JB	$\Delta P_T$ (KW)	Puissance transformé total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Intégrée (KW)
6	138.9690	1854.000	JB18=0.9286	1.3422	1000
18	141.4378	1856.400	JB33=0.9328	0.9685	1000
33	127.4868	1842.500	JB18=0.9295	1.1823	1000

Tableau IV-6: Résultats d'analyses primaires : intégration des sources PV



a)



b)

Figure IV.19 : Comparaison des résultats obtenus : a) réduction des pertes, b) réduction de la déviation de tension.

### Interprétation des résultats :

- On remarque que l'intégration d'une source PV de 1000KW a permis de réduire les pertes de 201.8827 KW à 127.4868 KW ce qui représente 36 %, mais la déviation de tension est importante 1.1823 p.u.

- Si la déviation de tension est considérée comme priorité, on constate que l'intégration de la source PV de 1000 KW au jeu de barres 18 entraîne une réduction de la déviation de tension totale de 0.9685 p.u. Cela démontre clairement l'importance de d'optimiser l'intégration des sources PV pour assurer une meilleure exploitation en termes de minimisation de la déviation de tension et la réduction des pertes totales.
- Les Figures (4.18) montrent une comparaison en termes de réduction des pertes et amélioration de la déviation de tension pour les trois cas d'intégration d'une seule source PV.

### IV.6 Intégrations des sources PV avec optimisations

Cette section est consacrée à optimiser l'intégration des sources PV dans le réseau de distribution 33-Bus par l'application de trois types de méthodes métaheuristiques à savoir, l'algorithme génétique (GA), l'algorithme PSO et l'algorithme GWO.

#### IV.6.1 Application de l'algorithme génétique (GA)

Nous avons utilisé dans cette partie l'algorithme génétique pour optimiser deux fonctions objectives à savoir, la déviation totale de tension et les pertes totales. L'organigramme de calcul à base de l'AG est présenté dans la Figure (4.19). Les paramètres de l'algorithme génétique sont comme suit :

- ✓ La génération maximale : 200
- ✓ La population : 20
- ✓ Le croisement : 0.8
- ✓ La mutation : 0.15

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

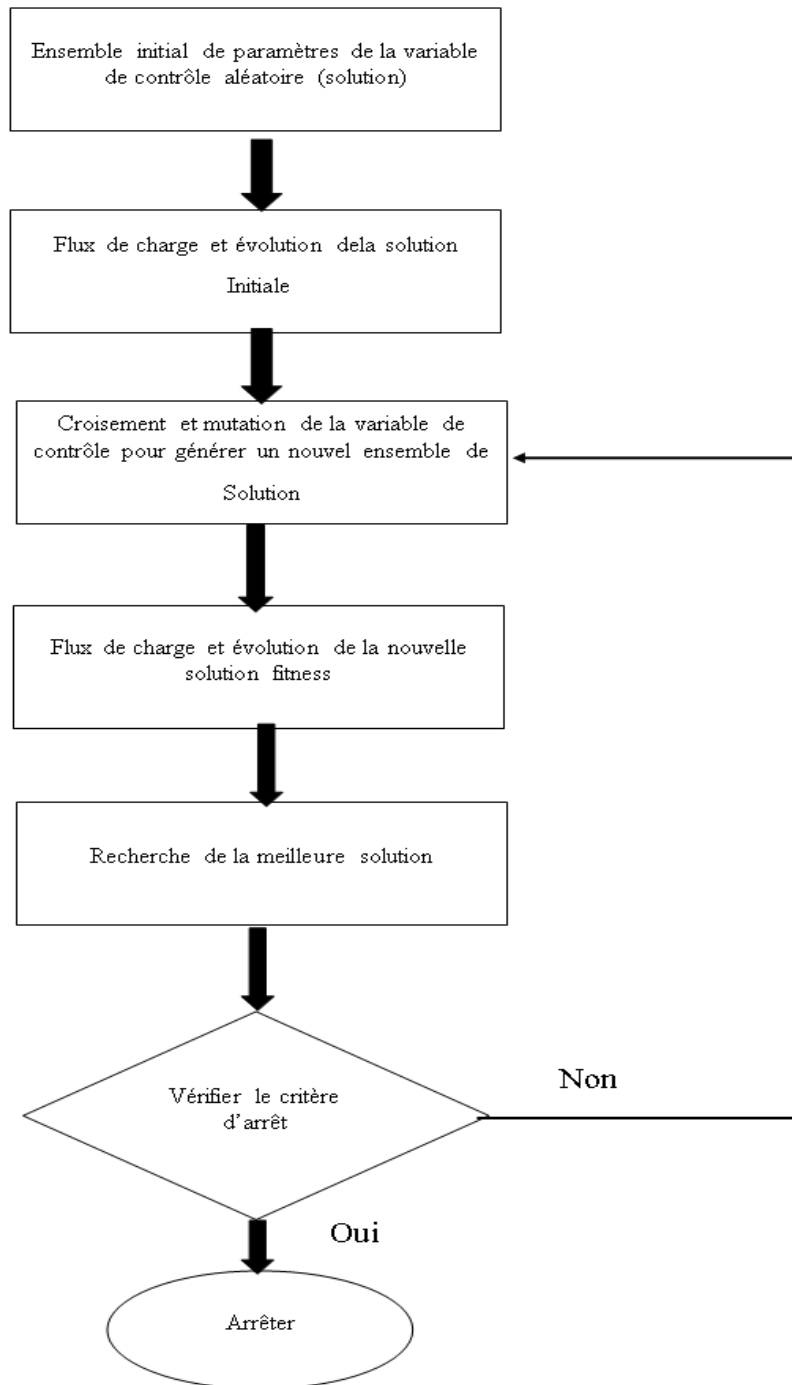


Figure IV.20.: Organigramme de recherche à base de l'algorithme génétique.

### IV.6.1.1 Minimisation des pertes actives totales

La première fonction objective à considérer est la minimisation de la valeur des pertes actives totales. Pour cela l'AG est exécutée plusieurs fois pour localiser la valeur optimale. Pour ce cas, on a procédé à intégrer une seule source puis, les trois sources sont intégrées et leurs puissances sont optimisées simultanément. Les courbes de convergences de l'algorithme pour l'optimisation des pertes avec considération de l'intégration individuel des sources PV au JB 6,

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

JB18 puis au JB 33 sont présentés dans les Figures ((4.20),(4.21) et (4.22)) ; La distribution du profile de la tension pour les trois scenarios élaborées sont présentés dans les Figures((4.23), (4.24) et (4.25)) , respectivement.

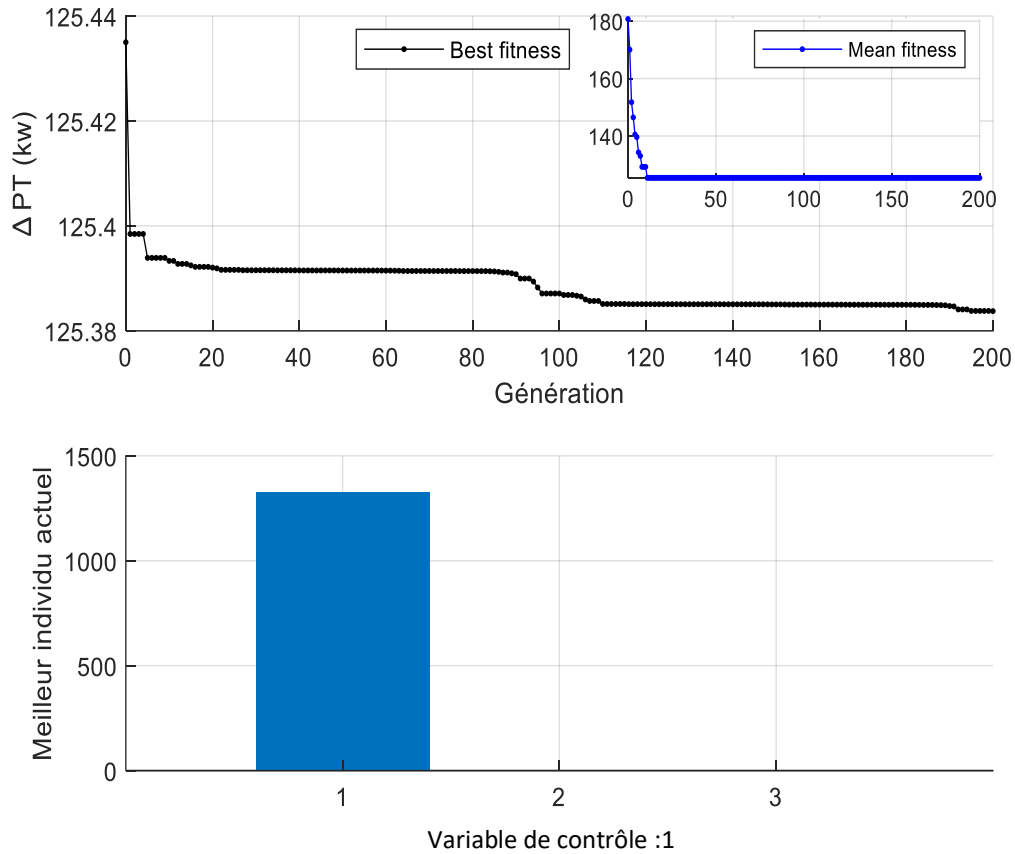


Figure IV.21:: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 6.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

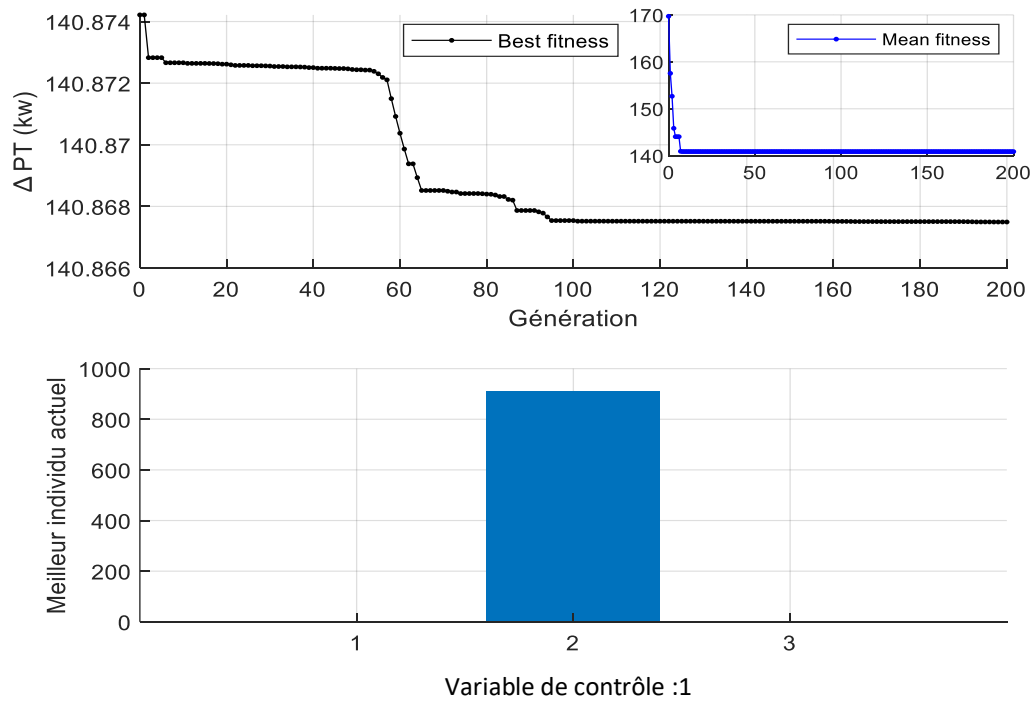


Figure IV.22: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 18.

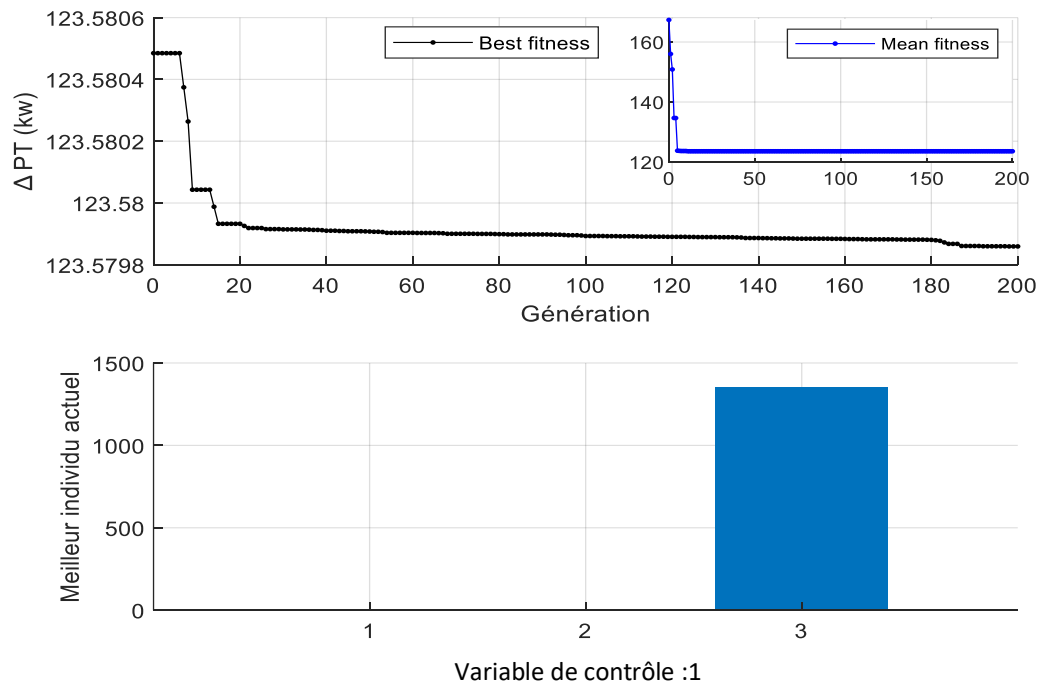


Figure IV.23: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 33

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

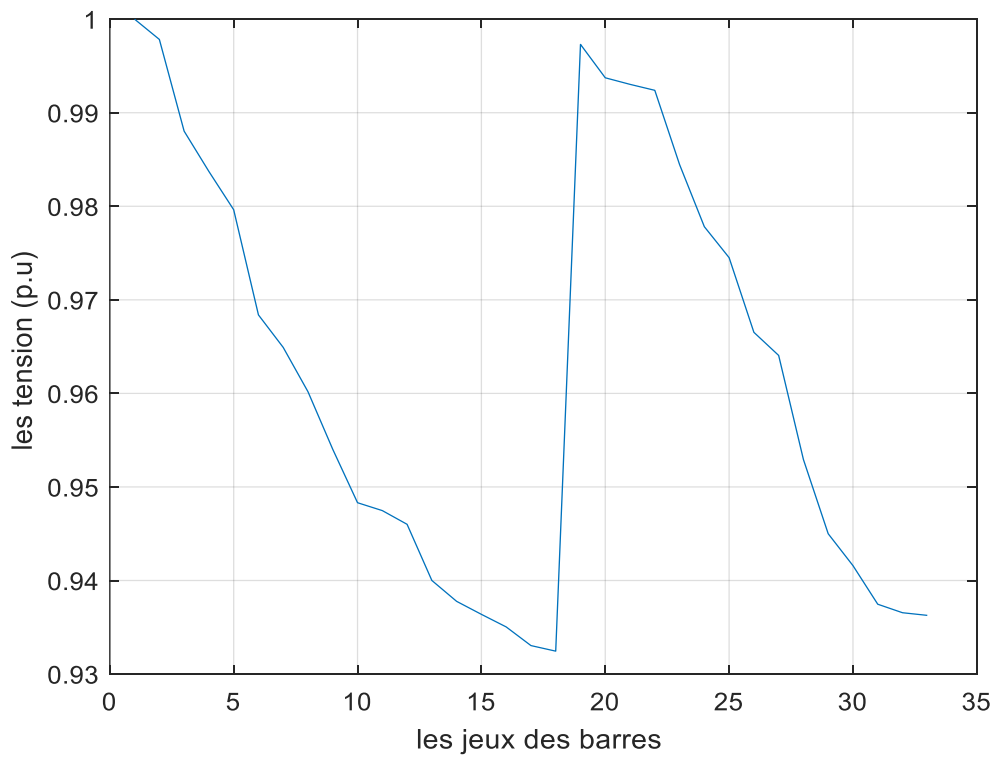


Figure IV.24: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 6.

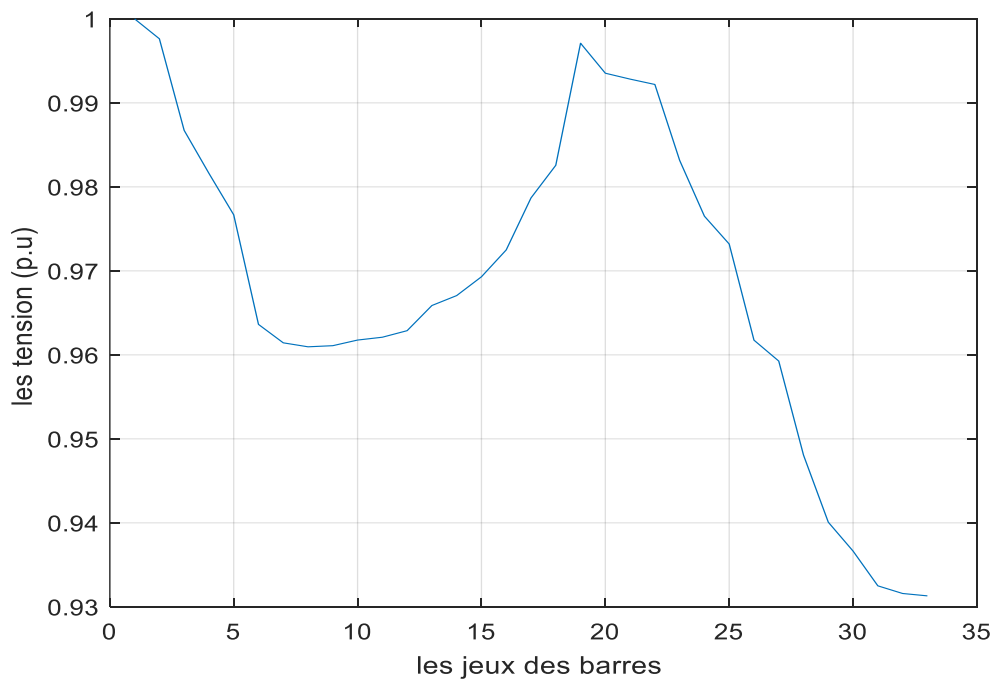


Figure IV.25: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 18.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

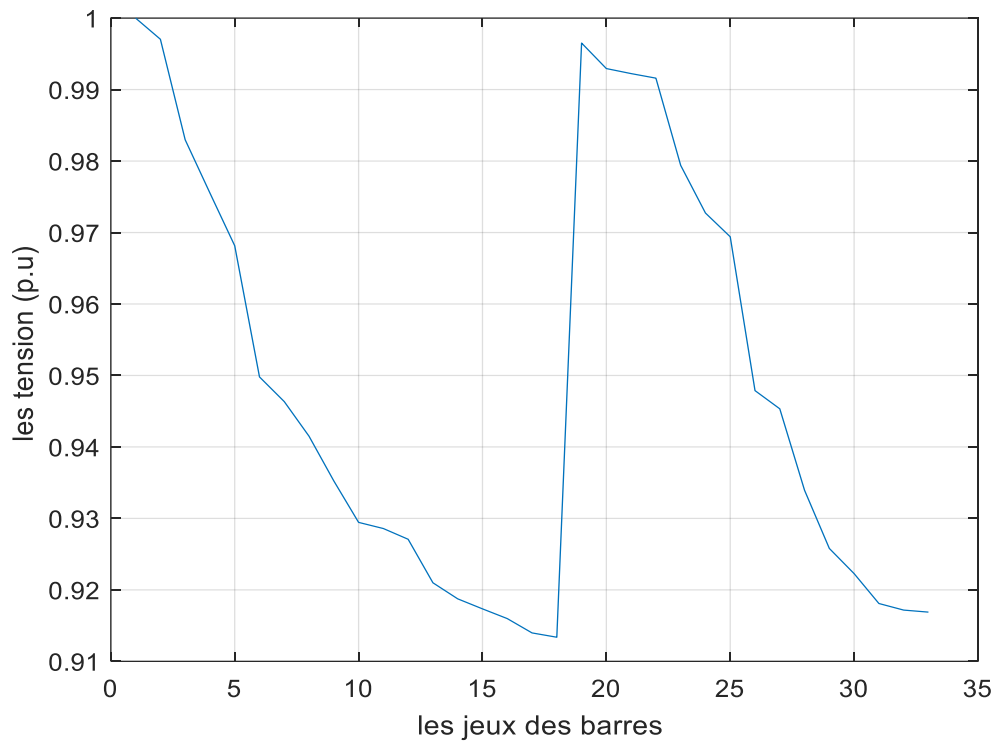


Figure IV.26: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 33.

N° JB	$\Delta PT$ (KW)	Puissance transformé total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Injecté de la source PV (KW)	Temps d'exécution (s)
6	119.5628	2335.900	JB18=0.9361	1.1681	1498.700	28.45
18	140.8723	2960.200	JB33=0.9312	1.0418	895.6501	27.56
33	123.5674	2568.700	JB18=0.9337	1.0488	1269.900	28.21

Tableau IV-7: les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de AG : l'intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33)

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

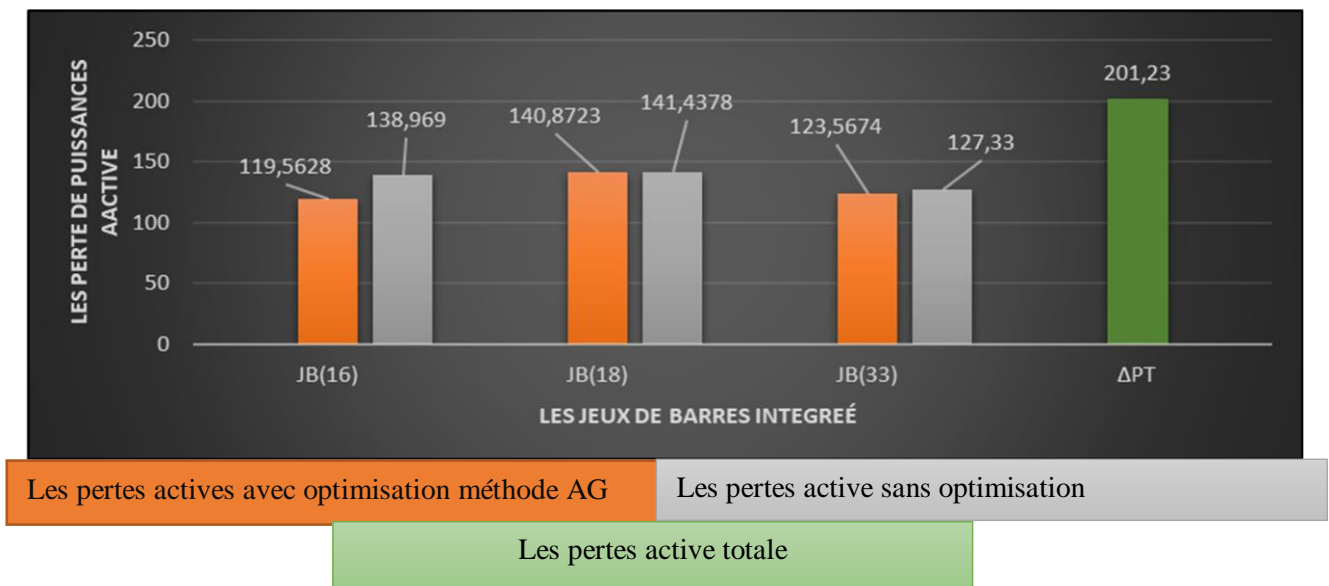


Figure IV.27: Comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV

### IV.6.1.1.1 Intégration de sources PV aux trois jeux des barres (6 ,18 ,33)

Pour ce cas, les trois sources PV sont intégrées et leurs puissances actives sont optimisées simultanément par utilisation d'AG. Le Tableau (4.8) récapitule les résultats d'optimisation achevées. La courbe de convergence de l'algorithme génétique dédié à la minimisation des pertes totale est présentés dans la Figure ((4.27) et (4.28)).

