



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DES FRÈRES MENTOURI – CONSTANTINE 1

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

N° Série :90/D3C/2022

N° d'ordre :06/Elec/2022

THÈSE

*Pour l'obtention du diplôme de Doctorat troisième Cycle
LMDEn Électrotechnique*

Option: Réseaux Electriques

Présentée Par

LASMARI Adel

Master en Réseaux électriques

THÈME

**Contribution à l'Amélioration de l'Efficacité Énergétique
au Réseau de Distribution en Présence des Sources DG
Solaire et DSTATCOM par Divers Types d'Algorithmes
PSO**

Soutenue le : 22 \ 11 \ 2022

Devant le jury :

Président :	LABED Djamel	Prof.	U. F. M. Constantine 1
Directeur de thèse	CHENNI Rachid	Prof.	U. F. M. Constantine 1
Rapporteur :	KERROUR Fouad	Prof.	U. F. M. Constantine 1
Examineurs :	RAHEM Djamel	Prof.	U. L. B. M. Oum El Bouaghi
	MEGRI Abderrahim Fayçal	MCA	ENP Constantine
	BOUCHERMA Mohamed	Prof.	U. F. M. Constantine 1

Remerciements

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de m'avoir guidé vers le droit chemin, de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour l'accomplissement de ce modeste travail.

J'exprime toute ma gratitude à mon encadreur Monsieur **Rachid CHENNI** (que dieu l'accueille dans son vaste paradis) pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance dans le suivi.

Je n'oublie pas de remercier fortement mon directeur de thèse Monsieur. **Fouad KERROUR**, professeur à l'université Frères Mentouri Constantine 1, qui m'a beaucoup soutenu et aidé pour achever ce travail dans de bonnes conditions, qu'il m'a accordée dans l'encadrement des divers travaux de recherche au sein du laboratoire Modélisation des Dispositifs à Energies Renouvelables et Nanométriques « MoDERNa ».

Je remercie fortement Monsieur **Mohamed ZELLAGUI** Maître de Conférence Classe A au département Génie électrique de l'Université de Batna 2 qui m'a beaucoup soutenu et aidé pour achever ce travail dans de bonnes conditions. Je voudrais lui témoigner toute ma reconnaissance pour sa disponibilité, sa rigueur et ses conseils.

Je remercie chaleureusement Monsieur **Djamel LABED**, professeur à l'université Frères Mentouri Constantine 1 pour l'honneur qu'il m'a accordé, en acceptant de présider le jury de mon thèse.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance à Monsieur **Djamel RAHEM**, professeur à Université Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi, d'avoir accepté d'évaluer mon travail et d'être membre de ce jury.

Je remercie sincèrement monsieur **Abderrahim Fayçal MEGRI**, Maître de Conférence Classe A au département de Génie électrique, école nationale polytechnique de Constantine.

Je tiens aussi à remercier monsieur **Mohamed BOUCHERMA**, professeur à l'université Frères Mentouri Constantine 1 pour avoir accepté de faire partie de mon jury.

Enfin, je ne saurais terminer ce remerciement, sans mentionner tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à rendre cette expérience de plus riches, et à concrétiser cette thèse.

Dédicace



قال تعالى : يا أَيُّهَا النَّفْسَ الْمَطمئنَّة ارْجعي إلى ربك راضية مرضية فادخلي في عبادي و ادخلي جنتي 'صدق الله العظيم.

بكلمات قالها الشاعر إبراهيم حافظ.. قف للمعلم وفه التبجيلا كاد المعلم أن يكون رسولاً ، حقاً معلّم وأستاذي الفاضل ومربي الأجيال...الأستاذ شني رشيد..لم أجد حقاً شيء يرقى إلى مقامك ويرتفع إلى علوك .ما أصعب يوم رحيلك المفاجئ عني معلّم وأستاذي.

أهدي هذا العمل إلى روح أستاذي الغالي الاستاد الدكتور شني رشيد عليه رحمة الله ، الذي للأسف لم تكتحل عيناه بثمرة هذا المجهود، اذ وافته المنية والرسالة تشارف نهايتها. لقد كان خير سند لي في مسيرتي العلمية، حقا كان نعم الاستاذ المربي الذي لم يذخر جهدا في تقديم التوجيهات السديدة والتقويمات المفيدة. فجزاه الله عني خير الجزاء، وجعل الله ثمرة هذا البحث في ميزان حسناته.

LISTE DES FIGURES	I
LISTE DES TABLEAUX	III
PRODUCTION SCIENTIFIQUE	IV
ABREVIATIONS	V
RESUME	XI
ABSTRACT	XII
المخلص	XIII
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : ÉTAT DE L'ART	4
1.1. INTRODUCTION.....	4
1.2. REGLAGE DE LA TENSION SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES.....	5
1.3. CLASSIFICATION DES SOURCES RENEUVELABLES.....	6
1.4. CLASSIFICATION DES SYSTEMES DE TRANSMISSION FLEXIBLES AC « FACTS »	7
1.5. IMPACT DES DG ET DSTATCOM SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION	8
1.6. REVUE DE LA LITTERATURE.....	9
1.7. CONCLUSION.....	18
CHAPITRE 2 : MODELISATION ET FORMULATION DE LA PROBLEMATIQUE	19
2. 1. INTRODUCTION.....	19
2. 2. MODELISATION LIGNE DE DISTRIBUTION ELECTRIQUE.....	19
2. 3. MODELISATION DE SOURCE PV BASE SUR DG.....	20
2. 4. MODELISATION DE COMPENSATEUR DSTATCOM	21
2. 5. FONCTIONS OBJECTIFS	22
2. 6. VARIABLES	26
2. 7. CONTRAINTES (EGALITES ET INEGALITES)	26
2. 8. METHODES DE RESOLUTION DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE	28
2. 9. ÉQUATION D'ECOULEMENT DE PUISSANCE	29
2. 10. CALCUL D'ECOULEMENT DE PUISSANCE.....	30
2. 11. CALCUL D'ECOULEMENT DE PUISSANCE PAR LA METHODE DE NEWTON-RAPHSON	31
2. 12. EQUATIONS DES MODELES DE CHARGES	34
2. 13. VARIATION DE CHARGES JOURNALIERES	35
2. 14. VARIATION DE LA PUISSANCE INJECTEE AU RESEAU PAR DG	36
2. 15. SOLUTION D'ECOULEMENT DE PUISSANCE POUR LES RESEAUX ETUDIES	38
2. 16. CONCLUSION.....	42
CHAPITRE 3 : APPLICATION DES ALGORITHMES D'OPTIMISATION DE L'ESSAIM DE PARTICULES « PSO » POUR LE PROBLEME MONO- ET MULTI-OBJECTIF	43
3. 1. INTRODUCTION.....	43
3. 2. GENERALITES SUR L'OPTIMISATION	43
3. 3. CLASSIFICATIONS DES METHODES D'OPTIMISATION	45
3. 4. PRINCIPE D'ALGORITHME PSO DE BASE	46
3. 5. ALGORITHME MODIFIE DE L'OPTIMISATION PAR ESSAIMS DE PARTICULES	49
3. 6. ALGORITHMES PSO MODIFIER BASE SUR LA VARIATION DE W	49
3. 7. ALGORITHMES PSO MODIFIE BASE SUR LA VARIATION DE C_1 ETC $_2$	54
3. 8. RESULTATS DE SIMULATION ET COMPARAISON DES DIVERSES METHODES	58
3.8.1. RESULTATS DE SIMULATION ET COMPARAISON DE PSO BASE SUR LA VARIATION DE W EN FONCTION MONO OBJECTIF	58

3.8.2. RESULTATS DE SIMULATION ET COMPARAISON DE PSO BASE SUR LA VARIATION DE C_1 ET C_2 EN FONCTION MONO OBJECTIF	71
3.8.3. RESULTATS DE SIMULATION ET COMPARAISON DE PSO BASE SUR LA VARIATION DE w EN FONCTION MULTI OBJECTIFS	82
3.8.4. RESULTATS DE SIMULATION ET COMPARAISON DE PSO BASE SUR LA VARIATION DE C_1 ETC $_2$ EN FONCTION MULTI OBJECTIFS	94
3. 9. APPLICATION DE L'ALGORITHME EIW-PSO SOUS DIVERS MODELES DE CHARGE	104
3. 10. RESULTATS DE L'INCERTITUDE SOUS DIFFERENTS MODELES DE CHARGE ELECTRIQUE PAR L'APPLICATION DE L'ALGORITHME EIW-PSO	114
3. 11. CONCLUSION	121
CHAPITRE 4 : APPLICATION DES ALGORITHMES HYBRIDE FA-PSO POUR LA FONCTION MOF..	122
4. 1. INTRODUCTION.....	122
4. 2. PRINCIPE D'HYBRIDATION DES ALGORITHMES.....	122
4. 3. LES ALGORITHMES D'OPTIMISATION HYBRIDE	123
4. 4. PRINCIPE D'ALGORITHME HYBRIDE FA-PSO	123
4. 5. ALGORITHMES HYBRIDE FA-PSO.....	124
4. 6. RESULTATS DE SIMULATION	126
4. 7. RESULTATS DE SIMULATION	139
4. 8. RÉSULTATS ET DISCUSSION	151
4. 9. CONCLUSION.....	155
CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES.....	156
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	158
ANNEXES	170

Liste Des Figures

Figure 1. 1. Classification de dispositif FACTS.....	8
Figure 2. 1. Modélisation de la ligne électrique en π	19
Figure 2. 2. Modèle idéale à une diode d'une cellule PV.....	20
Figure 2. 3. Diagramme schématique de DSTATCOM.	22
Figure 2. 4. Variation journalière de la demande de charge pour différent types de charges.	36
Figure 2.5. Puissance de sortie de PV-DG.	38
Figure 2. 6. Schéma unifilaire de réseau IEEE 33-JB.....	38
Figure 2. 7. Schéma unifilaire de réseau IEEE 69-JB.....	39
Figure 2. 8. Profil de tension du RDRs dans le cas de base.	40
Figure 2. 9. P_{Loss} par branche avant l'intégration de DG et DSTATCOM.....	41
Figure 3. 1. Optimum globale d'une fonction non linéaire.....	44
Figure 3. 2. Classification des méthodes d'optimisation.	45
Figure 3. 3. Déplacement de particule.	46
Figure 3. 4. Organigramme de l'optimisation à essaim de particule.	48
Figure 3. 5. Organigramme de l'optimisation à essaim de particule avec variation de w	53
Figure 3. 6. Variation de poids d'inertie de divers PSO.....	54
Figure 3. 7. Organigramme de l'optimisation à essaim de particule avec variation de c_1 et c_2	57
Figure 3. 8. Variation des coefficients d'accélération de divers PSO.	58
Figure 3. 9. Courbe de convergence de divers algorithmes PSO.	60
Figure 3. 10. Profil de tension de divers algorithmes PSO.	66
Figure 3. 11. P_{Loss} par branche de divers PSO.	67
Figure 3. 12. Boîte à moustaches d'APLL utilisant divers PSO pour les trois RDRs.....	69
Figure 3. 13. Comparaison des P_{Loss} , Q_{Loss} , et V_{min} pour différentes études de cas.....	70
Figure 3. 14. Courbe convergence de divers algorithmes PSO.....	73
Figure 3. 15. Profil de tension de divers algorithmes PSO.	77
Figure 3. 16. P_{Loss} par branche de divers algorithmes PSO.....	78
Figure 3. 17. Comparaison des P_{Loss} , Q_{Loss} , et V_{min} pour différentes études de cas.....	79
Figure 3. 18. Boîte à moustaches d'APLL utilisant divers PSO.....	81
Figure 3. 19. Courbe de convergence de divers algorithmes PSO.	84
Figure 3. 20. Profil de tension de divers algorithmes PSO.	90
Figure 3. 21. Perte totale de puissance par branche utilisant EIW-PSO.....	91
Figure 3. 22. Boîte à moustaches de MOF utilisant divers PSO pour les deux RDRs.	92
Figure 3. 23. Comparaison de différents indices pour différentes études de cas.	93
Figure 3. 24. Courbe de convergence de divers algorithmes PSO.	96
Figure 3. 25. Profil de tension de divers algorithmes PSO.	100
Figure 3. 26. P_{Loss} par branche utilisant TVA-PSO algorithm.	101
Figure 3. 27. Boîte à moustaches de MOF utilisant divers PSO pour les RDRs.	102
Figure 3. 28. Comparaison de différents indices pour différentes études de cas	103
Figure 3. 29. Courbe de convergence de EIW-PSO considèrent différent charges.....	106
Figure 3. 30. Profil de tension d'EIW-PSO.....	110
Figure 3. 31. P_{Loss} par branche des RDRs utilisant EIW-PSO.....	113
Figure 3. 32. La variation de la deviation de tension 24 h.	116
Figure 3. 33. Variation d'ALC en 24 h.....	118
Figure 3. 34. Variation de P_{Loss} et V_{min} en 24 h.....	120

Liste Des Figures

Figure 4. 1. L'organigramme de l'algorithme hybride FA-PSO.....	126
Figure 4. 2. Courbe de convergence de FA- divers PSO.....	128
Figure 4. 3. Profil de tension de FA-EIW-PSO.	136
Figure 4. 4. P_{Loss} par branche des RDRs utilisant FA-EIW-PSO.	137
Figure 4. 5. Boîte à moustaches de MOF utilisant FA- divers algorithmes PSO pour les RDRs.....	138
Figure 4. 6. Comparaison de différents indices pour différentes études de cas.	139
Figure 4. 7. Courbe de convergence de FA- divers algorithmes PSO.....	141
Figure 4. 8. Profil de tension de divers algorithmes PSO.	147
Figure 4. 9. P_{Loss} par branche des RDRs utilisant FA- divers algorithmes PSO.....	148
Figure 4. 10. Boîte à moustaches de MOF utilisant FA- divers algorithmes PSO.....	149
Figure 4. 11. Comparaison de différents indices pour différentes études de cas.	150

Liste Des Tableaux

Tableau 1. Résumé de l'étude de la littérature	17
Tableau 2. 1. Les limites des contraintes.....	28
Tableau 2. 2. Classification des jeux de barres.....	29
Tableau 2. 3. Etapes de calcul d'écoulement de puissance par la méthode de NR.....	34
Tableau 2. 4. Types de charge et exposants pour les charges dépendantes de la tension.	35
Tableau 2. 5. Description générale des réseaux étudiés.	39
Tableau 3. 1. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.....	62
Tableau 3. 2. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.	63
Tableau 3. 3. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.....	65
Tableau 3. 4. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.....	74
Tableau 3. 5. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.	75
Tableau 3. 6. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.....	76
Tableau 3. 7. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.....	85
Tableau 3. 8. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.	86
Tableau 3. 9. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.....	88
Tableau 3. 10. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.....	97
Tableau 3. 11. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.	98
Tableau 3. 12. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.....	99
Tableau 3. 13. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.....	107
Tableau 3. 14. Impact de l'intégration de DG en considérant l'incertitude pour différents modèles de charge.	114
Tableau 4. 1. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.....	130
Tableau 4. 2. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.	132
Tableau 4. 3. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.....	134
Tableau 4. 4. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.....	143
Tableau 4. 5. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.	144
Tableau 4. 6. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.....	145
Tableau 4. 7. Résultat de comparaison de FA-EIW-PSO avec d'autres algorithmes pour le réseau IEEE 33- JB.....	151
Tableau 4. 8. Résultat de comparaison de FA-EIW-PSO avec d'autres algorithmes pour le réseau IEEE 69- JB.....	153

Production scientifique

Publications Internationales

A. Lasmari, M. Zellagui, R. Chenni, S. Semaoui, C. Z. El-Bayeh, and H. A. Hassan, “*Optimal Energy Management System for Distribution Systems Using Simultaneous Integration of PV-Based DG and DSTATCOM Units*”, Energetika, Vol. 66, No. 1, pp. 1-14, July 2020. Doi: <https://doi.org/10.6001/energetika.v66i1.4294>

Publications nationales

A. Lasmari, M. Zellagui, and R. Chenni. “*Enhancing Energy Efficiency for Optimal Multiple Photovoltaic DG and DSTATCOM Integration for Techno-Economic and Environmental Analysis: A Case Study of Adrar City Distribution System*”, Algerian Journal of Engineering and Technology. Vol. 6, pp. 1-8. Jan. 2022.

Communications internationales

A. Lasmari, M. Zellagui, H. A. Hassan, S. Settoul, A. Y. Abdelaziz, and R. Chenni, “*Optimal Energy-Efficient Integration of Photovoltaic DG in Radial Distribution Systems for Various Load Models*”, 11th International Renewable Energy Congress (IREC), Hammamet, Tunisia, 29-31 October 2020. <https://doi.org/10.1109/IREC48820.2020.9310429>

A. Lasmari, S. Settoul, M. Zellagui, and R. Chenni, “*Optimal Hourly Scheduling of PV Sources in EDS Considering the Power Variability of Load Demand and DG Using MOGWO Algorithm*”, 6th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), Istanbul, Turkey, 5-7 October 2020. Doi: <https://doi.org/10.1109/EPECS48981.2020.9304970>

A. Lasmari, M. Zellagui, A. R. Gupta, R. A. El-Sehiemy, and R. Chenni, “*Multi-Objective Salp Swarm Algorithm for Performance Enhancement of Electrical Distribution System Including DG and DSTATCOM Simultaneously*”, 4th International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems (IC-AIRES), Tipasa - Algeria, 22-24 December 2020.

A. Lasmari, M. Zellagui, C. Z. El-Bayeh, and R. Chenni, “*Multi-Objective Adaptive Acceleration Coefficients PSO Algorithm for Optimal Simultaneous Integration of Multiple Photovoltaic DG and DSTATCOM in Microgrid System*”, 8th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Online, Morocco, 25-28 November 2020.

Abréviations

RST	Réglage secondaire de tension
FACTS	Flexible AC Transmission System
UPFC	Contrôleur universel de flux de puissance
SVC	Compensateur statique de puissance réactive
TCBR	Résistance de Freinage Contrôlée par Thyristor
DSTATCOM	Compensateur statique synchrone
TCSC	Compensateur série contrôlée par thyristor
TSSC	Compensateur Série Commuté par thyristor
TCSR	Réacteur série contrôlé par thyristors
TSSR	Réactance Série Commuté par Thyristor
SSSC	Compensateur série statique synchrone
DPFC	Contrôleur dynamique de flux de puissance
I	Courant fourni par la cellule [A]
V	Tension à la borne de la cellule [V]
I_d	Courant de la diode
I_{ph}	Le photo-courant, proportionnel à l'irradiance
I_0	Le courant de saturation de diode
R_s	Résistance série [ohm]
R_{sh}	Résistance shunt (ou parallèle) [ohm]
V_t	Tension thermique de la diode
T	Température [K]
N	Facteur d'idéalité de diode
K_b	Constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)
q	La charge de l'électron ($1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)
ER	Energies Renouvelables
RE	Réseaux électriques
PV	Photovoltaïques
SPV	System Photovoltaïques
GED	Génération Distribuée
RDR	Réseaux de Distribution Radial
MOALO	Multi-objectifs de Fourmi-Lion (Multi-objective ant lion optimizer)

Abréviations

NSGA-II	"Algorithme Génétique de Tri Non Dominé II (Nondominated Sorting Genetic Algorithm II)
MOPSO	Multi-objectifs optimisation par Essaim de Particules
MFO	l'algorithme d'optimisation papillon de nuit
ALGA	Algorithme génétique lagrangien augmenté
TLBO	Optimisation basée sur l'enseignement-apprentissage
QOTLBO	enseignement quasi-oppositionnel optimisation basée sur l'apprentissage
HTLBO	algorithme d'optimisation hybride basé sur l'enseignement et l'apprentissage
ABC	Algorithme de colonie d'abeilles artificielles
CSA	algorithme de recherche de coucou
GA	algorithme génétique
MINLP	méthode de programmation non linéaire en nombres entiers mixtes
SOS	algorithme de recherche d'organismes symbiotiques
QOCSO	algorithme Quasi Opposition Chaotique Organismes Symbiotiques Recherche
CLS	Recherche locale chaotique
HHO	Optimisation de Harris Hawk
PPSO	Optimisation de l'essaim de particules de phaseur
EAE0	optimisation améliorée basée sur l'écosystème artificiel
RTO	Algorithme d'optimisation de l'arborescence enracinée
KHA	Algorithme du troupeau de krill
SFSA	Algorithme de recherche fractale stochastique
PBIL	Algorithme d'Apprentissage progressif basé sur la population
HSA	Algorithme de recherche d'harmonie
IA	Algorithme immunitaire
SCA	Algorithme Sine Cosinus
MSCA	Algorithme Sine Cosinus modifié
MGWOA	Algorithme d'optimisation du loup gris modifié
EGWO	Algorithme d'optimisation du loup gris amélioré
GWO	Algorithme d'optimisation du loup gris
GAM	système de modélisation algébrique générale
GSA	Algorithme de recherche gravitationnelle
DA	algorithme de libellule
MACO	optimisation multi-objectifs des colonies de fourmis

Abréviations

BFOA	Algorithme d'optimisation de la recherche de nourriture bactérienne
DE	différentiels évolution
RCGA	algorithme génétique à code réel
APSO	Adaptatif PSO
LSA	algorithme de recherche d'éclairs
BCO	Algorithme d'optimisation des colonies d'abeilles
WCA	Algorithme du cycle de l'eau
MSFLA	algorithme de saut de grenouille mélangé modifié
ICS	algorithme de recherche de corbeau amélioré
MVO	Optimiseur multi-vers
AFSOA	Optimisation des essaims de poissons artificiels
SMOA	algorithme d'optimisation de la méthode du simplexe
ICA	algorithme compétitif impérialiste
SMA	Algorithme de moisissure visqueuse
MFO	Moth-Flam Optimisation
VSI	Indice de Stabilité de Tension
PSO	Optimisation de l'essaim de particules
THD	Distorsion Harmonique Totale
MOSSA	Multi-Objectif d'Essaim de Salpes
SMA	Algorithme de moisissure visqueuse
MRFO	Algorithme d'optimisation de la recherche de nourriture des raies manta
SOSA	Algorithme de recherche des organismes symbiotiques
MOF	Fonction Multi-Objectif
HTA	Haute Tension de Classe A
RD	Réseau de Distribution
MT	Moyenne Tension
HTB	Haute Tension de Classe B
RT	Réseau de Transport
RR	Réseau de répartition
IC	L'indice de la capacité de la puissance apparente
TOC	Le coût opérationnel
PI	Indice de pollution
$E_{Coût}$	Economie d'énergie

Abréviations

S_{ij}	Puissance apparente en branche
S_{max}	Puissance apparente maximale
P_i	Puissance active
Q_i	Puissance réactive
V_i	Module de tension
θ_i	Angle de phase
P_{Loss}	Pertes de puissance active
E_{Loss}	Pertes d'énergie
Q_{Loss}	Pertes de puissance réactive
P_{ij}	Puissances active de la ligne
Q_{ij}	Puissances et réactive de la ligne
R_{ij}	Resistance de la ligne
X_{ij}	Reactance de la ligne
V_i, V_j	Tension aux jeux de barres i et j respectivement
Z_{ij}	Impédance de la ligne de distribution
N_{bus}	Nombre de jeux de barres
P_G	Puissance active totale du générateur
Q_G	Puissance réactive totale du générateur
GED	Génération Distribuée
P_{GED}	Puissance totale générée par GED
P_D	Puissance active totale demande
Q_D	Puissance réactive totale demande
V_{min}	Limite minimal de tension
V_{max}	Limite maximal de tension
ΔV_{max}	Chutes de tension maximales
P_{GED}^{min}	Limite minimal de puissance active de GED
P_{GED}^{max}	Limite maximal de puissance active de GED
$GED_{Position}$	Position des unités GED
$N_{GED,max}$	Nombre maximum d'unités GED
$N_{GED,}$	Emplacement des unités GED au bus I
P	Population d'individus
X_i	Position de la particule
V_i	Vitesse de la particule

Abréviations

P_{best}	Meilleurs emplacements trouvés par particule
G_{best}	Meilleurs emplacements trouvés par toutes les particules
c_1	Valeurs du facteur d'accélération cognitive
c_2	Valeurs du facteur d'accélération sociale
w	Valeur du poids d'inertie, et égale à 1
r_1, r_2	Valeurs aléatoires, variées dans l'intervalle de [0, 1]
JB	Jeux de Barres
IEEE	Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens
p.u	unité réduite (per unit)

Résumé

La demande d'électricité a récemment augmenté en raison de l'urbanisation et de la révolution industrielle. Au début, la demande d'électricité était principalement satisfaite par la production d'électricité à base de combustibles fossiles, qui constitue aujourd'hui une grande menace pour l'environnement. De plus, dans le scénario actuel, les services publics du système électrique fonctionnent plus près de la marge de stabilité en raison de l'énorme croissance de la charge et du flux d'énergie indésirable et cela dépend du pays, de la politique d'efficacité énergétique. Afin de résoudre ce problème, la production d'énergie basée sur la production décentralisée telle que ; les énergies renouvelables, les compensateurs statiques de distribution (DSTATCOM) dans les réseaux de distributions, est devenue un grand intérêt et d'une grande importance en raison de leurs impacts technico-économiques, et environnementales. Cependant l'intégration non appropriée de cette production peut entraîner de nombreux problèmes, et violations des limites opérationnelles, telles que les sursensions et sous-tensions, et l'augmentation des pertes de puissance active. À cet égard, cette thèse présente une procédure d'intégration optimale de la génération distribuée (DG) basée sur les panneaux photovoltaïques (PV) et DSTATCOM dans un réseau de distribution radiale. La procédure proposée est formulée en tant que fonction mono-, et multi-objectif, à l'aide des algorithmes de PSO et de luciole, afin d'améliorer le profil de tension et réduire les pertes de puissance active dans les réseaux de distribution standard IEEE 33-JB et IEE 69-JB. Les résultats obtenus confirment l'efficacité des algorithmes proposés pour résoudre le problème de l'intégration optimale de DG et DSTATCOM.

Mots clés : Intégration optimale, Générateurs distribués, Algorithme d'essaim de particule, Fonctions multi-objectifs, DSTATCOM, Réseau de distribution.

Abstract

The demand for electricity has recently increased due to urbanization and the industrial revolution. In the beginning, electricity demand was mainly fulfilled by fossil fuel-based electricity generation, which today poses a great threat to the environment. Moreover, in the current scenario, the utilities of the power system are operating closer to the stability margin due to the huge load growth and unwanted power flow and it depends on the country, utility policy. energy efficiency, in order to solve this problem, energy production based on decentralized generation such as renewable energies, the static distribution compensators (DSTATCOM) in distribution networks has become of great interest and great importance because of their technical, economic and environmental impacts. This during the non-optimal integration of this production can lead to many problems and violations of operational limits, such as over voltages and under voltages, and increased active power losses. In this regard, this thesis presents an optimal integration procedure of distributed generation (DG) based on photovoltaic (PV) panels and DSTATCOM in a radial distribution network. The proposed procedure was formulated as a single-, and a multi-objective function, by using PSO, and firefly algorithms. The algorithms proposed in this thesis are used to determine the optimal size and location of DG and DSTATCOM, in order to improve the voltage profile and reduce active power losses in IEEE 33-JB and 69-standard distribution networks. JB. The results obtained confirm the effectiveness of the proposed algorithms to solve the problem of the optimal integration of DG and DSTATCOM.

Key words: Optimal integration, Distributed generators, Particle Swarm optimization, Multi-objective functions, DSTATCOM, Distribution network.

المخلص

مؤخرا زاد الطلب على الكهرباء بسبب التحضر و الثورة الصناعية. في البداية، تمت تلبية الطلب على الكهرباء بشكل أساسي من خلال توليد الكهرباء من الوقود الأحفوري ، والذي يشكل اليوم تهديدا كبيرا للبيئة. علاوة على ذلك ، في السيناريو الحالي ، تعمل مرافق نظام الطاقة بالقرب من هامش الاستقرار بسبب النمو الهائل للحمل وتدفق الطاقة الغير مرغوب فيه و هو ما يؤثر على موثوقية وكفاءة الشبكة. مما استدعى البحث عن حلول جذرية لحل هذه المشكلة. أصبح إنتاج الطاقة على أساس التوليد اللامركزي مثل : الطاقات المتجددة ، ومعوضات التوزيع الثابتة ودمجها في شبكة التوزيع ذات أهمية كبيرة نظرا لمزاياها التقنية، البيئة، و الاقتصادية. في الواقع يؤدي الدمج الغير الامثل لهذه الطاقة الى العديد من المشاكل خاصة التقنية منها كزيادة فقدان الطاقة و انتهاك حدود التشغيل مثل الزيادة المفرطة للجهد. في هذا الصدد، تتمثل المساهمة الرئيسية لهذا العمل في تحسين أداء الشبكات الكهربائية عن طريق دمج موزعات التوليد الكهروضوئية و معوضات التوزيع الثابتة، عن طريق تحسين وظائف احادية ومتعددة الاهداف تتمثل في تحسين المؤشرات التقنية الاقتصادية والبيئية. من أجل هذا الغرض اعتمدنا على خوارزميات سرب الجسيمات للحصول على الاماكن والحجم الامثل لموزعات التوليد الكهروضوئية و معوضات التوزيع الثابتة من اجل تعظيم المؤشرات التقنية الاقتصادية والبيئية.

في هذا الصدد قمنا بتطبيق الخوارزميات المقترحة على الشبكات الكهربائية IEEE 69-JB و IEEE 33, -JB حيث اثبت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية وكفاءة الطرق المقترحة لحل مشكلة الدمج الامثل لموزعات التوليد الكهروضوئية و معوضات التوزيع الثابتة.

كلمات مفتاحية: الدمج الامثل، مولدات التوزيع، سرب الجسيمات، معوضات التوزيع الثابتة، شبكة التوزيع، وظائف متعددة الأغراض.

Introduction Générale

En parallèle avec le formidable développement, l'évolution économique mondiale et en raison de l'augmentation continue de la multiplicité de la population, la demande d'électricité est devenue très élevée. Car il est très difficile de parvenir à un équilibre entre la demande et la production énergétique, puisque la plupart des installations anciennes des systèmes énergétiques centraux fonctionnent sur les marges de stabilité en raison de la croissance énorme des charges.

À cet égard, les nouvelles technologies qui dépendent principalement des combustibles fossiles dans la production d'électricité sont considérées comme les solutions les plus importantes pour atteindre un équilibre entre la demande et la production énergétique, mais en même temps, ils nécessitent des investissements et des coûts importants en plus des mauvais effets environnementaux lors de leur utilisation.

En plus, le système central d'énergie est plus complexe car il se compose de grandes centrales de production d'électricité, de longues lignes de transmission interconnectées et d'un réseau de distribution. Ce dernier point est le plus important du processus de raccordement des clients à l'électricité.

Le réseau de distribution est régie par différentes conditions techniques, notamment, la différence de potentiel qui ne doit pas dépasser 10 % dans les grands réseaux et 5 % dans les petits réseaux, et ce afin d'assurer la continuité de la production et maintenir l'efficacité du système afin de satisfaire les clients [1].

En effet, les inquiétudes suscitées par l'augmentation massive de la demande d'électricité et les impacts environnementaux et sociaux résultant de l'utilisation excessive des combustibles fossiles ont conduit à des changements d'attitude des gouvernements et de la société, ce qui a accéléré la recherche de solutions durables pour générer l'énergie à partir de sources nouvelles et renouvelables.

Ainsi, en raison des restrictions mentionnées précédemment, la tendance vers les générateurs distribués (DG) et DSTATCOM a augmenté en tant que solutions très importantes pour l'augmentation continue de la demande d'électricité en raison de leurs avantages techniques, économiques et environnementaux représentés par l'amélioration de la tension et de la fiabilité du réseau, en plus de réduire les pertes d'énergie et de réduire les émissions de gaz.

Dans ce contexte l'intégration de DG et DSTATCOM avec des tailles et emplacements non appropriés peut provoquer des effets inverses sur le système en tenant compte de la rentabilité, comme l'augmentation des pertes et des coûts des systèmes.

En tenant compte de toutes ces considérations, la sélection de l'emplacement le plus approprié pour l'installation combinée à la taille optimale d'une unité DG et DSTATCOM est de la plus haute priorité dans un réseau de distribution.

Donc le moyen le plus puissant et le plus fondamental pour résoudre les problèmes d'exploitation et de planification du système électrique est l'analyse des flux de charge. L'analyse du flux de charge reconnaît l'état de fonctionnement cohérent avec les tensions de nœud et le flux d'alimentation de branche dans le système. En optimisation, de nombreuses techniques et fonction objectif sont utilisées dans le système électrique pour traiter le problème.

Ce travail de recherche vise à utiliser divers algorithmes d'essaims de particules (PSO) basés sur la variations du poids d'inertie, et les coefficients d'accélération pour trouver la taille et l'emplacement optimale de DG et DSTATCOM dans le réseau de distribution afin de maximiser: l'indice de pertes de puissance active, ainsi que la fonction multi-objectif basée sur les indices technico-économiques et environnementale tel que : l'indice de perte de puissance active (APLL), l'indice de déviation de tension (VDL), l'indice d'économie nette (NSL), le l'indice de court-circuit (SCL), et l'indice de réduction de la pollution environnementale (EPRL).

Dans cette thèse nous avons résumés l'essentiel de nos travaux de recherche, qui nous avons répartie en quatre chapitres :

Le chapitre 1 expose l'état de l'art sur le problème de l'intégration optimale des sources renouvelables dans les réseaux de distribution électriques tel que.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté une modélisation des systèmes photovoltaïques, le DSTATCOM, ainsi que, les différentes compositions du réseau électrique et ses caractéristiques techniques, aussi, la résolution d'écoulement de puissance par la méthode de Newton Raphson et d'exposer la fonction multi-objectifs développée pour ce travail.

Le troisième chapitre présente les différents algorithmes appliques pour faire l'optimisation du problème de l'intégration optimale des sources d'énergies renouvelables dans le réseau de distribution, ainsi que, les résultats de simulation obtenus et la comparaison pour les deux réseaux de distribution standards IEEE.

Le quatrième chapitre expose le principe d'hybridation des algorithmes méta-heuristiques, et surtout l'hybridation de l'algorithme d'essaim de particule et l'algorithme de luciole, présente les différents algorithmes appliqués, aussi nous avons présenté les résultats de simulation obtenus et la comparaison des travaux effectués lors de l'application et l'intégration simultanément des différents types de sources dans les deux réseaux de distribution standards IEEE.

Nous terminons par une conclusion et des perspectives.

.