N°JB	ΔPT (KW)	Puissance transformé total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance injectée de la source PV (KW)	Temps d'exécution (s)
Les Jeux de Barr (6 .18.33)	93.8848	2308.900	JB18=0.9548	0.9217	JB6=431.6812 JB18=326.6415 JB33=741.6773	27.63

Tableau IV-8 : Les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de AG : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33)



## Chapitre 4 : Résultats de simulation

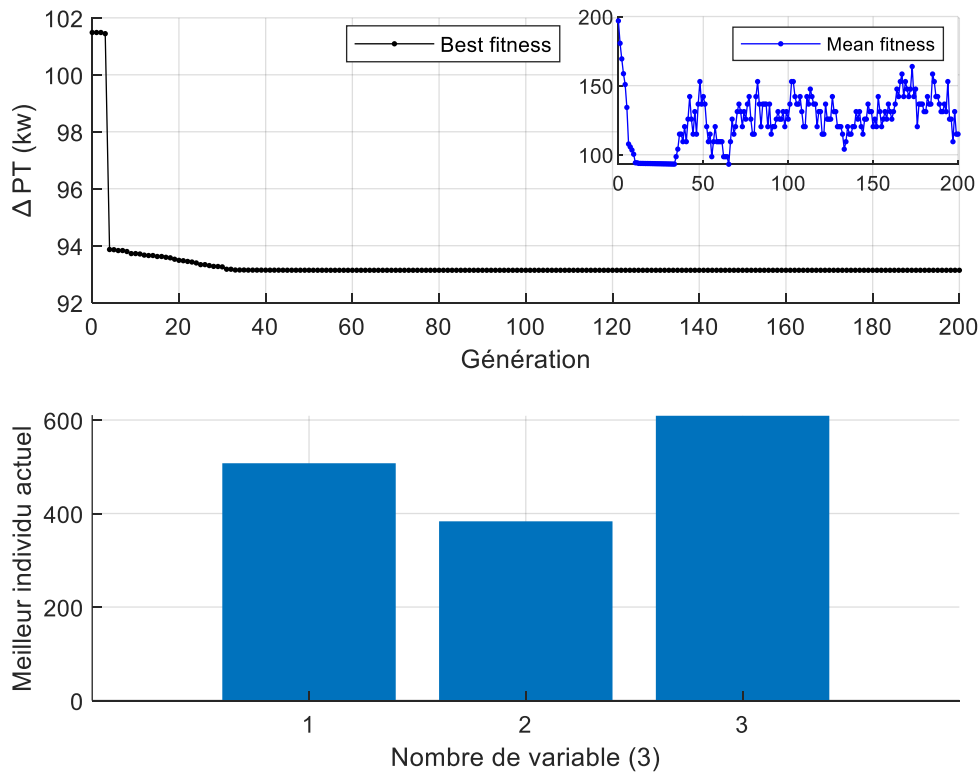


Figure IV.28 : Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33.

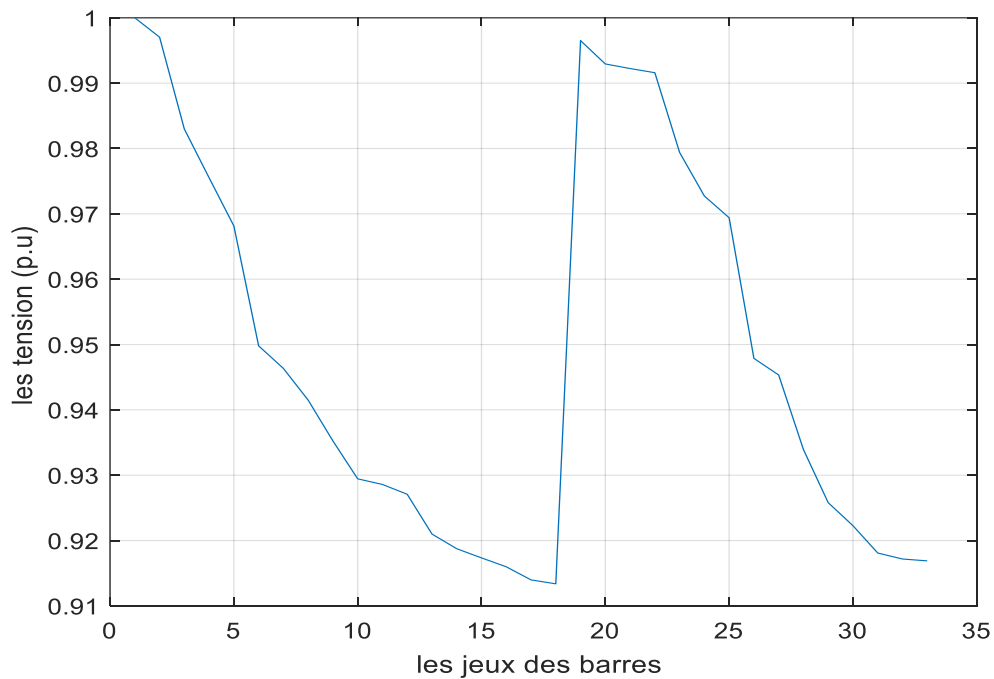


Figure IV.29: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 6-18-33

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

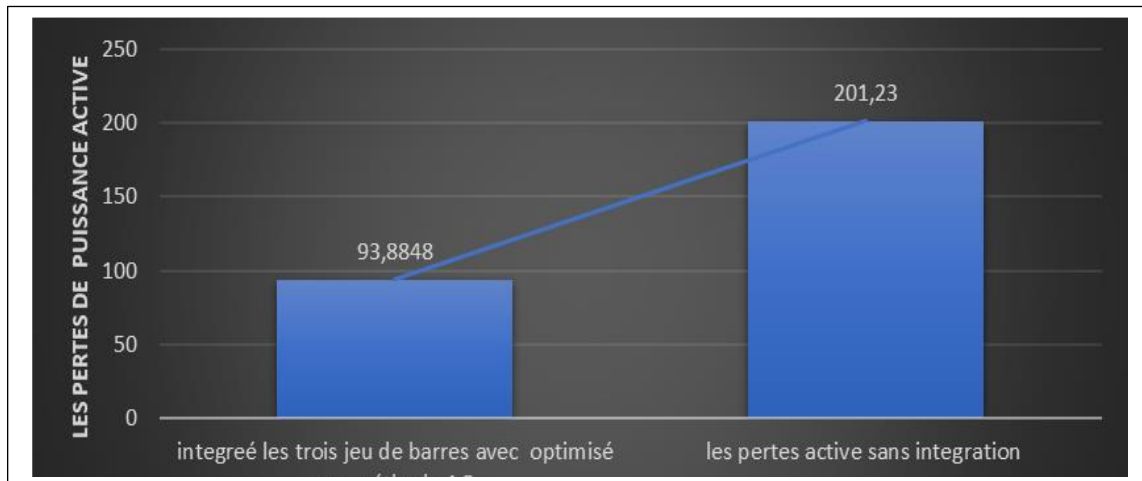


Figure IV.30: Comparaison des résultats en termes de valeur des pertes totales, sans et avec intégration de trois sources PV.

### Interprétation des résultats :

- Le taux d'intégration des sources PV varie en fonction de leurs emplacement remarque déférent de puissance active injecté par source PV dans les trois cas intégration Cas intégration (JB6) 74% et cas intégration (JB18) 44%, cas intégration (JB33) 63% par rapporte la puissance de la source PV 2000 (KW).
- la meilleur valeur de pertes active de cas intégré trois source PV 93.88 à 4% de la puissance transforme et la tension minimal 0.95(p.u) de JB 18.
- On remarque (minimisation de les pertes active totale) la domination les pertes active (de cette resulta) par les pertes active (sans intégration) ; cas intégration on JB(6) : 40.7761% ;cas intégration JB(18) : 30.2207% ; cas intégration JB(33) :38.7925%et cas intégration les trois jeu des barres (53.4954%) .

### IV.6.1.2 Minimisation de la déviation de tension totale

La deuxième fonction à optimiser est la déviation de tension totale. Pour ce faire, l'AG est exécutée plusieurs fois pour localiser la valeur optimale. Les courbes de convergences pour les l'intégration individuel des sources PV (JB6, JB18, JB33) sont présentés dans les Figures ((4.30), (4.31) et (4.32)) , respectivement. La distribution du profile de la tension pour les trois scenarios élaborées sont présentés dans les Figures ((4.33), (4.34) et (4.35)) , respectivement.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

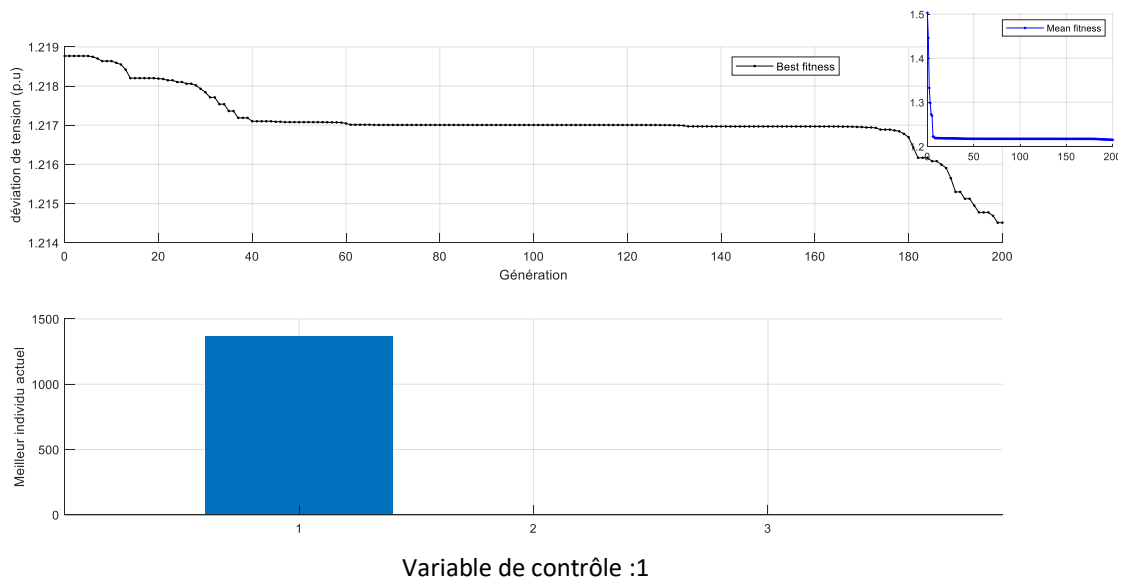


Figure IV.31: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV au JB : 6.

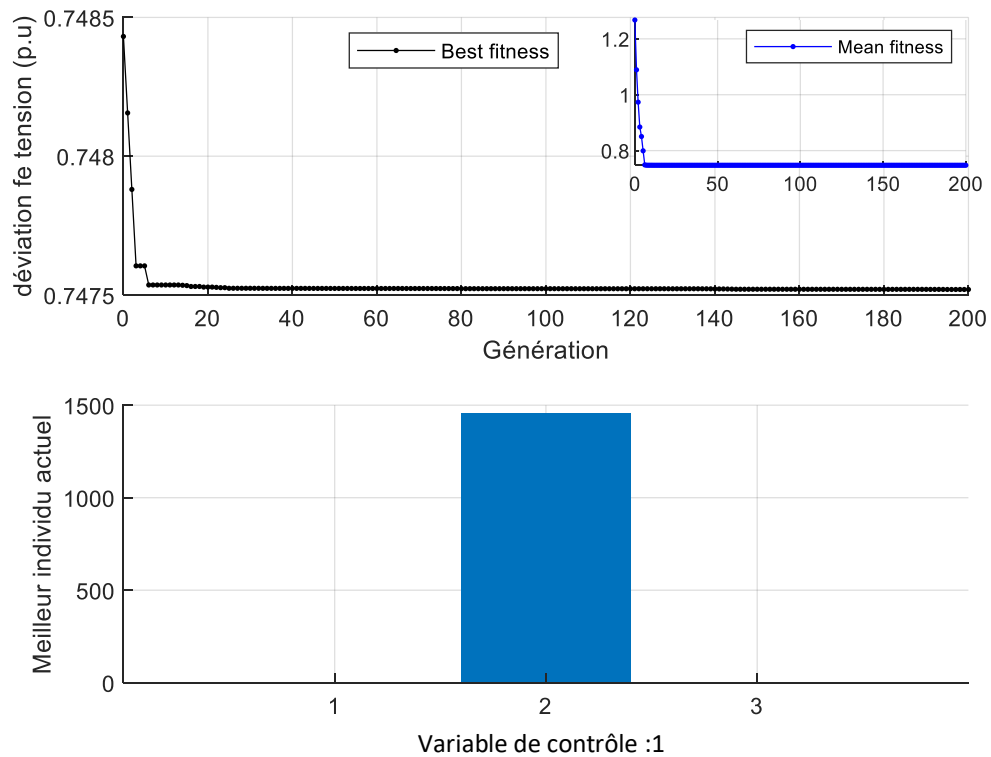


Figure IV.32: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV au JB : 18.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

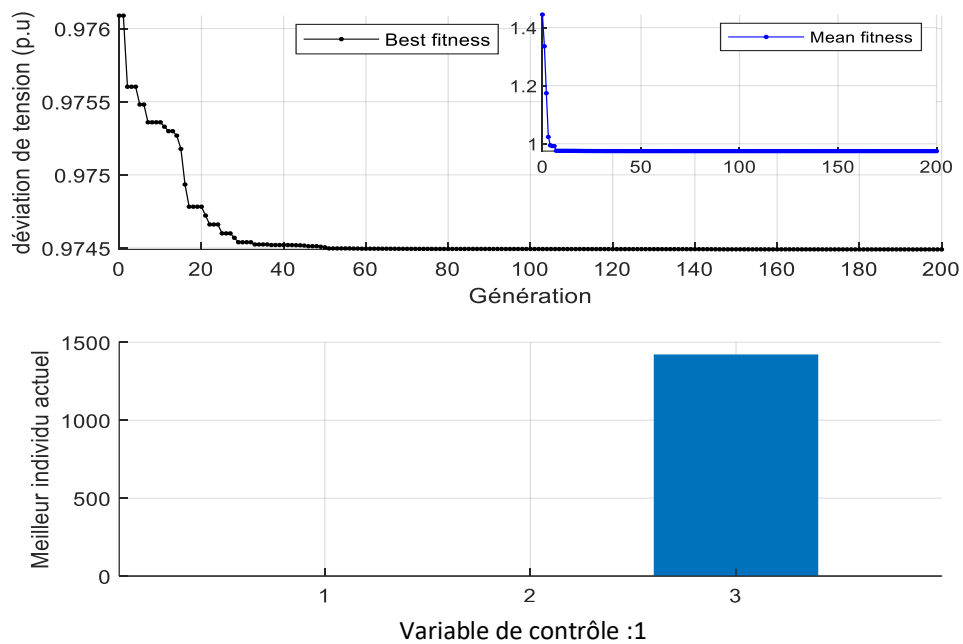


Figure IV.33: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV au JB : 33.

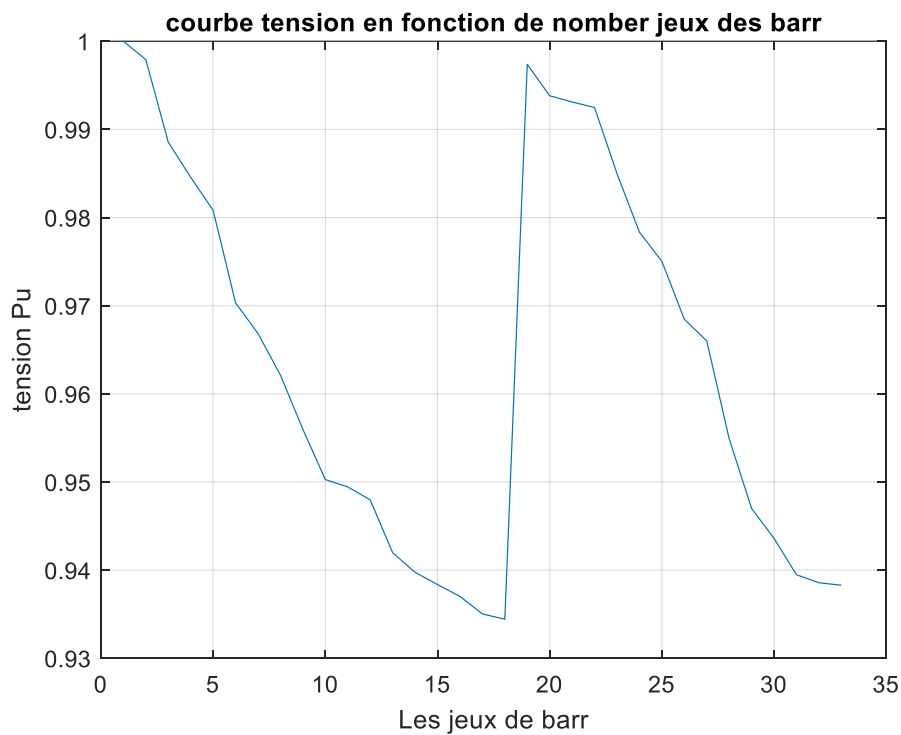


Figure IV.34: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

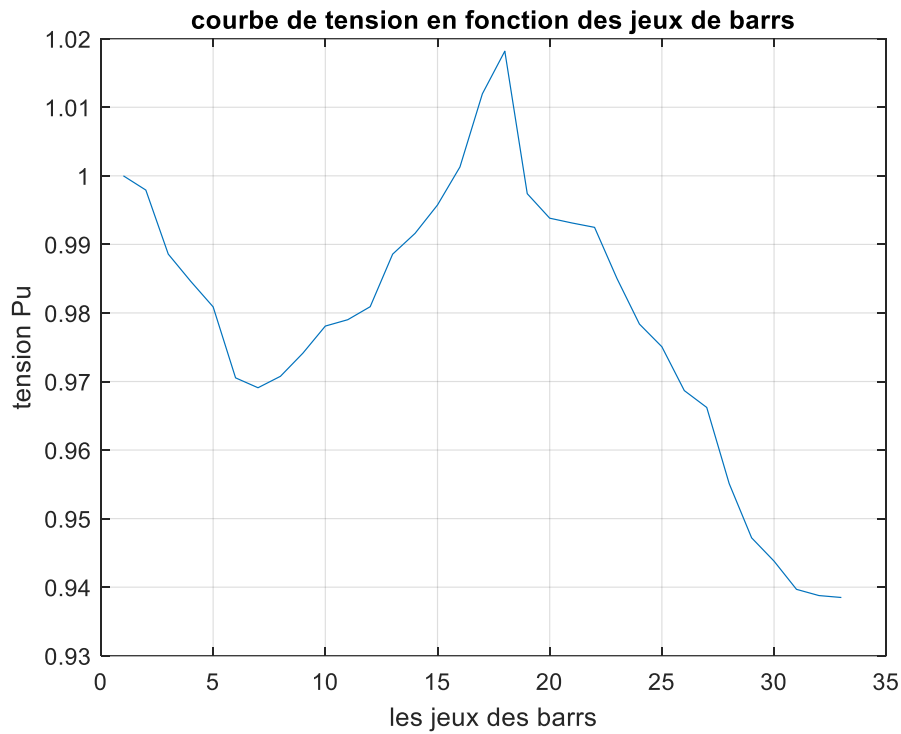


Figure IV.35 : Répartitions des tensions aux jeux de barrs : Intégration d'une source PV au JB 18.

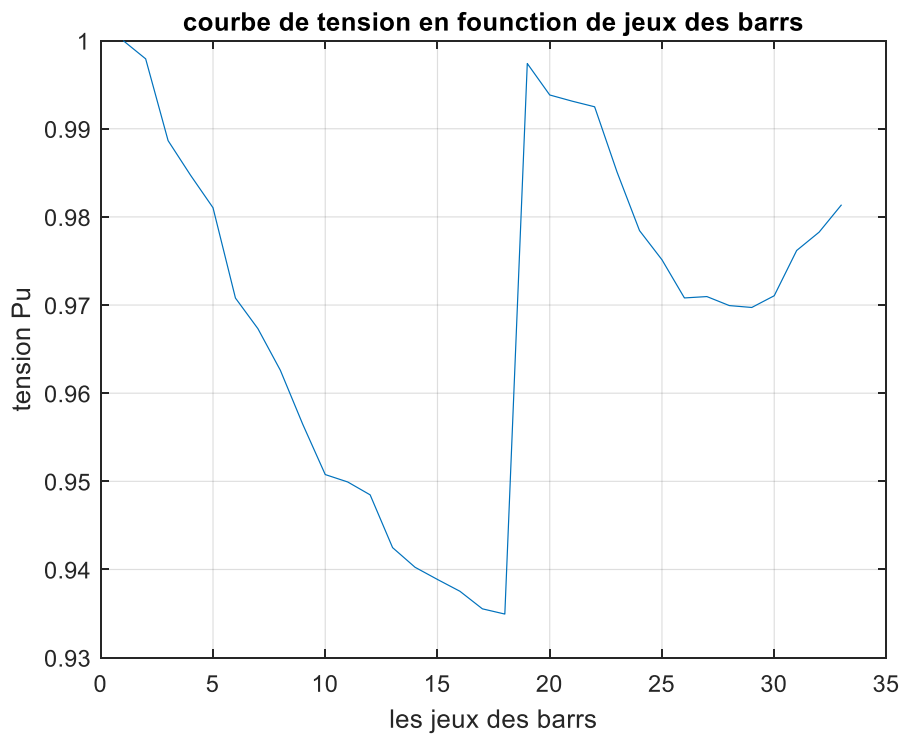


Figure IV.36: répartitions des tensions aux jeux de barrs : Intégration d'une source PV au JB 33.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

N° JB	$\Delta PT$ (KW)	Puissance transformé total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Injecté de la source PV (KW)	Temps d'exécution (s)
6	123.2662	2451.900	JB18=0.9344	1.2072	1386.400	24.18
18	140.8723	2486.200	JB33=0.9385	0.7678	1383.600	25.31
33	123.5037	2485.000	JB18=0.9349	1.0078	1353.600	24.43

Tableau IV-9: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de AG :  
Intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33)

### IV.6.1.2.1 Intégration de sources PV aux jeux de barres (6 ,18 ,33)

Cette case est dédiée a analyser l'impact d'intégrer trois sources PV simultanément sur les la déviation de tension totale. Les résultats d'optimisation sont récapitulés dans le Tableau (4.10), la courbe de convergence de l'algorithme est présentée dans la Figure (4.36). La répartition du profile de tension est présenté dans la Figure (4.37).

N° JB	$\Delta PT$ (KW)	Puissance transformé total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Injecté de la source PV (KW)	Temps d'exécution (s)
Les Jeux de Barr (6 .18.33)	201.8827	3916 .9000	JB18=0.9134	0.7091	JB6=918.778 JB18=80.224 JB33=500.997	25.47

Tableau IV-10: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de AG :  
Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6,18 et 33).

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

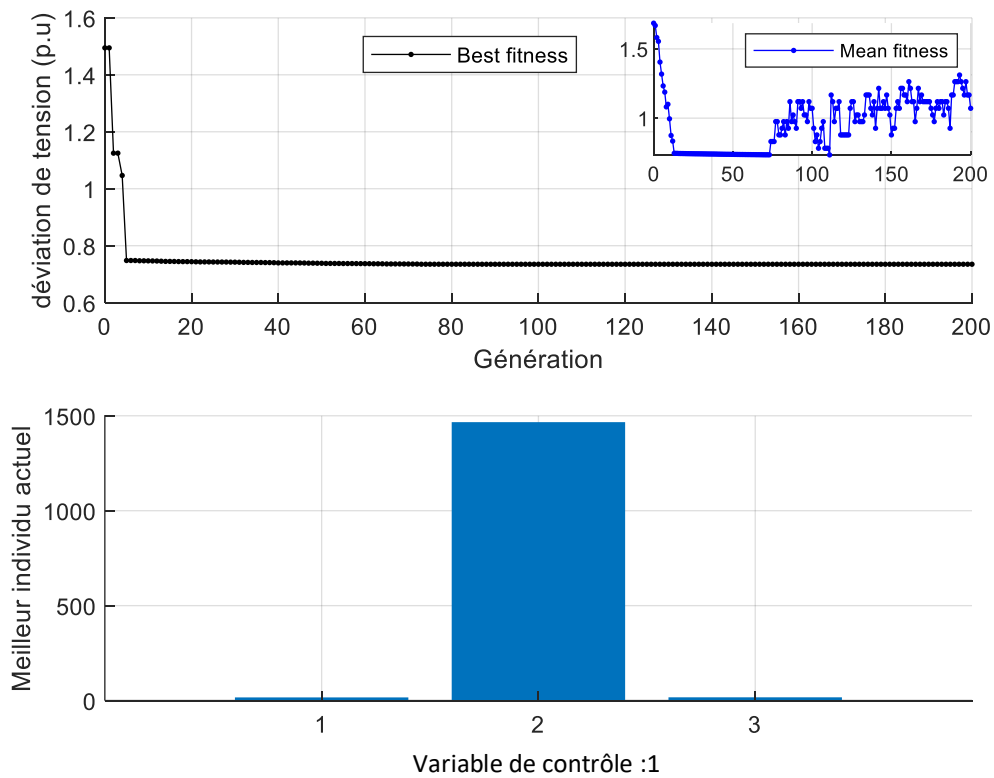


Figure IV.37: Courbe de convergence, optimisation de la déviatiion de tension totale : Intégratiion de trois sources PV aux JB : 6-18-33.

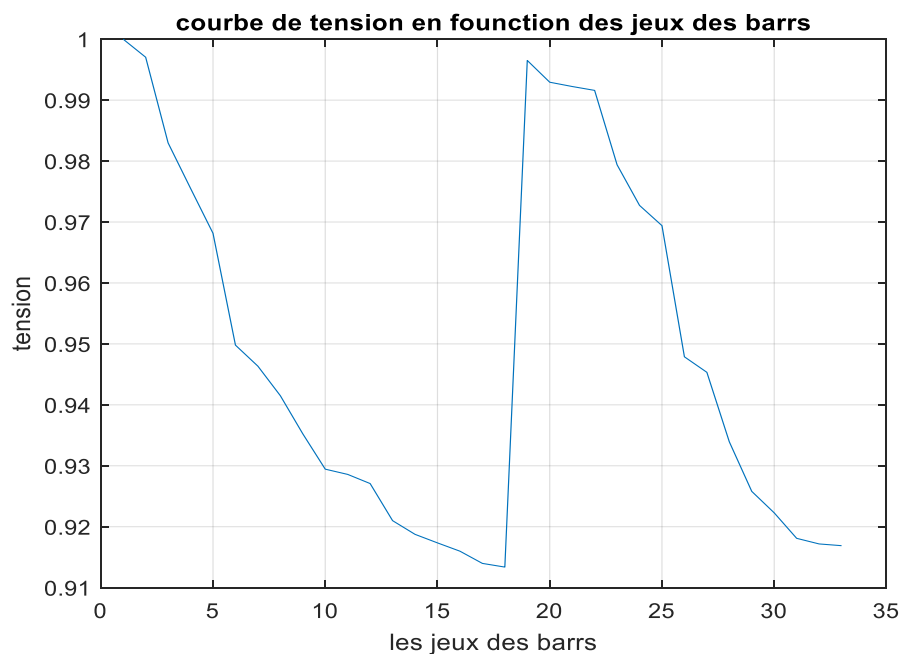


Figure IV.38: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégratiion de trois sources PV aux JB 6-18-33.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

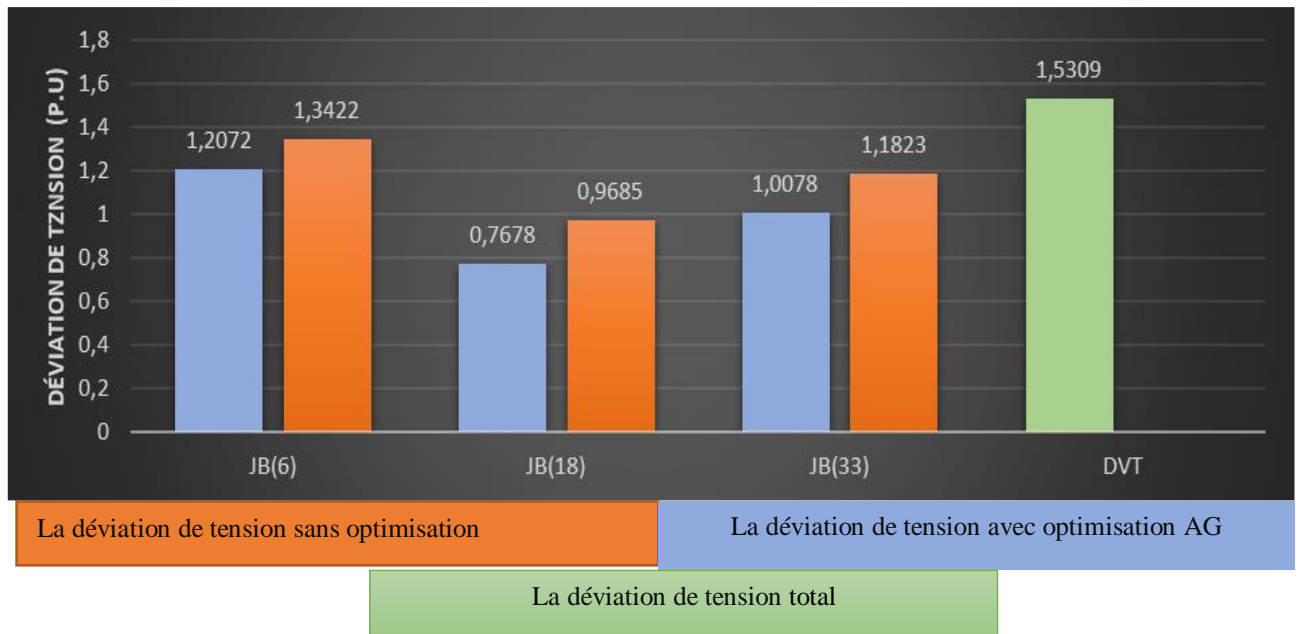


Figure IV.39: Comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV



Figure IV.40: Comparaison des résultats en termes de valeur des déviations de tension totale, sans et avec intégration de trois sources PV

### Interprétation des résultats :

- La tension minimale est améliorée dans les trois cas de test. Au jeu de barre 18=0.76785(p.u) .
- La déviation de tension total optimisé est meilleure dans le cas où le PV est intégré au jeu de barres 18, la valeur de DVT achevée est de 0. 7678 (p. u).
- L'intégration de trois sources PV n'a pas un effet considérable sur la déviation de tension totale.
- L'intégration de trois sources PV a un effet considérable sur la réduction des pertes totales.



### IV.6.2 Application de l'algorithme (PSO)

Nous avons utilisé dans cette deuxième phase l'application de l'algorithme PSO pour optimiser deux fonctions objectives, la minimisation des pertes et l'amélioration de la déviation de tension totale. Les paramètres initiaux de l'algorithme PSO sont :

- ✓ Itération maximale :200
- ✓ La population : 20
- ✓ Vecteur de contraction (K) : 0.5
- ✓ Vecteur d'expansion : 2

L'algorithme standard adapté pour l'optimisation des deux fonctions objectives est présenté dans la Figure (4.40) .

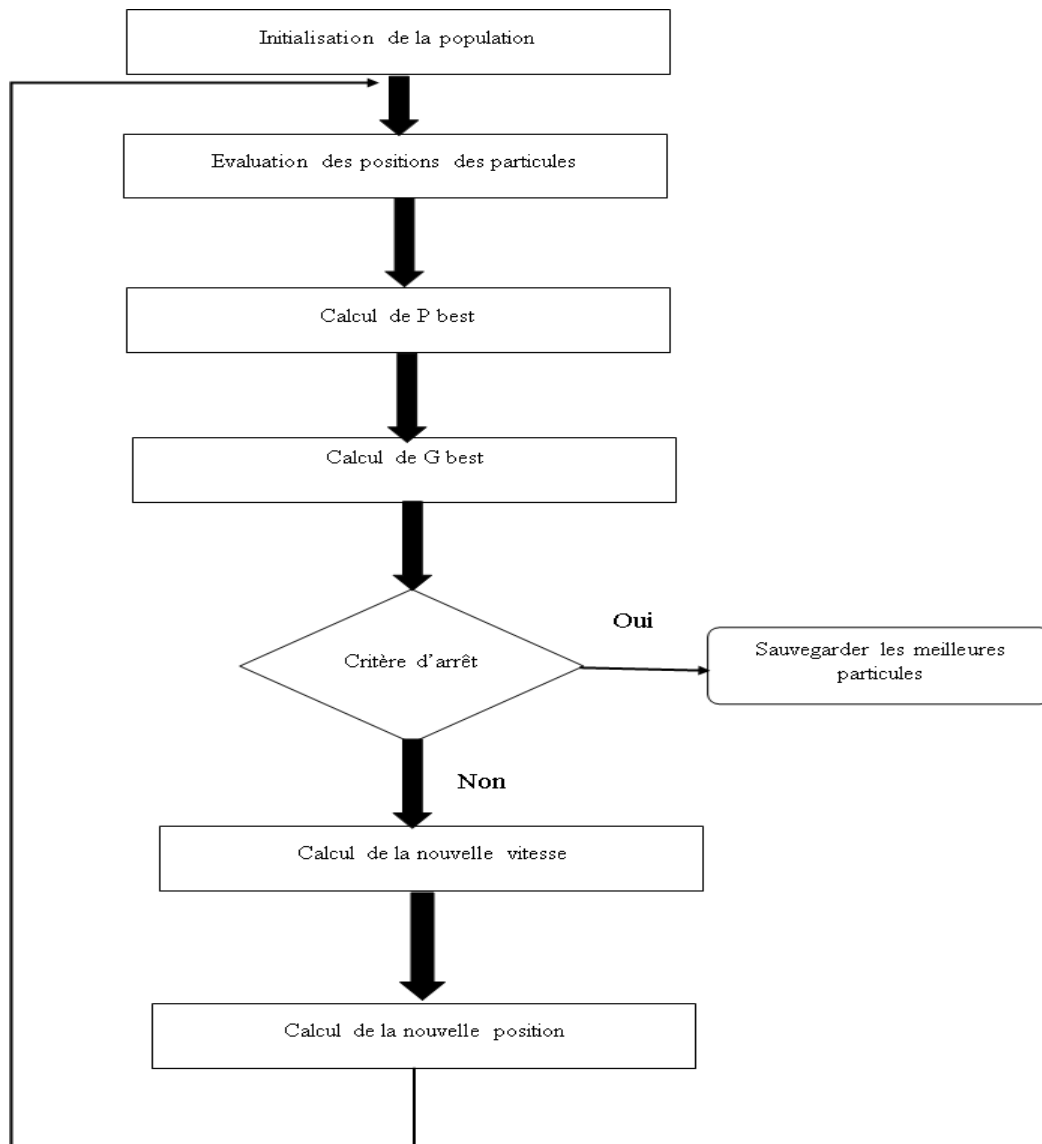


Figure IV.41: Organigramme de recherche à base de l'algorithme PSO.

### IV.6.2.1 Minimisation des pertes totales

La première fonction objective à considérer est la minimisation de la valeur des pertes actives totales. Pour cela PSO est exécutée plusieurs fois pour localiser la valeur optimale. Pour ce cas, on a procédé à intégrer une seule source puis, les trois sources sont intégrées et leurs puissances sont optimisées simultanément. Les courbes de convergences de l'algorithme pour l'optimisation des pertes avec considération de l'intégration individuel des sources PV au JB 6, JB18 puis au JB 33 sont présentés dans les Figures (4.41, 4.42 et 4.43) , La distribution du profile de la tension pour les trois scenarios élaborées sont présentés dans les Figures(4.44, 4.45 et 4.46) .