Chapitre 1 : État de l'art

1.1. Introduction

Le réseau de distribution électrique est le dernier et le plus important point dans le processus de raccordement des clients à l'électricité, cependant, il souffre de plusieurs problèmes, notamment techniques, qui sont la perte de puissance à cause de la grande distance entre le point de production et la consommation. En général, il existe de nombreuses conditions pour assurer la qualité de l'énergie fournie au consommateur, l'une de ces conditions est la régulation de tension qui est estimée à 5 % [1] et à cause de la croissance démographique et économique et de l'augmentation concomitante de la demande d'électricité, nombreux pays, en particulier les pays en développement, ces derniers souffrent d'un manque d'énergie et de ne pas la fournir à toute la population, en particulier ceux qui vivent dans des zones reculées et rurales, en plus des interruptions fréquentes pour les restes des clients en raison de la faiblesse du réseau ou l'incapacité d'atteindre un équilibre entre la demande et la production surtout en raison de pertes de puissance par conséquent, la réalisation de cette condition nécessite l'établissement de nouveaux centres de production d'énergie ou la recherche d'autres sources afin d'atteindre ces conditions pour assurer la continuité, l'efficacité et la qualité de service.

Récemment, de nombreuses sources de production d'énergie électrique sont apparues, qui peuvent être implantées à proximité du consommateur. En effet, il existe de nombreuses manières de contribuer à réduire les pertes de puissance, notamment la puissance réactive, comme les moteurs synchrones, les batteries de condensateur... etc. et plus récemment, l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux de distribution.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents réglages de la tension, la classification des sources d'énergies renouvelables et les systèmes « FACTS », en plus, une modélisation de la ligne de distribution électrique, source PV basée sur DG, et le compensateur « DSTATCOM », ainsi qu'un état de l'art sur l'intégration optimale de DG uniquement, « DSTATCOM » uniquement, et « DG » avec « DSTATCOM » simultanément, et enfin une conclusion.

1.2. Réglage de la tension sur les réseaux électriques

Le réglage de la tension sur les réseaux de transport se compose de trois niveaux, qui sont : le réglage primaire, le réglage secondaire, et le réglage tertiaire, où ces réglages nécessitent une coordination temporelle et spatiale des actions de contrôle pour assurer un contrôle rapide et performant[1].

1.2.1. Le réglage primaire

Le réglage primaire est le premier à intervenir à la suite d'une perturbation. Il agit au niveau local avec un temps de réaction de quelques centaines de millisecondes. Ce réglage est assuré par les groupes de production équipés d'un régulateur de tension primaire, où ce régulateur contribue les alternateurs maintiennent la tension à une valeur de consigne sur leur point de raccordement. Le principe est d'agir sur l'excitation d'alternateur pour garder le niveau de tension désiré. En effet, si l'alternateur est surexcité celui-ci va produire de la puissance réactive ce qui aura pour effet d'accroître la tension à son point de connexion.

1.2.2. Le réglage secondaire

Le réglage secondaire de tension est un réglage national, l'objectif de ce réglage est de limiter les transits de puissance réactive sur les lignes d'interconnexion entre chaque zone, et de maintenir la tension aux nœuds pilotes de chaque zone à sa valeur de consigne. Ce réglage est automatisé et centralisé par régions dites « zones de réglage », et ainsi, il régule la tension d'un point particulier de chaque zone, appelé « nœud pilote ». Qui est choisi de façon à ce que sa tension soit représentative de celle de l'ensemble de la zone.

1.2.3. Réglage tertiaire de tension

Le réglage tertiaire est primordial pour assurer la coordination des actions entre deux zones régies par des « RST » différentes. Ce réglage est effectué manuellement, il sert pour assurer le maintien et/ou le rétablissement du plan de tension à travers l'ensemble des opérations ordonnées par le dispatching.

1.3. Classification des sources renouvelables

L'augmentation considérable de la demande d'énergie électrique mondiale et les sévères restrictions environnementales, il a fait la tendance vers les énergies renouvelables comme une source principale de production d'électricité dans le présent et dans le futur en raison de ce qu'elle a connu du grand développement, en particulier dans les termes de rentabilité et la diminution continue de son coût, comparons aux sources conventionnelles. Les différentes sources d'origine renouvelables sont[1], [2]:

1.3.1. Énergie Hydraulique

L'hydroélectricité joue un rôle essentiel dans la production d'électricité dans de nombreux pays, car il est la plus grande source d'énergie renouvelable. Une enquête réalisée en 1997 par l'International Journal of Renewable Energies a révélé que l'hydroélectricité fournit environ 50 % de la production d'électricité dans 65 pays et environ 90 % dans 23 pays [3].

1.3.2. L'énergie géothermique

Après le développement considérable de la technologie, il est devenu tout à fait possible de localiser des réservoirs géothermiques et les exploiter avec un faible coût économique. En fait, cette énergie est considérée comme énorme car elle est pratiquement inépuisable. L'utilisation directe de cette énergie a augmenté rapidement au cours des cinquante dernières années, avec un taux d'augmentation estimé à environ 9 % par an. En pratique, ces réservoirs sont utilisés pour chauffer l'espace, élever des organismes aquatiques, ainsi que pour leur conversion en électricité [4].

1.3.3. Énergie biomasse

Le terme biomasse s'appelle à toute matière organique provenant de plantes et d'arbres, où l'énergie du soleil est collectée par le processus de photosynthèse, où cette énergie est convertie en formes d'énergies utiles telles que les combustibles liquides et l'électricité. Dans la plupart de temps, la biomasse provient directement soit du sol ou des déchets générés lors du traitement des cultures vivrières [5].

1.3.4. Énergie éolienne

Depuis l'antiquité, le vent était considéré comme la source d'énergie la plus importante, car il était utilisé pour transporter des marchandises et moulin des céréales en plus de pomper de l'eau. Au début du XXe siècle, cette énergie était utilisée pour produire de l'électricité jusqu'à ce qu'elle

diminue avec l'utilisation généralisée de pétrole et de charbon dans les années soixante-dix du passé et avec l'émergence de la crise pétrolière en plus des efforts des pays visant à préserver l'environnement, regain d'intérêt pour la technologie éolienne comme bonne source d'énergie propre [6].

1.3.5. Technologies solaires photovoltaïques

La technologie solaire photovoltaïque repose sur des dispositifs semi-conducteurs solides sans pièces mobiles qui convertissent la lumière du soleil en courant électrique direct. [7].

1.4. Classification des systèmes de transmission flexibles AC « FACTS »

Les dispositifs FACTS s'appuient sur deux approches techniques différentes, qui ont toutes deux la capacité de résoudre le problème de répartition des charges. Le premier groupe adopte principalement [3]. Le premier groupe utilise des impédances réactives ou des commutateurs à thyristors de transformateur de charge en tant qu'éléments contrôlés[4], le second groupe utilise des convertisseurs statiques auto-commutés comme sources de tension contrôlées[4]–[6].

La première génération est basée sur les thyristors classiques. Ceux-ci sont généralement utilisés pour enclencher ou déclencher les composants afin de fournir ou d'absorber de la puissance réactive dans les transformateurs de réglage.

La deuxième génération, dite avancée, est née avec l'avènement des semi-conducteurs de puissance commandés à la fermeture et à l'ouverture, comme le thyristor GTO. Ces éléments sont assemblés pour former les convertisseurs de tension ou de courant afin d'injecter des tensions contrôlables dans le réseau.

Une troisième génération de FACTS utilisant des composants hybrides et qui est adaptée à chaque cas. Contrairement aux deux premières générations, celle-ci n'utilise pas de dispositifs auxiliaires encombrants tels que des transformateurs pour le couplage avec le réseau.

Les systèmes FACTS ont trois possibilités pour le raccordement au système électrique, à savoir :

Dispositif série : ces appareils sont appelés TCSC et SSSC, les avantages de cette connexion est de réduire la résistance de la ligne de transmission [5]–[7].

Dispositifs shunts : SVC et STATCOM sont parmi les équipements les plus courants dans cette connexion, de plus ces équipements sont constitués essentiellement d'une inductance en série avec un gradateur. Parmi les avantages de ce raccordement la régulation de la tension des nœuds, la compensation de la puissance réactive et l'amélioration de la stabilité statique et transitoire[5]–[9].

Dispositifs série-shunt (hybrides) : ce système a été développé, composé à la fois de dispositifs série et shunt, afin de contrôler le flux d'énergie active et réactive la tension et l'angle de transport de l'énergie comprennent DPFC et UPFC en plus de la capacité de ces dispositifs à équilibrer les flux de puissance dans les systèmes d'alimentation[5].

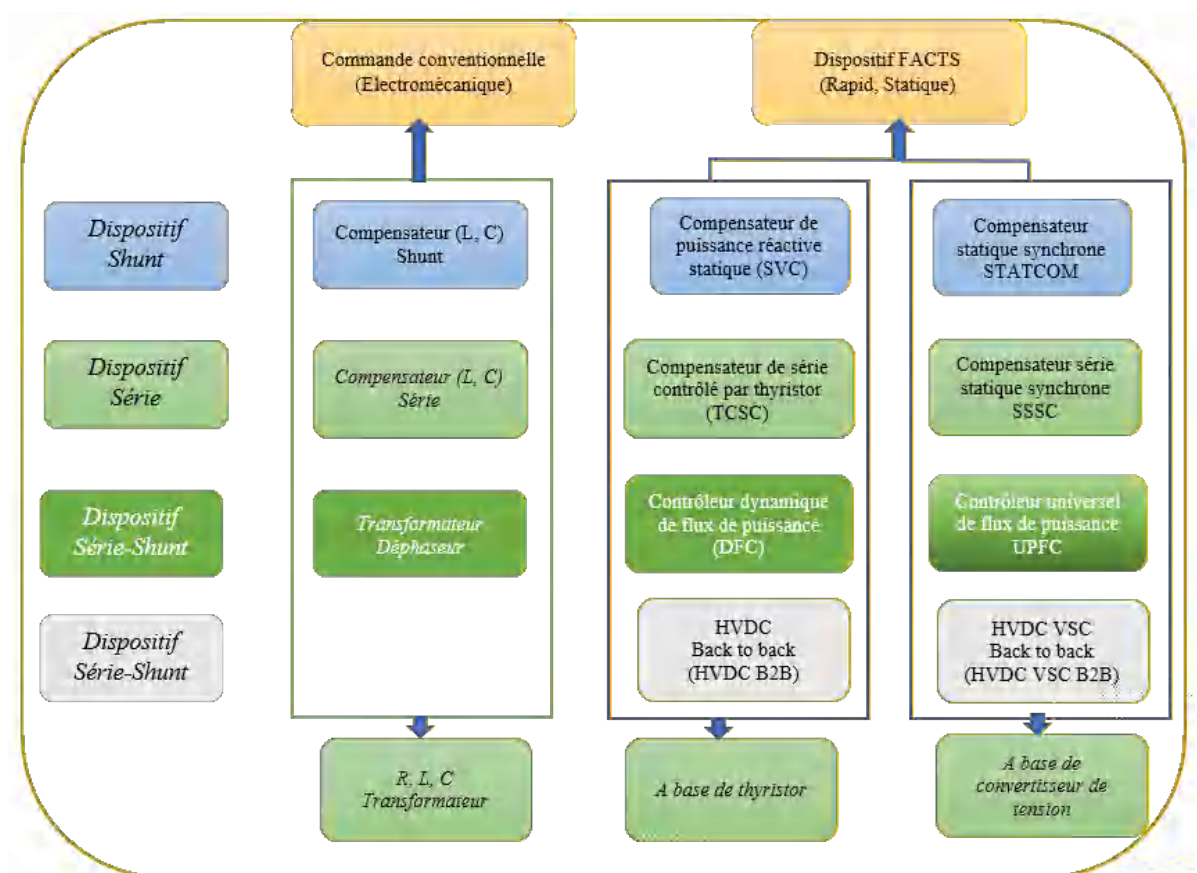


Figure 1. 1. Classification de dispositif FACTS.

1.5. Impact des DG et DSTATCOM sur le réseau de distribution

L'insertion optimale des nouvelles sources d'énergie d'origine renouvelable telle que DG et DSTATCOM aux réseaux de distribution peuvent fournir d'énormément avantages technico-

économiques et environnementaux. Les avantages techniques sont : une enfermement minimisation des valeurs des pertes d'énergie, l'amélioration du profil de tension des systèmes d'alimentation, réduction ou l'élimination de la surcharge de la ligne électrique, augmentation de la stabilité dynamique et transitoire du système d'alimentation, et l'amélioration de la fiabilité de système. En outre, les avantages économiques sont fortement liés à la minimisation de coût d'installation et de maintenance aussi de coût opérationnel. Enfin les avantages environnementaux, qui sont généralement consisté de la minimisation de taux d'émissions des gaz.

1.6. Revue de la littérature

L'intégration optimale de DG dans les réseaux de distribution offre des avantages économiques et opérationnels significatifs, tels que le report des investissements pour la construction de nouvelles lignes, la réduction des achats d'énergies sur le réseau, la réduction de la perte de puissance, l'amélioration de la tension du bus, la réduction de la charge de pointe et l'amélioration. Dans la stabilité et la fiabilité du système [10], [11]. Le problème du placement des DG est, en principe, un problème d'optimisation non-linéaire complexe. La littérature dans ce domaine peut être divisée en plusieurs catégories telles que les fonctions objectifs, les contraintes et les algorithmes de solution considérés [12].

Dans la littérature, il existe de nombreuses technique et fonctions objectifs pour déterminer les emplacements et les tailles optimaux des unités DG. Y. Li, et al sont utilisés le facteur de sensibilité des pertes pour déterminer l'emplacement favorable de DG tandis que, la taille optimale de DG s'obtenue par l'algorithme MOALO, de plus l'objectif est d'améliorer la stabilité de tension et réduire les pertes de ligne, à la fine les auteurs sont conclue que l'algorithme proposé est plus efficace comparons avec d'autres algorithmes [13].

.S. N. G. Naik, et al [14] ont utilisé la méthode analytique pour minimiser la fonction multi-objectif basée sur la minimisation des pertes de puissance active et réactive, de plus cette fonction objectif a été étudié pour trois différent poids attribue pour chacun de pertes de puissance active et réactive où le premier cas est de minimiser uniquement les pertes de puissance active, le deuxième cas est de minimiser uniquement les pertes de puissance réactive, par contre le troisième cas est de minimiser à la fois les pertes de puissance active et réactive avec un poids de 0.5 pour chacun, en plus, plusieurs cas sont étudié qui sont l'installation d'un et trois unité de DGs avec différent facteur de puissance [14].

I. A. Quadri, et al ont appliqué l'algorithme Hybrid Teaching–Learning-based Optimization (HTLBO) pour l'intégration optimal de multiples unités de DG, l'objectif est de minimiser les pertes de puissance active, la déviation de tension et la maximisation de VSI, aussi les auteurs fait une étude comparative entre les trois algorithmes d'optimisations qui sont TLBO, QOTLBO, et HTLBO, à fin de conclure que l'algorithme HTLBO est plus efficace en termes de convergence rapide l'obtention des meilleurs résultats [15].

L'algorithme ALO est proposé par R. Palanisamy et al [16] pour minimiser les pertes de puissance active, dans cette étude, l'emplacement du DG est choisi par le facteur de sensibilité aux pertes (LSF) et le facteur de sensibilité à la tension (VSF), le processus consiste à déterminer les emplacements possibles du DG par les deux facteurs. En plus, l'étude comparative des résultats obtenus par ALO prouve la supériorité de cet algorithme pour résoudre le problème de l'intégration optimal de multiples DGs [16].

La méthode Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP) est présentée par S. Kaur, et al [17] pour trouver le meilleur emplacement de plusieurs unités DG dans le réseau de distribution afin de minimiser les pertes de puissance active, note que les auteurs ont étudié deux types de DG, où le premier fourni uniquement la puissance active par contre le deuxième fourni la puissance active et réactive simultanément. Le processus de trouver l'emplacement et la taille optimale de DG son schéma en deux étapes, la première étape est base sur la sensibilité combinée aux pertes (CLS) dans cette étape ont présélectionné les jeux de barres candidats potentiels, ensuite ces jeux de barres ce transmis au modèle de planification de la capacité (CPM). Dans CPM, les emplacements optimaux et les tailles de DG sont calculés à l'aide de la formule basée sur MINLP.

K. H. Truong, et al [18] proposent une version améliorée de l'algorithme Symbiotic Organisms Search (SOS) appelée Quasi Oppositional Chaotic Symbiotic Organisms Search (QOCSO) généralement cet algorithme est basé sur deux algorithmes qui sont QOBL, et Chaotic Local Search (CLS). Cet algorithme est appliqué pour trouver l'emplacement et la taille optimale de DG avec un facteur de puissance unitaire et non unitaire, afin de minimiser les pertes de puissance active, aussi bien que la maximisation de profil de tension, et la stabilité de la tension [18].

E. A. Al-Ammar, et al [19] ont proposé l'algorithme ABC pour résoudre le problème de l'allocation optimal de plusieurs DG. De plus, deux objectifs de fonction sont considérés, où, la première fonction objectif est basée sur la minimisation des pertes de puissance active et chute de tension, tandis que la deuxième fonction objectif inclut la minimisation des pertes de puissance active, la chute de tension et le coût énergétique total. L'étude comparative menée entre les

algorithmes ABC et GA prouvent la supériorité de l'algorithme ABC comparons avec GA pour résoudre le problème de l'allocation optimal [19].

L'algorithme KHA (Krill Herd Algorithm) est proposé par S. Sultana, et al [20] pour minimiser les pertes de puissance active, l'indice de stabilité de tension et la perte d'énergie, en plus, les auteurs donnent une description détaillée de l'algorithme les résultats obtenus montrent la supériorité de la méthode proposée par rapport aux autres techniques en termes de qualité de solution. De plus, trois types de DG sont considérés qui sont le générateur diesel, l'éolien, le photovoltaïque.

L. F. Grisales-Noreña, et al ont appliqué l'algorithme Population-Based Incremental Learning PBIL pour obtenir l'emplacement optimal de DG, tandis que l'algorithme PSO pour définir la taille de DG. L'objectif est de réduire les pertes de puissance active et l'amélioration des profils de tension nodale. De plus, trois études de cas sont considérées, qui sont l'intégration d'une seule, deux et trois DG, en plus l'efficacité de l'algorithme est validée par la comparaison avec d'autres algorithmes [21].

S. Kawambwa, et al [22] proposent un nouvel algorithme appelé Cloud based Model Symbiotic Organism Search (CMSOS) pour l'intégration optimale de DG, l'objectif est de minimiser les pertes de puissance active, amélioration du profil de tension et l'indice de stabilité de tension, aussi les auteurs ont fait une étude comparative entre l'algorithme proposé et l'algorithme SOS de base et d'autre algorithme pour confirmer l'efficacité et la supériorité de l'algorithme proposé [22].

A. M. Jaleel, et al [23] ont appliqué un algorithme de PSO modifié pour l'intégration optimale d'un deux et trois DG afin de minimiser les pertes de puissance active et l'amélioration du profil de tension et la fiabilité du réseau, aussi les auteurs ont fait une étude comparative avec d'autres algorithmes pour vérifier et montre la supériorité de l'algorithme proposé [23].

Les variations de tension et les chutes de tension sont les problèmes les plus importants qui perturbent la qualité de l'alimentation et qui peuvent entraîner des interruptions de continuité de service. Pour cela, parmi les meilleures solutions pour atténuer ces perturbations de la qualité de l'alimentation, en particulier les chutes de tension l'installation de compensateur synchrone statique de distribution (DSTATCOM), ce dernier joue un rôle important dans le contrôle du flux de puissance réactive vers le réseau électrique et par conséquent, les fluctuations et la stabilité de la tension du système. Par conséquent, afin de profiter au maximum des avantages de DSTATCOM, il faut déterminer la taille et l'emplacement optimal de ce dispositif. Dans la

littérature de nombreuses technique et fonctions objectifs ont utilisé pour déterminer les emplacements et les tailles optimales des dispositifs DSTATCOMs, parmi ces recherches :

L'application de l'algorithme Harmony Search Algorithm (HSA) pour identifier le dimensionnement et l'emplacement optimal de DSTATCOM dans le but de minimiser une fonction objectif unique basée sur les pertes de puissance, de plus les résultats prouvent l'efficacité de HSA par rapport à l'algorithme Immune Algorithm (IA) en termes de réduction des pertes de puissance active [24].

Un indice de perte de puissance modifié est présenté par A. R. Gupta, et al [25] pour choisir les jeux de barres candidat le plus favorable pour installer le DSTATCOM, en plus, la taille de DSTATCOM est déterminée par la modélisation mathématique en régime permanent de DSTATCOM. De plus, l'objectif était de minimiser les pertes de puissance active et d'améliorer le profil de tension.

S. F. Mekhamer, et al [26] ont présenté l'algorithme Modified Grey Wolf Optimization Algorithm (MGWOA), qui permet de déterminer l'allocation optimale de DSTATCOM dans le réseau de distribution radial. Leur objectif est d'optimiser les pertes de puissance active, le profil de tension et les coûts dus à la perte de puissance. Leurs résultats montrent la supériorité de l'algorithme proposé par rapport à d'autres algorithmes[26].

A. K. Arya, et al [27] ont utilisé l'algorithme Gravitational Search Algorithm (GSA) pour déterminer l'allocation optimale de DSTATCOM afin de minimiser la perte de puissance, l'indice de profil de tension, la maximisation de l'économie d'énergie annuelle et l'amélioration du profil de tension. L'efficacité et la précision de l'algorithme GSA sont validées par la comparaison à celles d'autres algorithmes, où l'algorithme proposé présente de meilleurs [27].

T. Yuvaraj, et al [28] ont appliqué l'indice de stabilité de tension pour déterminer l'endroit approprié pour installer les unités des DSTATCOM, tandis que les tailles des dispositifs sont déterminées par l'algorithme BAT, pour minimiser les pertes de puissance active. Dans cette étude, la charge passe de la charge légère à la charge de pointe avec un pas de 1 % , où il y a une relation proportionnelle inverse entre la niveaux de la charge et le profil de tension, aussi l'étude comparative avec les algorithmes BFOA, et IA prouve la supériorité de l'algorithme BAT en terme de minimisation de pertes de puissance [28].

S. S. Hussain, et al [29] ont appliqué la méthode analytique pour trouver la taille et l'emplacement optimale de DSTATCOM dans le réseau de distribution standard IEEE 33-JB.

L'objectif est de minimiser les pertes de puissance active et d'améliorer la tension des jeux de barre [29].

L'application de Cuckoo Search Algorithm (CSA) pour l'intégration optimale de DSTATCOM en tenant compte de divers types de charge dans les réseaux IEEE 33-JB et 69-JB a été réalisé par D. K. Rukmani, et al [30]. Cette étude est réalisée afin de réduire les pertes de puissance active. Les auteurs ont effectué une étude comparative avec d'autres algorithmes, qui montre la supériorité de CSA en terme de rapidité de convergence, par ailleurs l'algorithme proposé présente de meilleurs résultats [30].

P. Balamurugan, et al [31] ont appliqué l'indice de stabilité de tension pour obtenir les emplacements optimaux de DSTATCOM, tandis que les tailles optimales ont été déterminées par l'algorithme Whale Optimization Algorithm (WOA). Ce qui permet de minimiser les pertes de puissance active dans le réseau IEEE 69-JB, et le réseau rural indien 28-JB. De plus, les auteurs concluent que l'intégration optimale de multiple DSTATCOM offre les meilleurs résultats de pertes de puissance [31].

L'application de l'algorithme Improved Bacterial Search Algorithm (IBFA) pour résoudre le problème de l'intégration optimale de DSTATCOM dans le réseau de distribution pratique de Quha, de 78-JB. Pour minimiser les pertes de puissance active, et l'amélioration de profil de tension et la stabilité de tension. De plus, l'étude comparative avec l'algorithme BFA de base montre la supériorité de l'algorithme IBFA en obtenant les meilleurs résultats de pertes de puissance [32].

L'algorithme Firefly Algorithm (FA) a été utilisé par K. Padmavathi, et al [33] pour l'allocation optimale de DSTATCOM. L'objectif étant de minimiser la perte de puissance totale et la taille du DSTATCOM, afin que la qualité de la puissance soit améliorée dans les réseaux de distribution radiale IEEE 33-JB, et 69-JB, et ceci pour trois niveaux de surcharge [33].

Ces dernières années dans la littérature, de nombreux algorithmes d'optimisation ont été développés par les chercheurs pour aborder les meilleurs emplacements et dimensionner pour le déploiement simultané des unités de DG et DSTATCOM dans les réseaux de distribution radial:

En 2018, T. Yuvaraj, et al [34] ont appliqué l'algorithme CSA avec facteur sensible aux pertes pour l'intégration optimale de DG et DSTATCOM simultanément avec différents types de DG dans un petit et un grand réseau de distribution radiale afin de minimiser les pertes de puissance active et d'améliorer les profils de tension. De plus, différents scénarios sont envisagés dans cette étude, à savoir l'intégration de plusieurs DG uniquement, de plusieurs DSTATCOM uniquement

et le DG et DSTATOM simultanément, de plus l'étude comparative avec les algorithmes BSA, QLTBO, et BFOA montre la supériorité de l'algorithme CSA en terme de convergence rapide avec les minimum résultat de pertes de puissance active [34].

S. R. Ghatak, et al [35] ont appliqué l'algorithme Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm (MSFLA) pour améliorer l'indice de stabilité de la tension de refonte, le rapport avantages-coûts et l'indice des avantages environnementaux à travers l'intégration optimale de DG et DSTATCOM simultanément en tenant compte de différents modèles de charge. Dans cette étude les auteur impoliment plusieurs algorithmes qui sont MSFLA, LPSO, RCGA, et DE afin de conclure que l'algorithme MSLFA offre les meilleur résultats avec convergence rapide [35].

L'application de l'algorithme GWO pour la minimisation des pertes de puissance dans le réseau IEEE 85-JB avec différents niveaux de charge, pour chacun de ces niveaux de charge, quatre cas d'étude sont considérés : le cas de base, l'installation de DG uniquement, DSTATCOM uniquement et DG avec DSTATCOM en même temps a été réalisé par M. A. E. S. Mohamed, et al. Les auteurs ont conclu que l'intégration optimale de DG et DSTATCOM offre les meilleurs résultats par rapport aux autres cas, aussi, le niveaux de charge a une influence direct au profil de tension [36].

H. A. Hassan, et al [37] ont appliqué l'algorithme Multi-Verse Optimizer (MVO) pour identifier l'emplacement et la taille optimale de DG et DSTATCOM en optimisant les indices technico-économiques, (indice de perte de puissance apparente, la variation de tension totale et les pertes annuelles indices de coût). De plus, les résultats de la simulation montrent que l'algorithme MVO donne de meilleurs résultats par rapport aux autres algorithmes dans la littérature [37].

En 2021, M. Abd El Sattar, et al [38] proposent une nouvelle approche appelée Enhanced Sine Cosine Algorithm (ESCA) pour déterminer les allocations optimales d'un et de deux DG et DSTATCOM simultanément, cette méthodologie est réalisée pour améliorer le profil de tension du système et la stabilité opérationnelle. De plus, les auteurs conclus, l'intégration des DG et des DSTATCOM peut améliorer considérablement les performances du système, en particulier avec l'intégration de trois DG et de trois DSTATCOM simultanément par rapport à d'autres cas. [38].

E. S. Oda, et al [39] ont appliqué l'algorithme MALO pour obtenir les emplacements et les tailles optimaux de plusieurs DG et DSTATCOM en tenant compte de l'incertitude de la charge et de l'irradiation solaire au cours des quatre-saisons. De plus, l'objectif était d'optimiser les paramètres techno-économiques. Les résultats obtenu montre la supériorité de l'algorithme MALO par rapport à plusieurs algorithmes bien connu dans la littérature de plus l'intégration de deux unités

de DG et DSTATCOM à la fois offre la meilleure réduction de pertes de puissance par rapport à l'intégration d'une unité simultanément [39].

J. S. Bhadoriya, et al [40] ont appliqué l'algorithme Firefly algorithm (FA) pour l'intégration optimale d'un, deux, et trois DG et DSTATCOM simultanément. Le but est de minimiser les pertes de puissance active et réactive, de plus, les auteurs ont conclu que l'intégration optimale de multiple DG, et DSTATCOM simultanément offre les meilleurs résultats par rapport à d'autres cas [40].

G. Isha, et al [41] ont proposé l'algorithme Fuzzy Lightning Search Algorithm (FLSA) pour déterminer la taille et l'emplacement optimale de DG et DSTATCOM dans le réseau de distribution IEEE 30-JB. Une étude comparative des résultats obtenus à ceux obtenus avec d'autres algorithmes bien connus montre que l'algorithme FLSA est meilleur [41].

S. Sannigrahi, et al [42] ont appliqué l'indice de stabilité de tension et une version modifiée de l'algorithme Shuffled Frog Leaping Algorithm (MSFLA) pour l'intégration optimale de DG et DSTATCOM à différents niveaux de charge. L'objectif est de réduire les pertes de puissance active, d'améliorer la tension du jeu de barre et de réduire la pollution de l'environnement. De plus, l'étude comparative avec les algorithmes SFLA, PSO, et ABC confirme la supériorité de l'algorithme MSFLA en obtenant les minimums pertes de puissance [42].

Au cours des dernières années, divers chercheurs ont réalisé l'intégration optimale du DG en tenant compte de divers modèles de charge avec diverses méthodes et différents algorithmes. A. M. El-Zonkoly [43] a appliqué l'algorithme PSO pour minimiser la fonction multi-objectif basée sur les indices de pertes de puissance active et réactive, l'indice de profile de tension, l'indice de courant de court-circuit, et l'indice capacité de puissance apparente. De plus, les résultats obtenus montrant l'efficacité de l'algorithme PSO par rapport à l'algorithme GA [43].

D. Q. Hung, et al [44] ont proposé la Méthode Analytique dans le but de la minimisation de l'indice de pertes de puissance active et réactive, ainsi que l'écart de tension. De plus les auteurs ont étudié l'impact de la variation journalière de la puissance fournie par le DG et la variation de la demande, Les résultats indiquent que les modèles de charge variant dans le temps jouent un rôle essentiel dans la détermination de la pénétration PV dans tout système de distribution. [44].

A. Ahmed, et al [45] ont appliqué l'algorithme PSO pour minimiser l'indice de la déviation de tension, des pertes de puissance active et réactive, et l'indice de stabilité de la tension en tenant compte de l'incertitude de DG et la demande horaire de chaque type de charge. De plus, une étude

comparative avec la méthode analytique montre que les résultats obtenus de PSO sont meilleurs [45].

L'application de l'algorithme Firefly Algorithm (FA) pour déterminer la taille optimale de DG, tandis que l'emplacement optimal a été obtenu par le facteur de sensibilité aux pertes afin de minimiser les pertes de puissance active et réactive. De plus, les auteurs ont considéré la variation journalière de puissance fournie par DG et la variation de la charge en 24 h, les auteurs concluent que l'étude de la variation journalière est plus importante car la puissance délivré par le DG dépend de l'irradiance solaire, ce qui le rend plus fiable pour les installations commerciales [46].

L'application de l'algorithme Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 (SPEA 2) pour résoudre le problème de l'intégration optimale de trois DG en tenant compte l'impact de l'incertitude de la charge et de DG pour minimiser les pertes de puissance active, les coûts annuels d'exploitation et les émissions de gaz polluants [47].

L'application de l'algorithme PSO pour optimiser la fonction multi-objectif basée sur la minimisation de la perte de puissance active et réactive, ainsi que la maximisation du profil de tension, la capacité de puissance apparente, et l'indice de court-circuit, de plus, les résultats obtenus sont comparés avec celle de l'algorithme GA [48].

L'algorithme Embedded Meta EP-Firefly Algorithm (EMEFA) a été introduit pour minimiser à la fois la perte de puissance active et le coût du carburant. de plus S. R. A. Rahim, et al [49] ont choisi le réseau IEEE 14-JB comme un réseau de tests pour valider l'efficacité de l'algorithme EMEFA. Les résultats montrent que les modèles de charge ont un effet significatif sur les pertes de puissance, ainsi que le coût du système [49].

V. Swetha [50] a appliqué les algorithmes Harmony Search algorithm (HSA) et Back-Tracking Algorithm (BSA) pour déterminer la taille et l'emplacement optimal de plusieurs types de DG dans le but de la minimisation de la perte de puissance active, en considérant l'influence de nombre de DG sur la fonction objectif. Les résultats montrant la supériorité de l'intégration de trois DGs par rapport aux autre cas, en plus, l'algorithme BSA est plus performant par rapport à l'algorithme HSA [50].

P. Karimyan, et al [51] ont appliqué l'algorithme PSO et la méthode analytique pour minimiser la fonction objectif unique basée sur les pertes de puissance active. Ils ont étudié l'impact de la variation de la capacité de charge sur le profil de tension et les pertes de puissance active, de plus trois types de DG sont considéré, afin de conclure que le type de DG 2 offre les meilleurs performances du système [51].

L'application de l'algorithme GA pour obtenir la taille et l'emplacement optimal des DG dans le but de l'amélioration de la fiabilité du système, et de minimiser les pertes de puissance active et les coûts d'investissement DG, en tenant compte quatre niveaux de charge, et la variation de charge dans le temps [52].

Dans la plupart des études mentionné précédemment les auteurs non pas pris en charge l'étude de l'intégration optimale de DG et DSTATCOM simultanément en tenant compte l'incertitude et l'impact de model de charge.

Pour cela, les principales contributions de ce travail peuvent être résumées comme suit :

- Application de divers algorithmes PSO basés sur la variation de coefficients d'accélération pour une intégration optimale de multiples sources solaires PV-DG uniquement, DSTATCOM uniquement, et DG et DSTATCOM simultanément,
- Application de divers algorithmes PSO basés sur la variation de poids d'inertie pour une intégration optimale de multiples sources solaires PV-DG uniquement et DSTATCOM uniquement, et DG et DSTATCOM simultanément.

Le résumé de la plupart des travaux de recherche dans l'étude de la littérature est résumé dans le tableau 1.

Tableau 1. Résumé de l'étude de la littérature

Année	Réf	Type de dispositif	Algorithme appliqué	Fonction objectif	Réseau étudié
2015	[14]	DG	MA	Min P_{Loss} , Q_{Loss}	IEEE 33, et 69-JB
2019	[15]	DG	HTLBO	Min P_{Loss} , VD, Max VSI	IEEE 33, 69 et 118-JB
2020	[18]	DG	QOCSOS	Min P_{Loss} , VD, Max VSI	IEEE 33, 69 et 118-JB
2016	[20]	DG	KHA	Min P_{Loss} , E_{Loss} , Max VSI	IEEE 33, et 69-JB
2018	[21]	DG	PPBIL-PSO	Min P_{Loss} , VD	IEEE 33, et 69-JB
2022	[23]	DG	CMSOS	Min P_{Loss} , VD, Max VSI	IEEE 33, et 69-JB
2015	[24]	DST	HSA	Min P_{Loss}	IEEE 33-JB
2020	[26]	DST	MGWOA	Min P_{Loss} , $E_{Coût}$	IEEE 33, et 69-JB
2020	[27]	DST	GSA	Min P_{Loss} , VD, $E_{Coût}$	IEEE 33, et 69-JB
2020	[30]	DST	CSA	Min P_{Loss} , Q_{Loss}	IEEE 33, et 69-JB
2018	[31]	DST	WOA	Min P_{Loss} , Max VSI	IEEE 69-JB, Indienne 28-JB
2022	[32]	DST	IBFA	Min P_{Loss} , VD, Max VSI	Réseau d'Ethiopie 78-JB
2018	[34]	DG+DST	CSA	Min P_{Loss} , VD,	IEEE 33, et 136-JB
2019	[36]	DG+DST	GWO	Min P_{Loss} , VD, Max VSI	IEEE 85-JB
2019	[37]	DG+DST	MVO	Min P_{Loss} , Q_{Loss} , TVV, $E_{Coût}$	IEEE 33, et 69-JB
2021	[38]	DG+DST	ESCA	Min P_{Loss} , VD, Max VSI	IEEE 33, et 69-JB
2018	[42]	DG+DST	MSFLA	Min P_{Loss} , Q_{Loss} , VD, PI	IEEE 33-JB
2011	[43]	DG	PSO	Min P_{Loss} , Q_{Loss} , IC, ISC	IEEE 30-JB
2018	[46]	DG	FA	Min P_{Loss} , Q_{Loss}	IEEE 69-JB
2014	[48]	DG	BFOA	Min P_{Loss} , VD, TOC	IEEE 33, et 69-JB
2017	[50]	DG	BSA	Min P_{Loss}	IEEE 69-JB

- La procédure proposée vise à obtenir des améliorations significatives des indices technico-économiques et environnementales pour les deux réseaux de test IEEE 33-JB, et 69-JB,
- Analyse d'efficacité énergétique basée sur l'algorithme hybride FA-SCAC-PSO des différentes études de cas,
- Analyse d'efficacité énergétique basée sur l'algorithme hybride FA-EIW-PSO des différentes études de cas,
- Études de l'impact de la variation journalière de la charge et de la puissance de sortie de DG,
- Études de l'impact de différents modèles de charge sous un système statique et dynamique,
- Étude comparative avec d'autres algorithmes dans la littérature.

1.7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de façon globale de mettre en évidence la problématique mondiale de besoin d'énergie et la tendance vers des nouvelles sources d'énergies d'origine renouvelables, ainsi, nous avons donné l'intérêt de l'intégration de ces sources dans les réseaux de distribution, ce qui présente la solution la plus importante pour assurer l'équilibre entre la demande et la production énergétique.

De ce fait, nous avons donné l'impact de l'intégration des DG et DSTATCOM sur le réseau de distribution, ainsi un état de l'art sur l'intégration optimale de DG et DSTATCOM en précisant sur les différentes fonctions objectif et algorithmes utiles pour cette intégration.

De ce fait, le chapitre 2 présentera, la modélisation mathématique de ces différents éléments ainsi que la reformulation mathématique de la problématique en étudiant l'écoulement de puissance et les différentes stratégies de résoudre ce problème, afin de donner la solution de ce problème par la méthode de Newton-Raphson.

Chapitre 2 : Modélisation et formulation de la problématique

2. 1. Introduction

L'optimisation est une discipline qui a un rôle très important dans la conception en ingénierie, et de manière générale, la recherche opérationnelle. Le but d'optimisation sert à modéliser, analyser et résoudre des problèmes difficiles, par la détermination des solutions d'un objectif donné, tout en respectant certaines contraintes. Cependant, la prise en compte d'un seul objectif est insuffisante dans plusieurs contextes décisionnels, pour cela l'optimisation multi-objectif qui consiste à optimiser plusieurs fonctions à la fois peut résoudre ces problèmes[53].

Dans ce chapitre nous allons présenter les fonctions objectifs que l'on peut diviser en deux: les fonctions à objectif unique appelé aussi mono-objectif, et les fonctions à multi- objectifs. Par la suite, nous allons décrire les variables, les contraintes d'égalité et de non égalité. Nous posons la formulation des équations de l'écoulement de puissance, les méthodes de résolution de l'écoulement de puissance, et le calcul d'écoulement de puissance par la méthode de Newton-Raphson. En outre, nous explicitons les réseaux électriques étudiés et le calcul d'écoulement de puissance avant l'intégration de systèmes de DG et DSTATCOM.

2. 2. Modélisation ligne de distribution électrique

Les lignes de distribution sont des lignes courtes ou moyennes avec leurs tensions moyennes. On peut, donc, les représenter par un schéma équivalent en π . Pour nos études, ce modèle est valable car on ne s'intéresse pas aux régimes transitoires. Le schéma équivalent d'une ligne aérienne ou d'un câble peut être décrit par la mise en série d'une résistance R et d'une réactance $X_L = j\omega L$ avec les éléments shunts [54].

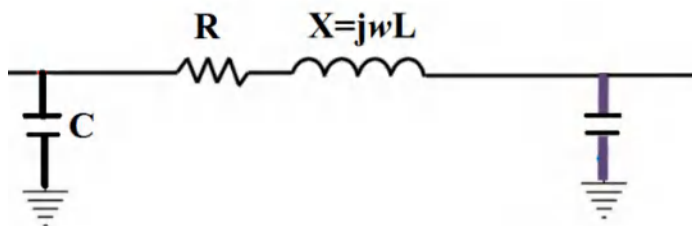


Figure 2. 1. Modélisation de la ligne électrique en π .

2. 3. Modélisation de source PV basé sur DG

Dans la littérature, plusieurs modèles mathématiques, ont été développés pour caractériser le comportement électrique d'une cellule photovoltaïque[55], [56]. Cette dernière est généralement considérée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode et de deux résistances en série et parallèle comme illustrée dans la figure 2.2.

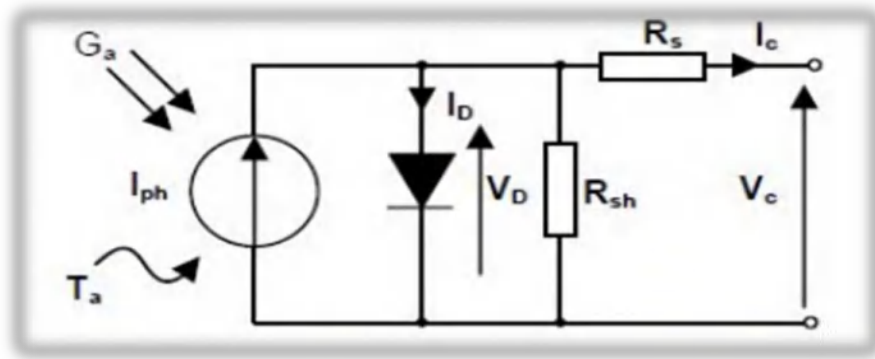


Figure 2. 2. Modèle idéale à une diode d'une cellule PV.

D'après la loi de Kirchhoff, le courant délivré par une cellule PV est donné par :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad 2.1$$

Le courant I_{ph} , est donné par la formule suivante :

$$I_{ph} = \left[I_{ph,n} = k_i (T - T_n) \right] \frac{G}{G_n} \quad 2.2$$

Le courant de la diode I_d est donné par l'équation suivante :

$$I_d = I_0 \left[\exp \left(\frac{V + RI}{\alpha \frac{kT}{q}} \right) - 1 \right] \quad 2.3$$

L'équation caractéristique d'une cellule PV est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp \left(\frac{V + R_s \cdot I}{V_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad 2.4$$

$$V_t = \frac{n \cdot k_b \cdot T}{q} \quad 2.5$$

2. 4. Modélisation de compensateur DSTATCOM

La compensation de l'énergie réactive au niveau de réseaux électriques permet la régulation et l'amélioration du profil de la tension ainsi que le bon contrôle de la puissance active transmise. En plus, les méthodes classiques qui basent sur les batteries de condensateurs, les bobines fixes et commandées mécaniquement sont pas efficaces dans le contrôle du réseau électrique quand il est sévèrement perturbé pour cela les dispositifs FACTS sont plus efficaces grâce au développement dans la technologie des GTO, et IGBT, où les DSTATCOM modernes à base d'interrupteurs sont plus rapides et permettent la commande directe des courants injectés ainsi que de la tension du jeu de barre continu.

DSTATCOM se compose d'un petit condensateur DC, d'un filtre AC, d'un transformateur et d'un onduleur qui est un transformateur de source de tension de commutation (VSC) connecté aux réseaux de distribution basse tension via le transformateur de distribution d'énergie [57]-[59].

DSTATCOM présente de nombreux avantages tels qu'une petite taille, l'absence de bruit et un faible contenu harmonique par rapport aux dispositifs de compensation de puissance réactive traditionnels. Par conséquent, DSTATCOM est fréquemment utilisé dans le RDR pour atténuer les problèmes de qualité de l'alimentation tels que le faible profil de tension, la mauvaise stabilité de la tension, la régulation de la tension et la perte de puissance. DSTATCOM fournirait une puissance réactive au système si l'amplitude de la tension au point de connexion est inférieure à la tension souhaitée. D'autre part, si l'amplitude de la tension est supérieure au niveau de tension souhaité, DSTATCOM absorbera la puissance réactive du système. Dans cette étude, DSTATCOM est modélisé comme une source de puissance réactive. Par conséquent, le courant injecté par DSTATCOM doit être maintenu en quadrature avec la tension du système [57].

La figure 2.3 représente le Diagramme schématique de DSTATCOM. I_D est le courant injecté par le DSTATCOM et I est le courant de ligne en présence de DSTATCOM. Q_{DST} est la puissance réactive générée par DSTATCOM dans le système. β est l'angle de la tension corrigée après compensation. δ est l'angle de la tension de source (V_s). α est l'angle du courant de ligne I_L . Pour simplifier l'équation, l'angle δ est considéré comme égal à 0 et peut donner par les équations suivant [57].

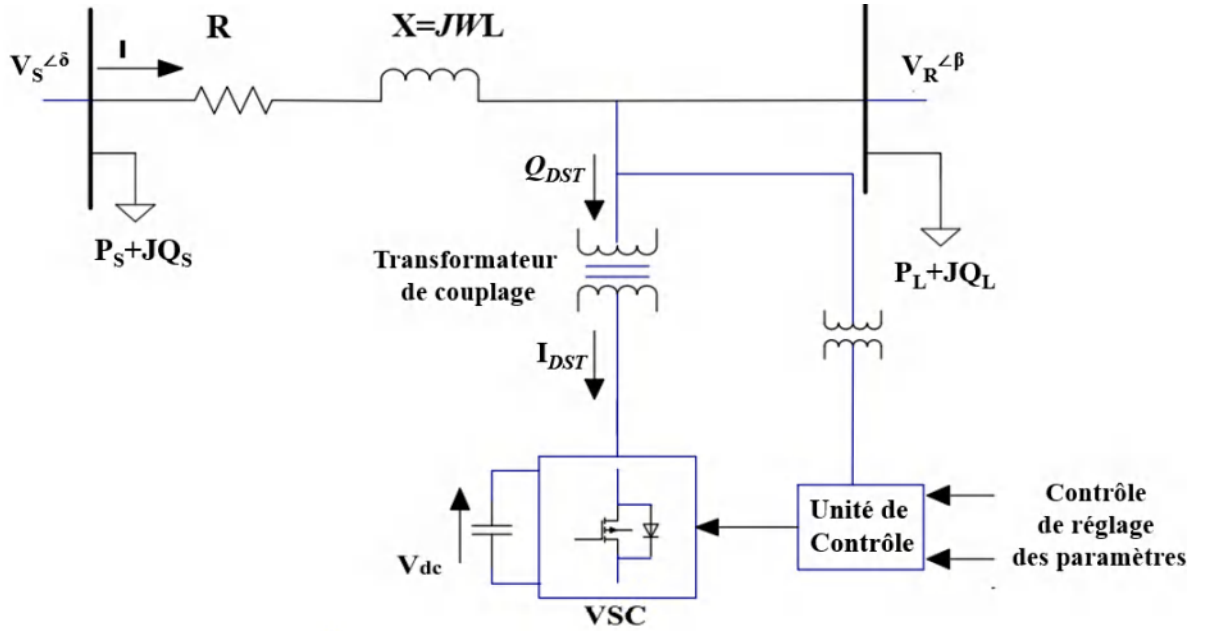


Figure 2. 3. Diagramme schématique de DSTATCOM.

$$\angle I_D = \frac{\pi}{2} + \beta, \quad \beta < 0 \quad 2.6$$

$$V_{Rnov} \angle \beta = V_S \angle \delta - (R_L + jX_L) * I_L \angle \alpha - (R_L + jX_L) * I_D \angle \beta + \frac{\pi}{2} \quad 2.7$$

$$jQ_D = V_{R.nov} \cdot I_D \quad 2.8$$

$$V_{R.nov} = V_{R.nov} \angle \beta \quad 2.9$$

Les détails sur la modélisation mathématique du DSTATCOM sont donnés en Annexe [57].

2. 5. Fonctions objectifs

Dans la littérature il existe plusieurs fonctions objectifs à optimiser, de plus, ces fonctions objectifs peuvent être mono-objectif si nous voulions optimiser une seule fonction, ou, une fonction multi-objectif si on cherche à optimiser plusieurs fonctions simultanément [60].

Mathématiquement, un problème d'optimisation mono-objectif consiste à optimiser une fonction objectif unique, toute en satisfaisant un ensemble de contraintes, la forme générale peut exprimer comme suit [61] :

$$\text{Min} : \{f(x, u)\} \quad 2.10$$

Sous les contraintes :

$$g_i(x, u) = 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad 2.11$$

$$h_i(x, u) \leq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, p \quad 2.12$$

Où :

(x, u) présenter la fonction objectif à minimiser ou bien à maximiser;

x est le vecteur des variables d'état;

u représente le vecteur des variables de contrôle;

$g_i(x, u)$ présente les contraintes d'égalités;

$h_i(x, u)$ présente les contraintes d'inégalités;

n est le nombre de variables;

m et p sont les nombres des contraintes d'égalité et d'inégalité respectivement.

La fonction mono-objectif étudiée dans cette thèse se rapporte à la maximisation de l'indice de perte de puissance active (Active Power Loss Level en anglais) qui est généralement liée à la minimisation de pertes de puissance active. Mathématiquement on peut formuler cette fonction comme [62]-[66]:

$$OF = \text{Max} \sum_{i=1}^{N_{Bus}} \sum_{j=2}^{N_{Bus}} APLL(i, j) \quad 2.13$$

Où,

$$APLL(i, j) = \frac{P_{Loss}^{Avant DG/DSTATCOM}}{P_{Loss}^{Avant DG/DSTATCOM} + P_{Loss}^{Après DG/DSTATCOM}} \times 100 \% \quad 2.14$$

La perte de puissance active sur la ligne de distribution reliant le jeu de barre i au jeu de barre j représentée par [67] :

$$P_{Loss} = R_{ij} \frac{(P_{ij}^2 + Q_{ij}^2)}{V_i^2} \quad 2.15$$

Où, R_{ij} est la résistance entre la ligne, P_{ij} et Q_{ij} sont la puissance active et réactive entre la branche i , et j et V_i est la tension de jeu de barre i .

-Fonction multi-objectifs

Un problème multi-objectif est contrairement à un problème mono-objectif, où constitué d'un ensemble de solutions optimales non dominantes, en plus on peut s'exprimer d'un problème multi-objectif à un problème où on cherche à optimiser plusieurs fonctions objectifs en même temps, tout en satisfaisant un ensemble de contraintes. La forme générale de fonction multi objectif peut exprimer comme suit [61].

$$Min : F(x, u) = \{f_1(x, u), f_2(x, u), f_3(x, u), \dots, f_{njob}(x, u)\} \quad 2.16$$

Sous les contraintes :

$$g_i(x, u) \geq 0 \quad , i = 1, 2, 3, \dots, m \quad 2.17$$

$$h_i(x, u) = 0 \quad , i = 1, 2, 3, \dots, p \quad 2.18$$

$$L_i(x, u_i) \leq U_i \quad , i = 1, 2, 3, \dots, n \quad 2.19$$

Où : $f_1(x, u)$, $f_2(x, u)$, $f_3(x, u)$, ... f_{njob} sont les fonctions objectifs à optimiser, L_i , U_i sont les limites admissibles de variable i .

Dans ce cas, les objectifs considérés, reflétant les paramètres techniques, économiques et environnementaux, sont : l'indice de perte de puissance active (APLL), l'indice de court-circuit (SCL), l'indice d'écart de tension (VDL), l'indice d'économie nette (NSL) et l'indice de réduction de la pollution environnementale (EPRL).

La fonction multi objectif à maximiser peut formuler comme :

$$MOF = Max \sum_{i=1}^{N_{bus}} \sum_{j=2}^{N_{bus}} (\alpha_1 \cdot APLL_{i,j} + \alpha_2 \cdot VDL_j + \alpha_3 \cdot SCL_{i,j} + \alpha_4 \cdot NSL_{i,j} + \alpha_5 \cdot EPRL_G) \quad 2.20$$

Où α_1 , α_2 , α_3 , α_4 et α_5 sont les facteurs de pondération. Leur choix dépend de l'importance de chaque fonction objectif. Certains travaux dans la littérature ont choisi la minimisation de P_{Loss} comme le facteur de pondération le plus élevée [68]–[70] D'autres ont pris d'autres facteurs techniques tels que la déviation de tension, l'indice de courant de court-circuit. Dans notre cas, et en raison de l'importance de la réduction de perte de puissance pour la fiabilité du système et son influence directe sur la minimisation des coûts, nous avons choisi $\alpha_1 = \mathbf{0,30}$. Et pour les raisons techniques, nous attribuons la valeur de $\mathbf{0,20}$ à α_2 , α_3 et α_4 et $\alpha_5 = \mathbf{0,10}$. Les indices proposés peuvent être donnés comme suit :

Le premier indice est la perte de puissance active (APLL), qui mentionné précédemment, où il présentera par l'équation 2.14. Le deuxième l'indice est la déviation de tension (VDL), qui peut s'exprimer comme suit [71] :

$$VDL = \frac{VD_{Avant\ DG/DSTATCOM}}{VD_{Avant\ DG/DSTATCOM} + VD_{Après\ DG/DSTATCOM}} \times 100 \quad 2.21$$

Où,

$$VD = |1 - V_j| \quad 2.22$$

Le troisième indice est l'indice de court-circuit (SCL), qui représenter par l'équation ci-dessous [43], [72], [73] :

$$SCL = \frac{SC_{Après\ DG/DSTATCOM} - SC_{Avant\ DG/DSTATCOM}}{SC_{Avant\ DG/DSTATCOM}} \times 100 \quad 2.23$$

Avec,

$$SC = \frac{V_j}{Z_{ij}} \quad 2.24$$

Où, V_j est l'amplitude de la tension au jeu de barres j , et Z_{ij} est l'impédance de la ligne de distribution.

Le quatrième indice est l'indice d'économie nette (Net Saving Level en anglais) (NSL) qui peut être exprimé comme suit :

$$NSL = \frac{ALC_{Avant\ DG/DSTATCOM} - ALC_{Après\ DG/DSTATCOM}}{ALC_{Avant\ DG/DSTATCOM}} \times 100 \quad 2.25$$

Où, le coût des pertes annuelles (ALC), qui dépend de P_{Loss} , peut être calculé comme suit [37] :

$$ALC = P_{Loss} \times K_p \times T \quad 2.26$$

Où, K_p est le coût différentiel de la perte de puissance (\$/kW), et T est le nombre d'heures par an.

Enfin, l'indice de Réduction de la Pollution Environnementale (EPRL), où l'incorporation de DG contribue à réduire l'énergie produite par la sous-station, cela signifie de réduire le pourcentage de polluants car les polluants émis par la DG sont nuls [74]:

$$EPRL = \frac{PE_{\text{Après DG/DSTATCOM}}}{PE_{\text{Avant DG/DSTATCOM}} + PE_{\text{Après DG/DSTATCOM}}} \times 100 \quad 2.27$$

Où, PE peut être donné comme suit [72], [75] :

$$PE = EG_g \cdot AE_g \quad 2.28$$

Où, EG_g est la quantité d'énergie produite par le générateur, et AE_g est la quantité des types de polluants conventionnels tels que (CO_2 , SO_2 ... etc.).

2. 6. Variables

Le vecteur des variables de contrôle peut être représenté par les quantités qui peuvent être manipulées arbitrairement dans leurs limites de fonctionnement par exemple : les puissances actives générées, les tensions des jeux de barres, les sources de puissance réactives, ... etc. Le vecteur des variables d'état peut être représenté par les quantités dépendantes des variables de contrôle, et qui doivent être recalculés par la méthode de l'écoulement de puissance par exemple : les tensions des jeux de barres de charges ainsi que, les angles de phase de tous les jeux de barres ainsi que les puissances active et réactive de jeu de barre de référence [61].

2. 7. Contraintes (égalités et inégalités)

Les contraintes sont les limites que le système ne peut pas dépasser. On distingue deux types de contrainte, qui sont les contraintes d'égalités et d'inégalités.

2.7.1. Contraintes égalités

Les contraintes d'égalités présentent les équations non-linéaires de l'écoulement de puissance dans toutes les branches, où la somme des puissances active et réactive injectées dans chaque jeu de barre soit égale à zéro. Cet équilibre énergétique est décrit par les équations suivantes [76]–[78]:

$$P_G + P_{DG} = P_D + P_{Loss} \quad 2.29$$

$$Q_G + Q_{DSTATCOM} = Q_D + Q_{Loss} \quad 2.30$$

Aussi en peut exprimer par :

$$P_j = P_i - P_{D,j} - R_{ij} \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} + P_{DG} \quad 2.31$$

$$Q_j = Q_i - Q_{D,j} - X_{ij} \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} + Q_{DSTATCOM} \quad 2.32$$

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

2.7.2. Contraintes inégalités

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

- Les limites exigées sur les tensions électriques au niveau de chaque jeu de barres peuvent garder la qualité de service électrique et la sécurité du système, dans le cas général la tension dans chaque nœud doit être comprise entre moins et plus 5 % de la tension nominale [79]–[81].

$$V_{\min} \leq |V_i| \leq V_{\max} \quad 2.33$$

- Limitation de la chute de tension :

$$|V_i - V_j| \leq \Delta V_{\max} \quad 2.34$$

- Les limites sur le transit de puissance apparente S_{ij} au niveau des lignes ne doivent pas dépasser les valeurs thermiques maximum des lignes de distribution :

$$|S_{ij}| \leq |S_{\max}| \quad 2.35$$

Les contraintes d'inégalités de DG et DSTATCOM sont :

- Contraint de capacité: limiter la taille des DG et DSTATCOM afin de ne pas dépasser un certain pourcentage de la puissance fournie par le poste source:

$$P_{DG}^{\min} \leq P_{DG} \leq P_{DG}^{\max} \quad 2.36$$

$$Q_{DSTATCOM}^{\min} \leq Q_{DSTATCOM} \leq Q_{DSTATCOM}^{\max} \quad 2.37$$

- La position des unités de DG et DSTATCOM est basée sur l'équation suivante:

$$2 \leq DG - DSTATCOM_{Position} \leq N_{Bus} \quad 2.38$$

- Le nombre d'unités de DG et DSTATCOM est donné comme suit :

$$N_{DG-DSTATCOM} \leq N_{DG-DSTATCOM,max} \quad 2.39$$

Emplacement des unités DG et DSTATCOM : Un seul DG ou DSTATCOM est installé à un emplacement (jeux de barres) dans le RDR:

$$n_{DG,i} / Location \leq 1 \quad 2.40$$

Les limites minimales et maximales des contraintes sont représentées dans le tableau 2.1 :

Tableau 2. 1. Les limites des contraintes.

Contraintes		IEEE 33-JB	IEEE 69-JB
P_{DG} (MW)	Max	3.00	3.00
	Min	0.10	0.10
$Q_{DSTATCOM}$ (MVar)	Max	2.00	2.00
	Min	0.10	0.10
V_i (p.u.)	Max	1.05	1.05
	Min	0.95	0.95
ΔV_{max} (%)		5.00	5.00
Nombre d'itération		300	300

2. 8. Méthodes de résolution de l'écoulement de puissance

L'analyse de l'écoulement de puissance est une étude fondamentale discutée dans tout manuel d'analyse du système électrique qui consiste de décrire l'état de fonctionnement d'un système électrique, en d'autres termes décrire l'ensemble de dispositifs de réseaux électriques tel que générateur, la lignes de transmission , ce qui donne une vision pour les quantités des puissances injecte et consommé à différents endroits, aussi il permet de déterminer d'autres quantités telle que les tensions des jeux de barres [82]. L'objectif de son étude est de calculer le module de tension et l'angle de la tension, où les flux et les pertes de ligne peuvent être calculés une fois que les tensions de tous les jeux de barres sont connues. Pour la résolution des problèmes d'écoulement de puissance il faut d'abord, identifier les variables connues et inconnues dans le système, pour cela les jeux de barres sont classés en trois types qui sont : jeux de barres de référence, PV et PQ comme

indiqué dans le tableau 2.2 [83]. Où pour le type des jeux de barres PQ , les puissances actives P et réactives Q des jeux de barres sont connues, et l'amplitude V et l'angle de tension σ sont inconnus, par contre pour les jeux de barres PV , la puissance active P du générateur et l'amplitude de la tension V sont connues, et la puissance réactive Q et l'angle de tension σ sont inconnus. Généralement, le jeu de barre connecté au générateur est de type PV . Le dernier type qui est le jeu de barres de référence (Slack bus) connu aussi par le jeu de barre bilan ou balancier, ce jeu de barre est lié au générateur, dans ce jeu de barre l'amplitude et l'angle de tension sont spécifiés ($V=1$ p.u., $\sigma=0^\circ$) et les puissances actives P et réactives Q sont inconnus. Le rôle de ce jeu de barres est de fournir la puissance supplémentaire nécessaire en tenant compte les pertes.

Tableau 2. 2. Classification des jeux de barres.

Types de nœuds	Variables connues	Variables inconnues
Référence	L'amplitude de tension, et l'angle de phase (V, θ)	Le courant, les puissances actives et réactives (P, Q)
PQ	Les puissances actives et réactives (P, Q)	L'amplitude de tension et l'angle de phase (V, θ)
PV	Puissance active et la tension (P, V)	Angle de phase de tension et puissance réactive (P, Q)

2. 9. Équation d'écoulement de puissance

Les équations de l'écoulement de puissance utilisant la formulation des admittances nodales pour un réseau à trois nœuds, sont d'abord développées, puis elles sont généralisées pour un système à nœuds.

Pour calculer l'écoulement de puissance il faut d'abord formuler la matrice d'admittance Y_{bus} à l'aide des données d'entrée des lignes et des transformateurs. En utilisant Y_{bus} , la relation entre le courant et la tension dans un réseau à n nœuds peut être exprimé par la relation suivante [84]:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad 2.41$$

Où,

$$Y_{ii} = \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad \text{et} \quad Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad 2.42$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \mathbf{M} \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \mathbf{L} & Y_{1n} \\ Y_{12} & Y_{22} & \mathbf{L} & Y_{2n} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \mathbf{L} & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \mathbf{M} \\ V_n \end{bmatrix} \quad 2.43$$

La puissance électrique à un jeu de barre d'un réseau électrique de n jeux de barres est égale à la différence entre la puissance générée et la puissance demandée au niveau du même jeu de barre.

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = (P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \quad 2.44$$

En général la puissance apparente complexe dans un jeu de barre i est comme suit :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* I_i = \sum_{j=1}^n V_i^* V_j Y_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad 2.45$$

D'après l'équation précédente en peut décrire la puissance active et la puissance réactive comme suit :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad 2.46$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad 2.47$$

Où : $V_i = |V_i| \angle \delta_i$ est la tension au jeu de barre i , $V_j = |V_j| \angle \delta_j$ est la tension au jeu de barre j , $Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij}$ est l'admittance shunte entre le jeu de barres i et jeu de barre j .

2. 10. Calcul d'écoulement de puissance

D'après la modélisation de réseau l'analyse de l'écoulement de puissance comme montre dans les équations précédentes nous renvoie à un système non linéaire, c'est-à-dire, qui ne peut

pas être décrit par des équations différentielles à coefficients constants. Pour cela les méthodes directes ne permettent pas de résoudre les systèmes non linéaires. Donc, on a recours aux méthodes itératives, qui sont très nombreuses. Parmi lesquelles, on peut citer : Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Gauss, les résidus, etc.... Dans ce contexte la méthode Gauss-Seidel est la première méthode utilisée pour résoudre l'écoulement de puissance mais cette méthode à l'inconvénient de converger en un nombre d'itérations proportionnelles à la taille du réseau.

Actuellement, la méthode universellement adoptée est la méthode de Newton – Raphson, où le nombre d'itérations requis pour obtenir une solution est indépendant de la taille du réseau étudié [85].

2. 11. Calcul d'écoulement de puissance par la méthode de Newton-Raphson

C'est une méthode itérative la plus utilisée pour résoudre les équations non linéaires qui rapproche un ensemble d'équations simultanées non linéaires d'un ensemble d'équations simultanées linéaires en utilisant le développement en série de Taylor et les termes sont limités à la première approximation. C'est la méthode la plus itérative utilisée pour le calcul de l'écoulement de puissance car ses caractéristiques de convergence sont relativement plus puissantes par rapport à d'autres processus alternatifs et la fiabilité de l'approche Newton-Raphson est relativement bonne car elle peut résoudre des cas qui conduisent à des divergences avec d'autres processus populaires [86]–[88].

Cette méthode est la plus utilisée pour résoudre les équations non linéaires. Dans les réseaux électriques, elle a été aussi la méthode préférée pour la plupart des logiciels commerciaux.

Avantage :

* Rapidité de convergence

* relativement stable et peu sensible aux erreurs d'arrondis si $f'(x_{\infty})$ n'est pas trop petit.

Développons les équations (2.46) et (2.47) en série de Taylor avec l'estimation initiale et négligeons tous les termes d'ordre supérieur:

$$\begin{cases} P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) & (i, j = 1, 2, \dots, n) \\ Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) & (i, j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad 2.48$$

Avec la linéarisation des équations précédentes autour du point $\delta_i(k)$ et $|V_i(k)|$ en utilisant le développement en série de Taylor autour de ces points en choisissant n comme nœud de bilan on trouve:

C'est un système d'équations non linéaires. Les puissances actives P_i et réactive Q_i sont connues et la tension de jeu de barre de référence est spécifiée fixée, et les composant réelles et imaginaires de la tension $\delta_i(k)$ et $|V_i(k)|$ sont inconnues.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ L \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \dots \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ L \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} L L & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} L L & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ L L L L L L & L L L L L L & L L L L L L & L \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} L L & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} L L & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} L L & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} L L & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ L L L L L L & L L L L L L & L L L L L L & L \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} L L & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} L L & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ L \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \dots \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ L \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad 2.49$$

Où le dernier jeu de barre est le jeu de barre de référence. La forme de matrice est :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ - \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & & J_3 \\ - & & - \\ J_2 & & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ - \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad 2.50$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad 2.51$$

Où J est la matrice jacobienne et $J_1, J_2, J_3,$ et J_4 représentent les sous matrice de Jacobi.

$\Delta P,$ et ΔQ sont la différence entre les valeurs planifiées et les valeurs calculées de la puissance active et réactive respectivement.

Pour chaque sous-matrice en distinguant deux types d'éléments qui sont l'élément diagonal et non-diagonal.

Les éléments diagonaux et non diagonaux de J_1 sont respectivement :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad 2.52$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad 2.53$$

Les éléments diagonaux et non-diagonaux de J_2 sont respectivement :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos(\theta_{ij}) + \sum_{j \neq i}^n |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad 2.54$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad 2.55$$

Les éléments diagonaux et non-diagonaux de J_3 sont respectivement :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad 2.56$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad 2.57$$

Les éléments diagonaux et non-diagonaux de J_4 sont respectivement :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos(\theta_{ij}) + \sum_{j \neq i}^n |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad 2.58$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad 2.59$$

Le test de convergence de la méthode s'effectue comme suit :

ΔP_i et ΔQ_i sont les variations de puissance actives et réactives du nœud (i) respectivement, cette variation est définie par :

$$\begin{cases} \Delta P_i = P_{iP} - P_{iC} \\ \Delta Q_i = Q_{iP} - Q_{iC} \end{cases} \quad 2.60$$

Où

P_{iP} et P_{iC} sont la puissance active planifiée et calculée respectivement au nœud (i).

Q_{iP} et Q_{iC} sont la puissance réactive planifiée et calculée respectivement au nœud (i).

Le passage d'une itération vers l'autre se fait à partir des ajustements suivants :

$$\delta_i^{(\lambda+1)} = \delta_i^{(\lambda)} + \Delta\delta_i^{(\lambda)} \quad 2.61$$

$$|V_i^{(\lambda+1)}| = |V_i^{(\lambda)}| + \Delta|V_i^{(\lambda)}| \quad 2.62$$

Où λ est le nombre d'itération.

Les étapes de calcul d'écoulement de puissance par NR sont tabellées dans le tableau suivant:

Tableau 2. 3. Etapes de calcul d'écoulement de puissance par la méthode de NR.

N° d'étape	Fonction
1	Entrer des données du réseau,
2	Définir la tolérance de convergence ε et le nombre maximum d'itération λ ,
3	Initialiser les tensions à tous les jeux de barres sauf le jeu de barres de référence,
4	Détermination de la matrice admittance,
5	Calculer les valeurs de P_i et Q_i en utilisant les tensions des jeux de barres disponibles,
6	Calculer ΔP et ΔQ à partir de P et Q calculés à l'étape précédente,
7	Vérifiez si les valeurs de ΔP et ΔQ sont inférieures à ε ,
8	Si la convergence a été atteinte, calculer les pertes et les tensions et terminer la procédure,
9	Si aucune convergence n'a été atteinte, calculer les éléments de la matrice J ,
10	Calculer ΔV et $\Delta\delta$,
11	Mettre à jour les valeurs de V et δ à partir ΔV et $\Delta\delta$ et revenir ensuite à l'étape 5 et répéter la procédure.

2. 12. Equations des modèles de charges

En raison de la présence de nombreux dispositifs dans un jeu de barres de charge, telles que les lampes de lumières, les moteurs, le frigidaire, le climatiseur, ... etc, la modélisation des charges est compliquée, car la composition exacte de la charge est difficile à estimer, de plus, la charge peut varier considérablement en fonction de l'heure de la journée, du jour de la semaine, de la saison et de la météo. Donc on peut classer les charges en deux catégories, qui sont les charges statiques et les charges dynamiques, puis nous optimisons le réseau à un instant de fonctionnement donné l'étude de charge statique est suffisante dans notre travail. De plus, on distingue trois types de charges qui sont les charges de type résidentiel, commercial, et industriel [89], [90].