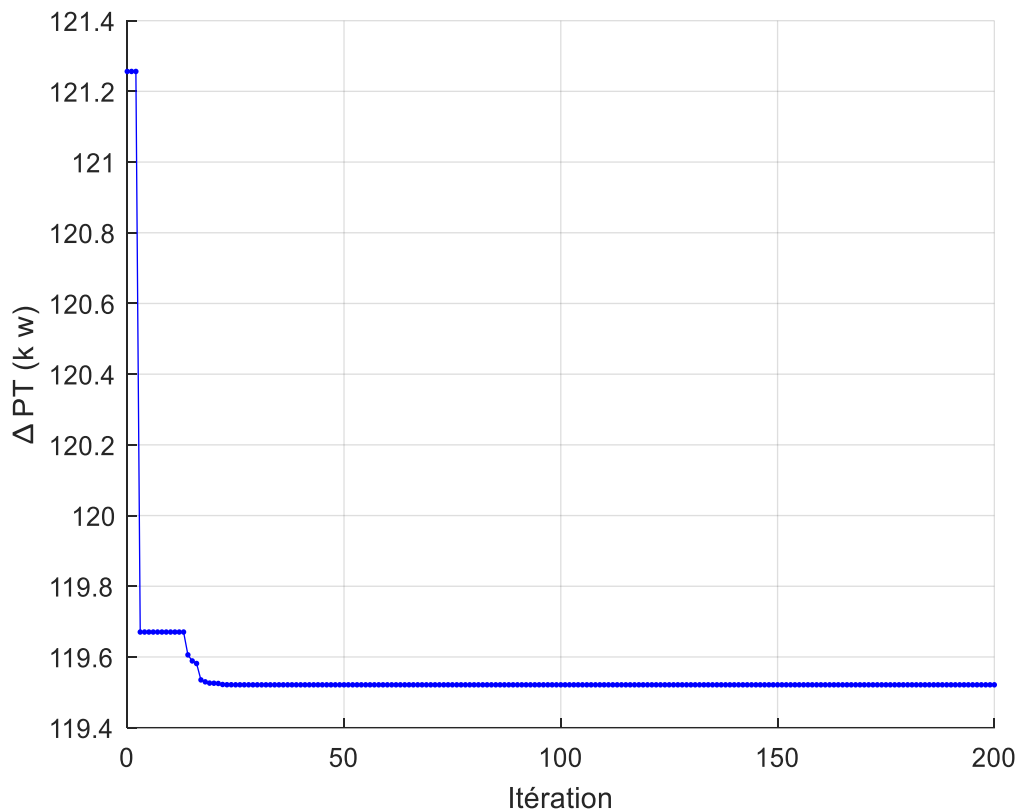


Figure IV.42: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV aux JB 6

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

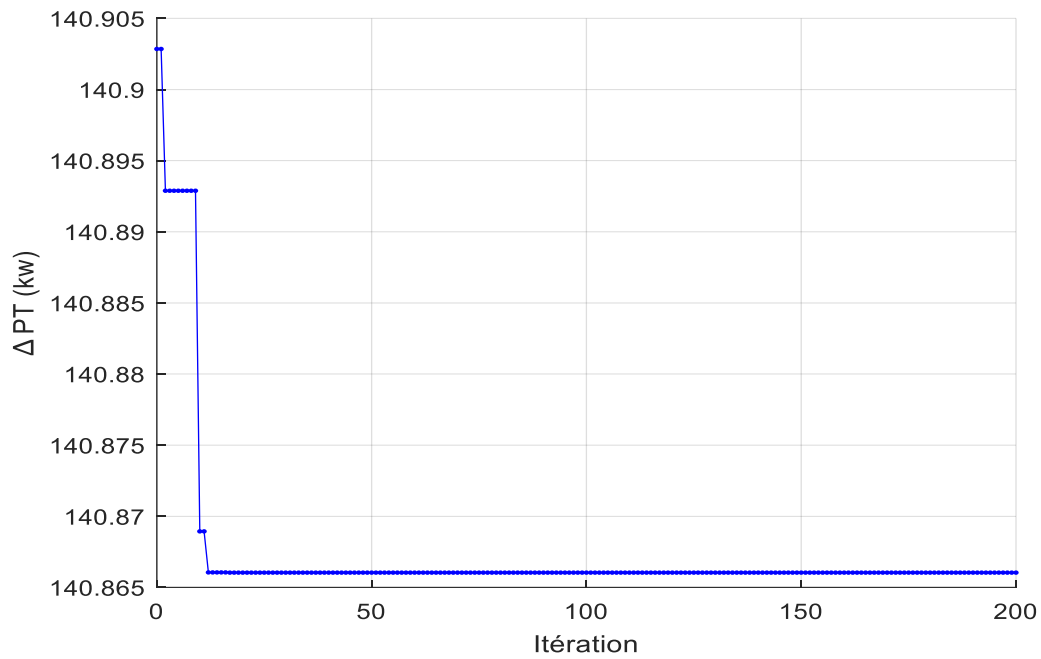


Figure IV.43: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV aux JB 18

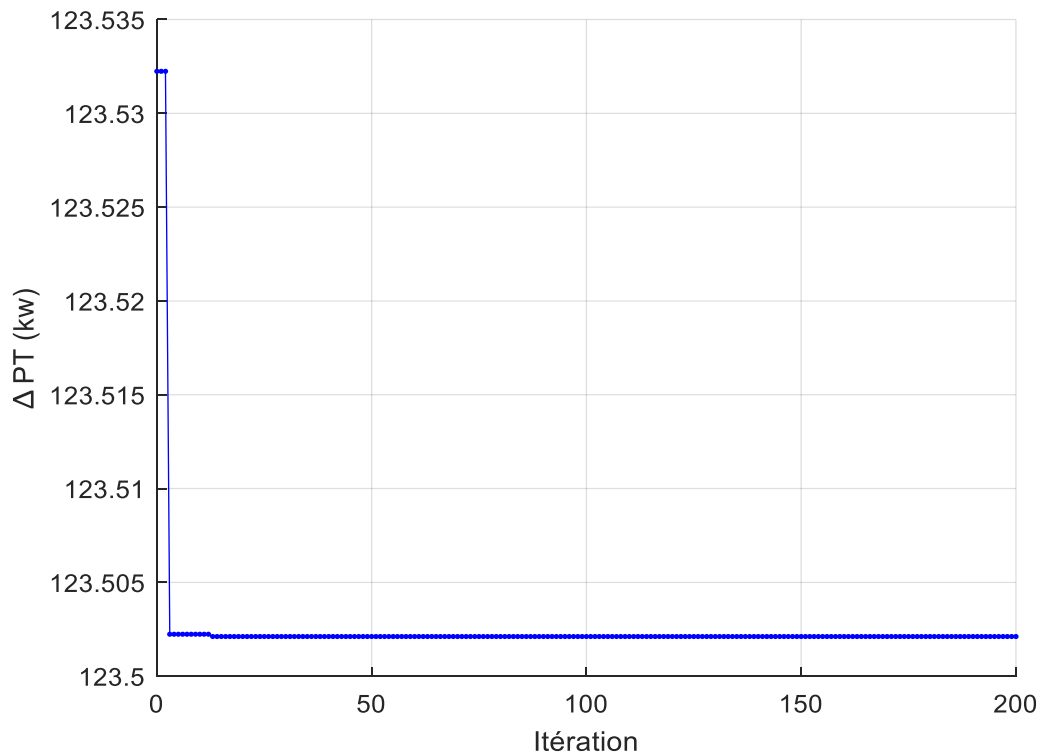


Figure IV.44: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV aux JB33

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

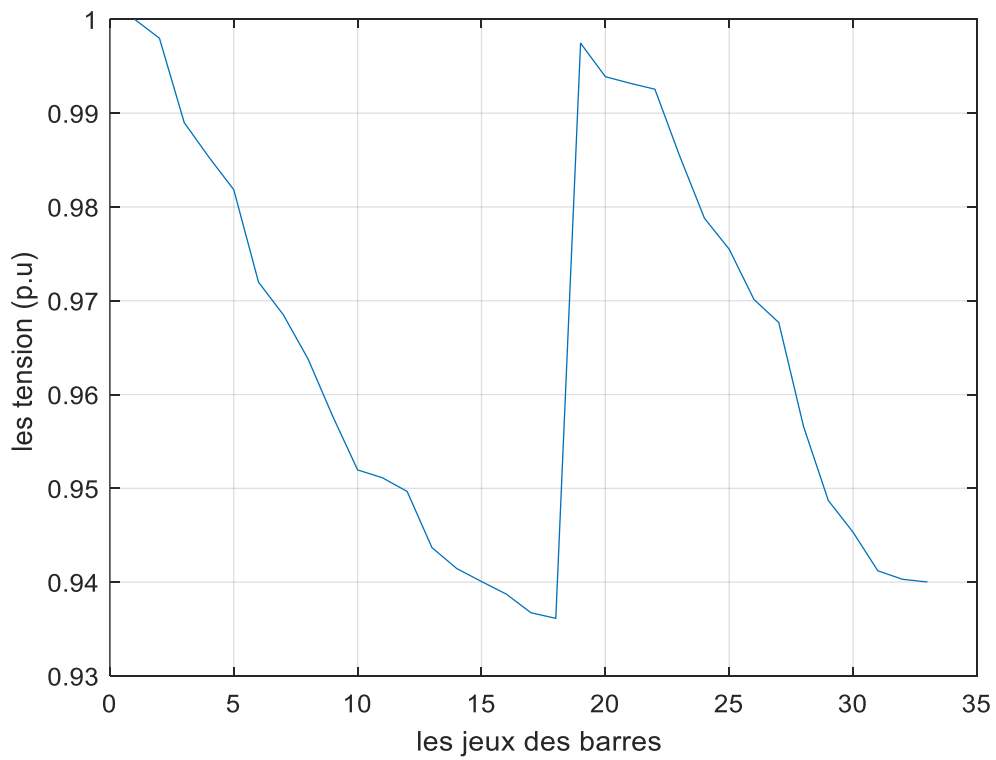


Figure IV.45: répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 6

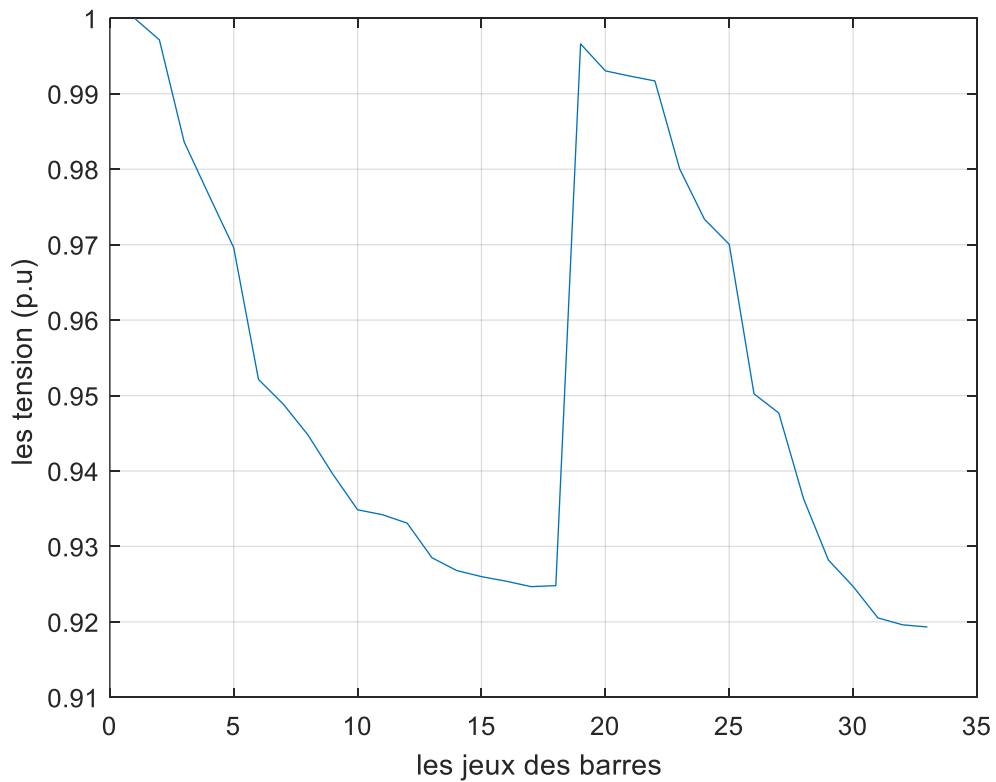


Figure IV.46: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 18

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

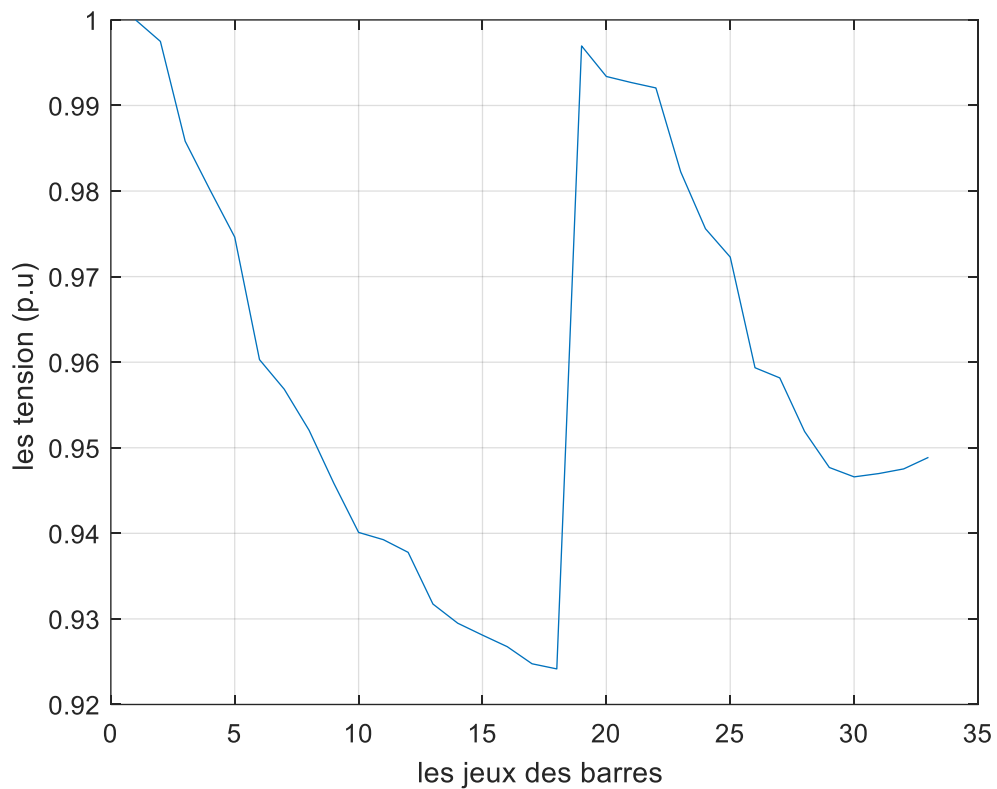


Figure IV.47: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 33.

N° JB	$\Delta PT$ (KW)	Puissance transformée Total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Injecté de la source PV (KW)	Temps d'exécution Second (S)
6	119.5212	2334.500	JB18=0.9361	1.1676	1500.000	19.60
18	140.8661	2950.400	JB33=0.9314	1.0348	905.4745	20.19
33	123.5021	2528.500	JB18=0.9343	1.0291	1310.000	19.82

Tableau IV-11: les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de PSO : l'intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33).

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

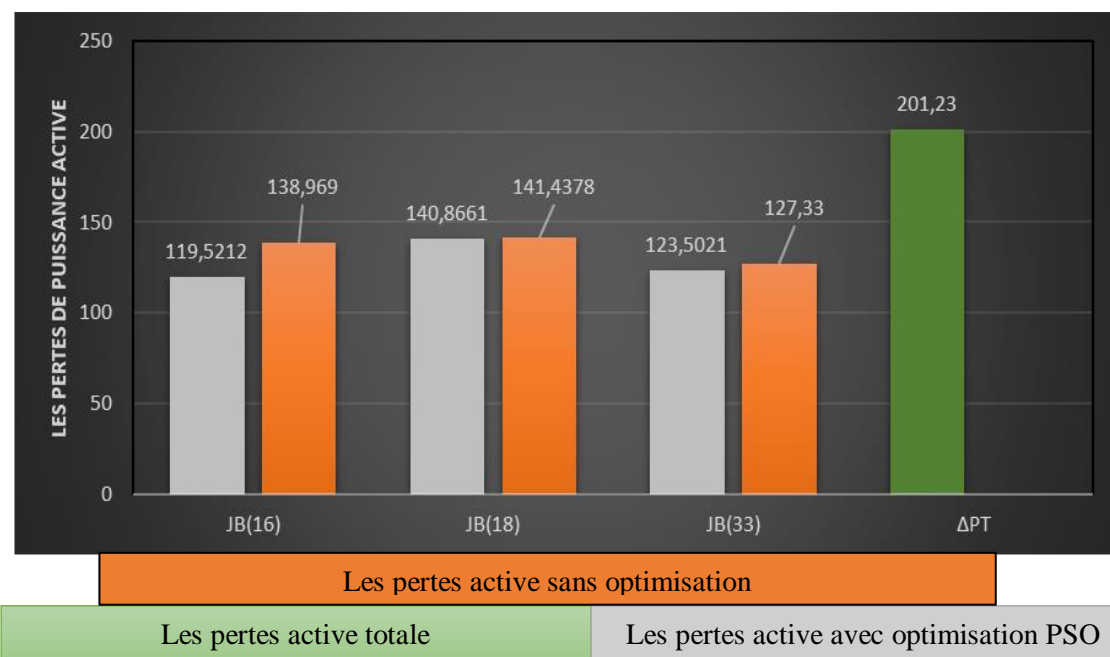


Figure IV.48: comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV

### IV.6.2.1.1 Intégration de trois sources PV

Pour ce test, et afin de comparer les résultats obtenus avec celle de PSO, trois sources PV ont été intégrées dans les mêmes emplacement. Les valeurs optimisées des variables de contrôles associés aux sources PV sont récapitulés dans le Tableau (4.12). La caractéristique de convergence de PSO pour la minimisation des pertes totales est présentée dans la Figure (4.48), la répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres sont présentés dans la Figure (4.49) ; il faut noter que les tensions des jeux de barres de charge sont dans leurs limites admissible

N° JB	ΔPT (KW)	Puissance transformé total (KW)	DVT (p.u)	Puissance Injecté de la source PV (KW)	Tension minimale (p.u)	Temps d'exécution (S)
Les Jeux de Barr (6,18,33)	92,6774	2345.000	0.9043	JB6=349.7956 JB18=462.9357 JB33=687.2081	0.9585	19.75

Tableau IV-12: Les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de PSO : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6,18 et 33).

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

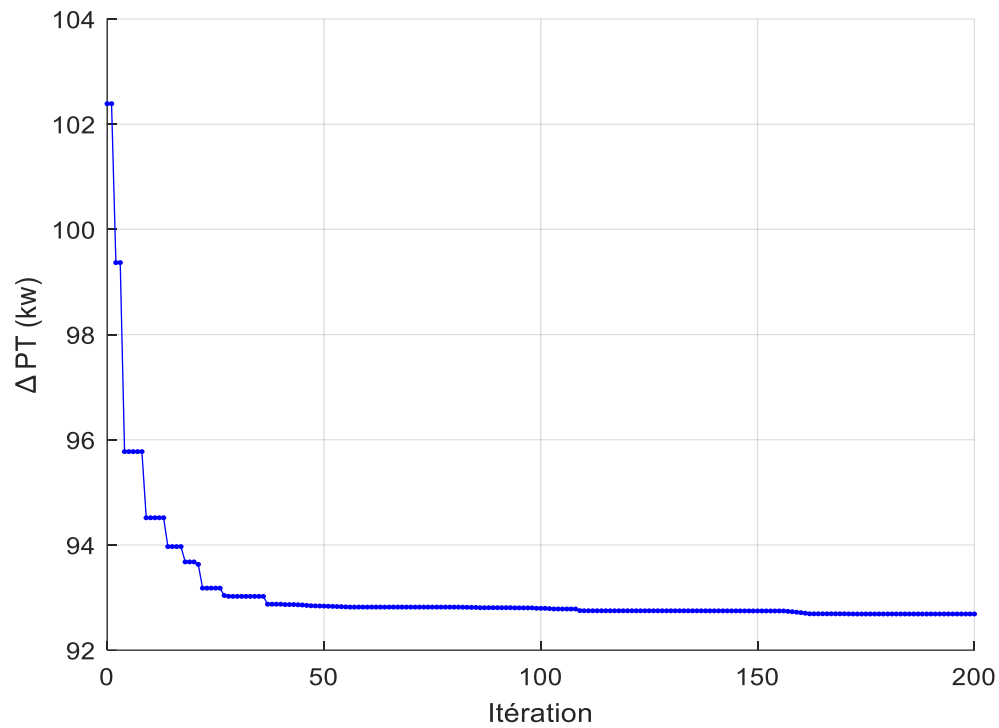


Figure IV.49: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33

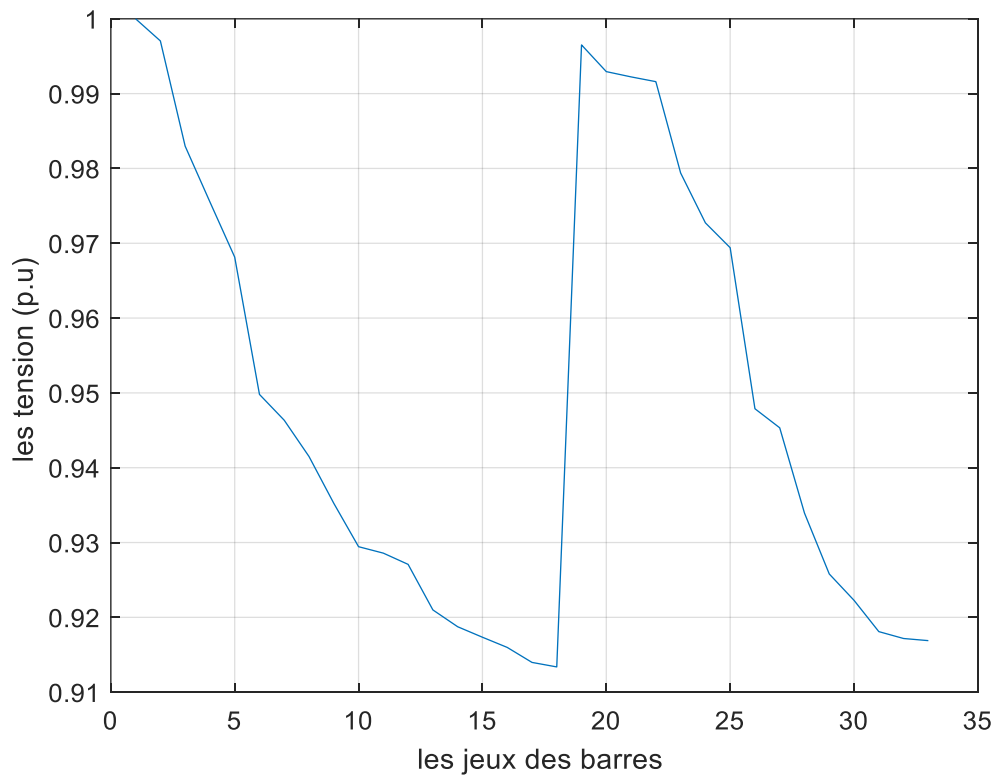


Figure IV.50: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration de trois source PV aux JB :6-18-33

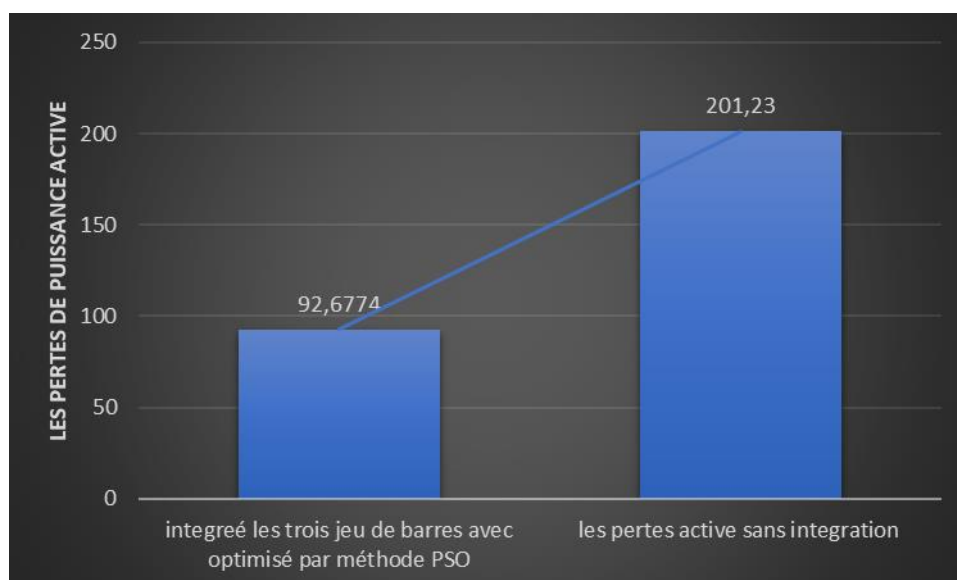


Figure IV.51: comparaison des résultats en termes de valeur des pertes totales, sans et avec intégration de trois sources PV.

### Interprétation des résultats :

Après optimisation de l'intégration des sources PV par PSO, on remarque ce qui suit :

- On remarque que le taux d'intégration d'une source PV diffère d'un jeu de barres à un autre. Le taux d'intégration d'une source PV aux niveaux des jeux de barres 6,18,33 est de 75%, 45%, 65.5%.
- La meilleure valeur des pertes active achevée est de 92.67 KW correspond au cas d'intégration de trois sources PV. Pour ce cas, la tension minimale est de 0.9585 (p.u) rapporté au JB 18 et la déviation totale est de 0.9043 (p.u).
- On remarque que les pertes totales sont minimisées par rapport au cas sans intégration, les pourcentages des pertes optimisées aux jeux de barres 6,18,33 sont 40.7967%, 30.2238%, 38.8248%, respectivement, et ce pourcentage devient 54.0934% lors de l'intégration de trois sources.

### IV.6.2.2 Minimisation de la déviation de tension totale

La deuxième fonction à optimiser est la déviation de tension totale. Pour ce faire, l'algorithme PSO est exécuté plusieurs fois pour localiser la valeur optimale. Les courbes de convergences



## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

pour les intégrations individuelles des sources PV (JB6, JB18, JB33) sont présentés dans les Figures (4.51 ,4.52 et 4.53), respectivement. La distribution du profile de la tension pour les trois scenarios élaborés sont présentés dans les Figures (4.54,4.55 et 4.56), respectivement.

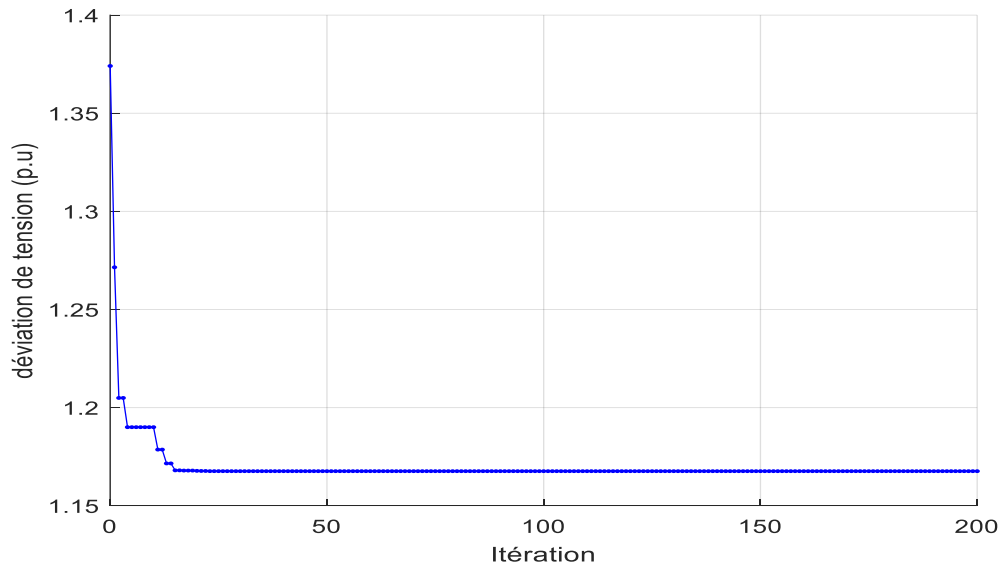


Figure IV.52: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV aux JB 6

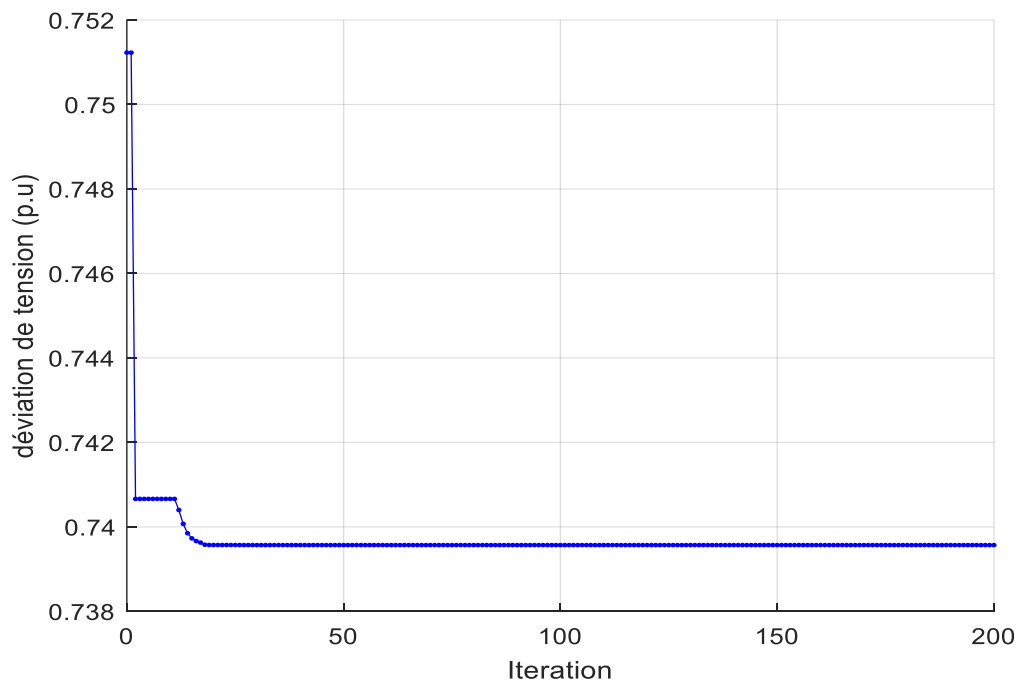


Figure IV.53: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV aux JB 18.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

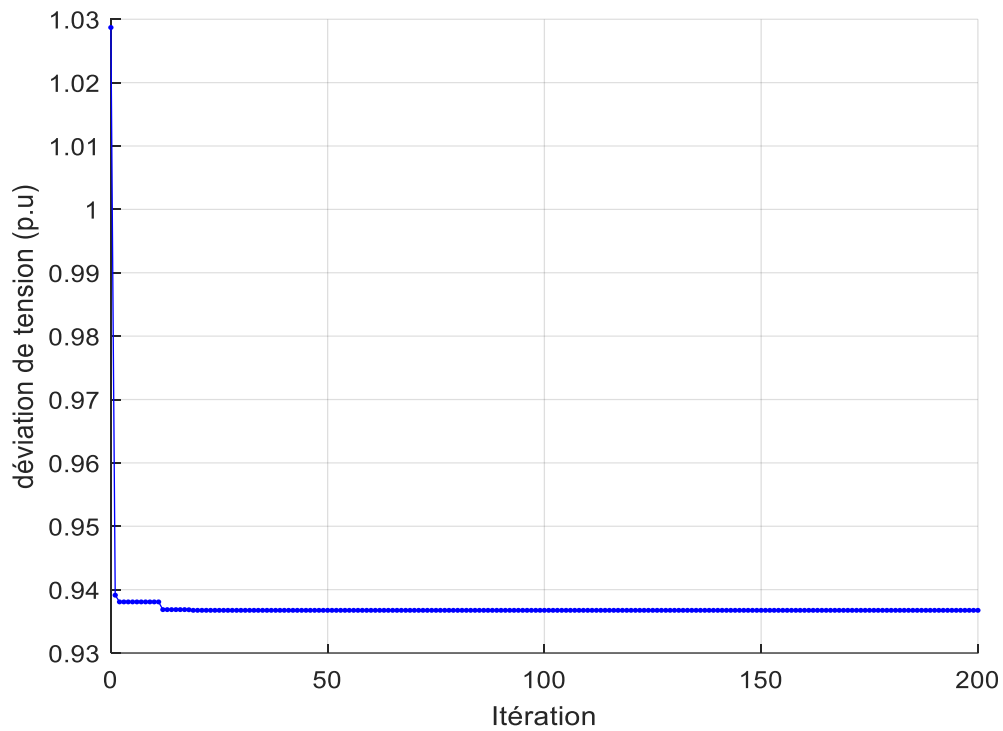


Figure IV.54: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV aux JB 33.