Généralement, la charge de la journée de travail est dominée par la charge industrielle, où 95% des charges sont du moteur. La charge commerciale se compose en grande partie de la climatisation et des décharges d'éclairage, en particulier dans les bâtiments commerciaux. La charge résidentielle se compose d'une grande quantité de charges de climatisation et de chauffage électrique pendant l'été et l'hiver, respectivement [91]. On conclue que chaque type de charge à son propre comportement et sa propre variation, par conséquent, la représentation de la charge dans les études de système est basée sur une simplification considérable. Où les caractéristiques

de la charge sont modélisées comme une fonction algébrique de la tension et parfois de la fréquence.

L'expression mathématique du modèle de charge dépendant de la tension peut s'exprimer comme suit :

$$P_i(t) = P_{oi}(t) \cdot V_i^{n_p}(t) \quad 2.63$$

$$Q_i(t) = Q_{oi}(t) \cdot V_i^{n_q}(t) \quad 2.64$$

Où, P_{oi} et Q_{oi} sont les points de fonctionnement actives et réactive au jeu de barres i , P_i et Q_i sont les puissances réelles et réactives au jeu de barres i , et V_i est la tension au jeu de barres i . n_p et n_q sont les exposants de puissance active et réactive qui sont donnés dans le tableau 2.4 [43], [71] :

Tableau 2. 4. Types de charge et exposants pour les charges dépendantes de la tension.

<i>Type de la charge</i>	n_p	n_q
Constante	0	0
Industrielle	0.18	6.00
Résidentielle	0.92	4.04

2. 13. Variation de charges journalières

Après l'étude des variations de la charge dépendant de la tension, nous allons maintenant étudier la variation de la charge dépendant de temps et de tension en été. Où les réseaux étudiés sont supposé suivre la courbe de charge normalisée sur 24 heures du système IEEE Reliability Test System (IEEE-RTS) tracée à la figure 2.4 [92].

Le modèle de charge dépendant de la tension variant dans le temps peut être exprimé comme suit :

$$P_{ch}(t) = \lambda(t) \times P_{ch0} \quad 2.65$$

$$Q_{ch}(t) = \lambda(t) \times Q_{ch0} \quad 2.66$$

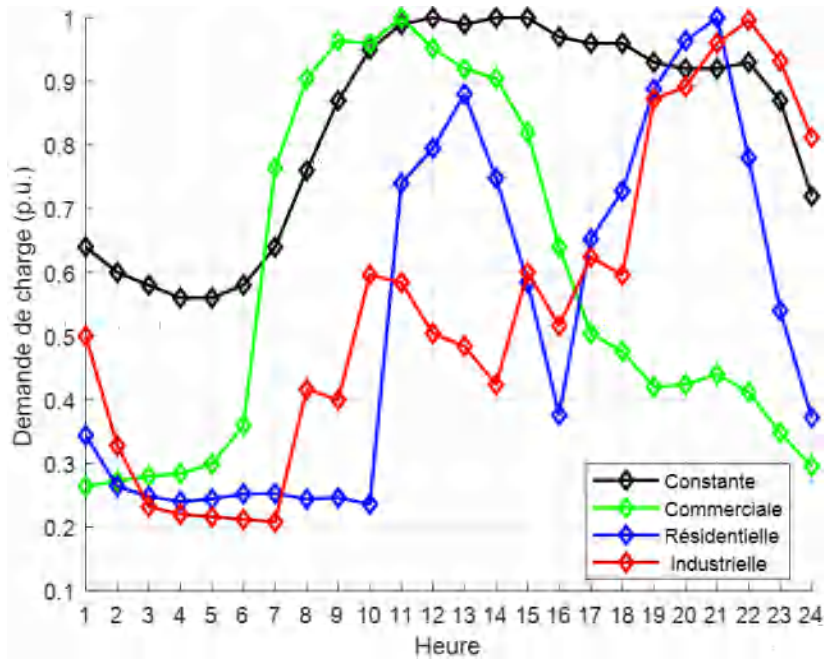


Figure 2. 4. Variation journalière de la demande de charge pour différents types de charges.

2. 14. Variation de la puissance injectée au réseau par DG

Les courbes d'irradiance solaire sont dérivées au moyen d'un algorithme qui permet d'obtenir l'irradiance solaire horaire d'un générateur photovoltaïque à partir de son angle de pente (surface inclinée), de ses coordonnées géographiques (latitude, altitude et zone horaire) et des valeurs moyennes mensuelles de ressource de l'énergie solaire (c.-à-d. indice de clarté moyen). L'algorithme doit tenir compte du caractère aléatoire de la ressource solaire, à savoir inclure la possibilité d'un ciel plus ou moins dégagé et la présence intermittente de nuages. Dans ce contexte, nous avons utilisé la fonction de densité de probabilité (Probability Density Function) (PDF) pour démontrer le comportement stochastique de la PV à travers les équations suivantes [93]:

$$f_b(s^t) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha^t + \beta^t)}{\Gamma(\alpha^t) + \Gamma(\beta^t)} \times s(t)^{\alpha^t - 1} (1 - s^t)^{\beta^t - 1} & \text{si } 0 \leq s^t \leq 1, \alpha^t, \beta^t \geq 0 \\ 0 & \text{autre} \end{cases} \quad 2.67$$

Où s est l'irradiance solaire, $f_b(s)$ est la fonction de densité de probabilité en tenant que Beta PDF, α^t et β^t sont les paramètres du Beta PDF qui sont estimés avec la moyenne μ^t_s et la déviation standard σ^t_s de l'irradiance solaire s à l'heure t

$$\begin{aligned}
 \alpha^t &= \frac{\mu_t^s \times \beta^t}{(1 - \mu_t^s)} \\
 \beta^t &= (1 - \mu_t^s) \left(\frac{(1 - \mu_t^s) \mu_t^s}{(\sigma_t^s)^2} \right) \\
 \mu &= \frac{1}{N_d} \sum_{j=1}^{N_d} d_j \\
 \sigma &= \sqrt{\frac{1}{N_d} \sum_{j=1}^{N_d} (d_j - \mu)^2}
 \end{aligned} \tag{2.68}$$

Pour estimer la production du module PV, le PDF à l'heure spécifique t a été divisé en plusieurs états. La puissance de sortie moyenne horaire P^t_{PV} correspond à un segment de temps spécifique t peut être calculée comme suit :

$$P_p V^t = \sum_{i=1}^{ns} P_{PV0}(s_i^t) f_b(s_i^t) \tag{2.69}$$

Où, $P^{(st)}_{PV0}$ est la puissance de sortie du module PV et elle peut être exprimée sous la forme

$$\begin{aligned}
 P_{PV0}(s) &= N \times FF \times V_y \times I_y \\
 FF &= \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} \\
 V_y &= V_{oc} \times K_v \times T_{cy} \\
 I_y &= s \left[I_{sc} + K_i \times (T_{cy} - 25) \right] \\
 T_{cy} &= T_A + s \left(\frac{N_{OT} - 20}{0.8} \right)
 \end{aligned} \tag{2.70}$$

Où N est le nombre de modules, T_{cy} et T_A sont la température de la cellule et la température ambiante respectivement. C , K_v et K_i sont respectivement les coefficients de la température du courant et de la tension (A/C et V/C). N_{OT} est la température nominale de fonctionnement de la cellule (C), FF est le facteur de remplissage, V_{oc} , I_{sc} la tension en circuit ouvert en (V) et le courant de court-circuit (A), respectivement. V_{MPP} et I_{MPP} sont la tension et le courant au point de puissance maximale respectivement, ns est le nombre d'états d'irradiance solaire discrets.

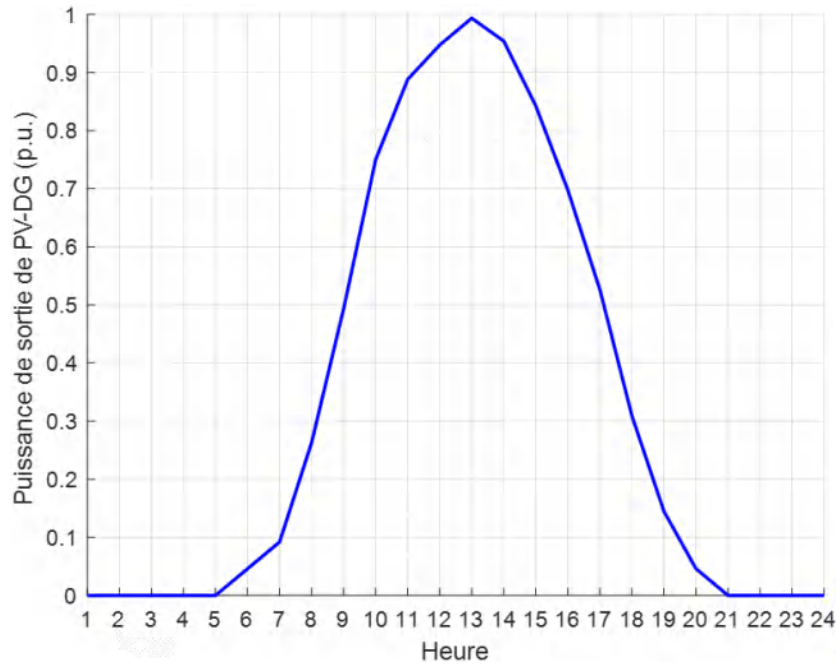


Figure 2.5. Puissance de sortie de PV-DG.

2. 15. Solution d'écoulement de puissance pour les réseaux étudiés

Dans cette thèse, nous avons étudié deux différents réseaux de distribution. Où le premier système de test est le réseau de distribution standard IEEE 33-JB qui est composé de 33 jeu de barre, 32 lignes et branches, avec des charges totales actives et réactives de 3715 kW et 2300 kVar respectivement, et une tension nominale de 12.66 kV. Comme le montre la figure 2.6.

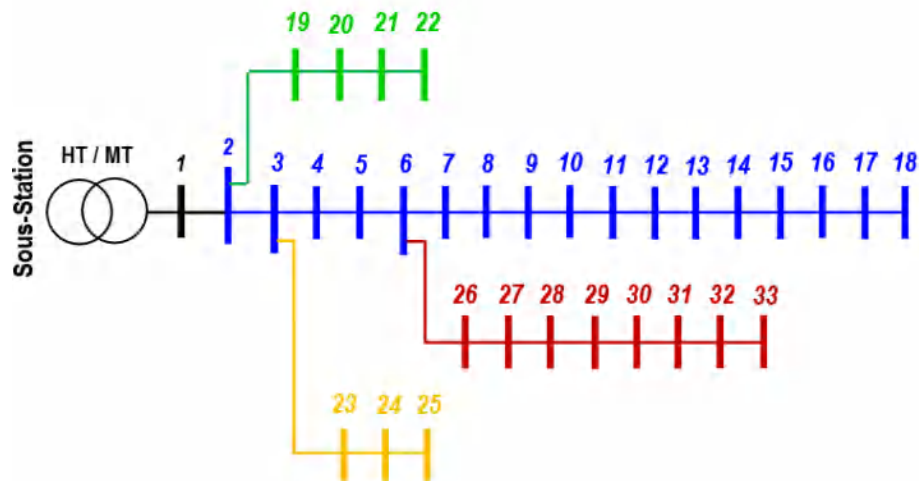


Figure 2. 6. Schéma unifilaire de réseau IEEE 33-JB.

Le deuxième réseau étudié est le réseau de distribution standard IEEE 69-JB qui est composé de 69 jeu de barre, 68 lignes et branches, avec des charges totales actives et réactives de 3791.90

kW et 2694.10 kVar respectivement, et une tension nominale de 12.66 kV. Comme le montre la figure 2.7.

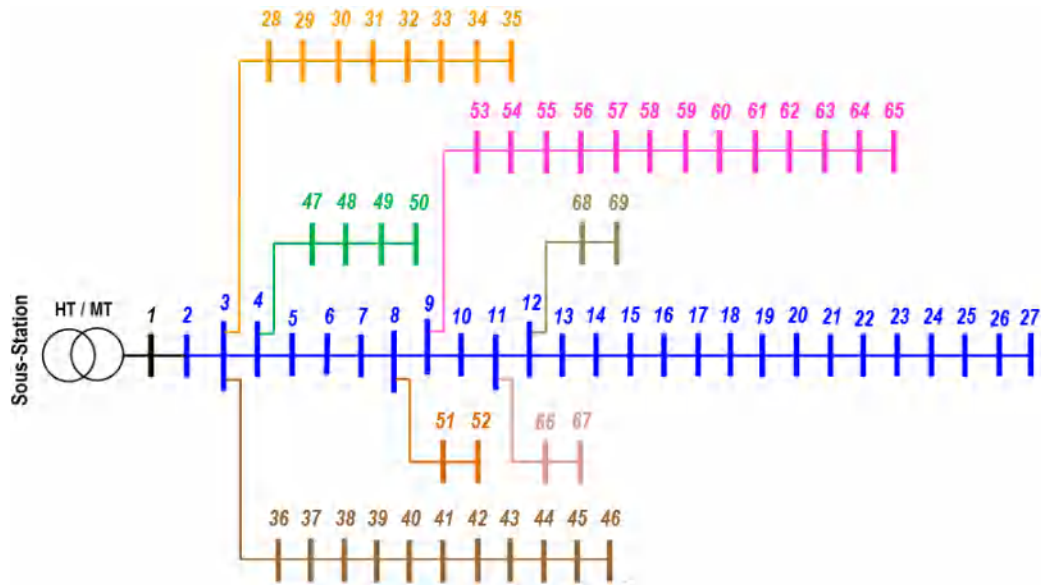


Figure 2. 7. Schéma unifilaire de réseau IEEE 69-JB.

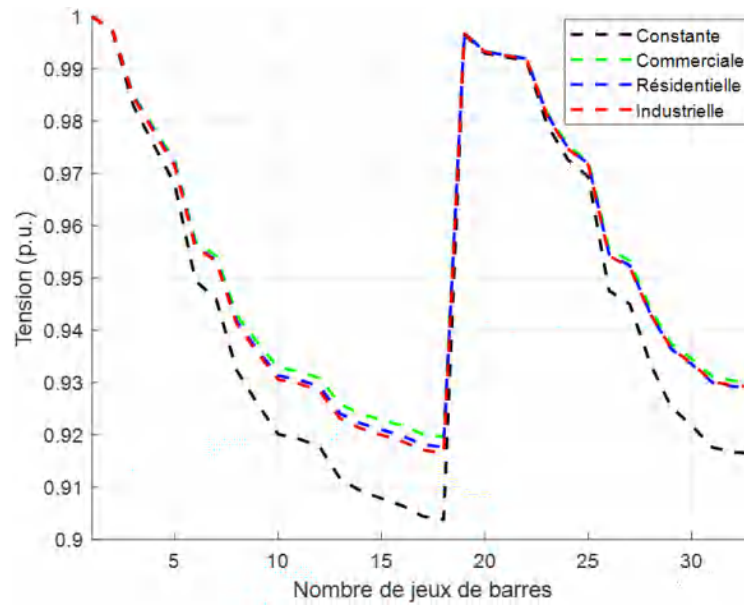
Le tableau 2.5 résume les paramètres de deux réseaux étudiés telle que la tension et la puissance apparente de base, et les pertes de puissance active et réactive totale :

Tableau 2. 5. Description générale des réseaux étudiés.

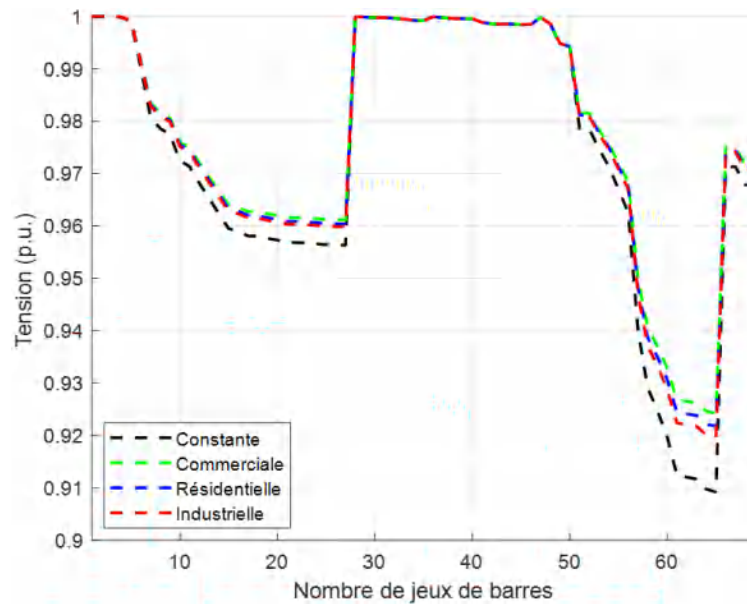
Description		IEEE 33-JB	IEEE 69-JB
Tension de base (kV)		12.66	12.66
Puissance apparente de base (MVA)		10	10
Numéro de jeu de barre		33	69
Numéro de ligne		32	68
La somme des Puissance active P_D (MW)	Constante	3.7150	3.7919
	Commerciale	3.4299	3.5210
	Résidentielle	3.5376	3.6230
	Industrielle	3.6794	3.7579
La somme des Puissance réactive Q_D (MVar)	Constante	2.3000	2.6941
	Commerciale	1.8891	2.2911
	Résidentielle	1.8226	2.2265
	Industrielle	1.6370	2.0473
Pertes de puissance active P_{Loss} (kW)	Constante	210.9875	224.9480
	Commerciale	152.6171	156.9552
	Résidentielle	159.1118	164.8948
	Industrielle	163.6818	171.4038
Pertes de puissance réactive Q_{Loss} (kVar)	Constante	143.128	102.140
	Commerciale	102.9646	72.9444
	Résidentielle	107.5042	76.3438
	Industrielle	110.8115	79.0868
La tension minimale V_{min} (p.u.)	Constante	0.9038	0.9092
	Commerciale	0.9196	0.9242

	Résidentielle	0.9176	0.9217
	Industrielle	0.9165	0.9196
La tension maximale V_{max} (p.u.)	Constante	1.0000	1.0000
	Commerciale	1.0000	1.0000
	Résidentielle	1.0000	1.0000
	Industrielle	1.0000	1.0000

La figure 2.8 représente les profils de tension avant l'intégration de DG et DSTATCOM pour les deux RDR :



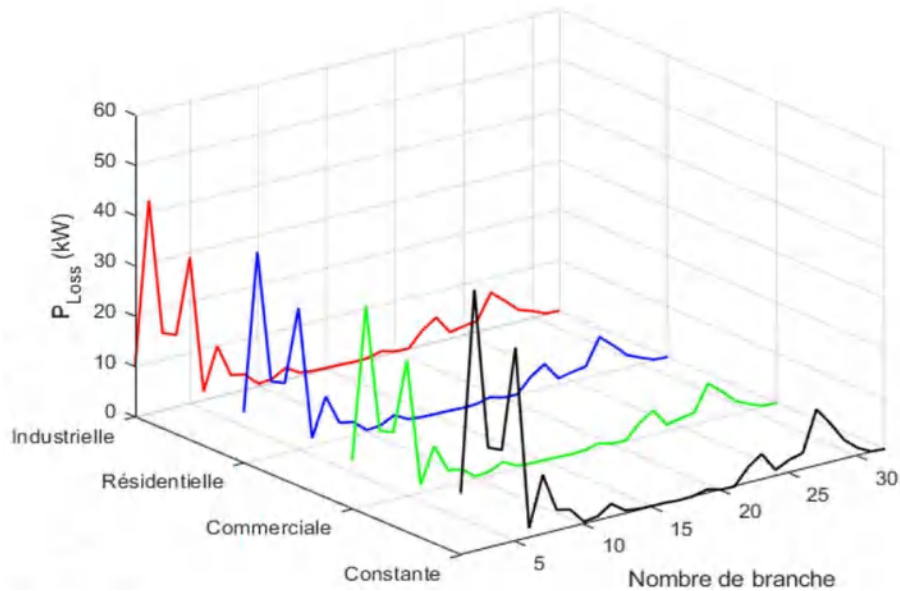
(a). IEEE 33-JB.



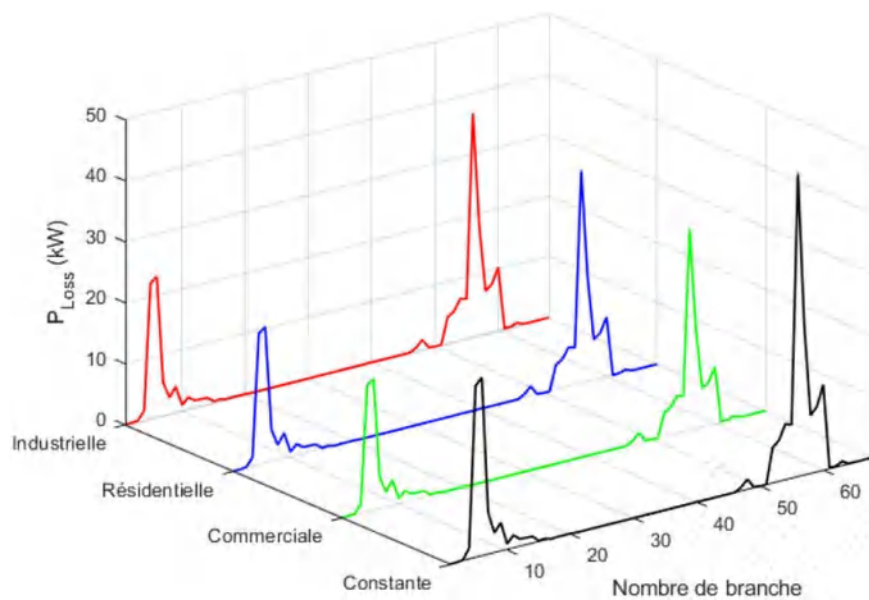
(b). IEEE 69-JB.

Figure 2. 8. Profil de tension du RDRs dans le cas de base.

Comme le montre la figure 2.8, les profils de tension des deux RDR ne sont pas dans les limites admissibles où, pour le réseau IEEE 33-JB la tension dans les jeux de barres de 6 à 18, et entre 26 à 33 sont inférieurs à 0.95 p.u.. de même, pour le réseau IEEE 69-JB les jeux de barres entre 58 jusqu'à 64 sont aussi inférieurs à 0.95 p.u..



(a).IEEE 33-JB.



(b).IEEE 69-JB.

Figure 2. 9. P_{Loss} par branche avant l'intégration de DG et DSTATCOM.

D'après la figure 2.9 de nombreux jeux de barres ont une grande valeur de P_{Loss} généralement sont dans les premiers jeux de barres, où les grandes valeurs de P_{Loss} par branche sont environ 52, 50, et 23 kW respectivement pour les deux réseaux IEEE 33, 69-JB.

2. 16. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons élaboré et modélisé les différentes sources constituant notre étude telle que la modélisation de ligne de distribution, la modélisation de source PV-DG et DSTATCOM. Cette modélisation sera la clé fondamentale dans la suite de notre étude. Aussi, la formulation du problème en modèle mathématique, où deux différentes fonctions objectifs ont été étudiées en tenant compte les contraintes d'égalités et non-égalités, en plus, nous avons parlé sur l'impact de la variation journalière de la demande de charge et de la puissance fournie par DG, ainsi que les modèles de charge. Ainsi que nous avons détaillé brusquement sur le problème de l'écoulement de puissance par donnant les équations de l'écoulement de puissance et leur calcul afin de le résoudre par la méthode de NR. Deux réseaux de distribution standard sont étudiés qui sont les réseaux IEEE 33-JB, et 69-JB. La plateforme de programmation Matlab est choisie pour la simulation de ce problème, les résultats de cette dernière, et les algorithmes utilisés et les différents cas étudiés seront présentés et détaillé dans les chapitres suivants.

Chapitre 3 : Application des algorithmes d'Optimisation de l'essaim de particules « PSO » pour le problème mono- et multi-objectif

3. 1. Introduction

L'optimisation est une discipline importante dans plusieurs domaines, notamment dans l'industriel et surtout dans les circuits électriques. Elle consiste à déterminer la solution optimale (soit maximum, si on cherche à maximiser la performance d'un appareil, ou minimum, si on cherche à minimiser le coût). Cependant, la résolution de ces problèmes d'optimisation avec les méthodes conventionnelles n'est pas efficace dans les cas complexes [94-96]. Dans ces cas, les méthodes heuristiques sont mieux appropriées pour résoudre ces problèmes [94].

Pour cela, nous avons entamé ce chapitre par la présentation des généralités sur l'optimisation et leur classification. En outre, nous explicitons la méthode de base de l'algorithme d'essaim de particules « PSO ». Nous présentons aussi, les diverses méthodes améliorées qui se basent sur la variation de poids d'inertie, et les coefficients d'accélération. Par la suite, nous discutons les résultats obtenus de simulation et leur comparaison à ceux établis par divers algorithmes « PSO. » dans la littérature, dans le cas de la maximisation de l'indice de perte de puissance active.

3. 2. Généralités sur l'optimisation

On peut définir un problème d'optimisation comme la recherche du meilleur résultat (minimum ou maximum) d'une fonction objectif donnée, en satisfaisant certaines conditions préalablement imposées (contraintes) [94]. Le premier type d'optimisation est celui sans critère ou sans contrainte, dans ce cas, on peut le résoudre s'effectuer en tout point de l'espace de recherche [95]. En général, la plupart des problèmes d'optimisation doit prendre en compte les éléments suivants : les variables de contrôles ou de décisions, les contraintes, la fonction objectif, et les variables dépendantes [96].

- Les variables de décisions ou de contrôles, ce sont les variables pour lesquelles, le décideur exécuteur a besoin de définir les valeurs optimales de son problème.

- Les contraintes représentent les limitations et les conditions sur les variables de décision qui doivent les satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes économiques, techniques, environnementales...etc. Généralement sont des contraintes d'égalité ou d'inégalité qui permettent en général de limiter l'espace de recherche.

- La fonction objectif on l'appelle aussi fonction de coût ou critère d'optimisation. C'est grâce à la fonction choisirez l'algorithme doit être trouvé un optimum qui est généralement minimum ou maximum dépend de problème à optimiser.

- Les variables dépendantes : ces variables sont calculées en se basant sur les variables de décision, elles peuvent être les pertes active ou réactive du système.

Les premières méthodes de résoudre un problème d'optimisation sont des méthodes itératives, parmi ces méthodes la méthode de Newton et Gauss, généralement ces méthodes sont inspirées des travaux de Lagrange et Hamilton. Généralement, dans un espace de recherche donné en peut trouver une ou plusieurs solution, ça dépend de la nature de fonctionne objectif (linéaire ou non linéaire), ces solutions sont locale ou globale, comme montre dans la figure suivante [97]:

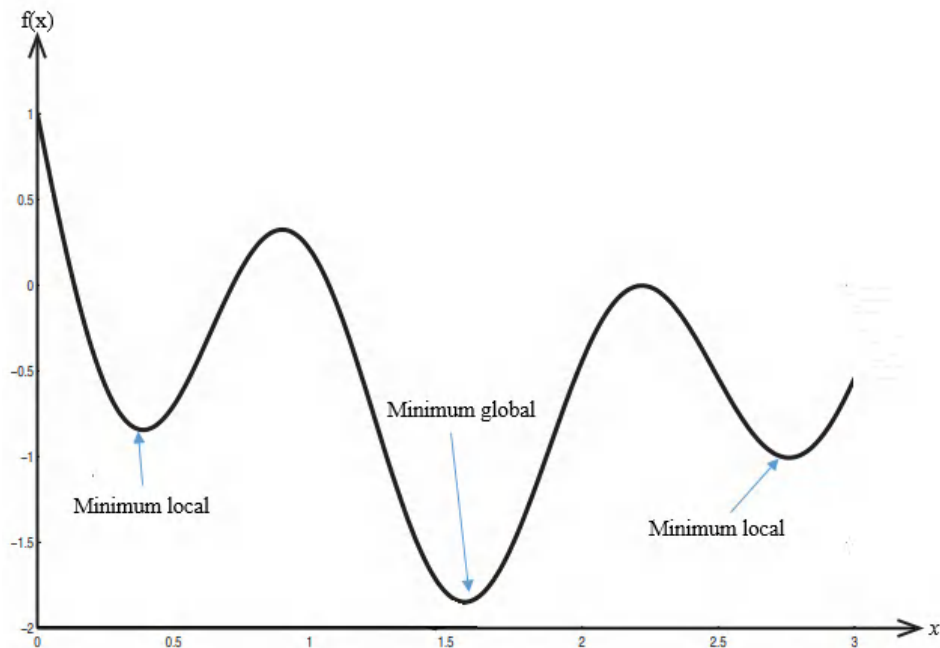


Figure 3. 1. Optimum globale d'une fonction non linéaire.

3. 3. Classifications des méthodes d'optimisation

Il existe de nombreuses méthodes pour résoudre un problème d'optimisation le choix de ces méthodes est dépende de la nature des variables, la nature des contraintes, et la nature et le nombre des fonctions objectifs [97]. Selon ces critères (caractéristiques) on distingue deux principaux types des méthodes qui sont les méthodes exactes ou heuristiques:

Les méthodes exactes ou déterministes, parmi lesquelles on peut citer les méthodes de programmation linéaire, Newton...etc., qui sont très efficaces pour résoudre certains types de problèmes d'optimisation. Cependant, ces méthodes nécessitent que la fonction objectif présente un certain nombre de caractéristiques telles que : la continuité la dérive et la convexe [98].

Les méthodes heuristiques : sont des méthodes capables de résoudre les problèmes difficiles, elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, contrairement à des méthodes exactes elles sont capable de traiter les problèmes discontinus et certains problèmes non convexes [98], [99].

La figure 3.2 représente la classification des méthodes d'optimisation.

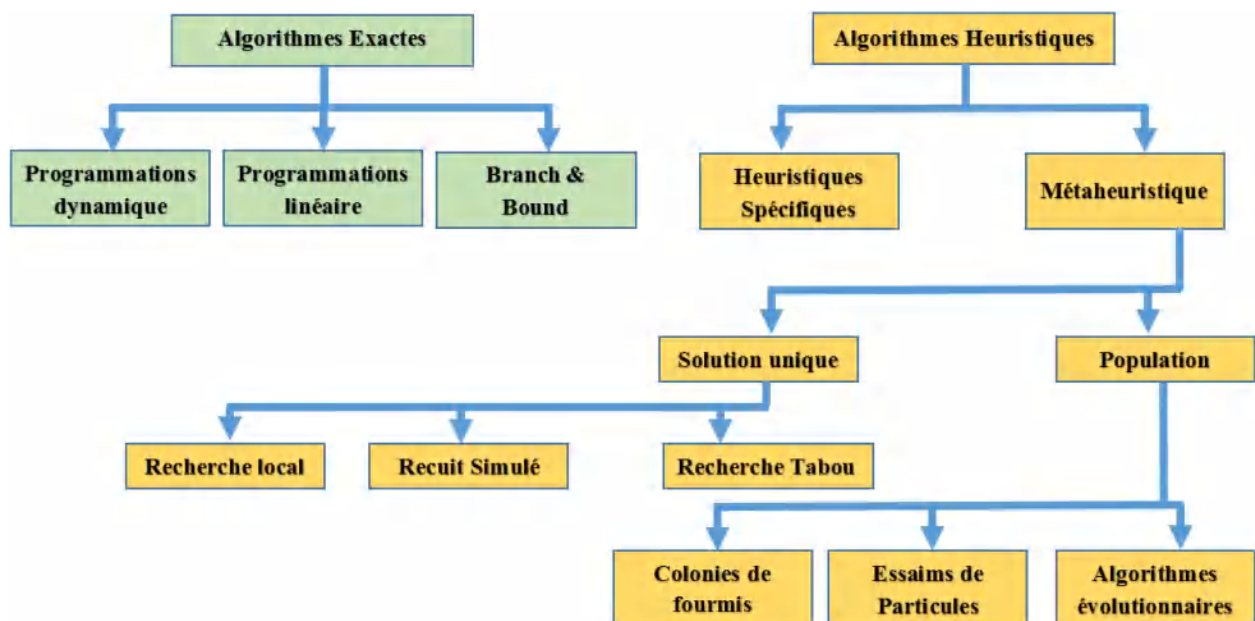


Figure 3. 2. Classification des méthodes d'optimisation.

3. 4. Principe d’algorithme PSO de base

L’optimisation par Essaim de particules ou Particle Swarm Optimization en anglais (PSO) est un algorithme stochastique basé sur la population introduit par Jim Kennedy et Russ Eberhart, qui est inspiré de comportement social des animaux évoluant en essaim tels que les poissons, les oiseaux. Dans PSO chacun de la population est appelé une particule et représente une solution potentielle du problème à optimiser. Chaque particule a une position et vitesse, de plus chaque particule détermine sa vitesse en fonction de leur expérience personnelle ainsi que l’information obtenue grâce à l’interaction avec d’autres membres d’essaims qui sont appelés voisins, en effet l’expérience de particule s’ajoute à l’expérience de groupe afin d’atteindre la solution optimale [100]–[102].

Le prochain mouvement d’une particule (sa nouvelle vitesse ou déplacement) se dirige par les trois composantes suivantes:

Une composante physique appelé aussi poids d’inertie : la particule suivre sa tendance actuelle.

Une composante cognitive : la particule tend à se diriger vers sa meilleure performance c’est-à-dire, se diriger vers meilleur site par lequel elle est déjà passée.

Une composante sociale : la particule tend vers la meilleure performance de ses voisins c’est à dire vers le meilleur site déjà atteint par ses voisins.

La figure 4.3 représente la stratégie de mouvement d’une particule.

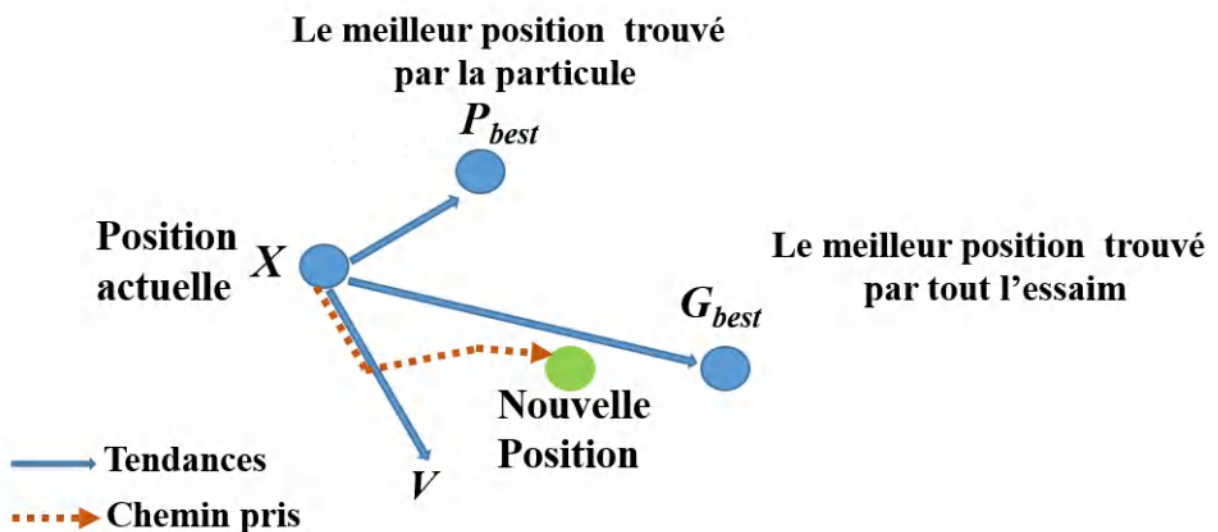


Figure 3. 3. Déplacement de particule.

3.4.1. Description Générale de l’algorithme PSO

Considérons un espace de recherche D , Soit i la particule de l’essaim, chaque particule est caractérisée par sa position $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iD})$ et un vecteur de vitesse appelé vélocité $V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{iD})$. Durant le mouvement de particule i dans l’espace de recherche, il garde en mémoire sa meilleure performance (meilleure position) qui notée $X_{Pbesti} = (X_{Pbesti1}, X_{Pbesti2}, \dots, X_{PbestiD})$. La meilleure position atteinte par l’ensemble des particules de l’essaim est notée par : $X_{Gbest} = (X_{Gbest1}, X_{Gbest2}, \dots, X_{GbestD})$. Avec ces notations, le vecteur de vitesse et le vecteur de position de chaque particule à l’itération $(k+1)$ sont donnés par les équations suivantes [100]–[102]:

$$V_i^{k+1} = w \times V_i^k + c_1 \times r_1 \times [P_{best}^k - X_i^k] + c_2 \times r_2 \times [G_{best}^k - X_i^k] \quad 3.1$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad 3.2$$

Où c_1 et c_2 sont les coefficients d’accélération, w représente le coefficient d’inertie (poids d’inertie) généralement dans la méthode PSO de base ces trois paramètres sont considéré constant, r_1 et r_2 sont deux nombres aléatoires tirés uniformément dans $[0, 1]$.

L’algorithme commence par définir le nombre de particule, et le positionnement aléatoire de particule dans l’espace de recherche, et à chaque itération k jusqu’à l’itération maximal k_{max} qui représente le critère d’arrêt, chaque particule fait bouger suivant les équations 3.1 et 3.2. Une fois le déplacement des particules effectué, les nouvelles positions sont évaluées. Les P_{best} ainsi que G_{best} sont alors mis à jour. Cette procédure est résumée par l’organigramme suivant [101], [102].

Le pseudo code de l’algorithme PSO de base est présenter dans algorithme 1.

Algorithme 1. Pseudo-code de PSO de base

1. Générer la population initiale X_i ($i = 1, 2, \dots, n_p$)
 2. évalué la valeur de fonction objectif
 3. **Tant que** ($k < k_{max}$) **faire**
 4. **Pour** $i = 1$ à n_p (pour chaque particule)
 5. Mettre à jour la vitesse de particule par l’équation 3.1
 6. Mettre à jour la position de particule par l’équation 3.2
 7. **Fin pour**
 8. Mettre à jour la meilleure solution G_{best}
 9. Mettre à jour les meilleures solutions P_{best}
 10. $k = k + 1$
 11. **Fin**
-

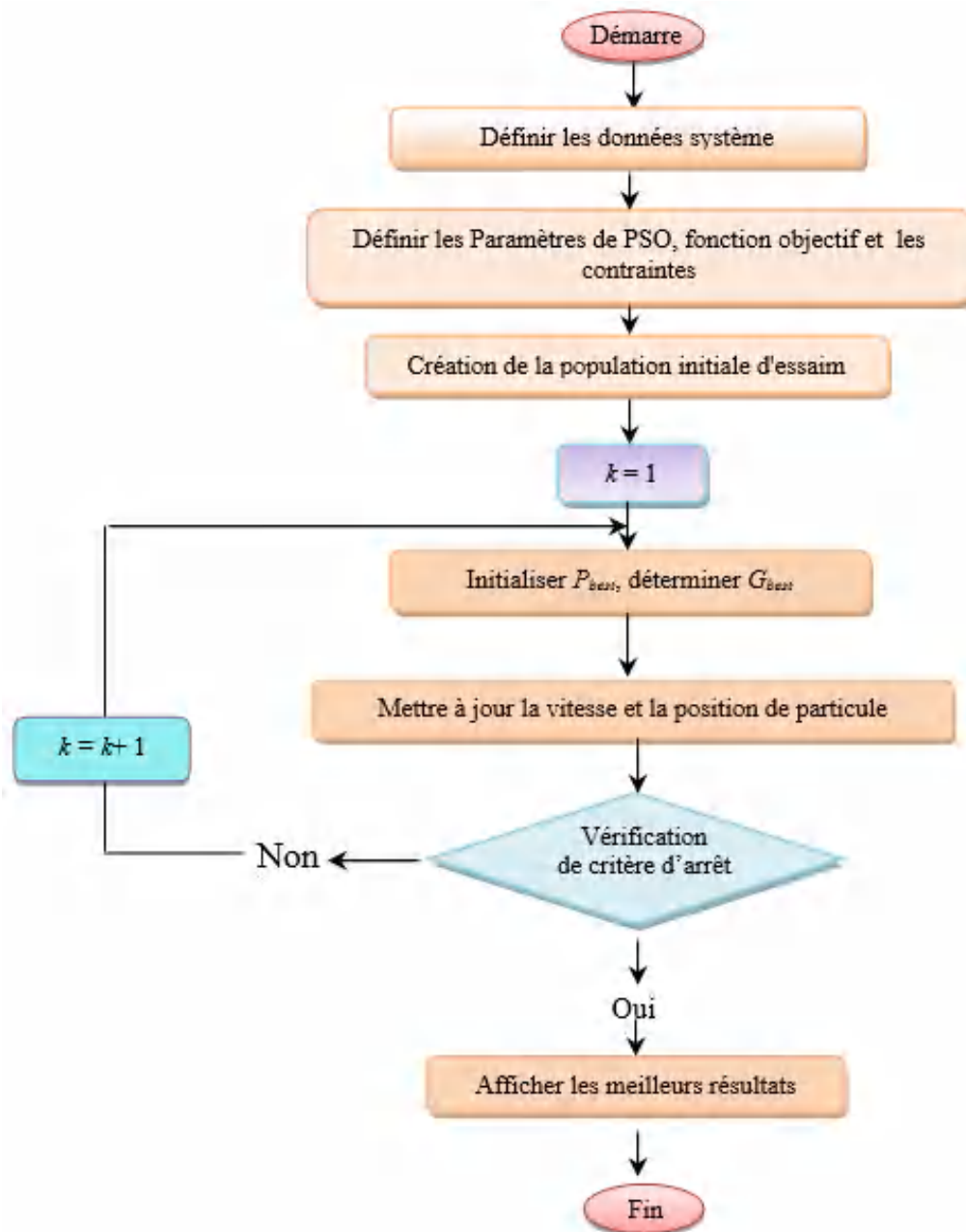


Figure 3. 4. Organigramme de l'optimisation à essaim de particule.

3. 5. Algorithme modifié de l'optimisation par essais de particules

PSO est considéré comme l'un des meilleur méthode d'optimisation en raison de sa facilité d'implémentation, et du fait qu'il converge rapidement, mais il ne donne souvent pas de garanties de convergence vers un optimum globale de nombreux problèmes d'optimisation, ce qui a été montré dans [103], [104], en effet, il a aussi prouvé que parfois l'algorithme de base converge prématurément vers une solution qui n'est même pas un optimum local. Cependant, dans des nombreuses recherches, nous constatons que l'algorithme PSO de base converge vers une optimum globale ou locale [105], pour cela de nombreux chercheurs ont contribué à l'amélioration de l'algorithme PSO par la modification des paramètres de l'algorithme de base, ces modifications ont été apporté pour améliorer les performances de PSO de base, la plupart des modification qui ont eu lieu de PSO de base sont basé sur la variation de w ou basé sur la variation de c_1 et c_2 .

Dans la suite nous allons d'écrit quelques algorithmes PSO modifié qui base sur la variation de w ou sur la variation de c_1 et c_2 .

3. 6. Algorithmes PSO modifier basé sur la variation de w

Parmi les premières modifications pour l'amélioration de PSO de base est l'introduction et le développement de l'un des paramètres de PSO de base qui est le poids d'inertie (w), qui a été initialement proposé par Shi et Eberhart [106] pour refléter l'équilibre entre les caractéristiques d'exploration et d'exploitation de PSO autrement dit-il je rôle d'équilibrer la recherche globale et la recherche locale. Depuis l'introduction de ce paramètre, il y a eu un certain nombre de propositions de stratégies différentes pour déterminer la valeur de w au cours d'un parcours (varié pour chaque itération et exécution). Pour suggérer une stratégie appropriée pour un utilisateur de PSO impliquant w , des études approfondies ont été menées dans cette thèse en utilisant neuf stratégies différentes liées à w , à savoir, le poids d'inertie adaptatif (AIW-PSO), le poids d'inertie avec Butterworth (B-PSO), poids d'inertie chaotique décroissant (CDIW-PSO), poids d'inertie décroissant (DW-PSO), poids d'inertie exponentielle (EIW-PSO), variation de poids d'inertie non linéaire pour l'adaptation dynamique (NLDA-PSO), poids d'inertie non linéaire amélioré (NLI-PSO), le poids d'inertie oscillant (OIW-PSO) et le poids d'inertie aléatoire (RIW-PSO).

3.6.1. Poids d'inertie adaptatif (Adaptive Inertia Weight) (AIW-PSO)

Le modèle de poids d'inertie adaptatif est développé en 2011 dans lesquelles déterminer la situation de l'essaim à chaque itération, dans cette stratégie les auteurs ont utilisé le pourcentage de réussite, où un pourcentage de réussite élevé montre que les particules ont convergé vers un point qui est loin du point optimal et que l'ensemble de l'essaim se déplace lentement vers l'optimum. Par contre, un pourcentage de réussite faible indique que les particules oscillent autour de l'optimum sans grande amélioration [107].

Mathématiquement le succès de particule i à l'itération k dans un problème de minimisation est défini comme:

$$S_i^k = \begin{cases} 1 & \text{si } fit(P_{best_i}^k) < fit(P_{best_i}^{k-1}) \\ 0 & \text{si } fit(P_{best_i}^k) = fit(P_{best_i}^{k-1}) \end{cases} \quad 3.3$$

Où P_{best} est la meilleure position trouver par particule i , fit représente l'objectif.

Le pourcentage de réussite est défini comme:

$$P_s(k) = \frac{\sum_i^{np} S_i^k}{np} \quad 3.4$$

Où np est le nombre de population, $P_s(k)$ est le pourcentage des particules qui ont eu une amélioration de leur fitness dans la dernière itération. Donc la fonction linéaire qui utilisée pour mapper les valeurs de P_s à la gamme possible de poids d'inertie défini comme suit :

$$w = (w_{\max} - w_{\min})P_s(k) + w_{\min} \quad 3.5$$

3.6.2. Poids d'inertie avec Butterworth (B-PSO)

La stratégie de poids d'inertie avec Butterworth est inspirée de la courbe de filtre de Butterworth, cette stratégie est développée en 2018. Au début de recherche w doit être relativement grand afin que les particules devraient visiter plus de positions dans l'espace de recherche et à la fin de recherche, w doit être relativement petit pour donner une meilleure capacité de recherche locale, le poids d'inertie de B-PSO est définie comme [108] :

$$w = w_{\max} \times \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{k}{P_1}\right)^{P_2}} \right) \times w_{\min} \quad 3.6$$

Où P_1 est fixé à un tiers du K_{max} , et P_2 est égal 10.

3.6.3. Poids d'inertie décroissant chaotique (CDIW-PSO),

La stratégie de poids d'inertie chaotique décroissant (CDIW) a été développée en 2007 [109] l'idée de cette stratégie est d'utiliser l'un de cartographie chaotique pour cela les auteurs ont choisi la cartographie logistique pour définir le coefficient de poids d'inertie. L'intérêt de cette stratégie est de donner une précision de convergence préférable, une convergence rapide et une bonne capacité de recherche globale. La formule de w de CDIW peut exprimer comme:

$$w = z_k \times w_{\min} + (w_{\max} - w_{\min}) \frac{k_{\max} - k}{k_{\max}} \quad 3.7$$

Où z_k est la cartographie logistique peut définie comme :

$$z_k = 4 \times z \times (1 - z) \quad 3.8$$

Où z est un nombre aleatoire dans l'intervalle [0, 1].

3.6.4. Poids d'inertie décroissant (DW-PSO)

La stratégie de poids d'inertie décroissant est développée en 2007, cette stratégie tente d'améliorer les performances de convergence de PSO, l'idée est inspiré après la suggestion donné en [106] qui montre qu'un poids d'inertie décroissant varie en temps fonctionnait mieux qu'une version à poids d'inertie fixe. Pour cela les auteurs développent un poids d'inertie décroissant de type exponentiel. La formule de DW peut définie comme [110]:

$$w = \left(\frac{2}{k}\right)^\alpha \quad 3.9$$

Où α est égale à 0.3.

3.6.5. Poids d'inertie exponentielle (EIW-PSO)

L'idée de poids d'inertie exponentielle a été tirée du taux de croisement adaptatif de l'algorithme d'évolution différentielle (DE), la variation de w est à cause de l'attracteur de recherche local (α) et à l'attracteur de recherche global (β). Au début de l'analyse la valeur de w doit être élevée pour éviter une convergence prématurée, alors qu'à la fin une petite valeur de w pour améliorer la recherche locale. Mathématiquement, ces variations peuvent être représentées par [111] :

$$w = w_0 e^{-\alpha \left(\frac{k}{k_{\max}}\right)^\beta} \quad 3.10$$

Où α , β , et w_0 sont des constantes égales à 2, 2 et 0.9 respectivement.

3.6.6. Poids d'inertie non linéaire variant dans le temps (NLDA-PSO)

La stratégie de Poids d'inertie non linéaire variant dans le temps (NLDA-PSO) a été développée en 2006, cette stratégie est adoptée afin que les particules remplissent efficacement l'espace de recherche au cours des itérations initiales, et pour arriver rapidement près de la solution optimale, et au cours des itérations suivantes, la variance de w diminuera progressivement afin que la solution optimale puisse être atteinte avec une meilleure précision. La formule de NLDA peut être exprimée comme [112] :

$$w = \left(\frac{k_{\max} - k^{0.6}}{k_{\max}^{0.6}} \right) \times (w_{\min} - w_{\max}) + w_{\max} \quad 3.11$$

3.6.7. Poids d'inertie non linéaire amélioré (NLI-PSO)

La stratégie de poids d'inertie non linéaire amélioré (NLI-PSO) est développée en 2008. Cette stratégie est consistée à utiliser une fonction dynamique qui diminue en fonction de l'augmentation de la génération itérative. La formule de variation de w peut être écrite comme [113] :

$$w = w_{\max} \times (1.0002)^{-k} \quad 3.12$$

3.6.8. Poids d'inertie oscillant (OIW-PSO)

La stratégie de poids d'inertie oscillant (OIW-PSO) est développée en 2009, cette stratégie est consistée à utiliser une oscillation dans le temps qui alterne périodiquement entre l'espace de recherche globales et locales, c'est une stratégie qui améliore les performances de PSO en qualité des résultats obtenus et de convergence rapide [114] :

$$w = \begin{cases} \frac{w_{\min} + \varpi_k}{2} + \frac{\varpi_k + w_{\min}}{2} \cos\left(\frac{2\pi k(4k+6)}{T}\right) & \text{if } k < \gamma \\ w_{\min} & \text{otherwise} \end{cases} \quad 3.13$$

$$\gamma = \frac{3 \times k_{\max}}{4} \quad \text{et} \quad T = \frac{2 \times \gamma}{17}$$

Où T représente la période d'oscillation.

3.6.8. Poids d'inertie aléatoire (RIW-PSO)

La stratégie de poids d'inertie aléatoire (RIW-PSO) a été développée en 1999, dans cette stratégie la valeur de w varie aléatoirement entre [0.5, 1.0], avec une valeur moyenne de 0.75.

De plus le choix de cette valeur est dû à l'esprit du facteur de constriction de Clerc [115], qui fixe w à une valeur de 0.792. La formule de variation de poids d'inertie aléatoire est comme suite [116]:

$$w = 0.5 + \frac{\alpha}{2} \quad 3.14$$

La figure 3.5 présente l'organigramme de l'optimisation à essaim particule avec variation de w .

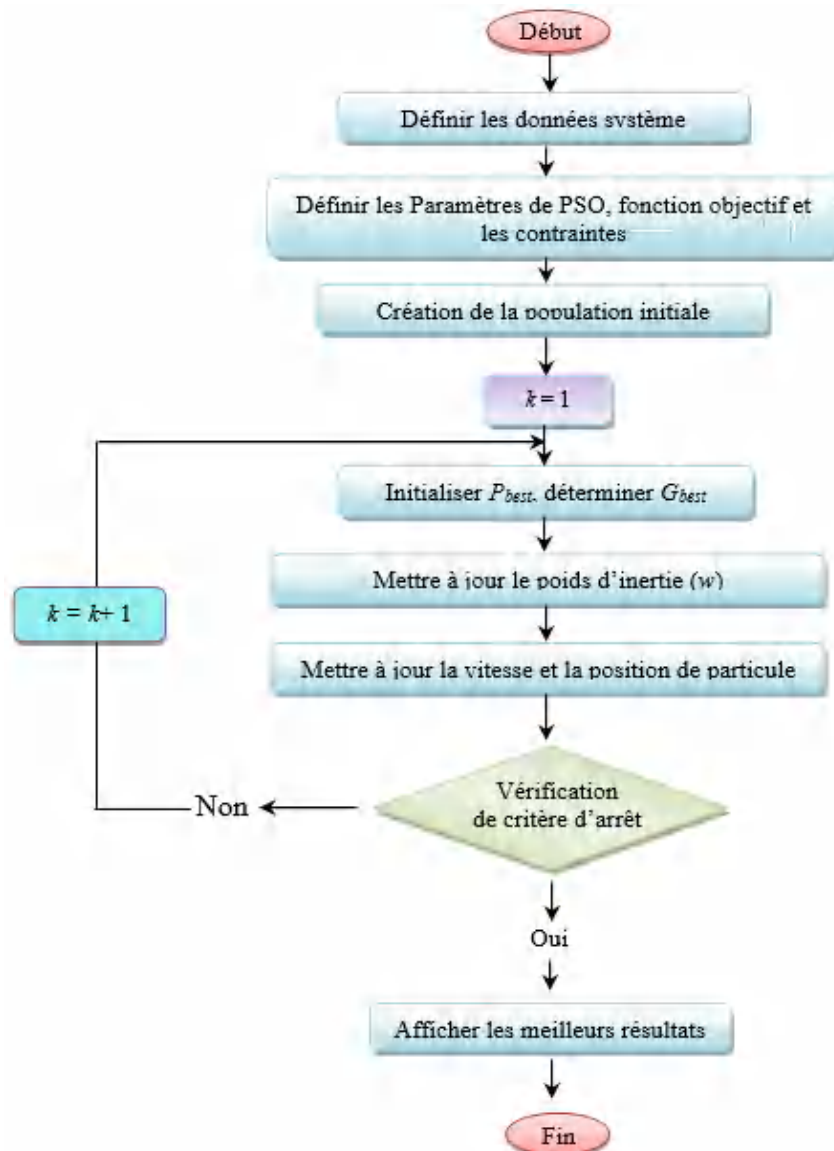


Figure 3. 5. Organigramme de l'optimisation à essaim de particule avec variation de w .

Les différentes stratégies de mise à jour variant dans le temps pour le paramètre de poids d'inertie w dans divers algorithmes PSO sont représentées sur la figure 3.6.

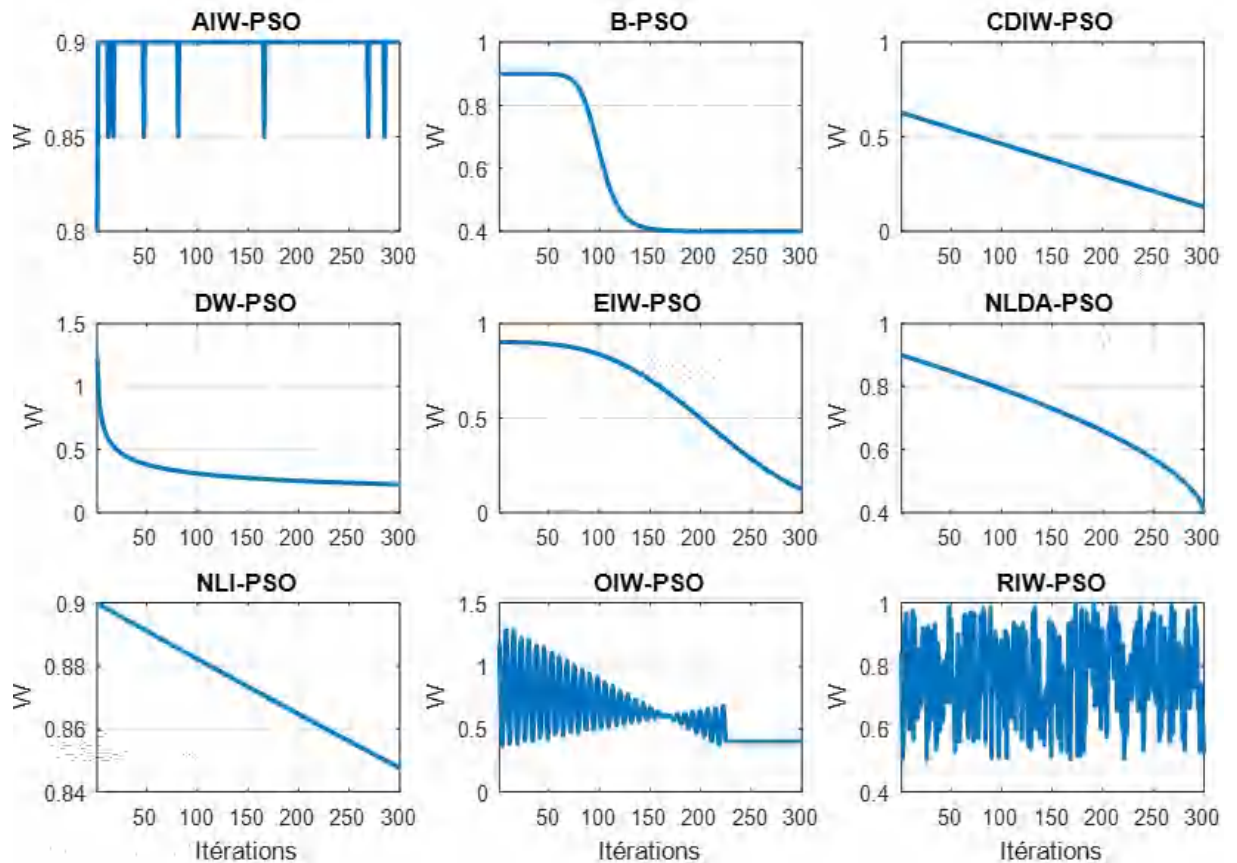


Figure 3. 6. Variation de poids d'inertie de divers PSO.

Suit la figure 3.6, il y a une variation de poids d'inertie avec les itérations, en général, cette variation est comprise entre 0,4 et 0,9. Le poids d'inertie de l'algorithme DW-PSO diminué rapidement par rapport à d'autres algorithmes, ce qui signifie une convergence rapide, néanmoins, en termes d'efficacité et de précision.

3. 7. Algorithmes PSO modifié basé sur la variation de c_1 et c_2

Dans la littérature plusieurs améliorations sont traitées à la méthode de PSO de base afin d'améliorer les performances de l'algorithme de base, parmi ces modifications la variation des coefficients d'accélération en temps [116]. Pour suggérer une stratégie appropriée pour un utilisateur de PSO impliquant c_1 , et c_2 , des études approfondies ont été menées dans cette thèse en utilisant cinq stratégies différentes liées à c_1 , et c_2 , à savoir : Coefficients d'accélération adaptatifs PSO (AAC-PSO), groupes de particules autonomes pour PSO (APG-PSO), coefficients d'accélération dynamique non linéaire PSO (NDAC-PSO), coefficients d'accélération sinus cosinus PSO (SCAC-PSO) et PSO d'accélération variable dans le temps (TVA-PSO).

3.7.1. Coefficients d'accélération adaptatifs PSO (AAC-PSO)

La stratégie de coefficients d'accélération adaptatifs est développée en 2009, cette stratégie consiste de réduire la composante cognitive et augmentant la composante sociale à travers la modification des coefficients d'accélération avec le temps. Ce qui autorise les particules à se déplacer dans tout l'espace de recherche au début de recherche, et à la dernière partie de recherche une petite valeur de c_1 et une grande valeur de c_2 permettent aux particules de converger vers un optimum global. Les formules de variation de c_1 , et c_2 en temps peut exprimer comme [74]:

$$\begin{aligned} c_1 &= c_{\min} + (c_{\max} - c_{\min})e^{-\left(\frac{4 \times k}{k_{\max}}\right)^2} \\ c_2 &= c_{\max} - (c_{\max} - c_{\min})e^{-\left(\frac{4 \times k}{k_{\max}}\right)^2} \end{aligned} \quad 3.15$$

Où c_{\max} , et c_{\min} ont égale a 2.5 et 0.5 respectivement.

3.7.2. Groupes de particules autonomes pour PSO (APG-PSO)

La stratégie de groupes de particules autonomes est développée en 2014, cette stratégie est inspirée de la diversité des individus dans les troupeaux d'animaux ou les essaims d'insectes. La capacité de chaque individu peut être utile dans une situation particulière. De plus l'utilisation de divers groupes autonomes avec un objectif commun dans tout algorithme d'optimisation basé sur la population pourrait théoriquement entraîner une recherche plus aléatoire et dirigée simultanément. Les formules de variations de c_1 et c_2 en temps peut s'écrire comme [75] :

$$\begin{aligned} c_1 &= 1.95 - 1 \left(\frac{2 \times k^{\left(\frac{1}{3}\right)}}{k_{\max}^{\left(\frac{1}{3}\right)}} \right) \\ c_2 &= 0.05 + \left(\frac{2 \times k^{\left(\frac{1}{3}\right)}}{k_{\max}^{\left(\frac{1}{3}\right)}} \right) \end{aligned} \quad 3.16$$

3.7.3. Dynamique non linéaire coefficients d'accélération PSO (NDAC-PSO)

La stratégie de dynamique non linéaire coefficients d'accélération (NDAC) a été développée en 2018, dans cette stratégie, les auteurs visent à contrôler la distance du mouvement des particules dans l'espace de recherche, où, les coefficients d'accélération jouent un rôle important pour obtenir la solution optimale. Dans ce contexte les auteurs espèrent que les particules pourront visiter tous l'espace de recherche au début de processus, et dans la dernière période du processus de recherche, il est important d'augmenter la capacité de recherche locale pour obtenir la position optimale globale d'une façon efficace et rapide. Les variations de c_1 et c_2 en temps se formulent comme [117] :

$$\begin{aligned} c_1 &= -(c_f - c_i) \times \left(\frac{k}{k_{\max}} \right)^2 + c_f \\ c_2 &= c_i \times \left(1 - \frac{k}{k_{\max}} \right)^2 + c_f \times \left(\frac{k}{k_{\max}} \right) \end{aligned} \quad 3.17$$

Où c_f , et c_i égale a 2.5 et 0.5 respectivement.

3.7.4. Coefficients d'accélération sinus cosinus PSO (SCAC-PSO)

La stratégie de coefficients d'accélération sinus cosinus PSO (SCAC-PSO) est développé en 2017, le but de cette stratégie est d'améliorer les performances de PSO, donc le but principal de cette stratégie est pour éviter la convergence prématurée au début de la recherche et pour améliorer la précision de convergence à la fin de l'étape de recherche. Mathématiquement, la variation des coefficients d'accélération peut écrire comme [118] :

$$\begin{aligned} c_1 &= \vartheta \times \sin \left[\left(1 - \frac{k}{k_{\max}} \right) \times \frac{\pi}{2} \right] + \delta \\ c_2 &= \vartheta \times \cos \left[\left(1 - \frac{k}{k_{\max}} \right) \times \frac{\pi}{2} \right] + \delta \end{aligned} \quad 3.18$$

Où ϑ et δ sont des constant égale à 2, et 0.5 respectivement.

3.7.5. Variation des coefficients d'accélération dans le temps (TVA-PSO)

La stratégie de la variation des coefficients d'accélération dans le temps (TVA) a été développé en 2004, le but de cette stratégie est d'améliorer l'efficacité de PSO par donner une recherche globale dans la première étape de recherche, et d'encourager les particules à converger vers les optimum globaux à la fin de la recherche. Les formules de variation de c_1 , et c_2 peut écrire comme [119] :

$$\begin{aligned} c_1 &= c_{1i} + \left(\frac{c_{1f} - c_{1i}}{k_{\max}} \right) . k \\ c_2 &= c_{2i} + \left(\frac{c_{2f} - c_{2i}}{k_{\max}} \right) . k \end{aligned} \quad 3.19$$

Où $c_{1i} = c_{2f} = 2.5$, et $c_{2i} = c_{1f} = 0.5$.

La figure 3.7 représenté l'organigramme de l'optimisation à essaim de particule avec variation de c_1 et c_2 .

Les différentes stratégies de mise à jour variant dans le temps pour les coefficients d'accélération c_1 et c_2 pour les différents algorithmes PSO sont représentées sur la figure 3.8.

Comme le montre la figure 3.8, lors de l'utilisation de l'algorithme PSO de base, malgré la variation du nombre d'itérations, les coefficients d'accélération c_1 et c_2 sont constants. Cependant, dans d'autres algorithmes, les coefficients d'accélération varient avec les itérations.

De plus, c_1 est diminué de 2.5 à 0.5 pour tous les algorithmes sauf pour APG-PSO, dans lequel c_1 varie de 1.65 à 0. D'autre part, c_2 est augmenté de 0.5 à 2.5 pour presque tous les algorithmes à l'exception de APG-PSO, dans laquelle c_2 varie de 0.35 à 2.05. On remarque également que l'AAC-PSO montre une variation rapide pour conserver une forme stable, alors que le NDAC-PSO prend plus de temps pour que c_2 soit supérieur à c_1 .

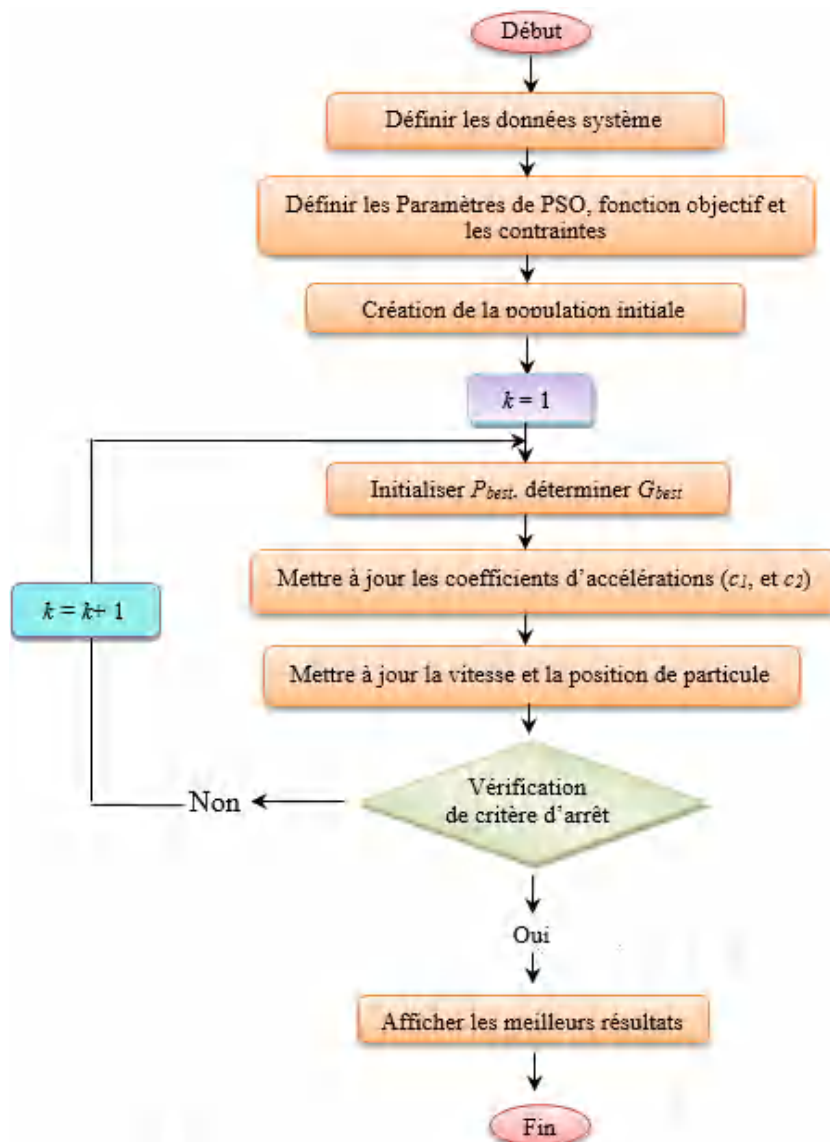


Figure 3. 7. Organigramme de l'optimisation à essaim de particule avec variation de c_1 et c_2 .

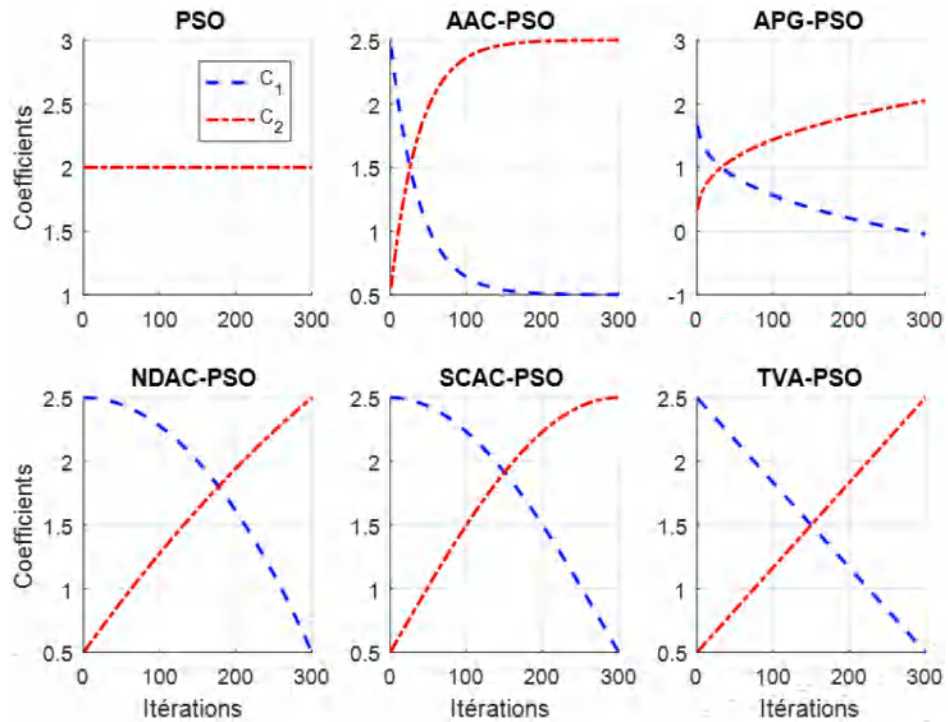


Figure 3. 8. Variation des coefficients d'accélération de divers PSO.