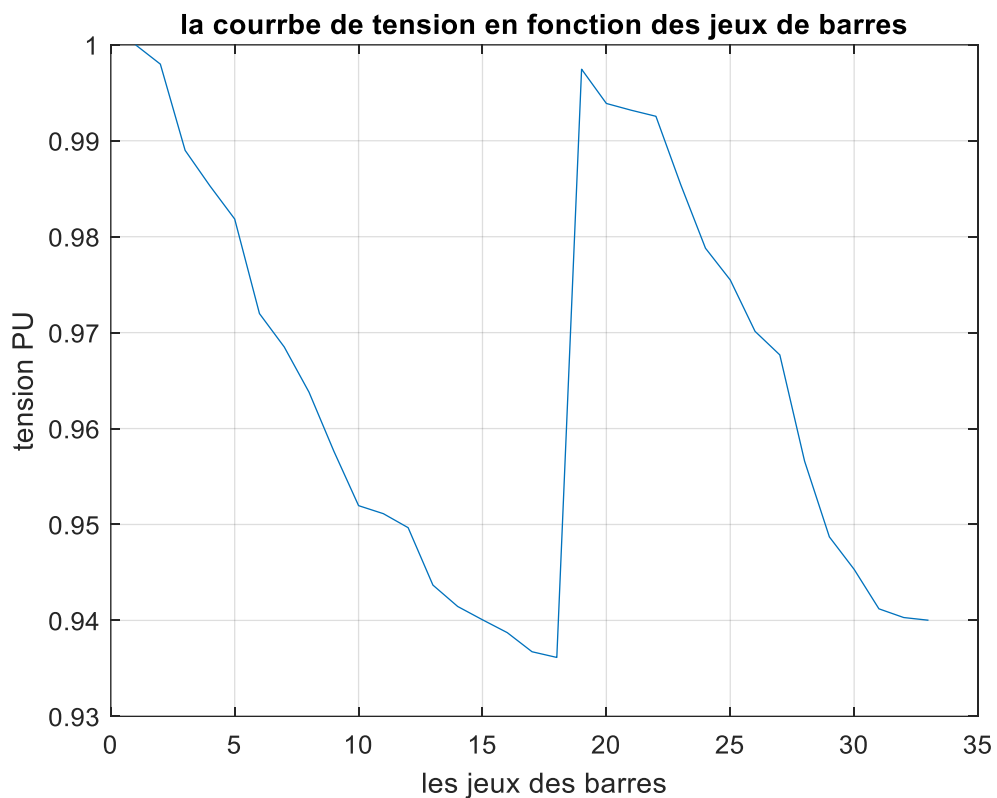


Figure IV.55: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 6

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

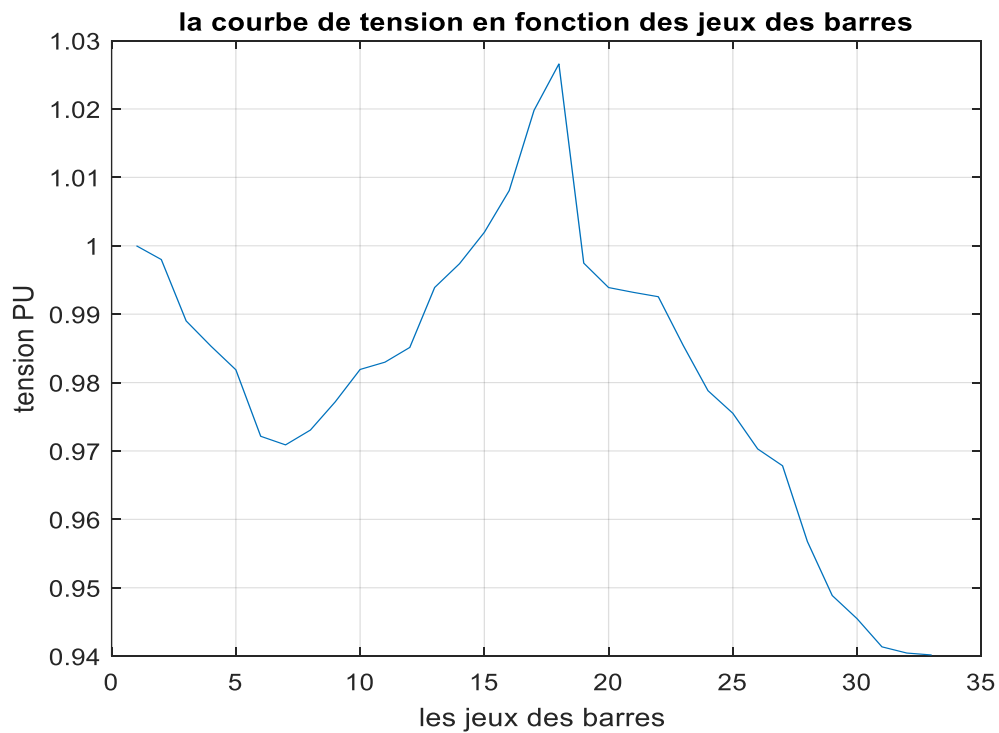


Figure IV.56: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 18

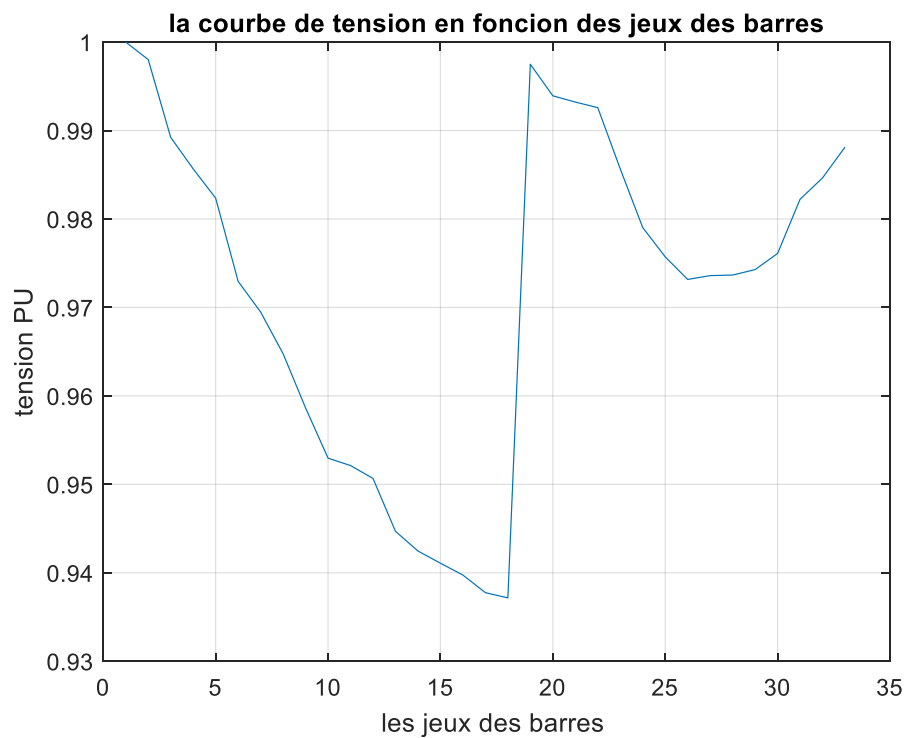


Figure IV.57: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB33.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

N°JB	$\Delta$ PT (KW)	Puissance transforme Total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p. u)	Puissance Injecté de la source PV (KW)	Temps d'exécution (S)
6	119.5212	2334.500	JB18=0.9361	1.1676	1500	20.52
18	161.9898	2377.000	JB33=0.9402	0.7396	1500	20.79
33	124.9317	2339.900	JB18=0.9372	0.9367	1500	19.92

Tableau IV-13: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de PSO : Intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33) .

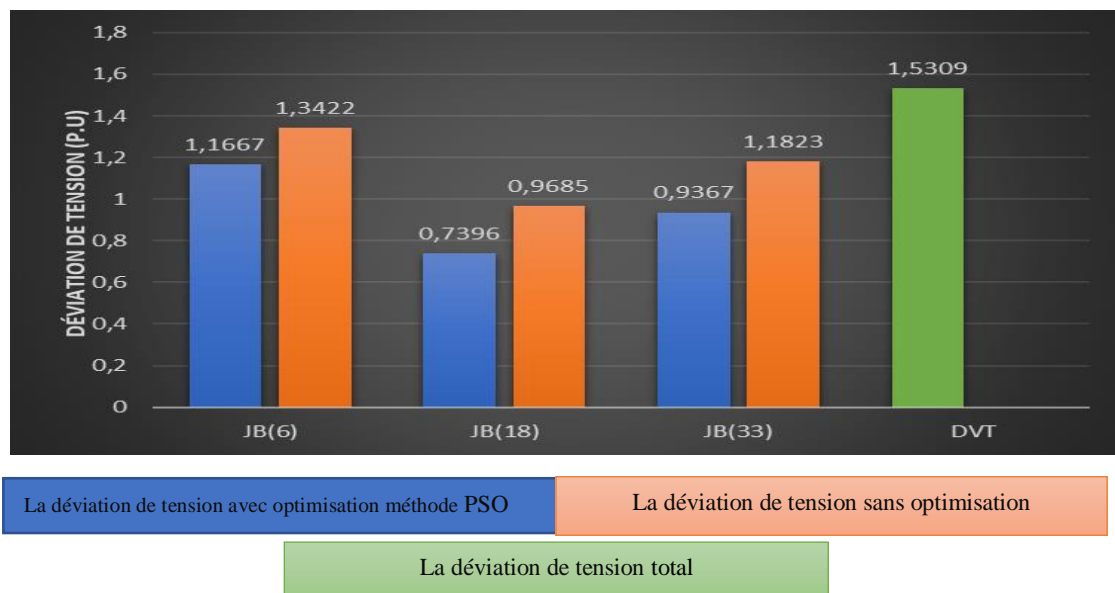


Figure IV.58: Comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuelle des sources PV

### IV.6.2.2.1 Intégration de sources PV aux jeux de barres (6 ,18 ,33)

Ce cas est dédié à analyser l'impact d'intégrer trois sources PV simultanément sur la déviation de tension totale. Les résultats d'optimisation sont récapitulés dans le Tableau (4.14), la courbe de convergence de l'algorithme est présentée dans la Figure (3.58). La répartition du profile de tension est présenté dans la Figure (3.59).

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

N° JB	$\Delta PT$ (KW)	Puissance transformé total(KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Injectée de la source PV (KW)	Temps d'exécution (s)
Les Jeux de barres ( 6-18-33)	118.5421	2333.700	JB18=0.9521	0.7007	Jb6= 0 Jb18=1121.5 Jb33=387.5	20.47

Tableau IV-14: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de PSO : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6,18 et 33).

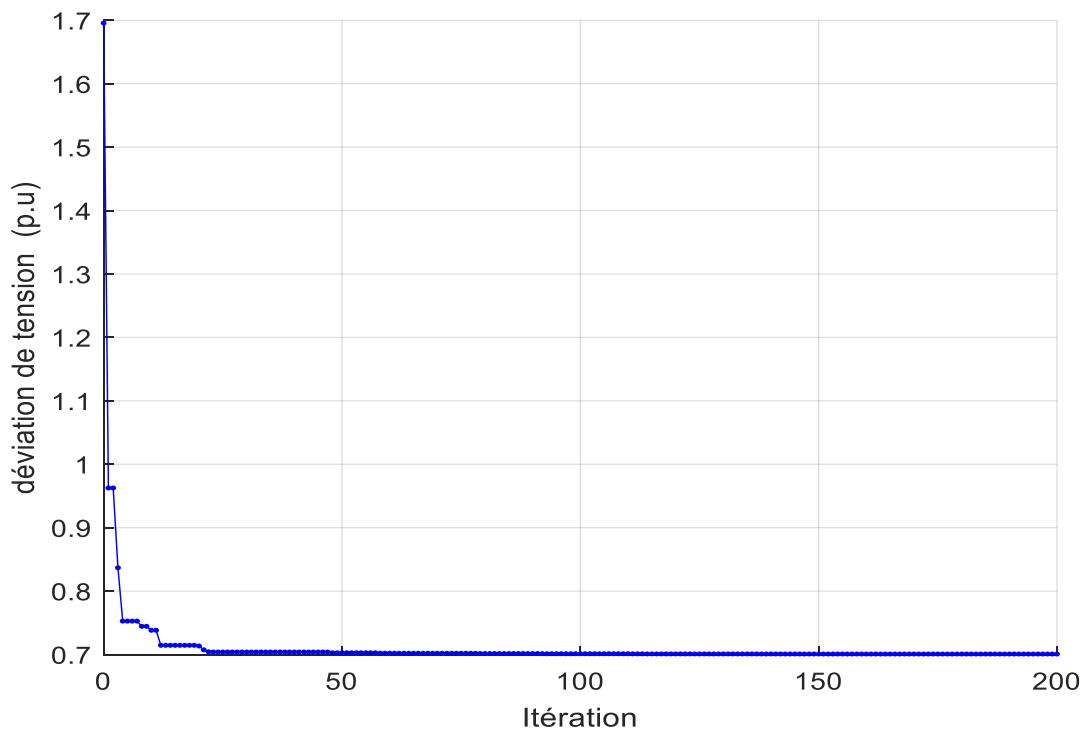


Figure IV.59: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33 .

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

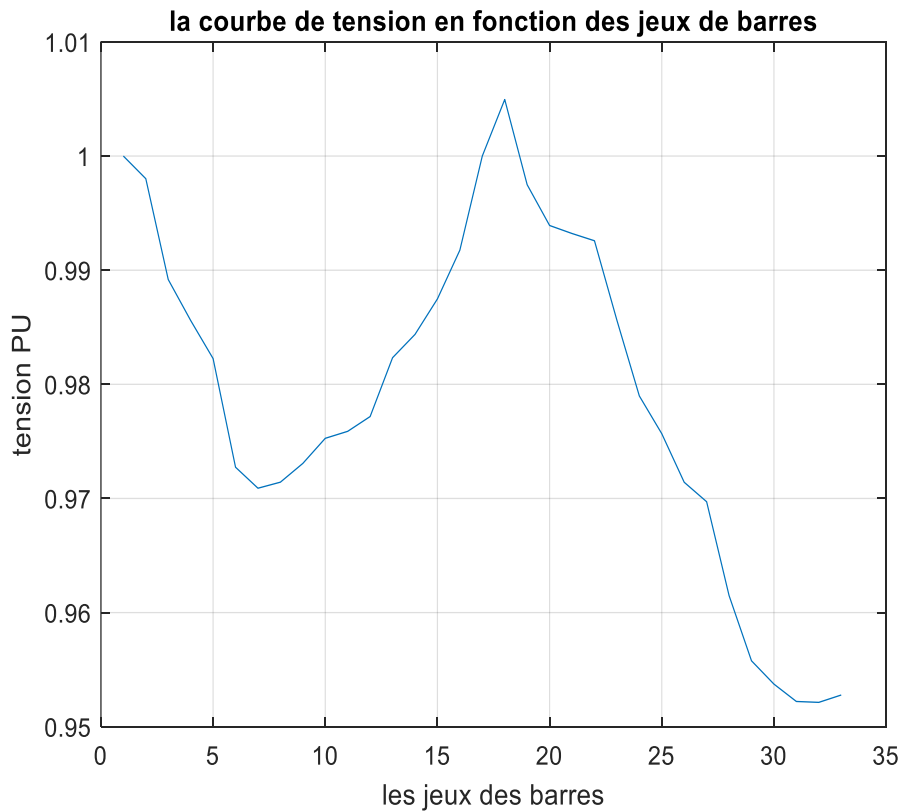


Figure IV.60 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration de trois sources PV aux JB 6-18-33.

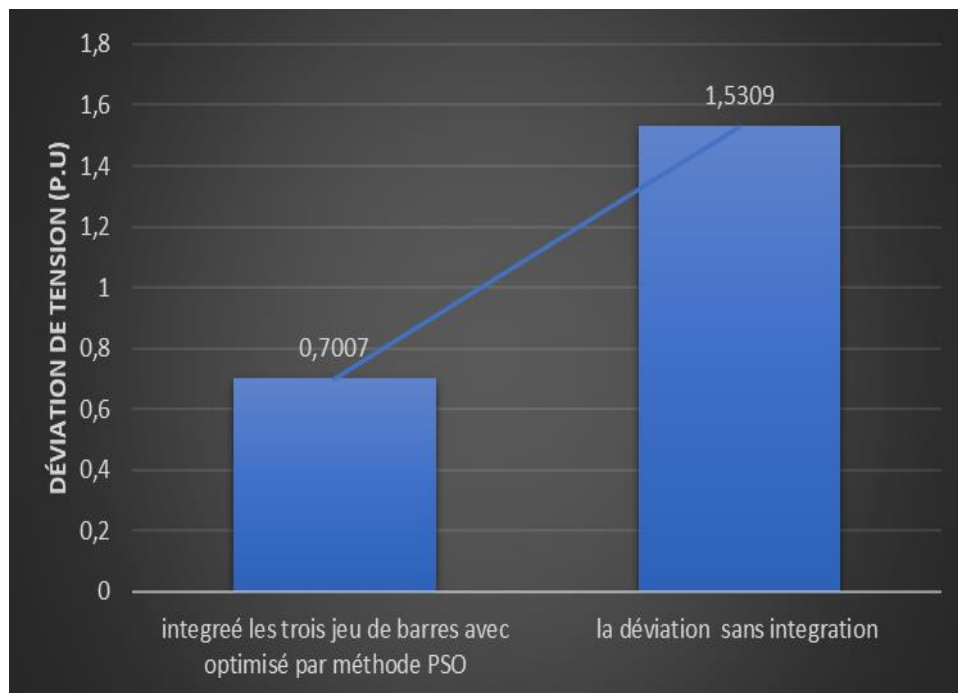


Figure IV.61: Comparaison des résultats en termes de valeur des déviations de tension totale, sans et avec intégration de trois sources PV.

### Interprétation des résultats :

Après l'intégration une source PV et selon les résultats d'analyse obtenus on remarque ce qui suit :

- La tension minimale est améliorée dans les trois cas de test.
- La déviation de tension total optimisé est meilleure dans le cas où le PV est intégré au jeu de barres 18, la valeur de DVT achevée est de 0. 7396 (p. u).
- L'intégration de trois sources PV n'a pas un effet considérable sur la déviation de tension totale.
- L'intégration de trois sources PV a un effet considérable sur la réduction des pertes totales.

### IV.6.3 Application de l'algorithme (GWO)

Nous avons utilisé dans cette troisième phase l'application de l'algorithme GWO pour optimiser deux fonctions objectives, la minimisation des pertes et l'amélioration de la déviation de tension totale. Les paramètres initiaux de l'algorithme GWO sont :

- Itération maximale :200
- Nombre d'agents : 20

L'algorithme standard adapté pour l'optimisation des deux fonctions objectives est présenté dans la Figure (4.61).

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

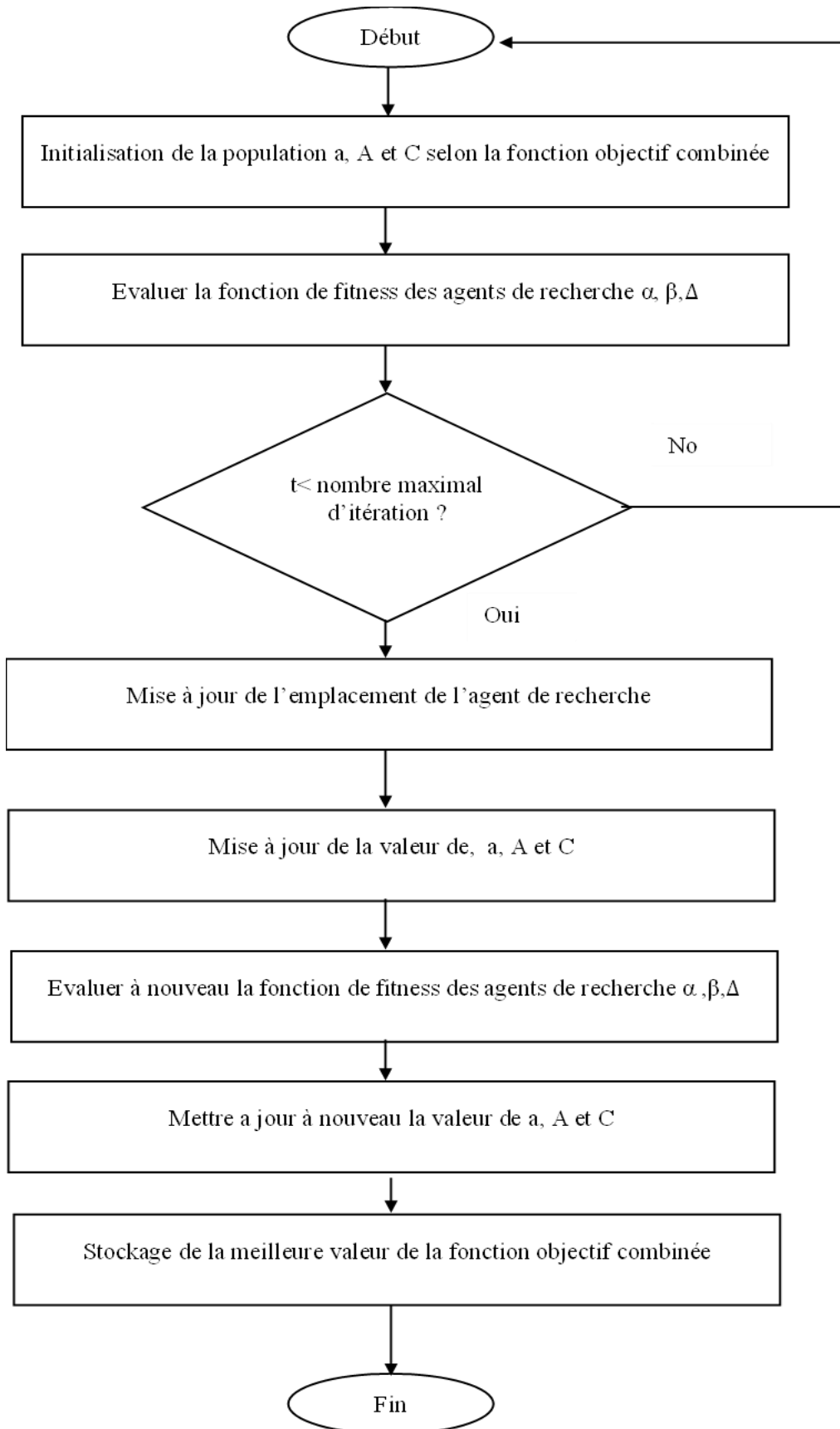


Figure IV.62: organigramme de recherche à base de l'algorithme GWO



### IV.6.3.1 Minimisations les pertes active totale

La première fonction objective à considérer est la minimisation de la valeur des pertes actives totales. Pour cela GWO est exécutée plusieurs fois pour localiser la valeur optimale. Pour ce cas, on a procédé à intégrer une seule source puis, les trois sources sont intégrées et leurs puissances sont optimisées simultanément. Les courbes de convergences de l'algorithme pour l'optimisation des pertes avec considération de l'intégration individuel des sources PV au JB 6, JB18 puis au JB 33 sont présentés dans les Figures ((4.62) ,(4.63),(4.64)), La distribution du profile de la tension pour les trois scenarios élaborées sont présentés dans les Figures ((4.65) ,(4.66),(4.67)) ;respectivement.

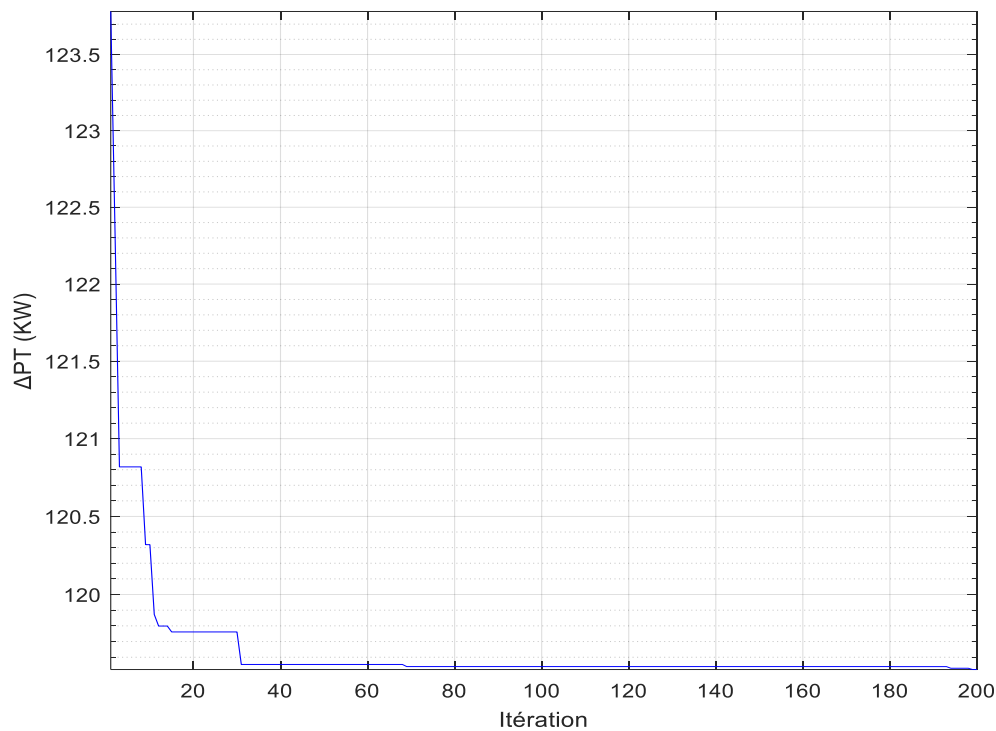


Figure IV.63: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 6.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

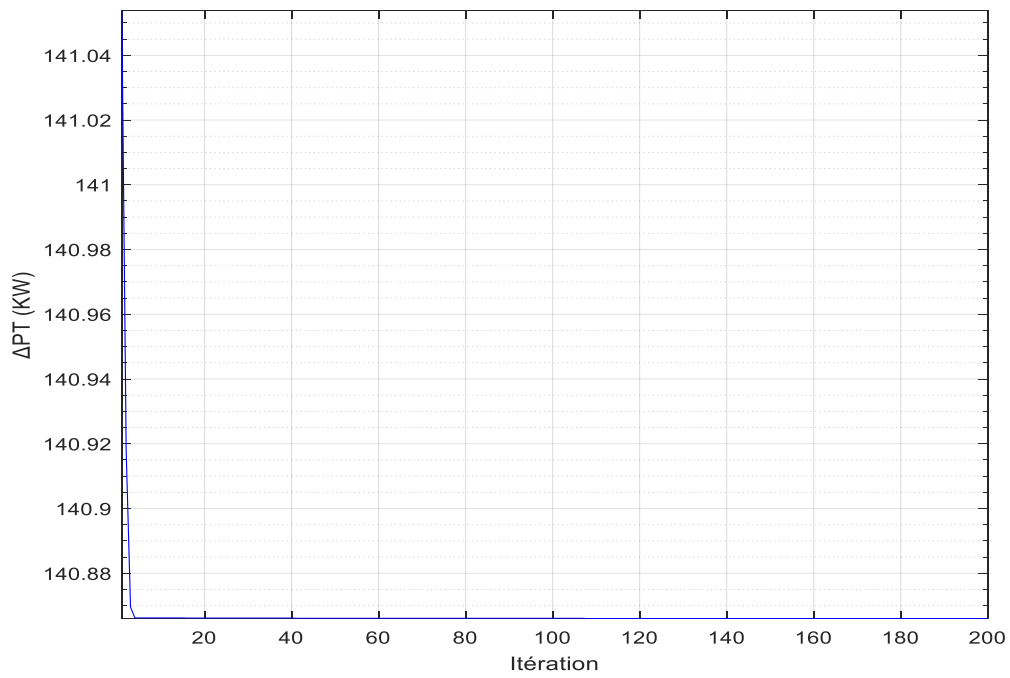


Figure IV.64 : Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB 18.

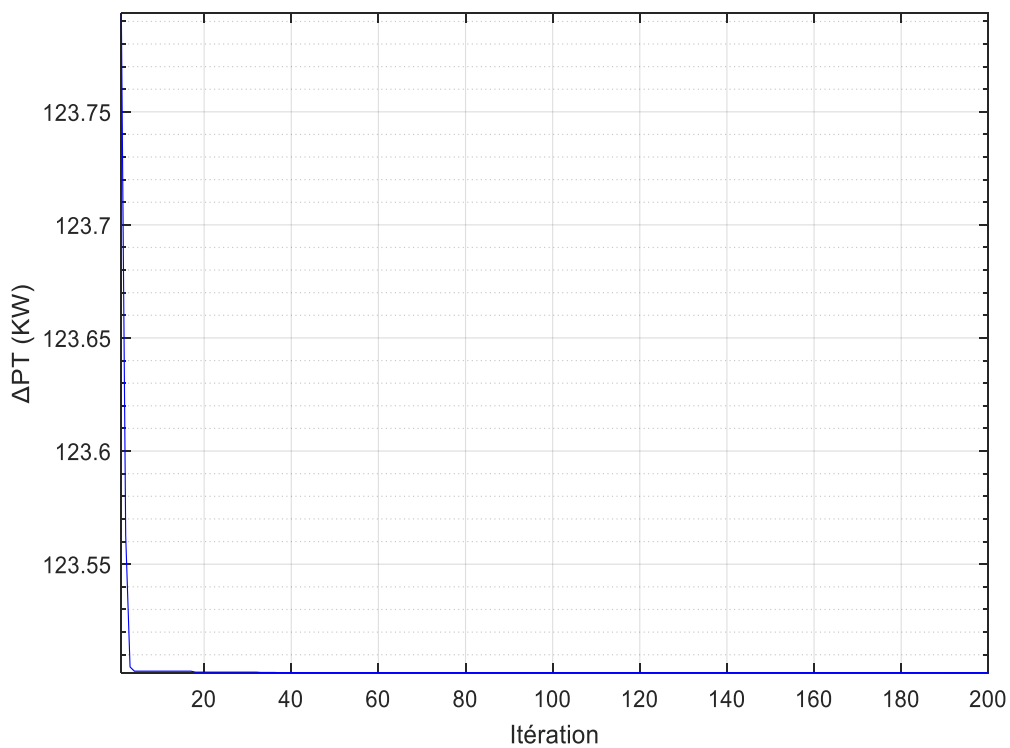


Figure IV.65: Courbe de convergence, optimisation des pertes totales : Intégration d'une source PV au JB33

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

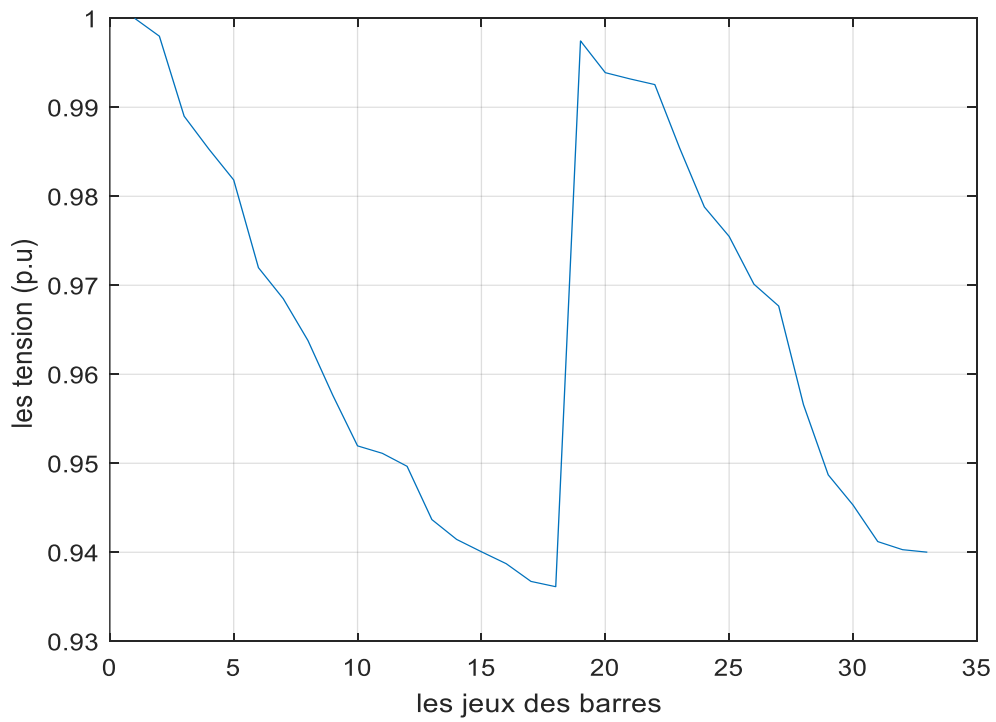


Figure IV.66: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB06.

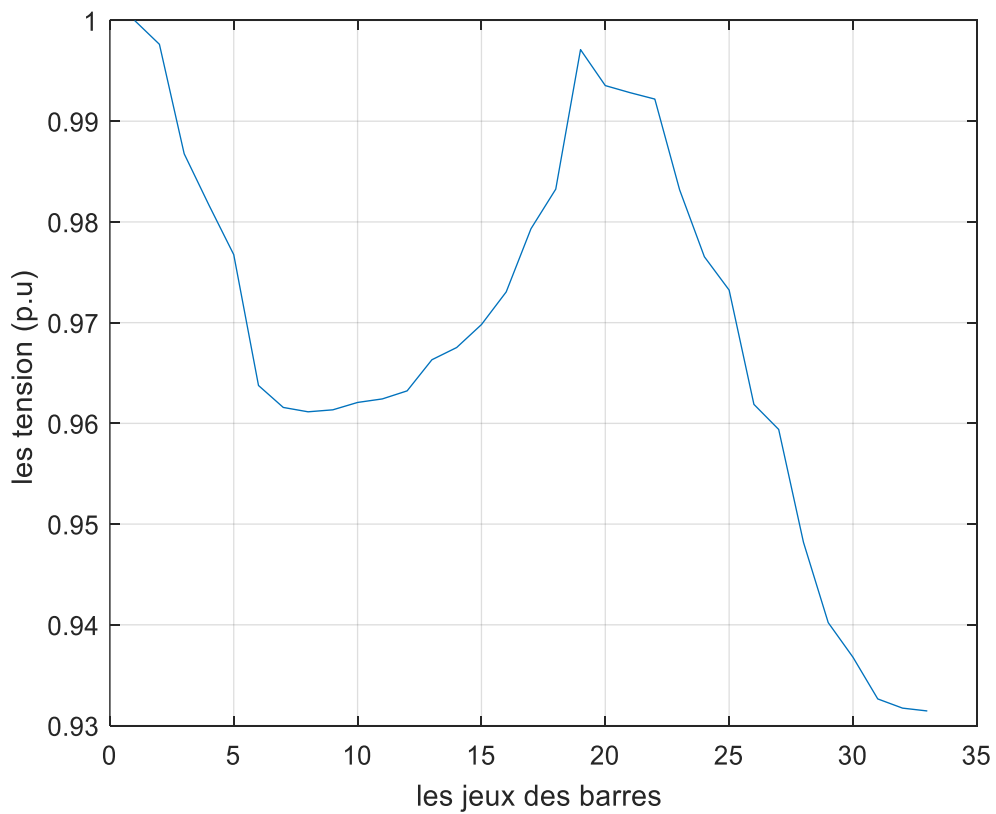


Figure IV.67: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB18.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

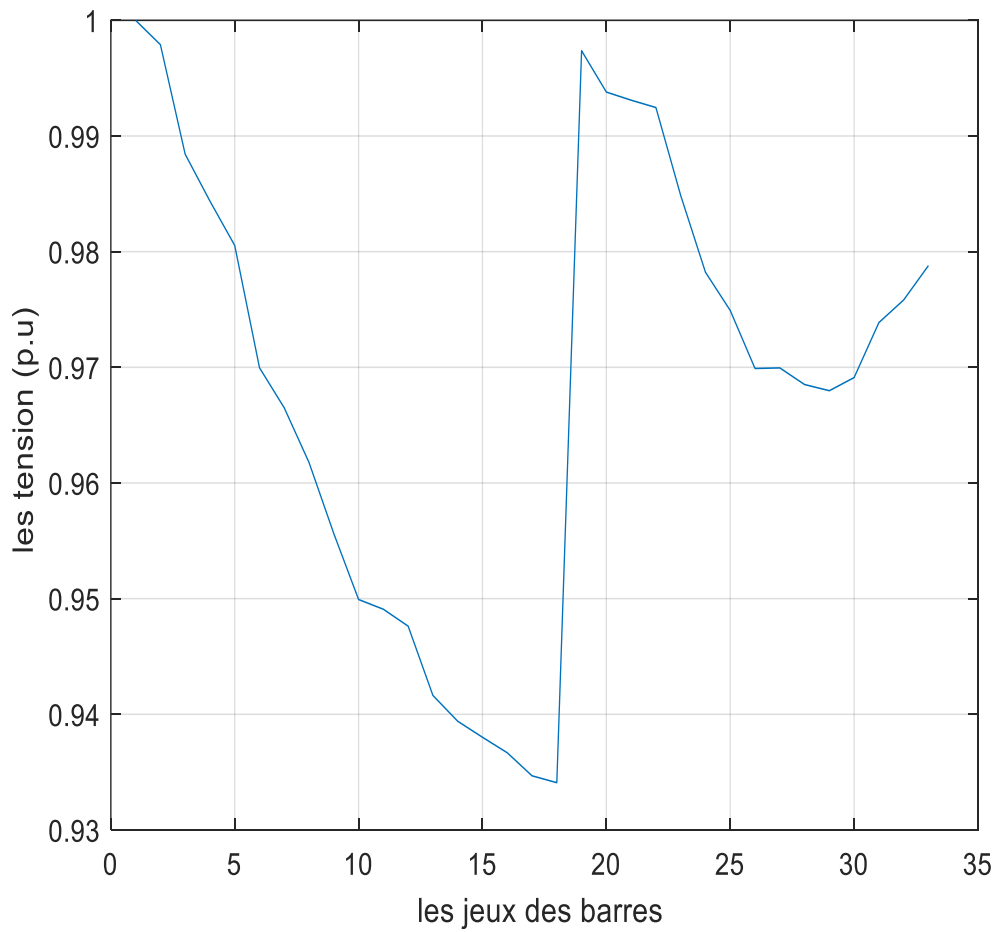


Figure IV.68: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB33.

N°JB	$\Delta PT$ (KW)	Puissance transforme Total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Injecté de la source PV (KW)	Temps d'exécution (S)
6	119.5218	2336.900	JB18=0.9361	1.1684	1500	21.31
18	140.8661	2950.200	JB33=0.9314	1.0373	905.4737	22.70
33	123.5023	2527.200	JB18=0.9343	1.0285	1309.99	40.23

Tableau IV-15: les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de GWO : l'intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33)

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

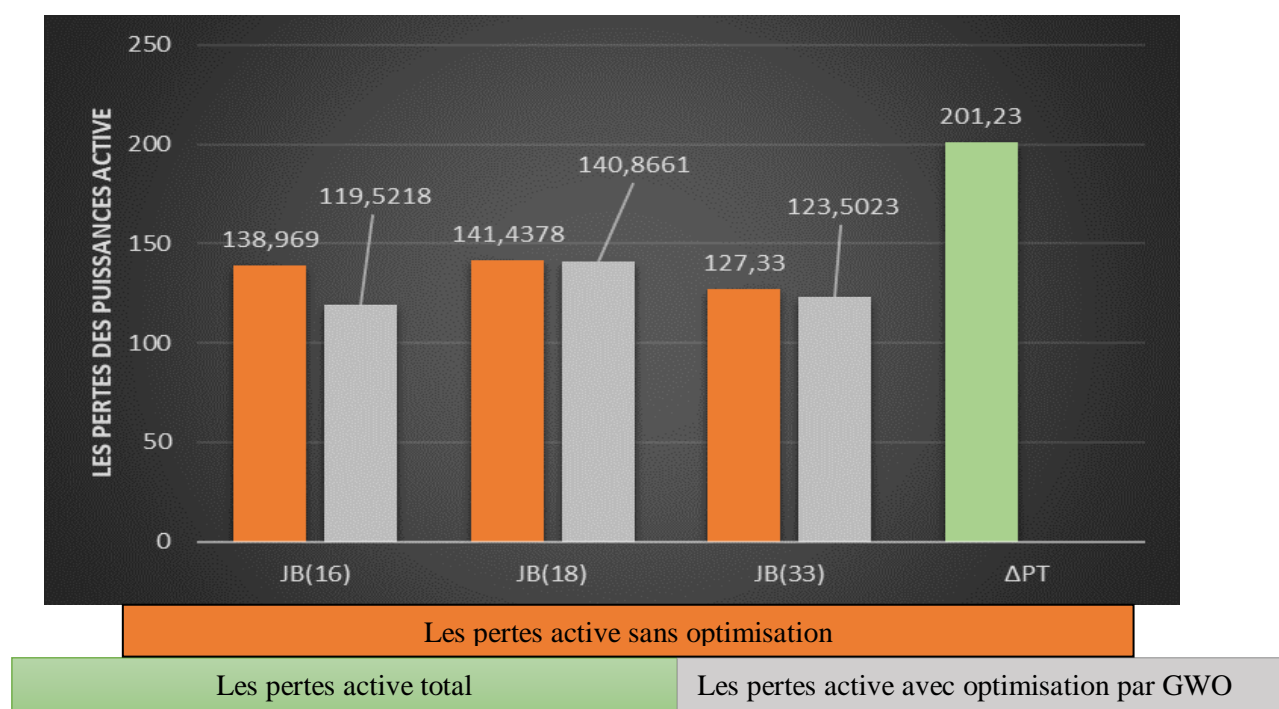


Figure IV.69: comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV

### IV.6.3.1.1 Intégration les trois jeux de barres

Pour ce cas, les trois sources PV sont intégrées et leurs puissances actives sont optimisées simultanément par utilisation GWO. Le Tableau (4.16) récapitule les résultats d'optimisation achevés. La courbe de convergence de l'algorithme génétique dédié à la minimisation des pertes totale est présentés dans la Figure (4.69). La distribution du profile de la tension pour les trois scenarios élaborés sont présentés dans la Figure (4.70).

N° JB	ΔPT (KW)	Puissance transformé total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Injectée de la source PV (KW)	Temps d'exécution (s)
Les Jeux de barres ( 6-18-33)	92.6707	2313.800	JB18=0.9597	0.8859	Jb6= 367.3511 Jb18= 457.1731 Jb33=675.4249	165.74

Tableau IV-16 : Les résultats d'optimisation des pertes actives totales obtenus par application de GWO : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres ( 6 ,18 et 33)

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

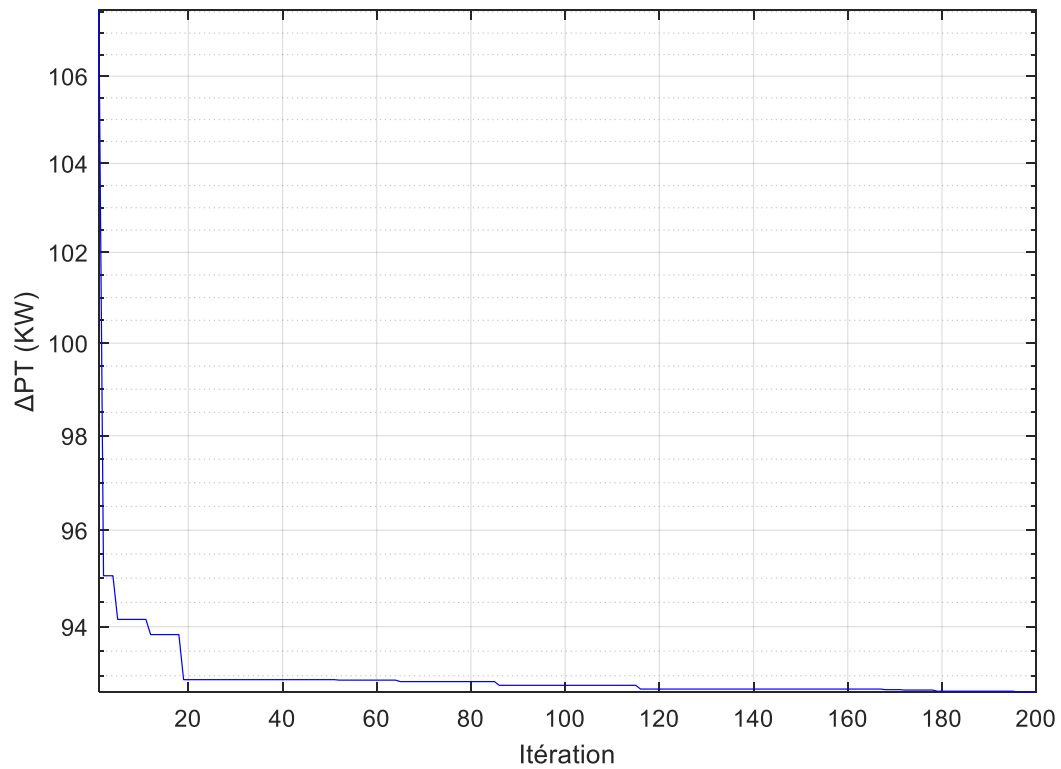


Figure IV.70: Courbe de convergence, optimisation des pertes actives totales : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33 .

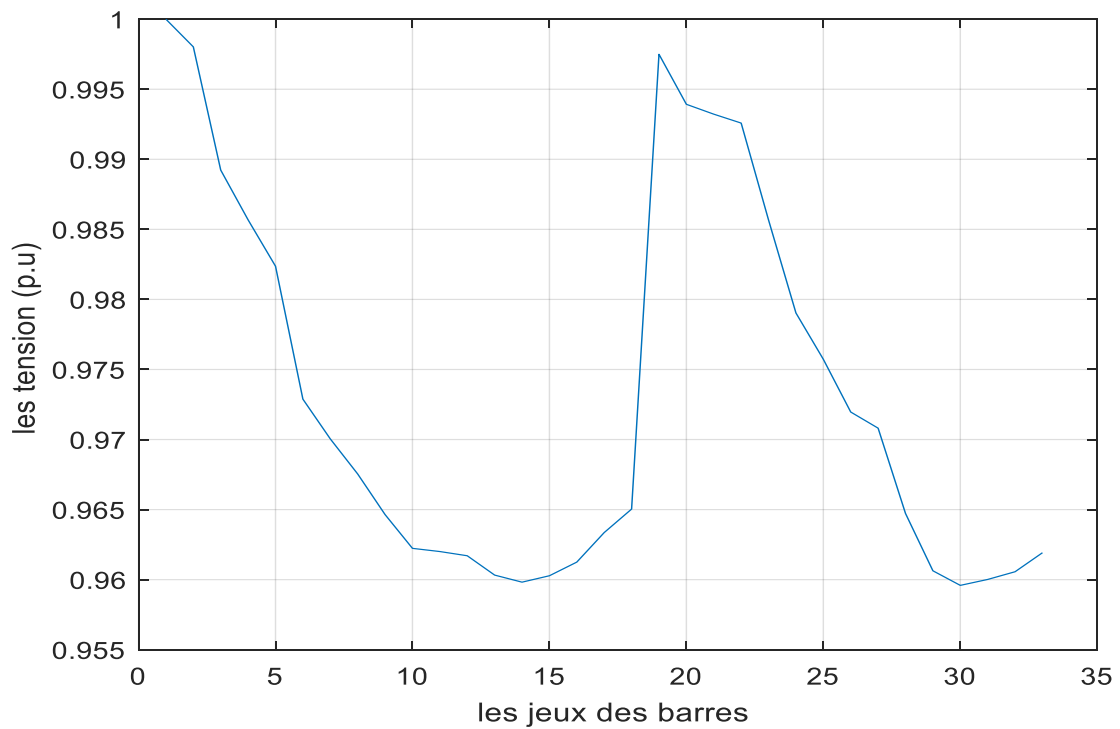


Figure IV.71 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB 06-18-33

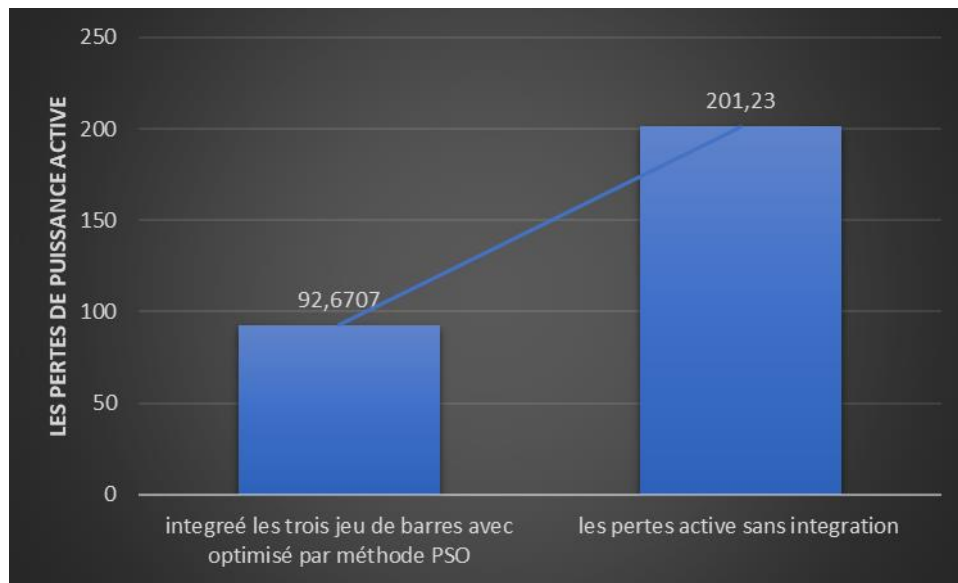


Figure IV.72: Comparaison des résultats en termes de valeur des pertes totales, sans et avec intégration de trois sources PV.