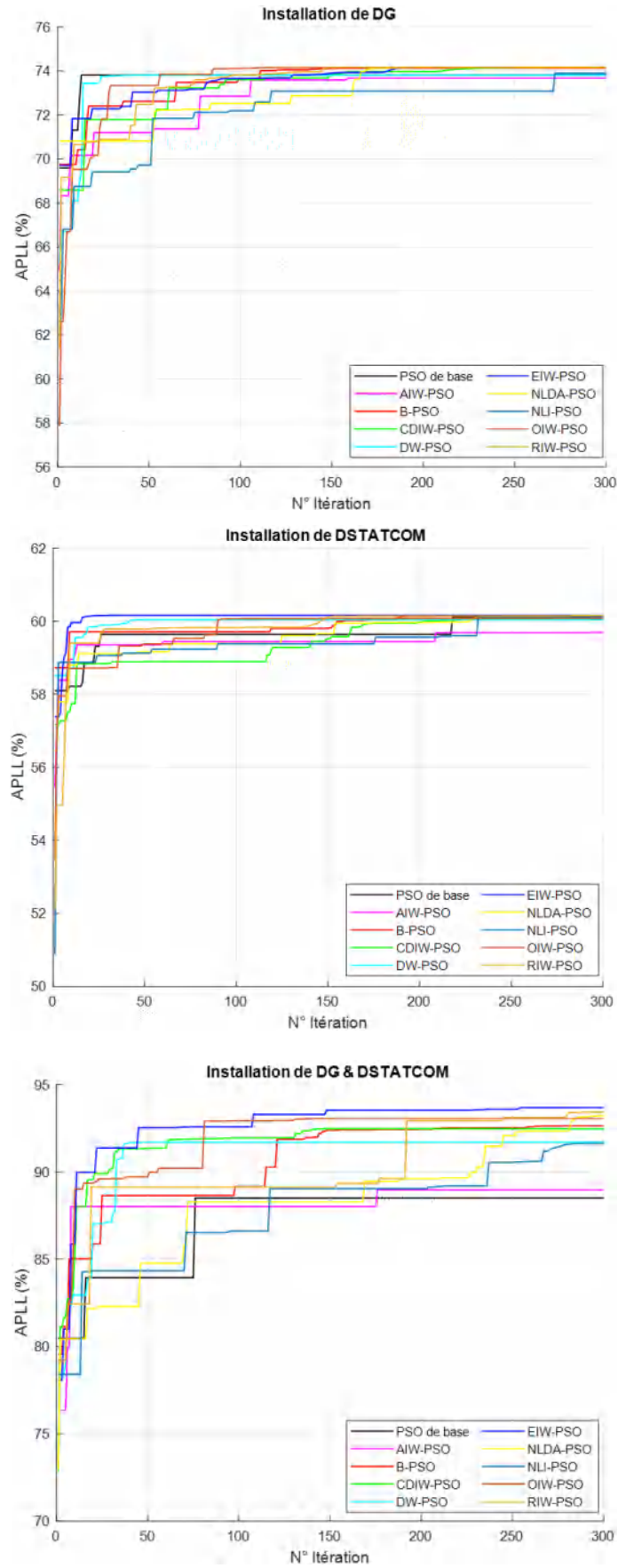
3. 8. Résultats de simulation et comparaison des Diverses Méthodes

Dans ce chapitre nous avons étudié deux types de fonction objectifs qui sont mono-objectif et multi-objectif. Premièrement nous allons étudier le problème d'optimisation mono-objectif, où la fonction objectif est sert à la maximisation de l'indice de perte de puissance active.

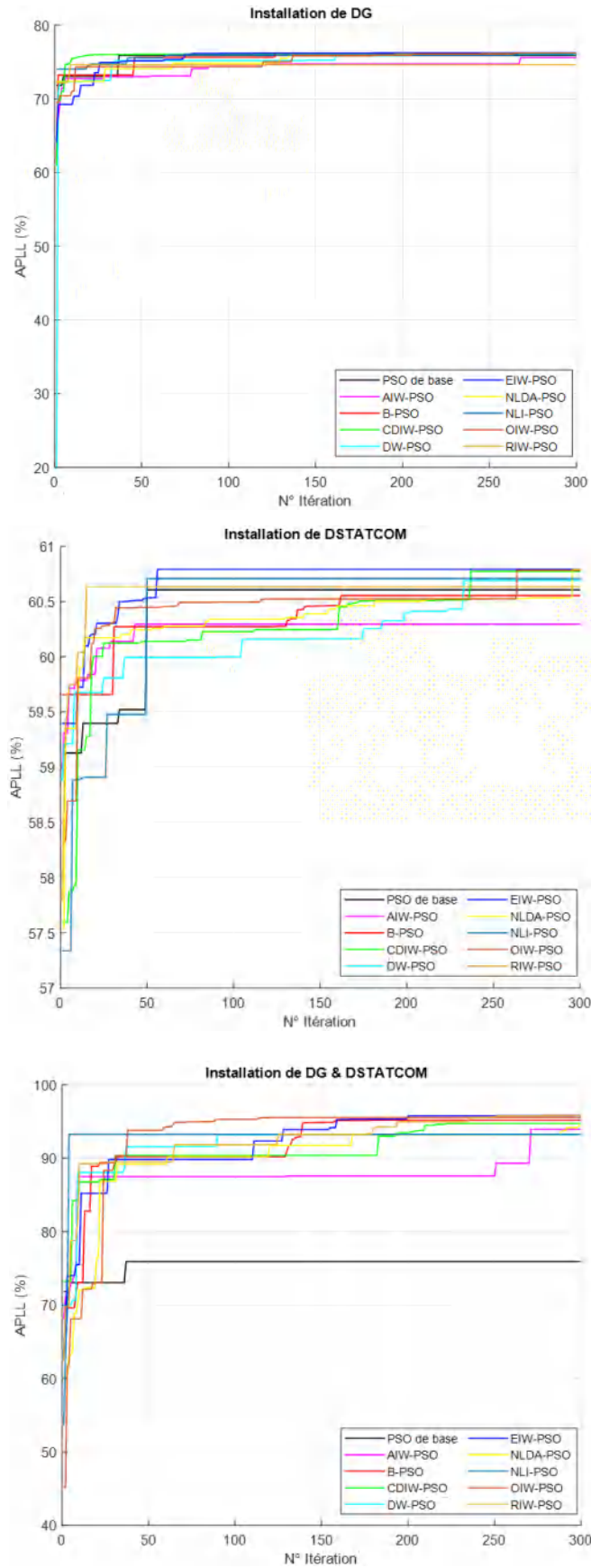
3.8.1. Résultats de simulation et comparaison de PSO basé sur la variation de w en fonction mono objectif

Les courbes de convergences de divers PSO modifié basé sur la variation de w lors de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG & DSTATCOM simultanément sont représentées dans la figure 3.9.

D'après la figure 3.9, il est clair que chaque algorithme a un nombre différent d'itérations pour atteindre la solution optimale. Pour le réseau IEEE 33-JB, lors de l'intégration de DG uniquement, on constate que tous les algorithmes convergent après 150 itérations, à l'exception de PSO de base qui converge rapidement avant 50 itérations en plus les résultats d'APLL sont plus proche de l'un à l'autre.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 9. Courbe de convergence de divers algorithmes PSO.

De la même manière, pour le cas de l'intégration de DSTATCOM, à l'exception de EIW-PSO qui converge rapidement avec moins de 30 itérations, tous les algorithmes convergent entre 150 et 230 itérations. Parmi eux, l'algorithme NLI-PSO qui présente le temps de convergence le plus long par rapport aux autres; qui est supérieur à 230 itérations.

Pour le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément, la majorité des algorithmes prennent beaucoup de temps pour atteindre la solution optimale. Parmi ces algorithmes, OIW-PSO, NLDA-PSO, et NLI-PSO convergent environ 270 itérations. Par contre l'algorithme DW-PSO converge rapidement mais il n'atteint pas le meilleur résultat d'APLL.

Pour le réseau IEEE 69-JB, pour le cas d'intégration de DG uniquement, il est clairement vu que les résultats d'APLL obtenus par tous les algorithmes sont plus proches de l'un à l'autre, en plus, à l'exception de l'algorithme AIW-PSO, qui prend énormément d'itérations pour converger avec environ 260 itérations.

D'autre part, pour l'intégration de DSTATCOM uniquement, plusieurs algorithmes convergent rapidement, avec moins de 70 itérations, parmi ces algorithmes NLI-PSO qui converge à l'itération numéro 50, par contre les autres algorithmes prennent plus de 100 itérations pour atteindre la solution optimale.

De même pour le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément, les algorithmes PSO de base et NLI-PSO convergent rapidement avec moins de 50 itérations, par contre, les autres algorithmes prennent plusieurs itérations pour converger, de plus, on peut noter que les résultats d'APLL sont très éloignés les uns des autres dans les cas de l'installation de DSTATCOM uniquement et DG et DSTATCOM simultanément.

Aussi, on peut observer que certains algorithmes tels que AIW-PSO convergent rapidement dans le premier système de test, alors qu'il faut beaucoup d'itérations pour converger dans le deuxième système de test.

Les tableaux 3.1, 3.2, et 3.3 représentent les résultats d'optimisations après l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément pour les deux réseaux étudiés.

Tableau 3. 1. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.

	Algorithmes Appliqué	Taille (MW) JB	$V_{min}(p.u.)$	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.7874 (13) 1.0221 (24) 0.9335 (32)	0.9660	74.8732	52.4458	73.8077
	AIW-PSO	0.8075 (15) 0.8740 (24) 1.1776 (30)	0.9719	74.6305	52.1554	73.6751
	B-PSO	0.8540 (13) 1.0826 (24) 1.0338 (30)	0.9687	72.9152	50.6896	74.1235
	CDIW- PSO	0.7990 (13) 1.0602 (24) 1.0602 (30)	0.9686	72.7977	50.6751	74.1537
	DW-PSO	0.7685 (14) 1.2568 (24) 0.9528 (31)	0.9689	74.1265	51.8645	73.8054
	EIW-PSO	0.8019 (13) 1.0916 (24) 1.0539 (30)	0.9687	72.7853	50.6818	74.1575
	NLDA-PSO	0.7535 (14) 1.1082 (24) 1.0750 (30)	0.9688	72.8064	50.7487	74.1518
	NLI-PSO	0.8891 (13) 1.3024 (24) 0.9511 (30)	0.9674	73.8158	51.3818	73.8877
	OIW-PSO	0.7703 (14) 1.1286 (24) 1.0883 (30)	0.9695	72.8234	50.7970	74.1476
	RIW-PSO	0.7710 (14) 1.0972 (24) 1.0662 (30)	0.9687	72.7897	50.7212	74.1563
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.3039 (18) 0.8983 (51) 1.7349 (61)	0.9810	71.3741	35.6987	75.9134
	AIW-PSO	0.4449 (18) 0.0100 (47) 1.8088 (61)	0.9794	71.9448	36.1020	75.5852
	B-PSO	0.4304 (18) 0.6568 (51) 1.6955 (61)	0.9790	70.2092	35.2402	76.0341
	CDIW- PSO	0.5304 (18) 0.8470 (50) 1.7799 (61)	0.9789	70.1777	32.3381	76.0412
	DW-PSO	0.7127 (9) 0.5349 (18) 1.6805 (61)	0.9796	70.2705	35.2409	76.0188
	EIW-PSO	0.5885 (11) 0.3639 (20) 1.7292 (61)	0.9796	69.4534	34.9523	76.2308
	NLDA-PSO	0.4589 (12) 0.3092 (23) 1.7304 (61)	0.9786	69.6554	35.0962	76.1775
	NLI-PSO	0.3117 (19) 1.6974 (61) 0.5006 (66)	0.9777	69.9295	35.1705	76.1060
	OIW-PSO	0.5647 (11) 0.3038 (22) 1.7078 (61)	0.9784	69.5122	35.0044	76.2150
	RIW-PSO	0.5546 (12) 0.5794 (15) 1.9855 (61)	0.9894	75.7890	37.3247	74.6163

Pour les deux systèmes de test, les tailles et les emplacements optimales de DG obtenu par les algorithmes appliqués contribue à minimiser les pertes de puissance active et réactive et à l'amélioration de la tension minimale. Pour le IEEE 33-JB, grâce à l'intégration de DG dans les jeux de barres 13, 24, et 30 avec une taille totale proche de 3 MW, l'algorithme EIW-PSO recorde les meilleurs résultats d'APLL qui est 74.1575 % à travers la minimisation de P_{Loss} de 210.9875 kW à 74.1265 kW, le V_{min} est amélioré de 0.9038 p.u. jusqu'à 0.9687 p.u., de même façon l'algorithme EIW-PSO fournira les meilleurs résultats d'APLL pour le réseau IEEE 69-JB grâce à l'intégration de DG dans les jeux de barres 11, 20, et 61 avec des tailles de 0.5885, 0.3639, et 1.7292 MW respectivement, cette intégration contribue à minimiser les pertes active et réactive de 224.9480 kW à 69.4534, et de 102.140 kVar à 34.9523 kVar respectivement. De plus, la tension minimale est améliorée de 0.9092 p.u. à 0.9894 p.u. recordé par l'algorithme PSO de base en raison de la taille totale la plus élevée de DG comparons avec celle obtenu par d'autres algorithmes.

Tableau 3. 2. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.

a. IEEE 33-JB.

	Algorithmes Appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.2853 (13) 0.2650 (25) 1.0155 (30)	0.9268	140.0118	95.3771	60.1104
	AIW-PSO	0.5627 (5) 0.3653 (9) 1.0101 (30)	0.9268	141.0115	96.1601	59.6869
	B-PSO	0.4652 (12) 0.5441 (24) 0.9763 (30)	0.9307	138.3623	94.2828	60.1423
	CDIW- PSO	0.4231 (12) 0.4735 (24) 0.9206 (30)	0.9286	138.7855	94.5400	60.0683
	DW-PSO	0.4699 (12) 0.7330 (24) 0.9296 (30)	0.9307	138.9560	94.7559	60.0399
	EIW-PSO	0.3865 (13) 0.5538 (24) 1.0420 (30)	0.9317	138.2546	94.2898	60.1610
	NLDA-PSO	0.3776 (13) 0.5294 (24) 1.0738 (30)	0.9316	138.2957	94.3324	60.1539
	NLI-PSO	0.4612 (11) 0.6133 (24) 1.0625 (30)	0.9311	138.5830	94.4845	60.1047
	OIW-PSO	0.3700 (14) 0.7337 (24) 1.0139 (30)	0.9329	138.7389	94.7260	60.0773
	RIW-PSO	0.4570 (12) 0.5430 (24) 1.0141 (30)	0.9307	138.3152	94.2708	60.1507

b. IEEE 69-JB.

	Algorithmes Appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.4572 (17) 0.3010 (49) 1.2881 (61)	0.9316	146.2226	66.8148	60.6049
	AIW-PSO	0.3740 (18) 0.0100 (44) 1.2137 (61)	0.9303	146.5446	68.2936	60.2942
	B-PSO	0.2825 (20) 0.4583 (53) 1.2045 (61)	0.9316	145.5248	67.8101	60.5524
	CDIW- PSO	0.3298 (11) 0.2675 (18) 1.2836 (61)	0.9320	145.2075	67.6943	60.7712
	DW-PSO	0.3520 (18) 0.2106 (53) 1.2280 (61)	0.9312	145.7127	67.8904	60.6883
	EIW-PSO	0.4232 (11) 0.2261 (22) 1.2321 (61)	0.9314	145.0883	67.6448	60.7908
	NLDA-PSO	0.3728 (11) 0.2405 (21) 1.2394 (61)	0.9314	145.0986	67.6565	60.7891
	NLI-PSO	0.1898 (20) 1.1709 (61) 0.4861 (66)	0.9306	145.6006	67.8215	60.7067
	OIW-PSO	0.4264 (11) 0.2325 (22) 1.1917 (61)	0.9309	145.1485	67.6731	60.7809
	RIW-PSO	0.3586 (21) 0.8500 (49) 1.2776 (61)	0.9312	146.0520	66.8583	60.6328

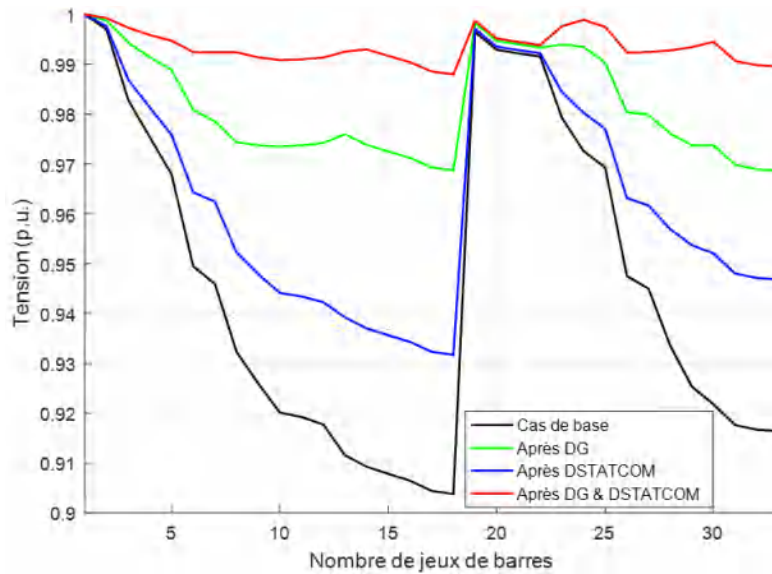
Le tableau 3.2 montre les résultats d'optimisations après l'intégration de DSTATCOM, où pour le réseau IEEE 33-JB, à l'exception des algorithmes PSO de base, AIW-PSO tous les algorithmes choisissent les jeux de barres 24, et 30 comme des emplacements optimaux pour l'installation de DSTATCOM, en plus l'algorithme EIW-PSO recorde les meilleurs résultats comparons avec d'autres algorithmes, où les pertes de puissance active et réactive ont réduit avec un pourcentage de réduction jusqu'à 34.4726 %, et 34.1220 % respectivement. Pour le réseau IEEE 69-JB, le jeu de barre 61 est choisie comme un emplacement optimal pour l'installation de l'un de DSTATCOM, en plus il possède la taille la plus élevé comparons avec les tailles obtenues dans les autres emplacements. De plus, l'algorithme EIW-PSO choisi les jeux de barres 11, 22, 61 comme des emplacements optimaux des DSTATCOM avec des tailles de 0.4232, 0.2261, et 1.2394 MVar respectivement, cette intégration permis de réduit les pertes de puissance active et réactive avec un pourcentage de réduction de 35.5014 %, et 33.7240 % respectivement.

Tableau 3. 3. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.

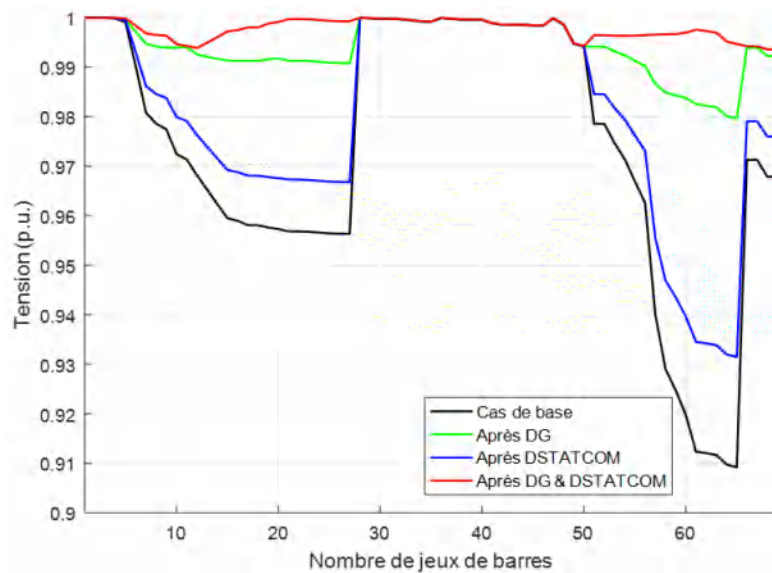
	Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	1.0154 (9) 0.3514 (24) 0.8445 (30)	0.6034(8) 0.4663(22) 0.8567(30)	0.9750	27.3993	20.3035	88.5063
	AIW-PSO	1.9016 (3) 0.8645 (11) 0.7981 (30)	0.6100 (12) 0.0100 (24) 0.7287 (31)	0.9860	26.1487	19.9157	88.9729
	B-PSO	0.8050 (13) 0.9860 (25) 0.9430 (30)	0.5538 (12) 0.0173 (28) 1.0882 (30)	0.9938	16.7643	13.0188	92.6392
	CDIW- PSO	0.7128 (15) 0.7129 (25) 0.9069 (30)	0.5465 (13) 0.5539 (25) 0.7953 (30)	0.9861	17.1879	13.0030	92.4674
	DW-PSO	1.0297 (12) 0.8313 (25) 0.9265 (30)	0.3451 (14) 0.4093 (30) 0.7520 (32)	0.9938	19.1024	15.0927	91.6977
	EIW-PSO	0.7461 (14) 1.0641 (24) 0.9930 (30)	0.6012 (8) 0.4122 (25) 0.7424 (30)	0.9880	14.2200	11.3396	93.6856
	NLDA-PSO	0.8662 (13) 0.9012 (24) 0.9356 (30)	0.2073 (11) 0.2830 (14) 1.1034 (30)	0.9910	15.3223	11.7844	93.2296
	NLI-PSO	1.0497 (14) 1.2311 (24) 0.8719 (30)	0.5869 (11) 0.0766 (25) 1.1134 (30)	0.9941	19.2594	15.3705	91.6352
	OIW-PSO	0.9152 (13) 0.9436 (24) 0.9830 (30)	0.4868 (12) 0.0142 (18) 0.9575 (30)	0.9918	16.0109	12.4509	93.0612
	RIW-PSO	0.7045 (14) 1.0035 (25) 0.8399 (31)	0.3530 (14) 0.4051 (25) 1.0543 (31)	0.9867	18.9237	15.6802	93.4313
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.4175 (17) 1.8976 (62) 0.0638 (67)	0.0100(41) 1.5836(61) 0.2137(69)	0.9929	14.7216	10.9116	93.8572
	AIW-PSO	0.8255 (20) 0.0100 (49) 1.7978 (61)	0.4735 (6) 0.0100 (44) 1.1975 (63)	0.9943	17.8098	11.7065	93.9340
	B-PSO	0.5193 (22) 0.0100 (35) 1.7976 (61)	0.0100 (24) 0.1918 (53) 1.2435 (61)	0.9929	11.3610	9.5279	95.1481
	CDIW- PSO	0.2482 (27) 0.2679 (53) 1.6251 (61)	0.1194 (27) 0.0100 (58) 1.2354 (61)	0.9864	11.4431	9.8048	94.7143
	DW-PSO	0.2618 (20) 2.7556 (47) 1.6401 (61)	0.0108 (24) 1.0720 (53) 0.8829 (63)	0.9853	16.3063	11.8475	93.1798
	EIW-PSO	0.0100 (11) 0.4749 (22) 1.5934 (61)	0.3719 (19) 0.0100 (54) 1.4327 (61)	0.9936	9.7155	9.0864	95.8214
	NLDA-PSO	0.6363 (49) 0.0100 (16) 1.6588 (61)	0.5170 (19) 0.0100 (29) 0.8976 (63)	0.9785	22.6667	11.5015	91.5497
	NLI-PSO	0.8343 (13) 0.0100 (17) 1.7817 (62)	0.0100 (54) 1.1110 (61) 0.0100 (66)	0.9916	16.1502	11.6087	93.2411
	OIW-PSO	0.1978 (21) 0.0564 (27) 1.7337 (61)	0.6742 (12) 0.0100 (27) 1.2076 (61)	0.9885	10.4346	9.3538	95.5256
	RIW-PSO	0.5652 (18) 0.0100 (39) 1.6836 (61)	0.1806 (24) 0.0100 (37) 1.4586 (61)	0.9942	9.7191	8.9587	95.8202

Tel que représenté dans le tableau 3.3, l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément fourni une meilleure minimisation de la perte de puissance active et réactive en raison de la puissance active injectée par DG et de la puissance réactive injectée par DSTATCOM, où les

pertes de puissance active et réactive sont minimisées avec un pourcentage de réduction jusqu'à 90 % pour presque tous les algorithmes. Par exemple pour le réseau IEEE 33-JB, les meilleurs emplacements de DG obtenus par l'algorithme EIW-PSO sont les jeux de barres 14,24, et 30 en même temps les jeux de barres 8, 25, et 30 sont choisis pour l'installation de DSTATCOM, cette installation permet de minimiser les pertes de puissance active et réactive de 210.9875 kW à 14.2200 kW, et de 143.128 kVar 11.3396 kVar respectivement pour le premier et le deuxième réseau.



(a). IEEE 33-JB.

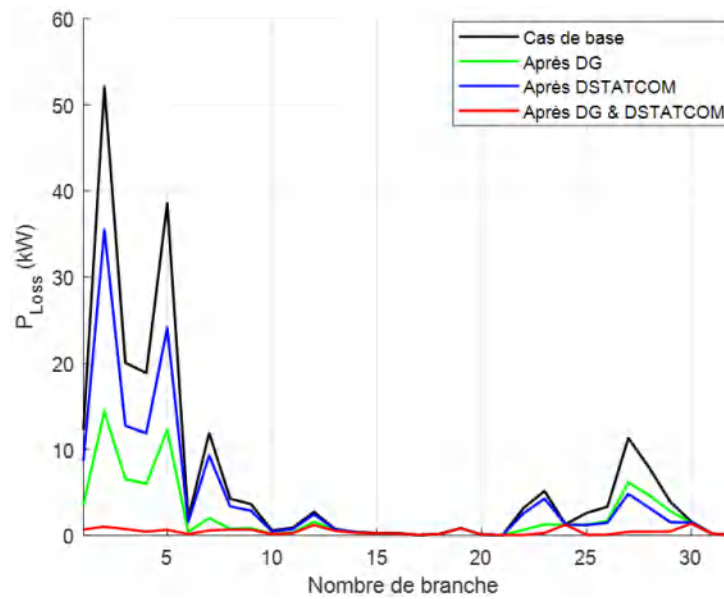


(b). IEEE 69-JB.

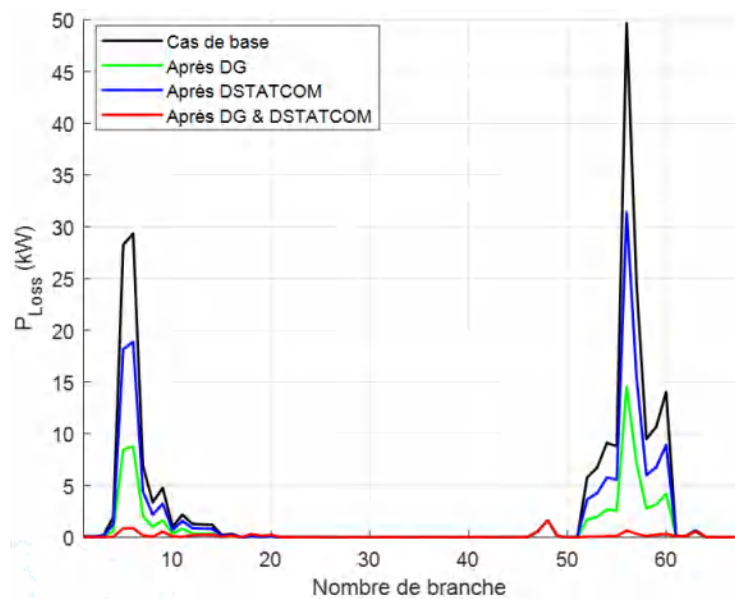
Figure 3. 10. Profil de tension de divers algorithmes PSO.

Le profil de tension des systèmes étudié après l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément sont représentés dans la figure 3.10.

De la figure 3.10, il est très clair que la meilleure amélioration du profil de tension est obtenue dans le cas de l'installation simultanément de DG et DSTATCOM pour les deux systèmes de test, où les tensions dans tous les jeux de barres sont supérieures à 0.985 p.u., en plus les tensions minimales sont augmentées de 0.9038 p.u. et 0.9092 p.u. à 0.9880 p.u. et 0.9936 p.u. respectivement pour le réseau IEEE 33-JB et 69-JB.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB

Figure 3. 11. P_{Loss} par branche de divers PSO.

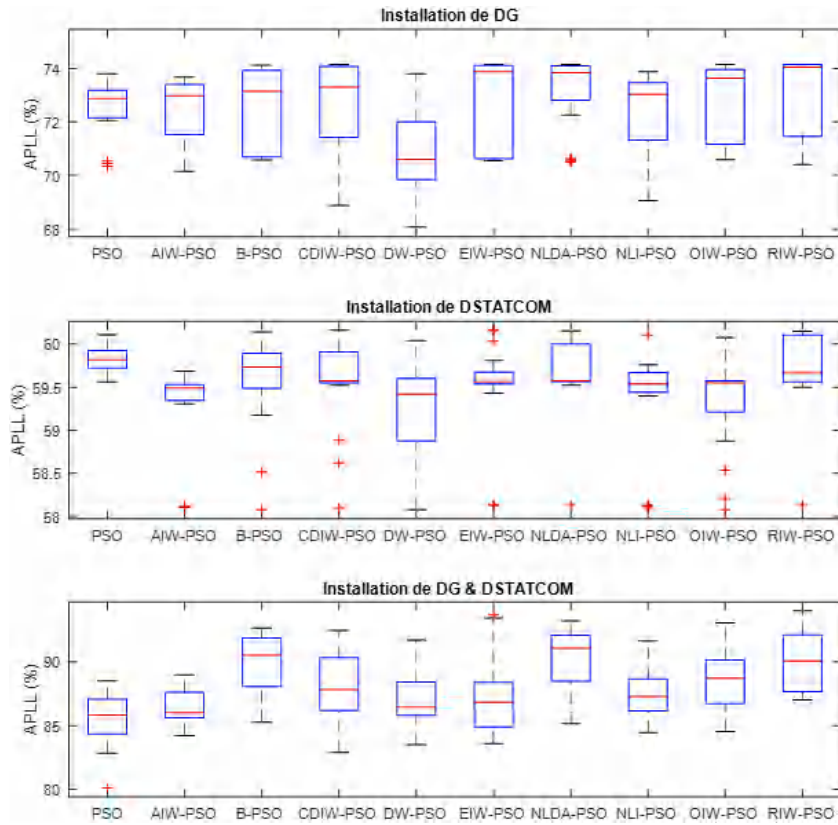
La figure 3.11 représente les impacts de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément aux pertes de puissance active par branche.

D'après la figure 3.11, il est clairement observé que la réduction de la perte de puissance est obtenue efficacement par l'installation optimale de DG plutôt que de DSTATCOM, lorsqu'il est installé individuellement. Cependant, la réduction maximale de la perte de puissance est obtenue lorsque DG et DSTATCOM sont installés ensemble de manière optimale.

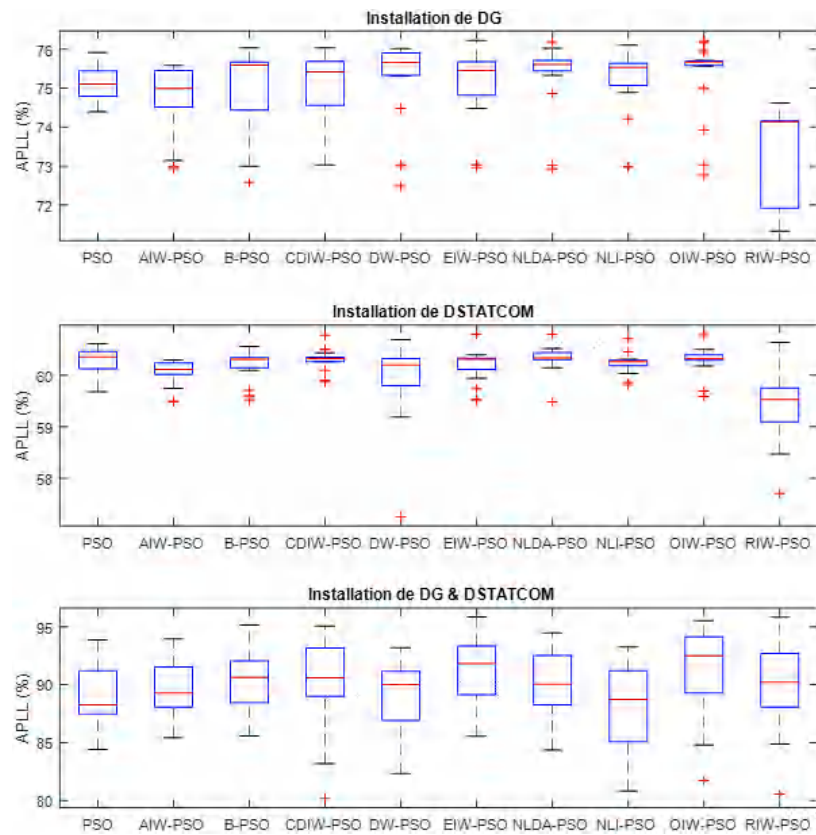
La boîte à moustaches de divers algorithmes PSO pour les deux systèmes étudiés est représentée dans la figure 3.12.

Après 20 exécutions de chaque algorithme PSO et en prenant en considération le même nombre d'itérations, la boîte à moustaches montre que les 20 résultats de l'algorithme PSO de base sont proches les uns des autres pour le deuxième système de test. Cependant, il a les résultats les plus éloignés pour le premier système de test. Les résultats obtenus dans le cas de l'installation de DG et DSTATCOM simultanément présentent les résultats les plus éloignés par rapport aux autres cas.

La figure 3.13 présente la comparaison entre les pertes de puissance active, réactive et la tension minimale lors de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément pour les deux réseaux étudiés.