### ➤ **Interprétation des résultats :**

Après optimisation l'intégration une source PV par GWO les résultats d'analyse obtenus on remarque ce qui suit :

- On remarque que le taux d'intégration d'une source PV diffère d'un jeu de barres à un autre. Le taux d'intégration d'une source PV aux niveaux des jeux de barres 6,18,33 est de 75%, 45.27%,65.50%.
- La meilleure valeur des pertes active achevée est de 92.67 KW correspond au cas d'intégration de trois sources PV. Pour ce cas, la tension minimale est de 0.9597 (p.u) rapporté au JB 18 et la déviation totale est de 0.8859 (p.u).
- On remarque que les pertes totales sont minimisées par rapport au cas sans intégration, les pourcentages des pertes optimisées aux jeux de barres 6,18,33 sont 40.60% ,30%,38.63%, respectivement, et ce pourcentage devient 53.07% lors de l'intégration de trois sources.

### **IV.6.3.2 Minimisation la déviation de tension totale**

La deuxième fonction objective à optimiser est la déviation de tension totale. Pour ce faire, l'algorithme GWO est exécuté plusieurs fois pour localiser la valeur optimale. Les courbes de

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

convergences pour l'intégration individuelle des sources PV (JB6, JB18, JB33) sont présentés dans les Figures ((4.72),(4.73),(4.74)), respectivement. La distribution du profile de la tension en (p.u) pour les trois scenarios élaborées précédemment sont présentés dans les Figures ((4.75), (4.76) et (4.77)) , respectivement.

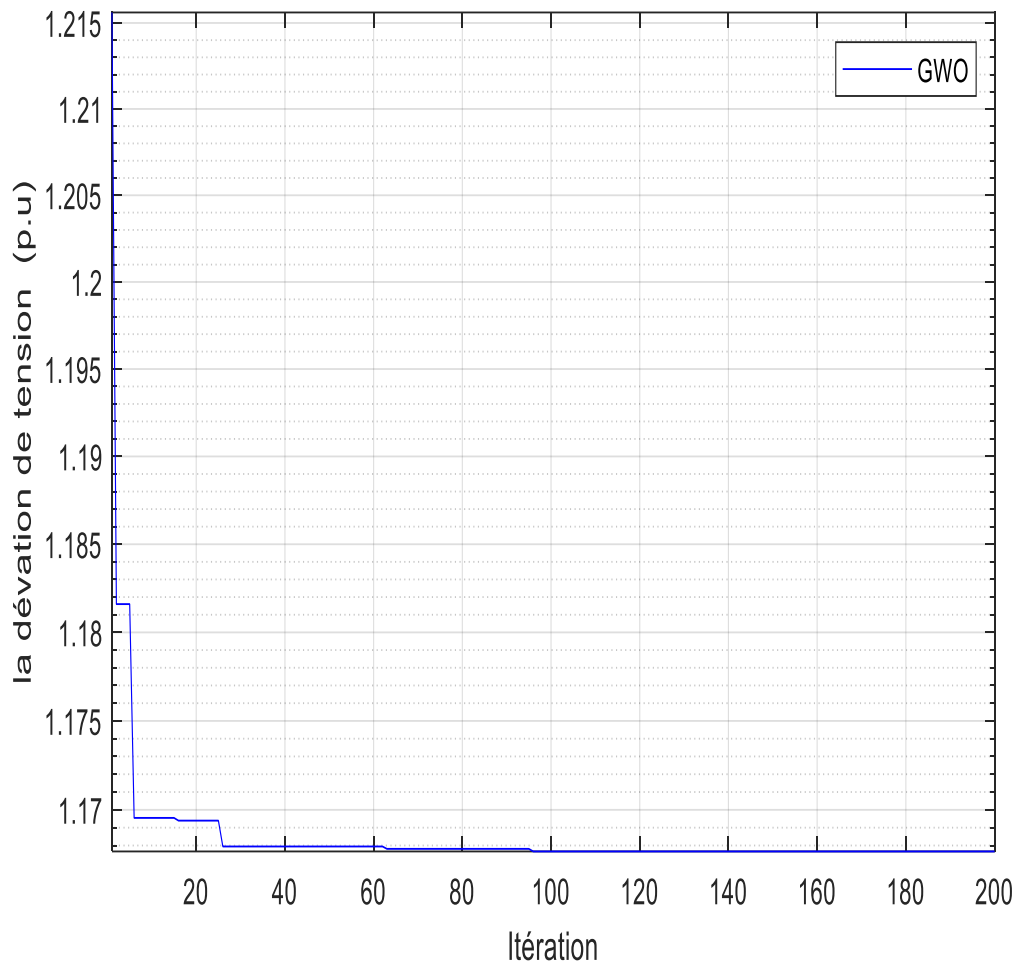


Figure IV.73: Courbe de convergence, optimisation la déviation de tension totales : Intégration d'une source PV au JB6.



## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

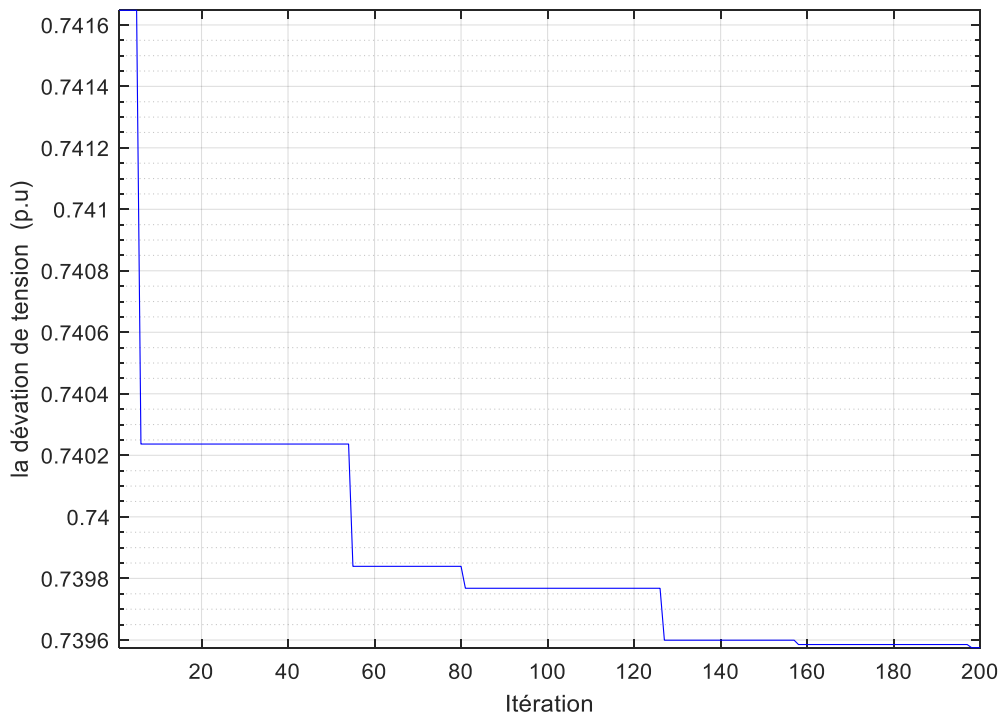


Figure IV.74: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale : Intégration d'une source PV au JB18.

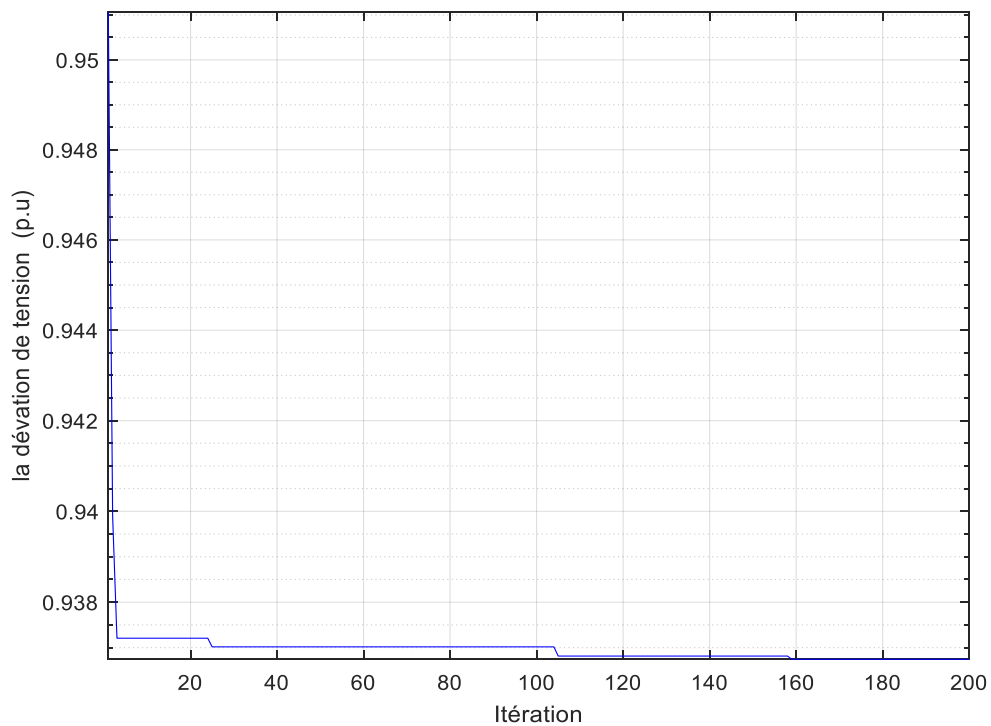


Figure IV.75: Courbe de convergence, optimisation de la déviation de tension totale: Intégration d'une source PV au JB33.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

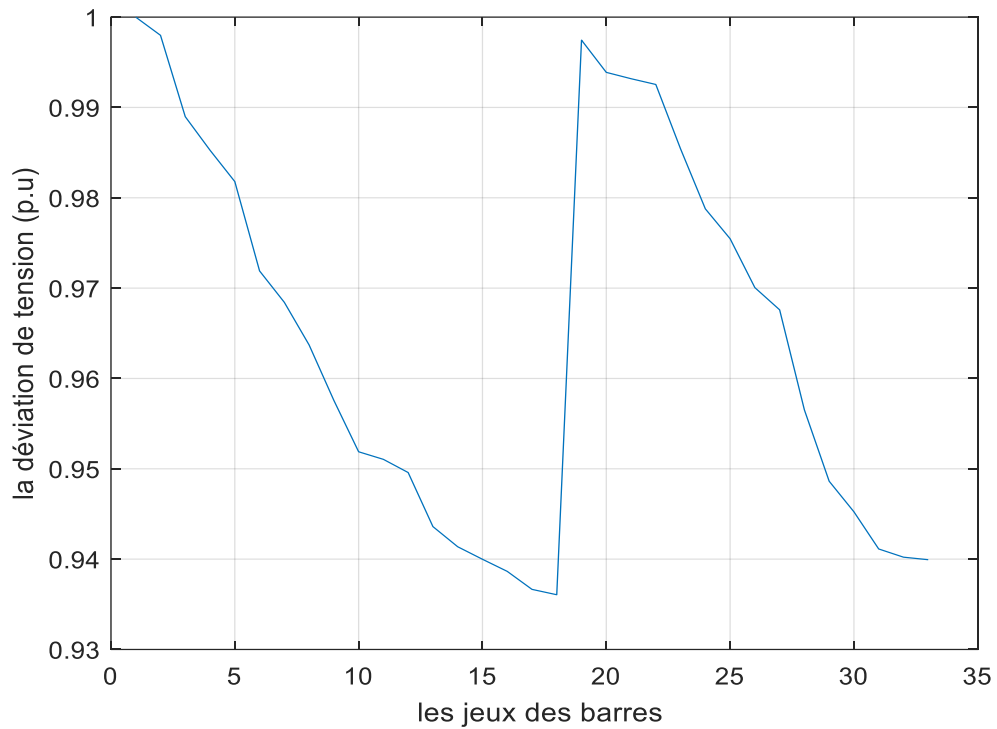


Figure IV.76 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB06.

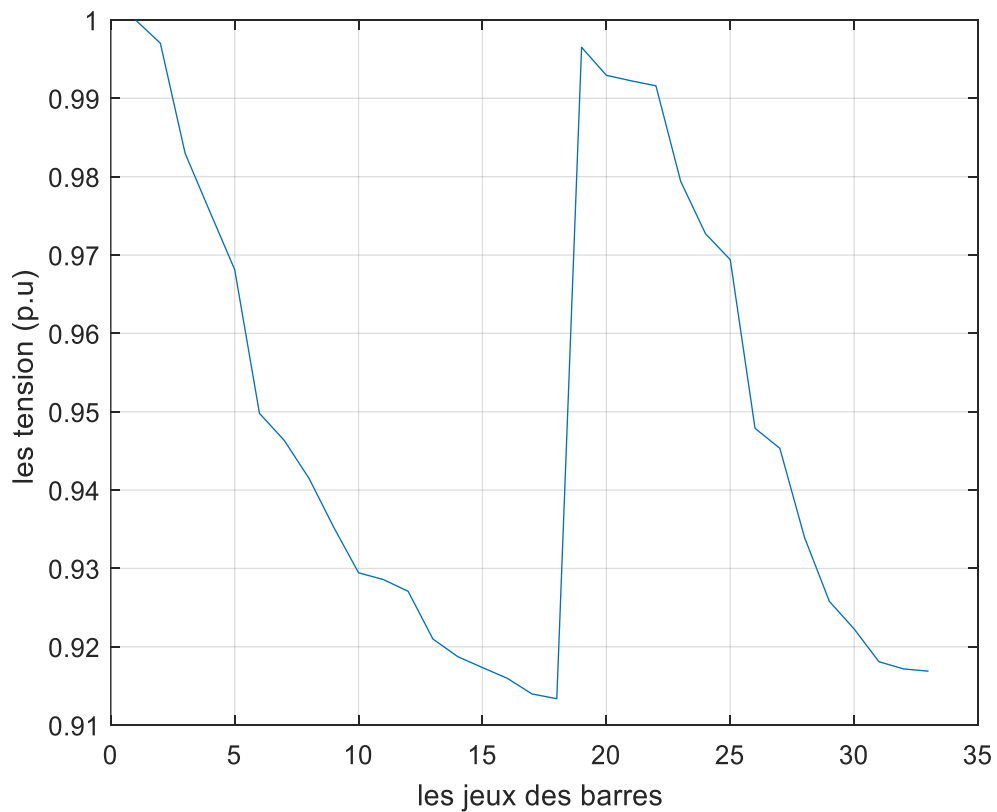


Figure IV.77: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB18.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

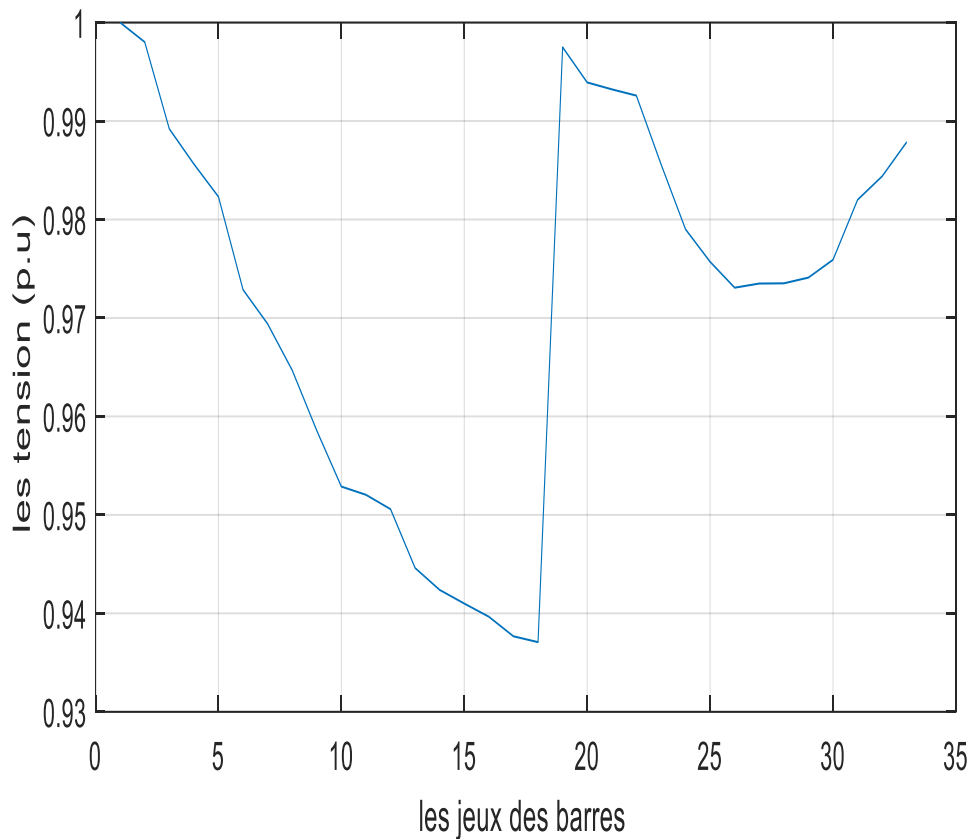


Figure IV.78 : Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration d'une source PV au JB33.

N°JB	$\Delta PT$ (KW)	Puissance transforme Total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p. u)	Puissance Injecté de la source PV (KW)	Temps d'exécution (S)
6	119.5547	2340.100	JB18=0.9361	1.1677	1499.894	95.18
18	161.88	2378.500	JB33=0.9402	0.73958	1499.959	94.42
33	124.84	2345.600	JB18=0.9371	0.93674	1499.979	93.50

Tableau IV-17: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de GWO : Intégration individuel des sources PV aux jeux des barres (6 ,18 et 33)

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

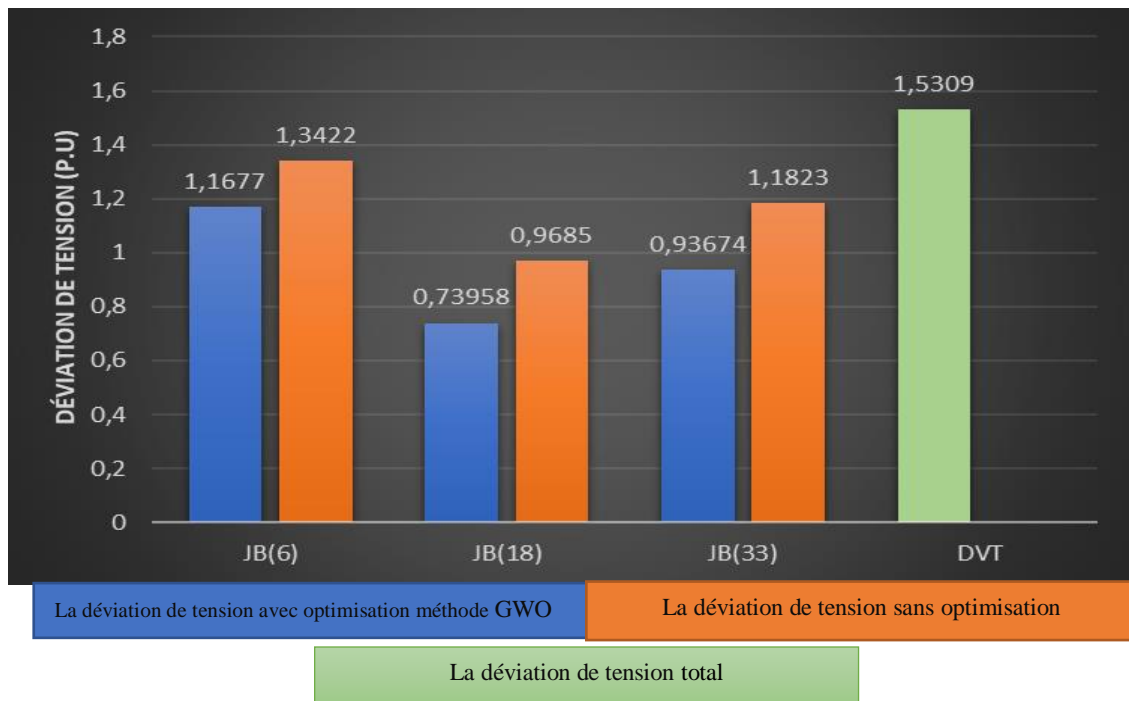


Figure IV.79: comparaison des résultats obtenus : optimisation de l'intégration individuel des sources PV

### IV.6.3.2.1 Intégration les trois jeux de barres

Ce cas est dédié à analyser l'impact d'intégrer trois sources PV simultanément sur les la déviation de tension totale. Les résultats d'optimisation sont récapitulés dans le Tableau (5.18), la courbe de convergence de l'algorithme est présentée dans la Figure (4.79). La répartition du profile de tension est présenté dans la Figure (4.80).

N° JB	$\Delta PT$ (KW)	Puissance transformé total (KW)	Tension minimale (p.u)	DVT (p.u)	Puissance Injectée de la source PV (KW)	Temps d'exécution (s)
Les Jeux de barres (6-18-33)	201.8827	3916.900	JB18= 0.9134	0.7024	Jb6= 10.167976 Jb18=1120.2319 JB33=369.52198	137.46

Tableau IV-18: Les résultats d'optimisation de la déviation de tension totale obtenus par application de GWO : Intégration de trois sources PV aux jeux des barres (6,18 et 33).