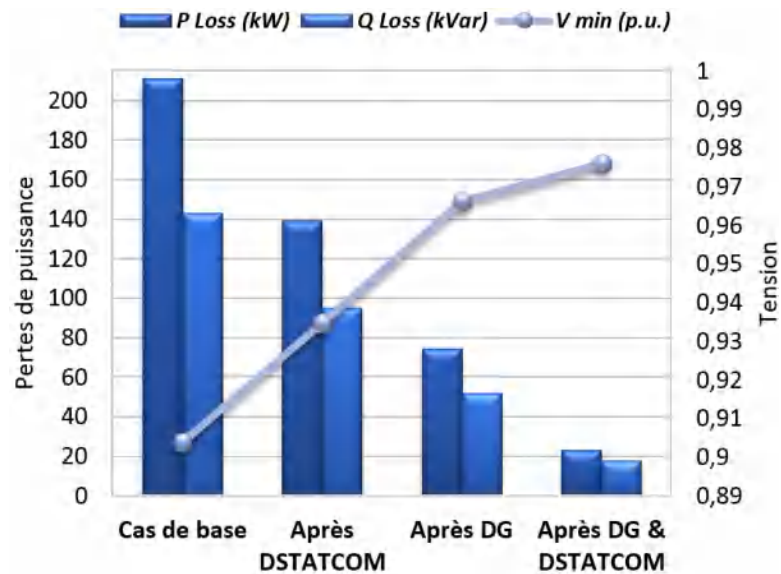


(a) IEEE 33-JB.

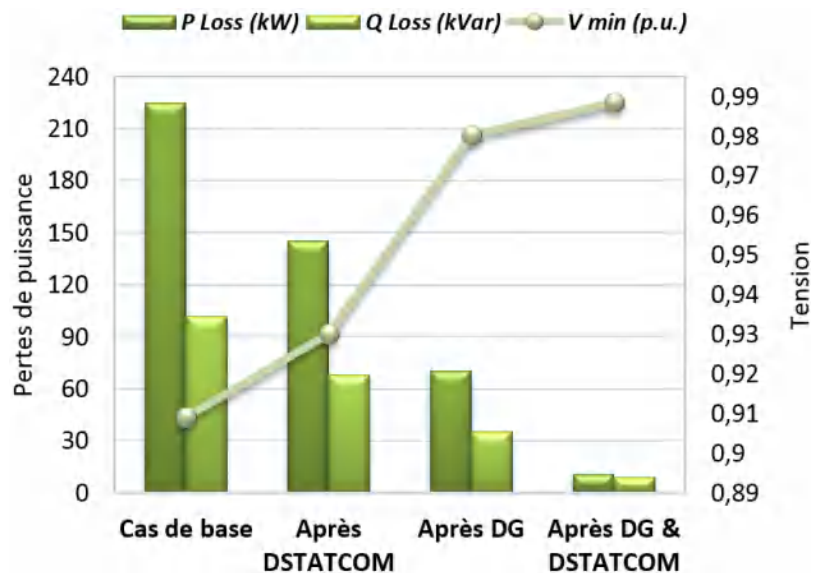


(b) IEEE 69-JB.

Figure 3. 12. Boîte à moustaches d'APLL utilisant divers PSO pour les trois RDRs.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 13. Comparaison des P_{Loss} , Q_{Loss} , et V_{min} pour différentes études de cas.

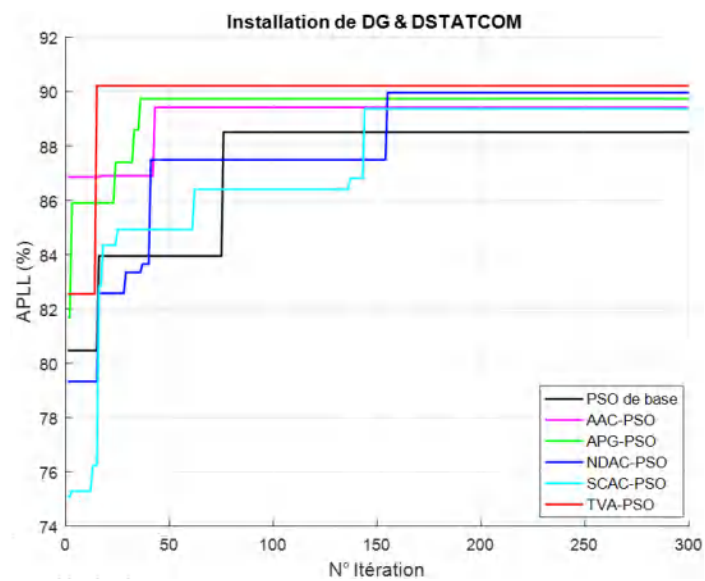
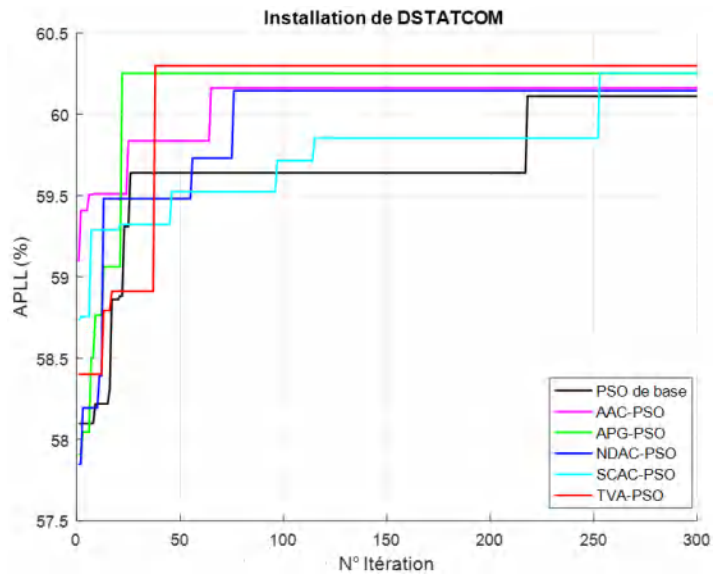
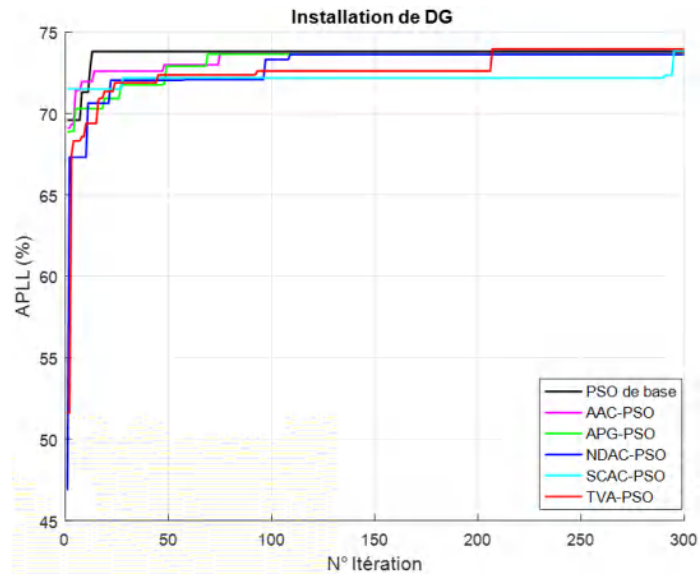
A partir de la figure 3.13, la comparaison entre différents cas étudiés montre clairement que les meilleurs résultats sont obtenus dans le cas de l'intégration de DG avec DSTATCOM en même temps, grâce à l'injection de l'énergie active fournie par le DG en même temps l'énergie réactive fournie par le DSTATCOM, en termes des chiffres, on note que les pertes de puissance active et réactive sont minimisées avec un pourcentage de réduction jusqu'à 91, 64, et 33 % respectivement pour les cas de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément, DG uniquement, et DSTATCOM uniquement .

3.8.2. Résultats de simulation et comparaison de PSO basé sur la variation de c_1 et c_2 en fonction mono objectif

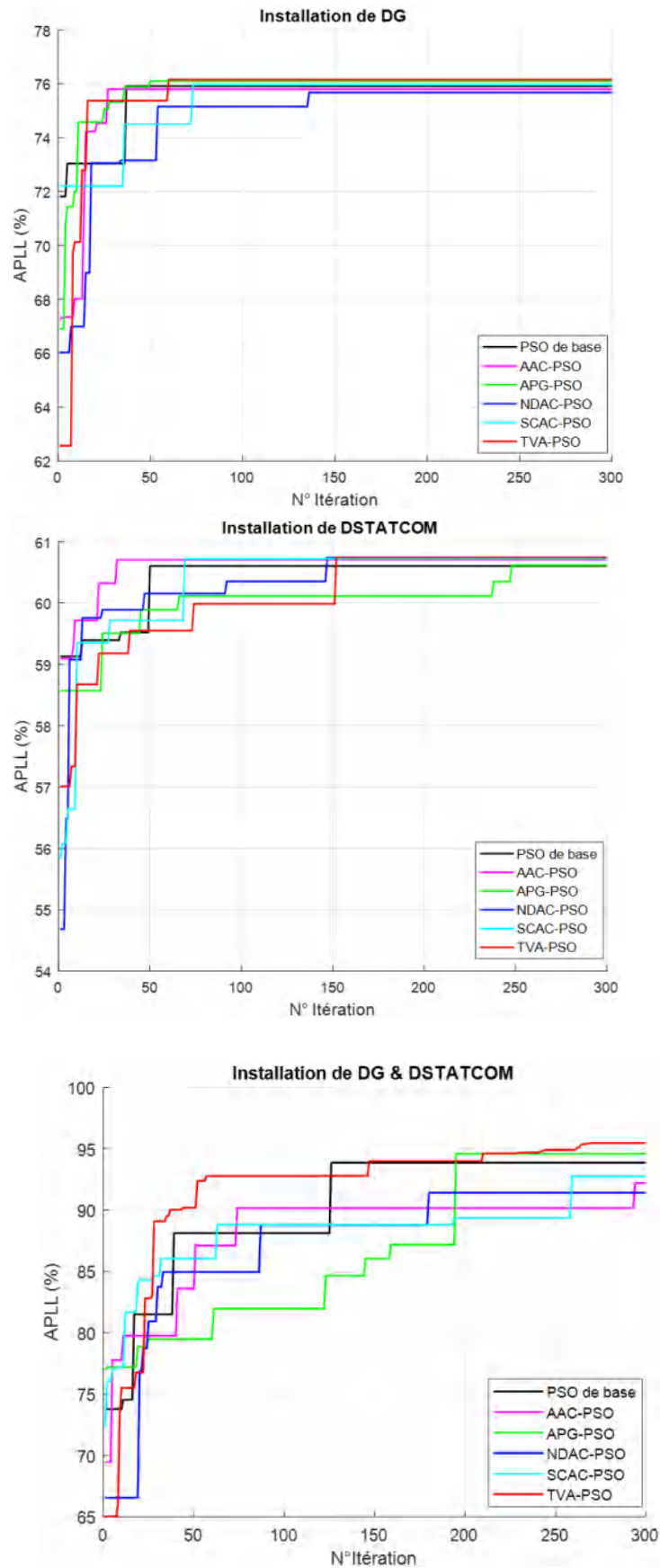
La figure 3.14 représente les courbes de convergences de divers PSO, lors de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG & DSTATCOM simultanément.

A partir de la figure 3.14, pour le réseau IEEE 33-JB, nous notons qu'il existe une variation pour atteindre la solution optimale pour les trois études de cas, où pour l'intégration de DG uniquement, et DSTATCOM uniquement, presque tous les algorithmes convergent entre 10 et 260 itérations, par contre, pour l'installation de DG et DSTATCOM simultanément tous les algorithmes sont convergés entre 10 et 150 itérations, parmi ces algorithmes, le TVA-PSO, APG-PSO, et AAC-PSO sont convergés plus rapidement avec moins de 50 itérations. Noter que les valeurs d'APLL proches pour presque tous les algorithmes, où les meilleures valeurs d'APLL on obtient par TVA-PSO.

Pour le réseau IEEE 69-JB, cela montre que pour l'installation de DG uniquement tous les algorithmes convergent rapidement avec moins de 80 itérations à part l'algorithme NDAC-PSO qui prends plus de 130 itérations pour converger, alors que pour l'intégration de DSTATCOM l'algorithme APG-PSO prend plusieurs itérations pour converger comparons avec les autres algorithmes. Pour le cas de l'installation de DG et DSTATCOM simultanément, il est clairement montré que, à l'exception du PSO de base, qui converge à l'itération 130 tous les algorithmes mettent beaucoup de temps pour atteindre la solution optimale avec plus de 170 itérations, par contre le TVA-PSO a la meilleure valeur d'APLL, mais il faut 260 itérations pour obtenir la solution optimale. Les valeurs maximales d'APLL ne sont pas très éloignées les unes des autres ; de plus, on peut noter que les meilleurs résultats sont obtenus par TVA-PSO pour les deux réseaux et pour les trois cas d'études.



(a) IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 14. Courbe convergence de divers algorithmes PSO.

Les tableaux suivant représentent les résultats d'optimisations de deux réseaux après l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément.

Tableau 3. 4. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.

	Algorithmes Appliqué	Taille (MW) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.7874 (13) 1.0221 (24) 0.9335 (32)	0.9660	74.8732	52.4458	73.8077
	AAC-PSO	0.6763 (13) 0.8099 (24) 1.3077 (29)	0.9646	75.3500	52.8566	73.6849
	AGP-PSO	0.7470 (14) 1.1531 (25) 0.9358 (30)	0.9643	75.4982	52.6681	73.6466
	NDAC-PSO	0.8282 (12) 0.8915 (25) 1.2713 (30)	0.9644	75.6003	52.8484	73.6206
	SCAC-PSO	0.9067 (13) 0.8453 (25) 0.8901 (30)	0.9639	74.6651	51.4962	73.8615
	TVA-PSO	0.8254 (13) 1.0547 (25) 0.9751 (30)	0.9663	74.2876	51.6847	73.9593
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.3039 (18) 0.8983 (51) 1.7349 (61)	0.9810	71.3741	35.6987	75.9134
	AAC-PSO	0.3808 (15) 1.5973 (62) 0.6638 (66)	0.9756	70.8029	35.4101	75.7978
	AGP-PSO	0.8536 (9) 0.4293 (15) 1.7403 (61)	0.9819	70.6538	35.4171	76.0983
	NDAC-PSO	0.4584 (21) 0.5333 (39) 1.7836 (61)	0.9786	72.2960	36.4084	75.6779
	SCAC-PSO	0.2946 (10) 0.4294 (16) 1.9227 (61)	0.9849	71.1802	35.6220	75.9632
	TVA-PSO	0.3549 (10) 0.3066 (21) 1.7987 (61)	0.9803	70.4295	35.3965	76.1561

L'analyse des résultats tabulés dans le tableau 3.4 indique que, pour les deux réseaux, l'intégration de DG contribue à minimiser la perte de puissance totale pour tous les algorithmes, où tous les résultats obtenus sont proches de l'un à l'autre. Le meilleur résultat d'APLL est obtenu en appliquant l'algorithme TVA-PSO, qui choisit les jeux de barres 13, 24 et 30, et les jeux de barres 10, 21, et 61 comme emplacement optimal pour l'intégration des unités DG respectivement pour le premier et le deuxième réseau, avec une taille totale de 2.3251 MW et 2.4602 MW, où les P_{Loss} sont minimiser de 210,9875 kW à 74.2876 kW pour le réseau IEEE 33-JB, et de 224.9480 kW à 70.4295 kW pour le réseau IEEE 69-JB.

Tableau 3. 5. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.

	Algorithmes appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.2853 (13) 0.2650 (25) 1.0155 (30)	0.9268	140.0118	95.3771	60.1104
	AAC-PSO	0.3087 (14) 0.6834 (24) 0.8894 (30)	0.9289	139.7151	95.3444	60.1613
	AGP-PSO	0.3072 (16) 0.4789 (24) 1.1295 (30)	0.9328	139.1888	95.0486	60.2518
	NDAC-PSO	1.0755 (3) 0.3967 (11) 1.0100 (30)	0.9294	139.8129	95.3717	60.1446
	SCAC-PSO	0.3761 (12) 0.4339 (24) 0.9278 (30)	0.9270	139.1780	94.8227	60.2536
	TVA-PSO	0.4477 (13) 0.4337 (24) 1.1240 (30)	0.9347	138.9181	94.7280	60.2984
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.4572 (17) 0.3010 (49) 1.2881 (61)	0.9316	146.2226	66.8148	60.6049
	AAC-PSO	0.1556 (22) 1.2056 (61) 0.4816 (67)	0.9310	145.6140	67.8244	60.7046
	AGP-PSO	0.3524 (10) 0.2015 (19) 1.2411 (62)	0.9316	146.1511	68.1584	60.6166
	NDAC-PSO	0.2322 (23) 1.2339 (61) 0.2923 (67)	0.9311	145.4038	67.7948	60.7390
	SCAC-PSO	0.2381 (17) 1.1831 (61) 0.2926 (66)	0.9303	145.5241	67.8611	60.7193
	TVA-PSO	0.4653 (10) 0.1730 (21) 1.2719 (61)	0.9320	145.3928	67.7480	60.7408

Comme montre le tableau 3.5 pour les deux réseaux, l'intégration optimal des unités de DSTATCOM permet de réduire les pertes de puissance active et améliore le profil de tension pour tous les algorithmes, en plus, le TVA-PSO record les meilleurs résultats, dans ce contexte, pour le réseau IEEE 33-JB, les emplacements optimaux de DSTATCOM sont les jeux de barres 13, 24 et 30 avec le dimensionnement de 0,4477, 0,4337 et 1,1240 MVar respectivement. La perte de puissance active a été réduite à 138.9181 kW après l'installation du DSTATCOM. La tension V_{min} a été améliorées à 0.9347 p.u.. De même, pour le réseau IEEE 69-JB les emplacements optimaux de DSTATCOM sont les jeux de barres 10, 21, et 61 avec une taille totale de 1.9102 MVar, cette intégration contribue à minimiser les P_{Loss} de 224.9480 kW à 145.3928 kW avec un pourcentage de réduction de 35.3660 %.

Tableau 3. 6. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.

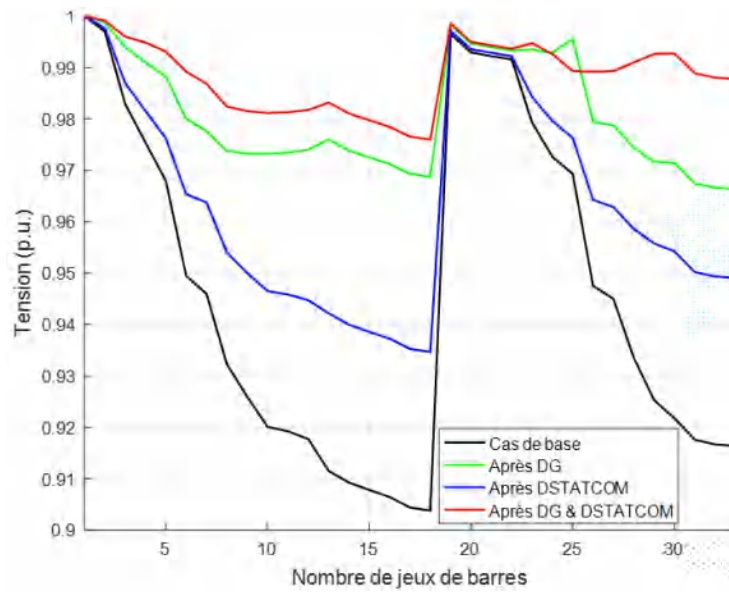
	Algorithmes appliqué	Size (MW) JB	Size (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	1.0154 (9) 0.3514 (24) 0.8445 (30)	0.6034 (8) 0.4663 (22) 0.8567 (30)	0.9750	27.3993	20.3035	88.5063
	AAC-PSO	0.8507 (14) 0.8103 (25) 1.3916 (29)	0.0100 (3) 0.6906 (26) 0.7237 (32)	0.9907	24.9642	20.7094	89.4202
	AGP-PSO	0.5494 (15) 1.0485 (24) 0.7655 (30)	0.7407 (8) 0.3521 (29) 0.4405 (32)	0.9785	24.1281	18.0946	89.7378
	NDAC-PSO	0.8374 (6) 0.7970 (12) 0.6296 (32)	0.4739 (10) 0.5736 (30) 0.3713 (31)	0.9813	23.5550	17.2421	89.9571
	SCAC-PSO	0.7748 (10) 1.0305 (24) 0.9038 (32)	0.4407 (11) 1.1710 (19) 1.1789 (28)	0.9798	25.0973	19.6188	89.3695
	TVA-PSO	0.7712 (13) 0.7808 (24) 0.7731 (30)	0.7783 (4) 0.6314 (29) 0.5888 (30)	0.9760	22.8821	17.8931	90.2161
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.4175 (17) 1.8976 (62) 0.0638 (67)	0.0100 (41) 1.5836 (61) 0.2137 (69)	0.9929	14.7216	10.9116	93.8572
	AAC-PSO	0.9258 (50) 1.6670 (63) 0.7815 (66)	0.7334 (40) 1.0379 (52) 1.1509 (63)	0.9838	19.0555	10.2770	92.1905
	AGP-PSO	0.4614 (20) 0.0632 (53) 1.6033 (61)	0.0100 (6) 0.0100 (54) 1.3875 (61)	0.9910	12.8728	10.3139	94.5873
	NDAC-PSO	0.0100 (42) 1.9423 (62) 0.7921 (66)	0.0594 (13) 0.9283 (59) 0.4917 (65)	0.9838	21.1266	13.3832	91.4144
	SCAC-PSO	0.0100 (13) 0.2787 (25) 1.8718 (62)	0.7290 (29) 0.0100 (51) 1.1561 (62)	0.9857	17.6186	12.9267	92.7364
	TVA-PSO	0.9159 (12) 0.1344 (22) 1.3616 (61)	0.7785 (11) 0.0942 (24) 1.2234 (61)	0.9886	10.6691	9.1144	95.4715

L'analyse des résultats tabulés dans le tableau 3.6 indique que, pour le réseau IEEE 33-JB, l'intégration des unités de DG et DSTATCOM simultanément contribue à minimiser les pertes de puissance active et réactive à des valeurs acceptables pour tous les algorithmes. Le meilleur résultat d'APLL est obtenu en appliquant l'algorithme TVA-PSO, qui choisit les jeux de barres 13, 24 et 30 comme emplacement optimal pour l'intégration des unités DG, avec une taille totale de 2.3251 MW, en même temps les jeux de barres 4, 29 et 30 pour l'intégration des unités DSTATCOM, avec une taille totale de 1,9985 MVar, cette intégration a permis de minimiser la perte de puissance active de 210,9875 kW à 22,8821 kW avec un pourcentage de réduction jusqu'à 89,1547 %, en plus, l'APLL a maximisé à 90,2161%, d'autre part, la perte de puissance réactive minimale est obtenue en utilisant l'algorithme NDAC-PSO qui est de 17,2421 kVar. La tension minimale est augmentée de 0,9038 p.u. à 0.9907 p.u. en utilisant l'algorithme AAC-PSO.

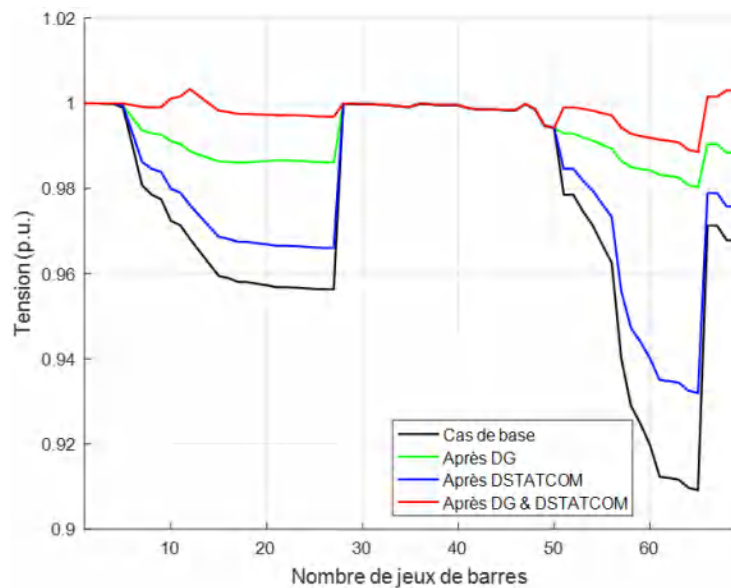
Pour le réseau IEEE 69-JB, l'algorithme TVA-PSO trouve les jeux de barres 12, 22 et 61 comme emplacements optimaux pour installer les unités DG, aussi, les jeux de barres 11, 24 et 61

pour installer les unités DSTATCOM. Cette intégration a permis de minimiser les pertes de puissance active et réactive à 10,6691 kW et 9,1144 kVar, respectivement, ce qui contribue à maximiser l'APLL à 95,4715 %. Cette note est valable pour d'autres algorithmes mais avec une efficacité moindre par rapport à l'algorithme TVA-PSO, où l'APLL est maximisé à 93,8572 %, 92,1905 %, 94,5873 %, 91,4144 % et 92,7364 %, respectivement pour les algorithmes PSO de base, AAC-PSO, APG-PSO, NDAC-PSO et SCAC-PSO. En outre, le profil de tension est amélioré de 0,9092 p.u. à 0.9929 p.u., qui est enregistré par l'algorithme PSO de base.

Le profil de tension des deux RDRs en appliquant divers PSO représenté dans la figure 3.15.



(a). IEEE 33-JB.

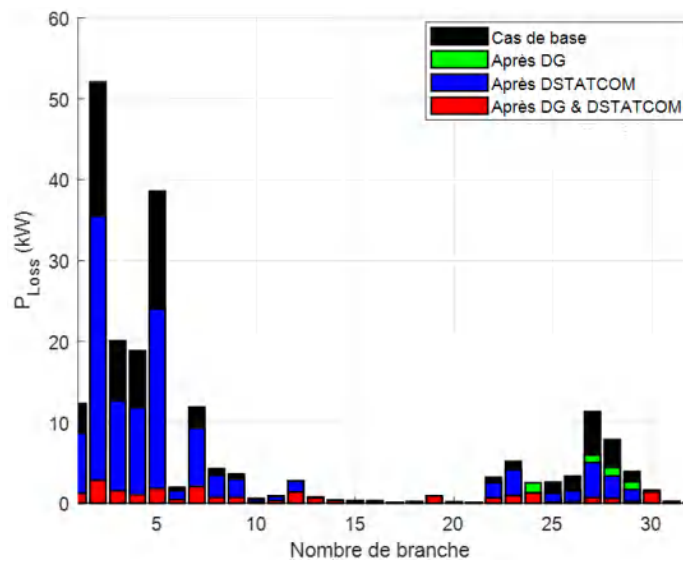


(b). IEEE 69-JB.

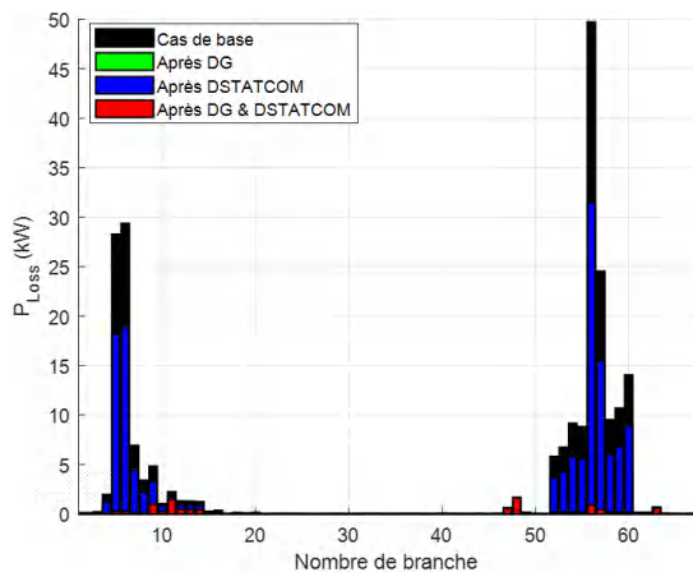
Figure 3. 15. Profil de tension de divers algorithmes PSO.

D'après la figure 3.15, pour les deux réseaux, il est clair que le profil de tension est amélioré pour les trois études de cas (intégration de DG uniquement, DSTATCOM uniquement, et fonctionnement simultané de DG et DSTATCOM) par rapport au cas de base, où l'installation simultanée de DG et DSTATCOM offre une meilleure amélioration du profil de tension par rapport à l'intégration de DG uniquement, et DSTATCOM uniquement. En présence de DG et DSTATCOM simultanément la tension minimale est améliorée de 0,9038 p.u. à 0,9760 p.u., pour le réseau 33-JB, et de 0,9092 p.u. à 0,9886 p.u. pour le réseau 69-JB.

La figure 3.16 représente l'impact de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément aux pertes totales de la puissance active.



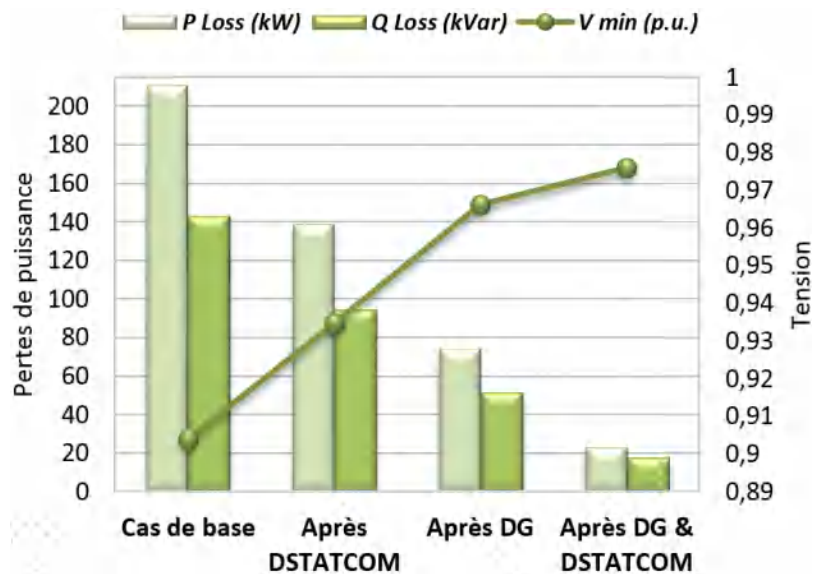
(a). IEEE 33-JB.



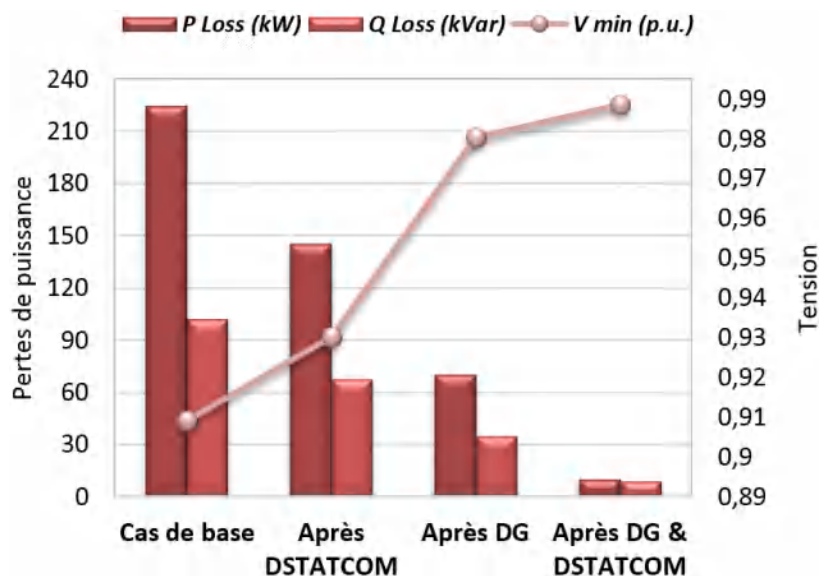
(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 16. P_{Loss} par branche de divers algorithmes PSO.

Suite à la figure 3.16, la comparaison des études de cas a montré qu'il y a plus de minimisation de P_{Loss} dans le cas de l'installation simultanée de DG et DSTATCOM par rapport aux autres cas (DG uniquement, DSTATCOM uniquement), en raison de la puissance active injectée de DG et la puissance réactive injectée de DSTATCOM en même temps, qui permettent de minimiser la perte de puissance active de 52 kW à 3 kW avec un pourcentage de réduction jusqu'à 94,23 % dans le réseau IEEE 33-JB, de même, pour le réseau IEEE 69-JB, où, la perte de puissance active est minimisée de 50 kW à près de 1 kW, avec un pourcentage de réduction jusqu'à 98,00 %.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

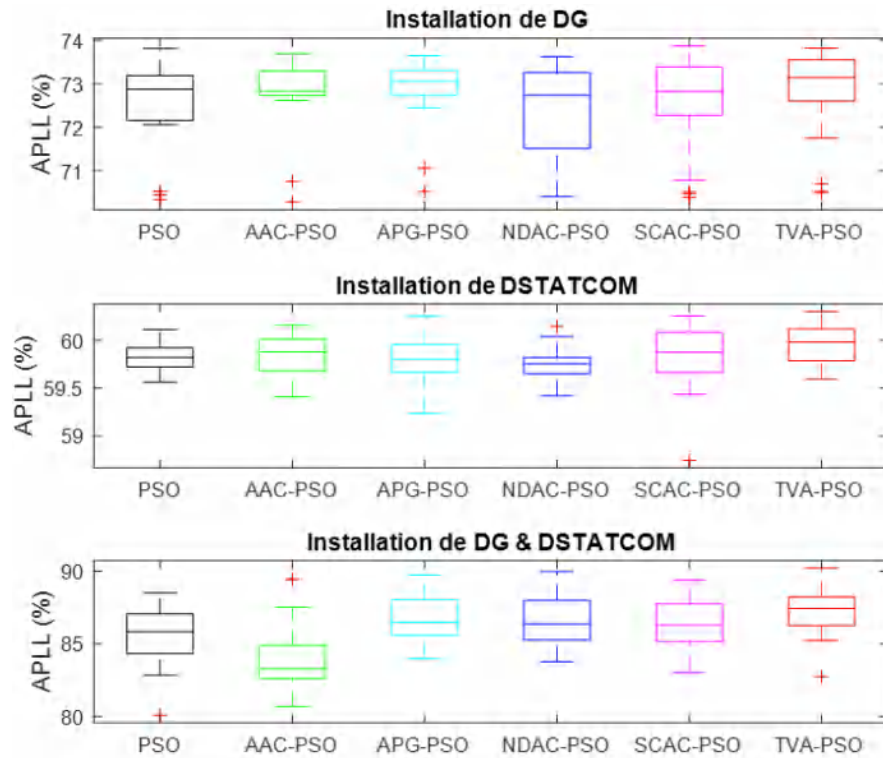
Figure 3. 17. Comparaison des P_{Loss} , Q_{Loss} , et V_{min} pour différentes études de cas.