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

---

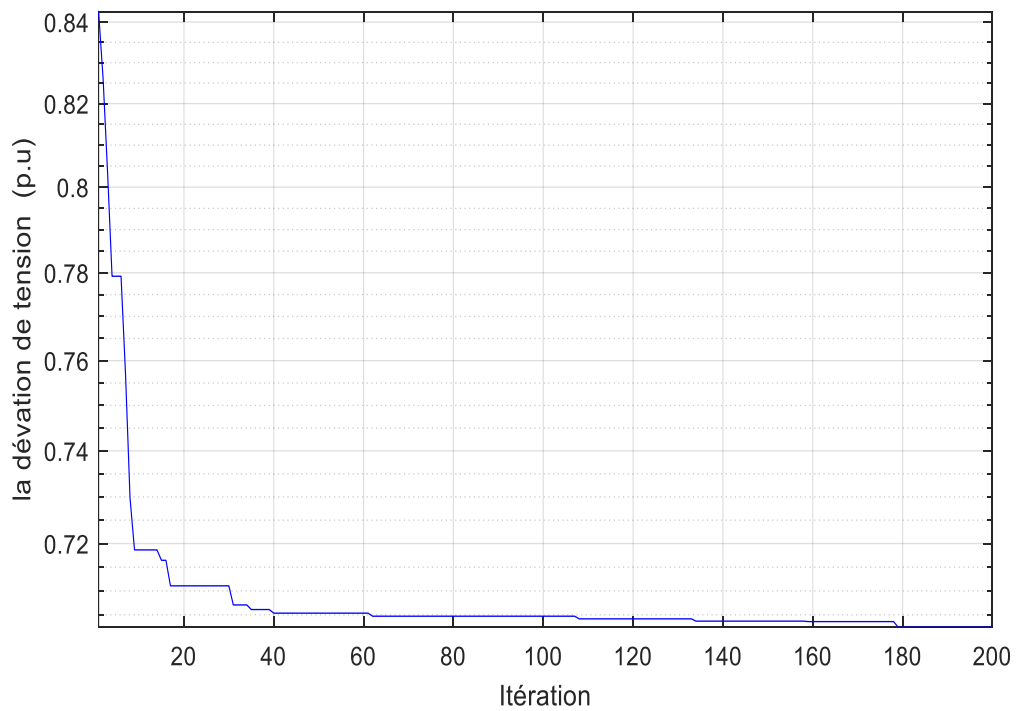


Figure IV.80: Courbe de convergence, optimisation la déviation de tension totale : Intégration de trois sources PV aux JB : 6-18-33.

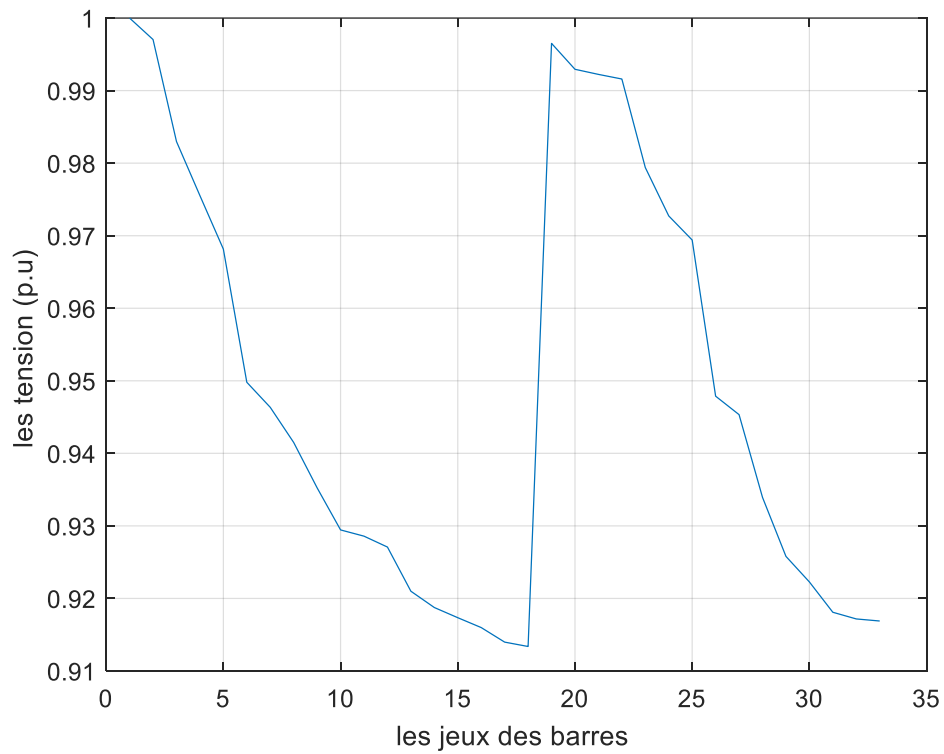


Figure IV.81: Répartitions des tensions aux jeux de barres : Intégration de trois sources PV aux JB (6-18-33).

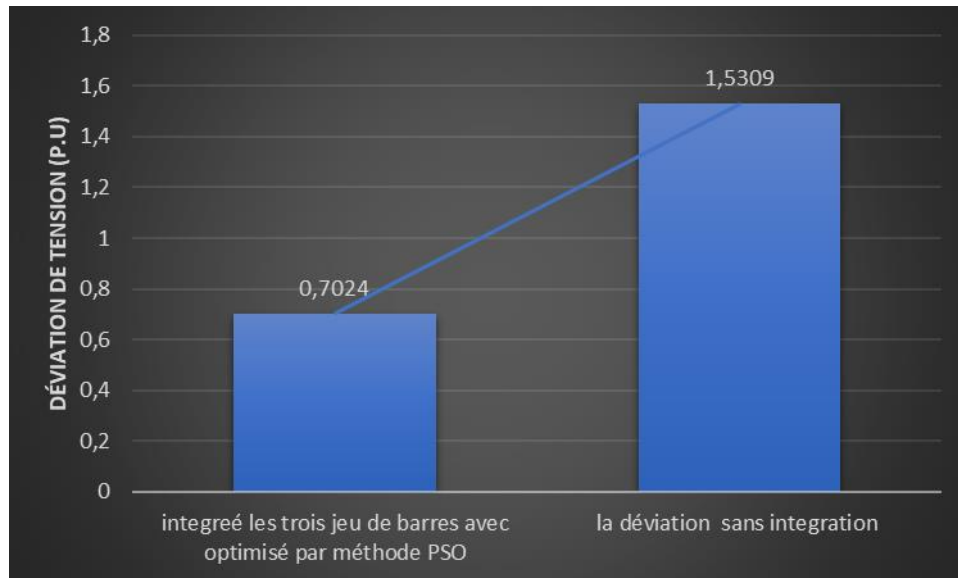


Figure IV.82 comparaison des résultats en termes de valeur des déviation de tension totale , sans et avec intégration de trois sources PV

### ➤ **Interprétation :**

D'après les résultats d'optimisation de l'intégration des sources PV ; on remarque ce qui suit :

- La tension minimale est améliorée dans les trois cas de test,
- La déviation de tension total optimisé est meilleure dans le cas où le PV est intégré au jeu de barres 18, la valeur de DVT achevée est de 0.73958 (p. u).
- L'intégration de trois sources PV n'a pas un effet considérable sur la déviation de tension totale.

## IV.6.4 Etude comparative

Cette section est consacrée à présenter une étude comparative entre les trois méthodes d'optimisation en termes de qualité de solution et temps d'exécution. D'après les résultats D'optimisation récapitulés dans les Tableaux (4.19, 4.20,4.21) on remarque que l'algorithme PSO permet d'achevée la valeur optimale compétitive par rapport aux autres méthodes, en termes de qualité de solution et temps d'exécution.

## Chapitre 4 : Résultats de simulation

N° JB	JB6			JB18			JB33		
Optimisation	$\Delta$ PT (KW)	DVT (p.u)	Temps d'exécution (s)	$\Delta$ PT (KW)	DVT (p.u)	Temps d'exécution (s)	$\Delta$ PT (KW)	DVT (p.u)	Temps d'exécution (s)
AG	119.5628	1.1681	28.45	140.8723	1.0418	27.56	123.5674	1.0488	28.21
PSO	119.8661	1.1667	19.60	140.8661	1.0348	20.19	123.5021	1.0291	19.82
GWO	119.5218	1.1684	21.31	140.8661	1.0373	22.70	123.5023	1.0285	40.23

Tableau IV-19: Résultats d'optimisation des pertes obtenues par GA, PSO, GWO : Intégration individuelle

N° JB	JB6			JB18			JB33		
Optimisation	$\Delta$ PT (KW)	DVT (p.u)	Temps d'exécution (s)	$\Delta$ PT (KW)	DVT (p.u)	Temps d'exécution (s)	$\Delta$ PT (KW)	DVT (p.u)	Temps d'exécution (s)
AG	123.262	1.2072	24.18	140.8723	0.7678	25.31	123.5037	1.0078	25.31
PSO	119.5212	1.1667	20.52	161.9898	0.7376	20.79	124.3917	0.9367	19.92
GWO	119.5547	1.1667	95.18	161.8861	0.7395	94.42	124.8423	0.9367	93.50

Tableau IV-20 : Résultats d'optimisation de la déviation de tension obtenues par GA, PSO, GWO : Intégration individuelle

N JB	Minimisation les pertes de puissance active			Minimisation la déviation de tension		
	$\Delta$ PT (KW)	DVT (p.u)	Temps d'exécution (s)	$\Delta$ PT (KW)	DVT (p.u)	Temps d'exécution (s)
AG	93.8848	0.9217	27.63	201.8827	0.7091	25.47
PSO	92.6774	0.9043	19.75	118.5421	0.7007	20.47
GWO	92.6707	0.8859	165.74	201.8827	0.7024	137.46

Tableau IV-21: Résultats d'optimisation des pertes et la déviation de tension obtenues par GA, PSO, GWO : Intégration de trois sources PV

### IV.7 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, on a testé les méthodes (GA, PSO, GWO) sur le réseau 33JB jeux de barres pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance optimal. Les résultats de simulation obtenus permettent d'espérer une application pratique de cette méthode métaheuristique pour tester l'état de réseau 33JB (l'écoulement de puissance) et optimisation les pertes active et la déviation de tension.



# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons exploré et testé l'application des méthodes métaheuristique pour la gestion optimale de l'intégration des sources PV dans les réseaux de distribution électriques. Trois méthodes à savoir l'algorithme GA, PSO et l'algorithme nommée GWO ont été analysées et appliqués pour optimiser deux fonctions objectives, la minimisation des pertes actives totales, et l'amélioration de la déviation de tension. La méthodologie suivie durant cette étude consiste à faire en premier temps une analyse préliminaire du réseau radial 33 jeux de barres dans le régime normal et anormal avec considération de l'augmentation de la charge par utilisation de la méthode BF. Cette phase est très importante pour l'identification de l'état du réseau par le calcul des tensions et les pertes dans les lignes afin de classer les jeux de barres critiques et déterminer les jeux de barres les plus adéquats à l'insertion des sources PV. L'analyse de cette première phase nous a permis de tirer les remarques suivantes :

- Les charges importantes sont localisées dans les jeux de barres (24 et 25), en particulier le jeu de barres 24 alimente une charge possédant une puissance réactive importante.
- la valeur des pertes actives totales est de 201.8827 KW et les pertes actives et réactives sont importantes dans lignes principales (jeu de barre 1 ou jeu de barre 5) .
- la tension minimale est de 0.931(p.u) localisé au jeu de barres 18,
- Le réseau radial 33 jeux de barres n'a pas pu assurer une qualité d'énergie suffisante lors de l'augmentation de la puissance demandée, en effet, la tension minimale est inférieure à la valeur admissible qui est de 0.9 p.u, d'autre part les pertes active engendrés sont importante, ce qui nécessite le renforcement du réseau afin d'améliorer la qualité d'énergie fournie aux consommateurs.

La deuxième phase est consacrée à l'application de trois méthodes métaheuristique pour optimiser le vecteur de décision composé par les puissances des sources PV à intégrer dans l'emplacement bien déterminé pour minimiser deux fonctions objectives. Deux scénarios ont été effectués :

- Intégrer une seule source.
- Les trois sources sont intégrées et leurs puissances sont optimisées simultanément

Les résultats obtenus par l'application de GA sont résumés comme suit:

# Conclusion générale

---

- ✓ La déviation de tension total optimisé est meilleure dans le cas ou le PV est intégré au jeu de barres 18, la valeur de DVT achevée est de 0. 7678 (p. u).
- ✓ L'intégration de trois sources PV n'a pas un effet considérable sur la déviation de tension totale. Mais pour la minimisation des pertes la meilleure valeur obtenue est de 93.88 KW.

Pour la méthode PSO, les résultats d'optimisations achevées sont résumés comme suit :

- La meilleure valeur des pertes actives (92.67 KW) est obtenue dans le cas d'intégration de trois sources PV.
- La déviation de tension total optimisé est meilleure dans le cas ou le PV est intégré au jeu de barres 18, la valeur de DVT achevée est de 0. 7396 p.u.

Et enfin, l'application de la méthode GWO pour optimiser les deux fonctions objectives à permet d'achever les résultats suivants :

- La déviation de tension total optimisé est meilleure dans le cas ou le PV est intégré au jeu de barres 18, la valeur de DVT achevée est de 0.73958 p.u, mais la meilleure valeur de pertes active est obtenue par l'intégration de trois source PV, 92 KW.
- L'intégration de trois sources PV n'a pas un effet considérable sur la déviation de tension totale.

L'analyse des résultats d'optimisation obtenus confirme que la méthode PSO est la meilleure en la comparant aux autres méthodes en termes de qualité de solution et rapidité de convergence.

Comme perspectives nous proposons :

1. Elargir cette étude à considérer la l'intégration du système de compensation shunt en coordination avec les sources PV afin d'assurer une bonne gestion de l'énergie réactive.
2. Tenir en considération l'aspect intermittent des sources renouvelables en particulier l'éolienne et le solaire.
3. Améliorer les performances des méthodes utilisées, d'une part et d'autre part, l'application des méthodes hybrides.

# Bibliographie

---

## Bibliographies

- [1] Naidj Mourad , étude d'impact de l'intégration des source PV dans les réseaux de distribution d'Energie électrique , thèse de magister en électrotechnique spécialité : Systèmes Electro-Energétiques . Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene 17/01/2015,
- [2] Aissaoui Ahmed, Planification des réseaux électriques distribution pour une présence massive de la génération d'Energie dispersée, thèse de doctorat, Filière Electrotechnique Spécialité Réseaux Electriques ; Université Djilali liabes de Sidi -bel -Abbes ; 2016
- [3] Mr LABED Djamel , Production décentralisée et couplage au réseau ,thèse de doctorat d'état en électrotechnique Option : Réseaux Electriques, Université Mantouri Constantine ; 2008
- [4] ben Amor Abdelmonaim – Hamza mouadh , Planification du réseau de distribution (30kV) des zones agricoles de la région de Tolga (Ourelal) , mémoire de master en Electrotechnique Spécialité Réseaux Electriques , Université Biskra ; 2019 - 2020
- [5] Djbabali Chabane, Contribution à l'optimisation de la reconfiguration des réseaux de distribution en présence de la production décentralisée , Thèse de doctorat en sciences en électrotechnique Option : Réseaux électrique, Université Farhat Abbas -Sétif 1 ; 2021
- [6] Mahdad Belkacem, cours généralités sur les réseaux de transport et distribution d'énergie électrique, Université de Biskra, 2021.
- [7] Utkarsh Singh ,Radial Distribution System Reconfiguration for Loss Minimization using Exhaustive Search Techniques , Thesis Master of Engineering in Power Systems , university thapar patiala (punjab india) ,July 2014
- [8] D. Das ,Reconfiguration of Radial Distribution Networks , national power systems conference , Npsc december 27-29 2002 Indian of technology , khargpur
- [9] tristiu ion , Reconfiguration des réseaux électriques de distribution urbaine dans le contexte de l'ouverture du marché d'électricité) ,diplôme postgrade , école polytechnique fédérale de Lausanne - suisse , 2001 – 2003
- [10]Mahdad Belkacem TP2 Compensation de l'énergie réactive dans les réseaux de distribution
- [11] Alembrahn mekonen gebrelasse, network reconfiguration in system with consideration of distributed genration (case study : addis ababa west distributed), thesis master of science in electrical an computer enegineering (power engineering ), university addis ababa institute of technology school of electrical and computer enegineerin ;2020
- [12] Ha, Dr. . nanthapadmnabha, sendhya rani D N, Bandhavya c , optimal allocation of combined (DG) and capacitor unites for voltage stability enhancement predeepa , smart grid technologies , august (6-8,2015 ,Procedia Technology 21 ( 2015 ) 216 – 223, doi: 10.1016/j.protcy.2015.10.091
-

# Bibliographie

---

[13] Ketafi Nadir , Contribution à la gestion des réseaux de distribution en présence de génération d'énergie dispersée thèse doctorat en électrotechnique option : réseaux électriques, Université de Batna 2014.

[14] Hamed Mostefa , Contribution à l'optimisation multi objective Dynamique du coût et l'émission de gaz considérant les contraintes pratiques et de sécurités , thèse de doctorat en électrotechnique option : réseaux électriques, Université de Biskra 2019.

[15] Fridjat Zinedine et Tamma Mohammed Elhadi, Application des algorithmes génétiques à l'optimisation de la production énergie active dans réseau électrique, mémoire de master en électrotechnique option : réseaux électriques ,Université de El-oued ;2014.

[16 ] Nesrat djebbari et Soltani elbachir , Résolution du problème de puissance active dans un réseau d'énergie utilisant les techniques métaheuristique ,mémoire de master en électrotechnique option : réseaux électriques, Université de El-oued ;2018.

[17] Mehidiid Fadila, Algorithme Génétique, mémoire de Master Mathématiques spécialité : Modélisation Contrôle et Optimisation, Université de Mostaganem 2013

[18] MERINI Kamel, Contribution à l'amélioration des méthodes évolutionnaires pour la répartition optimale des puissances : application dans un réseau d'énergie électrique avec et sans FACTS, Thèse de Doctorat en Electrotechnique Option : réseaux électriques ; Université Djilali liabes de Sidi -bel - Abbes ; 2016

[19] Nabil Mancer , Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs décompensation dynamique (FACTS), thèse de magister en : Electrotechnique Option : réseaux électriques ; université de Biskra ; 2012

[20] MAAMRI Mokhtar - Tandjaoui Mohamed NASSER , Bouzeboudja Hamid), La méthode des essaims de particules et celle du loup gris pour l'optimisation d'un système hybride d'Energie renouvelable en Algérie , Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechnique et Énergétique ,Vol **65**, 3–4pp. 205–210, Bucarest, 2020

[21] S. Mirjalili - S. M. Mirjalili - A. Lewis, Grey Wolf Optimizer, Advances in Engineering Software, vol. 69, pp. 46-61, 2014 .

[22] Mohamed Amroun , Etude de l'apport des systèmes de transmission flexible en courant alternatif (FACTS) sur la stabilité d'un réseau électrique en présence des générateurs dispersé , Mémoire de magister en électrotechnique option réseaux électrique; université (Stif 1) 2012

[23] Mme :LOUAREM Sabah , amélioration de la stabilité d'un réseau électrique connecté à un système éolien utilisant les systèmes FACTS , Thèse de doctorat en Electrotechnique Pour l'obtention du diplôme en sciences ; université FERHAT ABBAS – SETIF1 2021

[24] Mohiédine HACIL , Amélioration des Performances des Energies Eoliennes ,en électrotechnique de doctorat , Université MENTOURI – CONSTANTINE, 2012

---

# Bibliographie

---

- [25] : Baamara Abdelaziz - soufi adel , Modélisation et contrôle d'un system photovoltaïque utilisant la technique d'espace d'état ,mémoire de master en gène électrique Spécialité : électrotechnique industriel ,Université Kasdi Merbah–Ouargla.2012
- [26] Lakhneche Youcef, ,Modélisation de la cellule photovoltaïque en vue de l'identification paramétrique, mémoire de Master , Université de Biskra, 2017
- [27] Bemana Ngueouele , modélisation des injections de puissance d'un système PV sur un réseau public Yannick , Mémoire de Master en Ingénierie de l'eau et de l'environnement Option Energie et Procédés Industriels, : (2IE – International Institute for Water and Environmental Engineering ) ;2012
- [28] Sebaa Hadi ,Contribution à l'optimisation de l'insertion des énergies renouvelables dans un réseau électrique intelligent (Smart Grid), thèse de doctorat en sciences option : Réseaux électriques, université de Setif 1, 2019
- [29] International Energy agency, Technology roadmap smart grids. In International Energy Agency. (Iea), Agency 9 rue de la Fédération 75739 Paris Cedex 15, France [www.iea.org](http://www.iea.org)
- [30] Badis Lekouaghet, Elaboration de nouvelles Approches pour la communication à base des systèmes électriques intelligents, thèse de Doctorat en : Electronique option : Electronique et Analyse des Systèmes , université de Jijel
- [31] Abed-alguni and M. Barhoush, Jordanian ; distrubuted grey wolf optimizer for numerical optmization , Journal of Computers and Information Technology (JJCIT), Vol. 04, No. 03, December 2018
- [32] Amir Seyyedabbasi · Farzad Kiani, · (I-GWO and Ex-GWO: improved algorithms of the Grey Wolf Optimizer to solve global optimization problems). DOI: 10.1007/s00366-019-00837-7, January 2021
- [33] Mirjalili, S. & Lewis, A. The whale optimization algorithm. J. Adv. Eng. Softw. Vol. 59, pp 51–67, (2016)
- [34] Xiaojing Wang- Chengli Su - Ning Wang - Huiyuan Shi ,Gray wolf optimizer with bubble net predation for modeling fluidized catalytic ,<https://doi.org/10.1038/s41598-022-10496-2>
- [35] Xiaojing Wang- Chengli Su- Ning Wang - Huiyuan Shi *Entropy* , centropy Review Particle Swarm Optimisation: A Historical Review Up to the Current Developments racking unit main fractionator **2020**, 22, 362; <https://doi:10.3390/e22030362> [www.mdpi.com/journal/entropy](http://www.mdpi.com/journal/entropy)
-

# Résumé

---

## Résumé :

L'intégration des sources distribuées à base d'énergie renouvelable est devenue une stratégie vitale pour l'amélioration des performances des réseaux de distribution. Ce projet de fin d'étude a pour objectif l'application des techniques d'optimisation métaheuristiques à savoir, l'algorithme génétique (GA), l'algorithme d'essaim de particule (PSO) et l'algorithme des loups gris (GWO) pour améliorer les performances des réseaux de distribution en termes de minimisation des pertes actives totales, et réduction de la déviation totale de tension. L'efficacité des trois algorithmes ont été validés sur un réseau éclectique de test 33 jeux de barres. Les résultats obtenus confirment l'importance d'appliquer les méthodes d'optimisation à la gestion de l'intégration des sources distribuées dans les réseaux de distributions.

**Mots-clés :** sources distribuées ; d'énergie renouvelable ; les réseaux de distribution ; optimisation métaheuristique ; l'algorithme génétique ; l'algorithme d'essaim de particule ; et l'algorithme des loups gris ; perte active totale ; la déviation totale ; 33 jeux de barres.

## المخلص:

إن دمج المصادر الموزعة ذات الطاقات المتجددة تعد إستراتيجية حيوية من أجل تحسين أداء شبكات التوزيع. موضوع مشروع التخرج هو تطبيق تقنيات التحسين المتلى (الادلة العليا) مثل: الخوارزمية الجينية (GA) ، خوارزمية الاسراب الطائرة (PSO) وخوارزمية الذئب الرمادية (GWO) من أجل تحسين أداء شبكات التوزيع وذلك بالتقليل من ضياع الطاقة الفعالة الكلية وكذا انحراف التوتر الإجمالي. فعالية الخوارزميات الثلاث تم تطبيقها على شبكة التوزيع القياسية ذات 33 قضيب تجميع، النتائج المتحصل عليها تؤكد أهمية طرق التحسين المقترحة لضمان الإدماج الأمثل لمصادر الطاقة المتجددة في شبكات التوزيع الكهربائية.

**الكلمات المفتاحية:** المصادر موزعة ; طاقة متجددة ; شبكات التوزيع ; التحسين المتلى (الادلة العليا) ; الخوارزمية الجينية ; خوارزمية سرب الجسيمات ; خوارزمية الذئب الرمادية ; ضياع الطاقة الفعالة الكلية ; الانحراف التوتر الإجمالي ; 33 قضيب تجميع .