À partir de la figure 3.17, la comparaison entre toutes les études de cas indique que l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément offre plus de minimisation de la perte de puissance active et réactive, et la meilleure amélioration de tension minimale par rapport aux autres études de cas, où, pour le réseau IEEE 33-JB, la comparaison entre les études de cas indiquent que l'intégration de DG et DSTATCOM a permis de minimiser la P_{Loss} avec un pourcentage de réduction jusqu'à 89,1547 %, suivie de l'intégration de DG avec un pourcentage de réduction proche de 64,80 %, puis l'intégration de DSTATCOM, cette note est valable pour la Q_{Loss} et la tension minimale. De même pour le deuxième réseau (IEEE 69-JB) avec plus d'efficacité en termes de minimisation de P_{Loss} , avec un pourcentage de réduction jusqu'à 95,2570, 68,6907 et 35,3660 % respectivement pour l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément, DG uniquement et DSTATCOM uniquement.

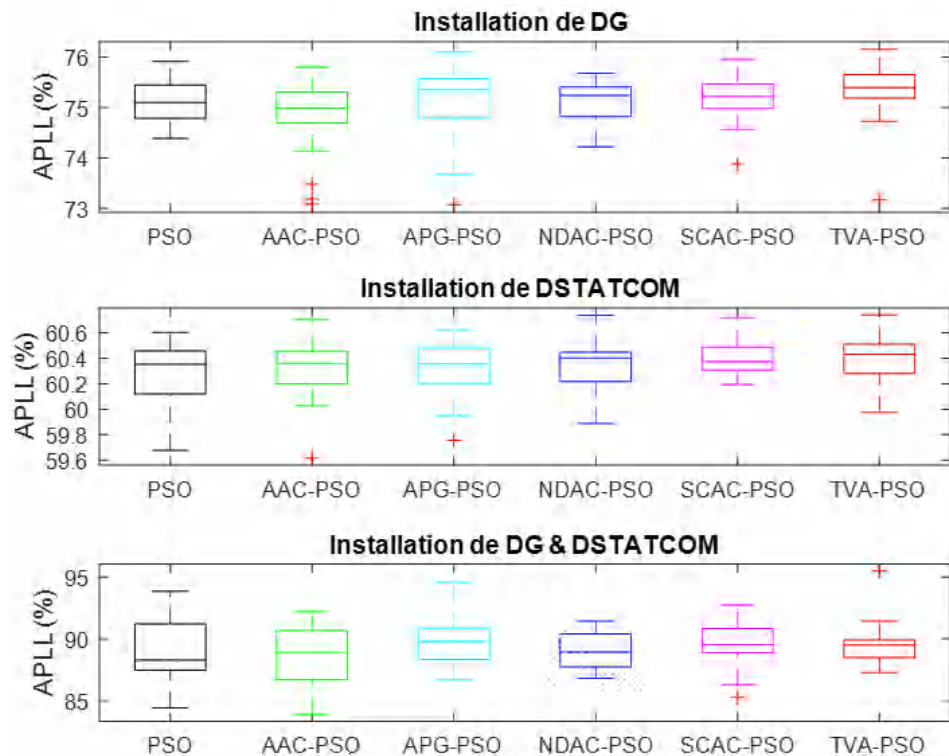
La figure 3.18 représente la boîte à moustaches de deux réseaux avec 20 exécutions pour chaque algorithme.

A partir de la figure 3.18, pour les deux réseaux, les résultats de boîte à moustaches, prouvent que les résultats de TVA-PSO sont plus proches les uns des autres par rapport aux autres algorithmes ; les meilleurs résultats d'APLL sont également obtenus par l'algorithme TVA-PSO, d'autre part, les résultats minimaux d'APLL sont obtenus par PSO et AAC-PSO pour les deux réseaux.

La figure 3.18 représente la comparaison entre les pertes de puissance active, réactive et la tension minimale lors de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément pour les deux réseaux étudiés.



(a) IEEE 33-JB.



(b) IEEE 69-JB.

Figure 3. 18. Boîte à moustaches d'APLL utilisant divers PSO.

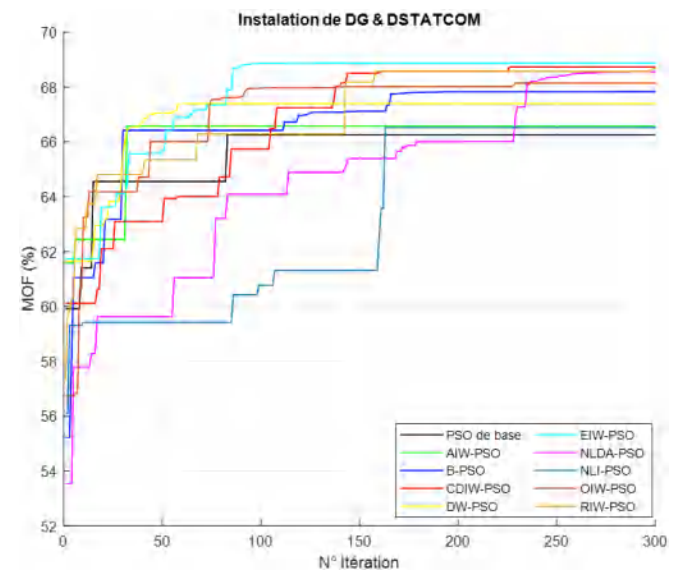
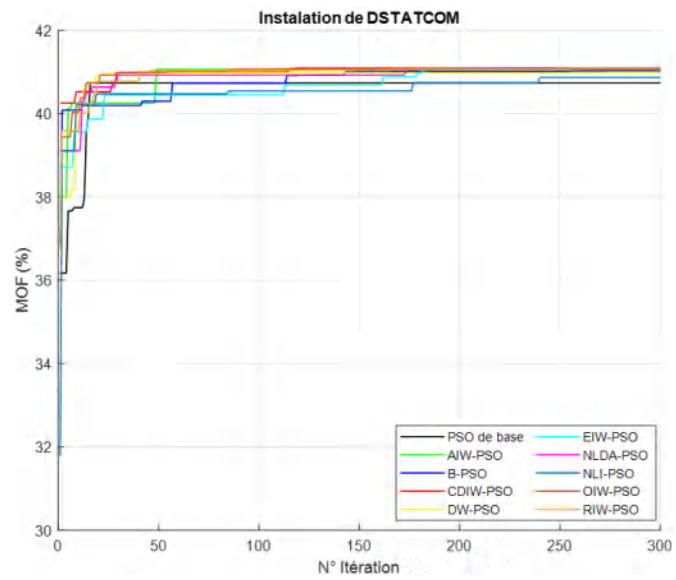
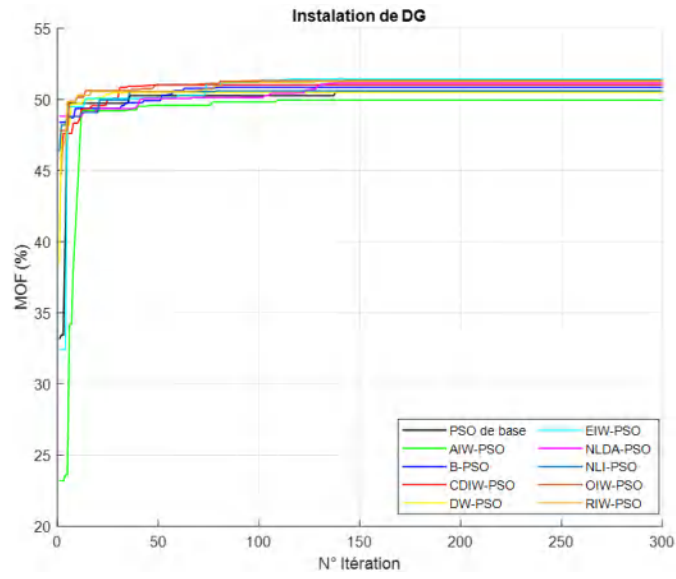
3.8.3. Résultats de simulation et comparaison de PSO basé sur la variation de w en fonction multi objectifs

D'après qu'on a étudié le cas de l'optimisation mono-objectif, nous allons maintenant étudier le cas d'optimisation multi objectif. Où les objectifs considérés, qui reflètent les paramètres techniques, économiques et environnementaux, ces paramètres sont : l'indice de perte de puissance active (APLL), l'indice de court-circuit (SCL), l'indice d'écart de tension (VDL), l'indice d'économie nette (NSL) et l'indice de réduction de la pollution environnementale (EPRL).

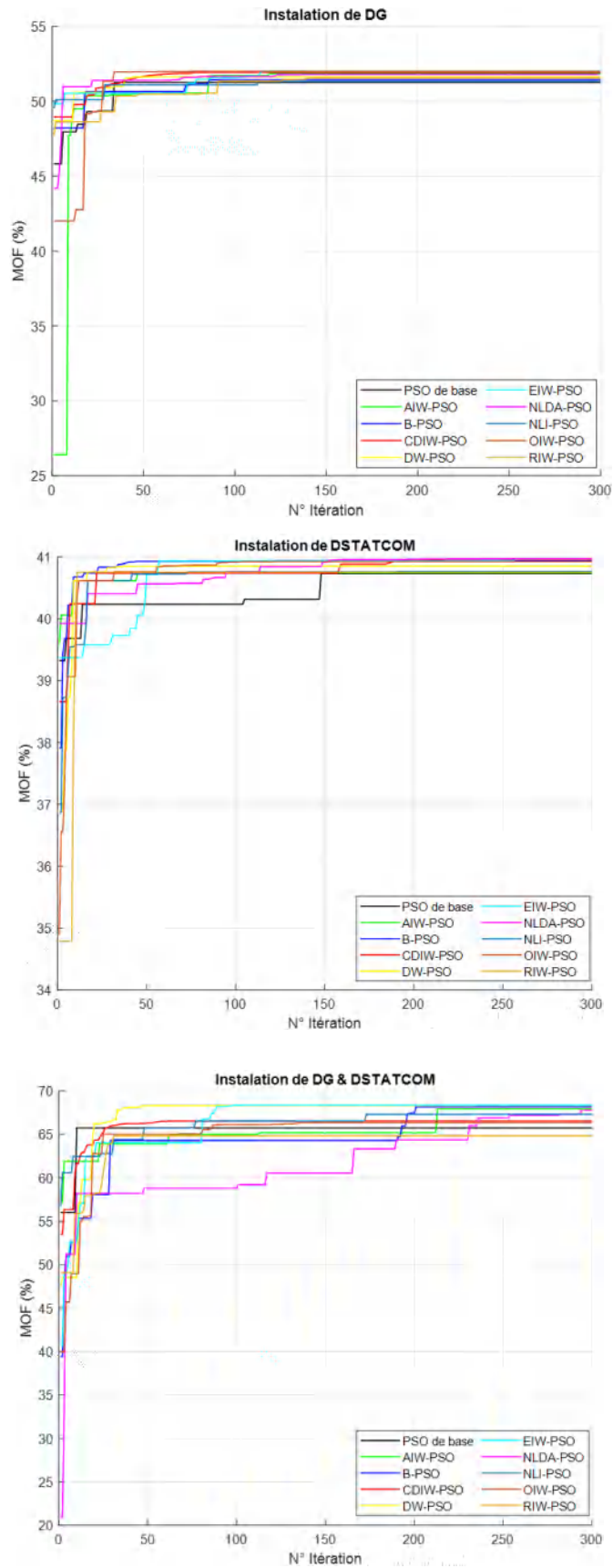
La figure 3.19 représente les courbes de convergences de divers PSO modifiés basés sur la variation de w .

Comme le montre la figure 3.19, chaque algorithme adopte une approche spécifique pour atteindre la solution optimale, en d'autres termes, tous les algorithmes convergent vers la solution optimale avec un nombre spécifié d'itérations. Par exemple pour le cas de l'installation de DG et DSTATCOM simultanément de réseau IEEE 33-JB, il est clairement montré que les algorithmes PSO de base, et AIW-PSO converge rapidement (environ 40 itération) comparons avec les autres algorithmes. D'un autre côté NLDA-PSO a besoin de plus d'itérations par rapport aux autres algorithmes, car il converge au sein de 260 itérations.

En plus pour les deux réseaux les meilleurs résultats de MOF sont plus proches dans le cas de l'installation de DG uniquement, et DSTATCOM uniquement par rapport au cas de l'installation de DG et DSTATCOM en même temps.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 19. Courbe de convergence de divers algorithmes PSO.

Les résultats d'optimisation après l'installation de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément en appliquant divers PSO sont représentés dans les tableaux ci-dessus.

Tableau 3. 7. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.

	Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.6942(6) 0.8395(13) 0.9375(30)	0.9709	80.9853	56.2416	72.2627	61.6161	6.8216	65.1394	25.2353	50.5273
	AIW-PSO	0.1134(12) 0.7142(13) 1.1078(30)	0.9656	86.5700	59.1936	70.9065	58.9692	5.8799	64.3838	32.2247	49.9404
	B-PSO	0.8348(6) 0.7425(14) 0.7377(31)	0.9698	79.5274	54.9734	72.6254	62.3071	6.3969	64.8775	27.3761	50.8518
	CDIW-PSO	0.9071(13) 0.4669(25) 0.8332(31)	0.9657	78.6658	53.6549	72.8414	62.7154	6.0888	64.6160	28.7848	51.0242
	DW-PSO	0.5199(9) 0.5129(15) 1.0629(30)	0.9681	82.7300	56.4012	71.8335	60.7892	6.2764	64.4831	30.2478	50.4899
	EIW-PSO	0.7815(14) 0.8034(25) 0.9925(30)	0.9653	73.9712	51.1498	74.0414	64.9405	6.2630	65.0061	23.5868	51.4297
	NLDA-PSO	0.8432(13) 0.4155(25) 0.9710(30)	0.9640	77.8579	53.2893	73.0451	63.0984	6.0363	64.7579	28.4824	51.1511
	NLI-PSO	0.9663(13) 0.3068(25) 0.8444(30)	0.9612	81.7410	55.6819	72.0762	61.2579	6.1308	64.5335	29.9638	50.6089
	OIW-PSO	0.7292(14) 0.8416(25) 0.9676(30)	0.9640	74.3916	51.4234	73.9324	64.7412	6.0334	64.8294	24.1688	51.3330
	RIW-PSO	0.8331(12) 0.7382(25) 0.9809(30)	0.9601	74.8176	51.6680	73.8222	64.5393	6.0320	64.9357	23.9724	51.2606
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.7448(14) 0.0100(22) 1.7852(62)	0.9814	74.2008	36.8281	75.1960	67.0142	1.2325	64.5688	24.8270	51.2487
	AIW-PSO	0.6220(15) 0.0100(44) 1.7142(61)	0.9771	72.0575	36.0130	75.7386	67.9670	1.1761	64.5359	27.4309	51.8462
	B-PSO	0.4293(27) 0.0100(59) 1.6926(62)	0.9765	75.4966	37.6329	74.8717	66.4382	1.0444	64.1006	30.1786	51.4363
	CDIW-PSO	0.3649(22) 0.1056(24) 1.7164(61)	0.9763	72.3221	36.2927	75.6713	67.8494	1.0768	64.2804	29.4651	51.9340
	DW-PSO	0.3640(23) 0.1056(60) 1.1782(61)	0.9601	83.2038	41.3421	72.9991	63.0120	0.8277	62.2618	35.6788	51.6269
	EIW-PSO	0.3539(18) 0.1179(24) 1.7546(61)	0.9777	71.6766	36.0317	75.8359	68.1364	1.0731	64.2829	28.9642	52.0079
	NLDA-PSO	0.3437(21) 0.0100(27) 1.7565(61)	0.9770	72.9978	36.6356	75.4996	67.5490	0.9558	63.7623	30.4111	51.7880
	NLI-PSO	0.4748(18) 0.5053(54) 1.5795(63)	0.9781	73.2179	36.7348	75.4439	67.4512	1.1470	64.3341	24.5360	51.3175
	OIW-PSO	0.4687(18) 0.0390(27) 1.7077(61)	0.9762	71.7979	36.0798	75.8049	68.0824	1.0943	64.3273	29.1036	51.9982
	RIW-PSO	0.2948(24) 1.0660(61) 0.7260(63)	0.9790	74.1418	37.0898	75.2109	67.0405	0.9038	63.4440	30.7058	51.5535

Comme montré dans le tableau 3.7, pour le réseau IEEE 33-JB, on observe que l’algorithme EIW-PSO présente les meilleurs résultats de MOF, en plus, les jeux de barres 14, 25 et 30 sont les meilleurs emplacements pour l’incorporation de DG avec des tailles de 0,7815, 0,8034 et 0,9925 MW respectivement, ce qui permet de minimiser la P_{Loss} avec un pourcentage de réduction de 64.9405 %. D’autre part, l’APLL, NSL, VDL et SCL sont maximisées à 74.0414, 64.9405, 65.0061 et 6,2630 % respectivement.

En examinant en profondeur les résultats de réseau IEEE 69-JB, il s’avère que l’algorithme EIW-PSO offre les meilleurs résultats de MOF et choisit les jeux de barres 18, 24 et 61 comme emplacements optimaux pour l’intégration de DG avec une taille totale de 2,2283 MW. On observe que l’EIW-PSO a montré les meilleurs résultats d’APLL, NSL et cela est la cause à la minimisation de P_{Loss} à 71.6766 kW. Par contre l’algorithme PSO de base record les meilleurs résultats de VDL comparant avec les autre algorithmes grâce à la taille totale la plus élevées de DG qui est environ 2.4690 MW.

Tableau 3. 8. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l’intégration de DSTATCOM.

a. IEEE 33-JB.

	Algorithmes appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33 JB	Basic PSO	0.5755 (5) 0.3374 (15) 0.9031 (30)	0.9327	140.1873	95.7682	60.0805	33.5566	2.8137	54.7950	49.5505	40.7375
	AIW-PSO	0.4384 (14) 0.4316 (25) 1.0651 (30)	0.9358	138.8222	94.7294	60.3149	34.2036	3.1887	55.0381	49.5415	41.0619
	B-PSO	0.3814 (15) 0.6606 (24) 1.0735 (30)	0.9351	138.9129	94.9041	60.2993	34.1606	3.1340	55.0019	49.5422	41.0304
	CDIW-PSO	0.4985 (11) 0.5343 (24) 1.0204 (30)	0.9317	138.4716	94.3593	60.3754	34.3698	3.1112	55.0322	49.5395	41.0971
	DW-PSO	0.3397 (15) 0.3819 (25) 1.1417 (30)	0.9332	139.1031	94.9481	60.2665	34.0704	3.0118	55.0099	49.5433	40.9792
	EIW-PSO	0.3961 (14) 0.5473 (24) 1.0701 (30)	0.9342	138.3903	94.4393	60.3895	34.4083	3.0928	55.0178	49.5388	41.1022
	NLDA-PSO	0.4264 (13) 0.5327 (24) 1.0489 (30)	0.9333	138.3567	94.3344	60.3953	34.4242	3.0876	54.9772	49.5386	41.0980
	NLI-PSO	0.4837 (12) 0.6313 (23) 0.8907 (30)	0.9306	139.5539	95.1716	60.1890	33.8568	2.8870	54.9096	49.5464	40.8680
	OIW-PSO	0.5044 (11) 0.4291 (25) 1.0173 (30)	0.9317	138.6562	94.4570	60.3436	34.2822	3.1060	55.0471	49.5406	41.0717
	RIW-PSO	0.5151 (10) 0.5318 (24) 1.0147 (30)	0.9320	138.5743	94.4195	60.3577	34.3211	3.1340	55.0666	49.5401	41.0934

B. IEEE 69JB.

	Algorithmes appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 69 JB	Basic PSO	0.0100 (7) 0.3048 (18) 1.2534 (61)	0.9307	146.5304	68.3211	60.5548	34.8603	0.3366	55.1763	49.5141	40.7326
	AIW-PSO	0.3787 (16) 0.0100 (27) 1.3354 (61)	0.9321	146.5762	68.2401	60.5473	34.8399	0.3764	55.2220	49.5144	40.7439
	B-PSO	0.3032 (18) 0.5011 (51) 1.2193 (61)	0.9317	145.4931	67.7978	60.7244	35.3214	0.3941	55.4155	49.5078	40.9364
	CDIW-PSO	0.3670 (11) 0.2608 (18) 1.2019 (61)	0.9309	145.1457	67.6784	60.7814	35.4759	0.3899	55.3140	49.5055	40.9629
	DW-PSO	0.3855 (18) 0.8543 (49) 1.2781 (61)	0.9313	145.8419	66.7803	60.6672	35.1664	0.3781	55.2484	49.5098	40.8508
	EIW-PSO	0.4753 (11) 0.2116 (21) 1.2294 (61)	0.9315	145.1200	67.6486	60.7856	35.4873	0.4009	55.3447	49.5053	40.9751
	NLDA-PSO	0.4643 (11) 0.2138 (21) 1.2182 (61)	0.9313	145.1117	67.6487	60.7869	35.4910	0.3978	55.3402	49.5053	40.9746
	NLI-PSO	0.3636 (16) 0.0219 (42) 1.2765 (61)	0.9312	146.4155	68.2048	60.5735	34.9114	0.3673	55.2238	49.5134	40.7643
	OIW-PSO	0.2593 (19) 0.5085 (53) 1.2066 (61)	0.9317	145.5799	67.8360	60.7101	35.2828	0.3807	55.4347	49.5083	40.9256
	RIW-PSO	0.4085 (19) 0.8736 (48) 1.3019 (61)	0.9317	146.5039	67.8170	60.5591	34.8721	0.3906	55.2068	49.5139	40.7536

À partir du tableau 3.8, on peut conclure que pour les deux réseaux, les performances de l'algorithme EIW-PSO sont meilleures que d'autres algorithmes en termes de réduction de perte de puissance et l'amélioration d'APLL, et NSL, en raison de l'intégration optimale de DSTATCOM dans les jeux de barres 14, 24, et 30 pour le réseau IEEE 33-JB, et les jeux de barres 11, 21, et 61 pour le réseau IEEE 69-JB. On autre, grâce à la taille totale de DSTATCOM la plus élevée, l'algorithme AIW-PSO possède la meilleure amélioration de V_{min} , qui sont 0.9358 p.u. et 0.9321 p.u. respectivement pour le premier et le deuxième réseau.

On remarque également que l'algorithme PSO de base a obtenu les meilleurs résultats de SCL, et EPRL pour le réseau IEEE 33-JB, mais pour le réseau IEEE 69-JB les meilleurs résultats de SCL, et EPRL sont obtenu par les algorithmes EIW-PSO et AIW-PSO respectivement.

Tableau 3. 9. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.

	Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	Taille (MVAR) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.8310 (3) 0.9047 (14) 0.9712 (30)	0.2142 (18) 0.3756 (25) 1.4503 (30)	0.9882	25.4193	20.0893	89.2476	87.9522	8.7649	89.3846	20.8449	66.2465
	AIW-PSO	0.7186 (11) 0.9127 (24) 1.4178 (28)	0.4023 (8) 0.2852 (14) 0.8531 (31)	0.9890	22.1431	18.2816	90.5018	89.5050	9.3693	90.7769	14.9163	66.5718
	B-PSO	0.6249 (16) 0.6765 (25) 1.2031 (30)	0.6135 (11) 0.0381 (29) 0.9045 (30)	0.9916	19.0448	14.6272	91.7208	90.9735	9.1370	89.5157	23.8555	67.8263
	CDIW-PSO	0.9071 (13) 0.9687 (25) 0.8793 (31)	0.5039 (11) 0.4227 (29) 0.6480 (30)	0.9937	16.8538	12.9638	92.6028	92.0119	9.5547	93.1753	19.9283	68.7215
	DW-PSO	0.7278 (15) 0.6249 (27) 1.0389 (30)	0.6515 (11) 0.4599 (25) 0.8652 (30)	0.9878	25.3596	19.3511	89.2702	87.9805	10.0166	90.0263	25.5768	67.3993
	EIW-PSO	0.8303 (14) 0.5103 (25) 1.0564 (30)	0.4833 (9) 0.1313 (16) 0.9222 (30)	0.9893	17.4260	13.0279	92.3709	91.7407	9.2738	92.0678	25.3883	68.8660
	NLDA-PSO	0.8775 (13) 0.6527 (25) 1.0657 (30)	0.0100 (13) 0.3204 (15) 1.2212 (29)	0.9917	18.8083	14.0144	91.8152	91.0856	9.4213	93.3036	22.4772	68.5538
	NLI-PSO	0.9200 (11) 0.0946 (27) 1.1875 (29)	0.3786 (4) 0.4625 (14) 0.9059 (30)	0.9817	27.9294	20.4789	88.3100	86.7625	9.1431	90.0987	28.1923	66.5123
	OIW-PSO	1.1087 (12) 0.3891 (25) 0.8554 (31)	0.4892 (7) 0.4286 (12) 0.7511 (30)	0.9877	20.7335	15.4624	91.0524	90.1731	9.4754	91.4529	26.0505	68.1404
	RIW-PSO	0.8706 (14) 0.5578 (24) 1.1610 (30)	0.3355 (11) 0.1302 (18) 1.1172 (30)	0.9876	18.3252	14.0706	92.0086	91.3145	9.7400	93.0023	22.5692	68.6705
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.3754 (27) 0.7418 (60) 0.5973 (63)	0.3183 (25) 0.0134 (27) 1.2112 (61)	0.9804	19.4110	13.7098	92.0564	91.3709	1.2014	80.8296	34.3074	65.7312
	AIW-PSO	0.3565 (18) 0.4941 (53) 1.7380 (61)	0.3068 (31) 1.4122 (62) 0.5565 (68)	0.9935	10.7117	9.2148	95.4546	95.2381	1.4487	89.3268	23.2167	67.9294
	B-PSO	0.4766 (20) 0.0100 (35) 1.7074 (61)	0.6480 (12) 0.0100 (54) 1.5050 (61)	0.9943	11.3995	9.6357	95.1768	94.9324	1.4866	88.4643	28.6132	68.1562
	CDIW-PSO	1.0004 (12) 0.3186 (49) 1.4911 (62)	0.2101 (24) 0.0100 (55) 1.5780 (61)	0.9919	13.8349	8.3459	94.2061	93.8497	1.4574	87.3044	19.8703	66.5301
	DW-PSO	0.6073 (16) 0.0479 (46) 1.5737 (61)	0.1327 (21) 0.2522 (55) 1.3354 (61)	0.9939	9.7223	8.9551	95.8571	95.6780	1.4610	87.6632	28.1459	68.2994
	EIW-PSO	0.4579 (27) 1.3214 (61) 0.4104 (64)	0.3280 (18) 0.0100 (20) 1.5122 (61)	0.9939	11.6342	9.5748	95.0824	94.8281	1.4714	89.5719	28.6707	68.3539
	NLDA-PSO	0.5720 (20) 0.0100 (52) 1.4104 (61)	0.2389 (27) 0.0100 (28) 1.4224 (61)	0.9884	13.0182	10.4589	94.5294	94.2128	1.4284	87.0797	31.1027	67.7734
	NLI-PSO	0.4663 (25) 0.0949 (53) 1.9643 (62)	0.4149 (17) 0.0100 (23) 1.0079 (62)	0.9943	14.1764	10.8454	94.0715	93.6979	1.5258	89.3310	24.1819	67.3122
	OIW-PSO	0.6966 (15) 0.0100 (55) 1.6169 (61)	0.6966 (15) 0.0100 (23) 1.5070 (61)	0.9943	15.9881	11.0412	93.3642	92.8925	1.7356	82.2841	26.9917	66.3493
	RIW-PSO	0.5260 (26) 0.1762 (34) 1.7181 (63)	1.0767 (40) 1.0968 (61) 0.1291 (66)	0.9921	19.1202	14.4463	92.1660	91.5002	1.5253	81.2779	25.7267	64.8242

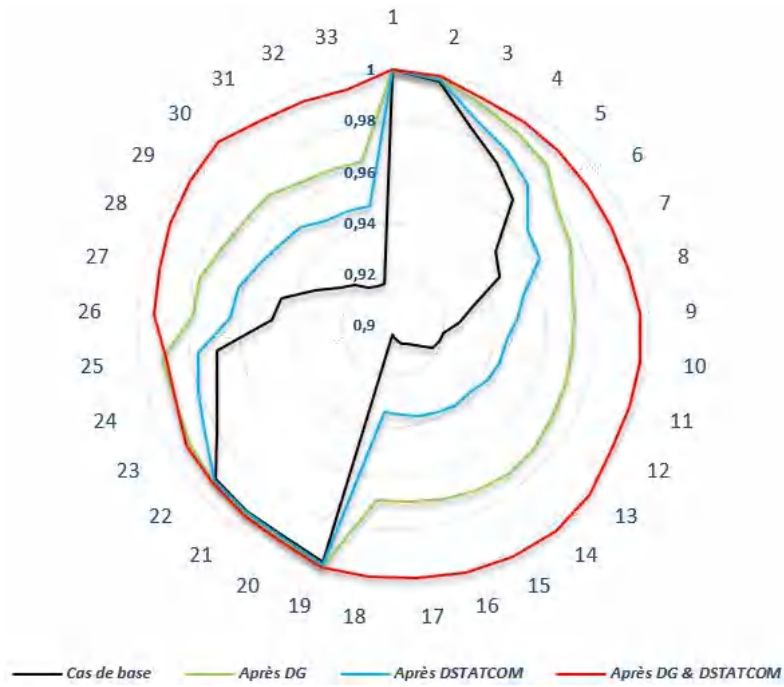
Pour les deux réseaux, les résultats d'optimisation du tableau 3.9 montrent que l'incorporation de DG et DSTATCOM simultanément a un effet clair sur tous les indices, et cette observation est valable pour tous les algorithmes appliqués dans cette étude. Une autre observation révèle que les résultats de tous les algorithmes sont proches les uns des autres.

Pour le réseau IEEE 33-JB, l'intégration de DG dans les jeux de barres 14, 25 et 30 avec une taille totale de 2,3970 MW, simultanément l'intégration de DSTATCOM dans les jeux de barres 9, 16 et 30 avec une taille totale de 1,5368 MVar permis à EIW-PSO pour obtenir les résultats minimaux de P_{Loss} et Q_{Loss} par rapport à d'autres algorithmes, ceux-ci sont minimisés de 210,9875 kW à 17.4260 kW et de 143.128 kVar à 13.0279 kVar, respectivement. De plus les meilleurs résultats de SCL, VDL, et EPRL sont obtenus par DW-PSO, NLDA-PSO, et NLI-PSO.

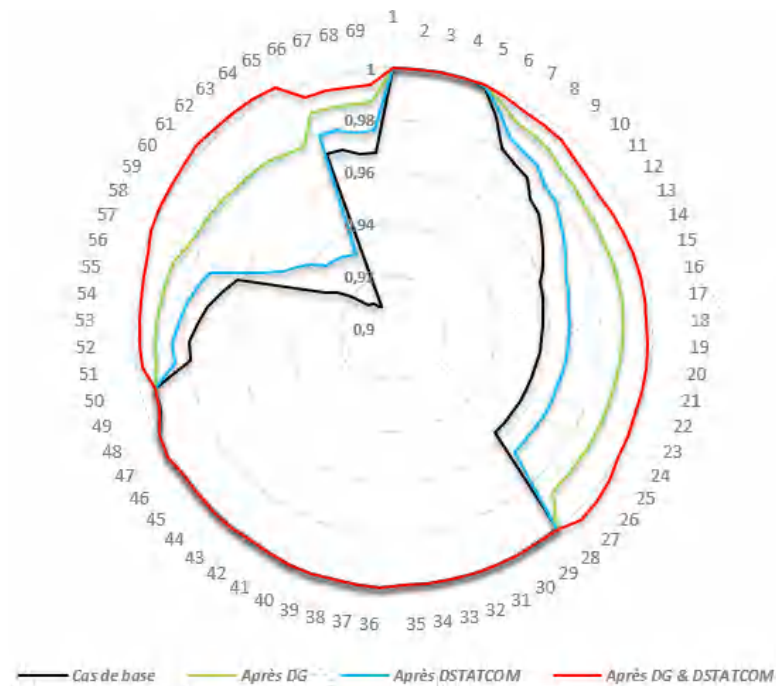
Pour le réseau IEEE 69-JB, malgré que le meilleur résultat de MOF est obtenu par EIW-PSO mais l'algorithme DW-PSO obtient les minimum résultats de P_{Loss} et Q_{Loss} en raison de l'intégration optimale des DG dans les jeux de barres 16, 46, et 61, et en même temps les jeux de barres 21, 55, et 61 comme des emplacements optimale pour l'installation de DSTATCOM, en raison de cette intégration l'APLL, et NSL sont maximisés jusqu'à 95.8571 %, et 95.6780 respectivement, en plus, l'algorithme EIW-PSO a obtenu le meilleur résultat de SCL, qui est de 1.7356 %.

La figure 3.20 représente le profil de tension des systèmes étudiés utilisant divers PSO avant et après l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément.

Comme le montre la figure 3.20, pour les deux réseaux, quelle que soit le type de dispositif installé (DG uniquement, DSTATCOM uniquement, DG et DSTATCOM simultanément) le profil de tension s'améliore comparé au cas de base, en plus, il y a une augmentation significative du profil de tensions lors de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément comparé aux autres cas, où les tensions dans tous les jeux de barres sont supérieures à 0.9800 p.u..



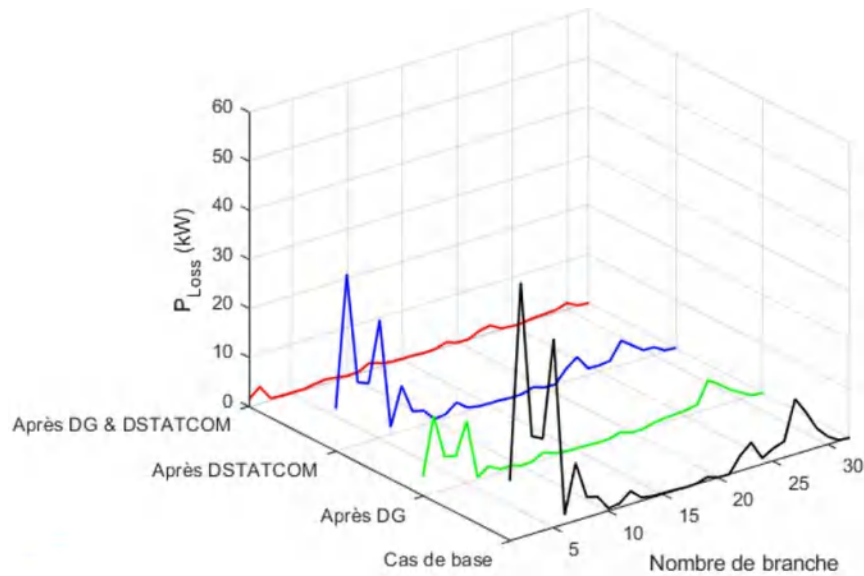
(a). IEEE 33-JB.



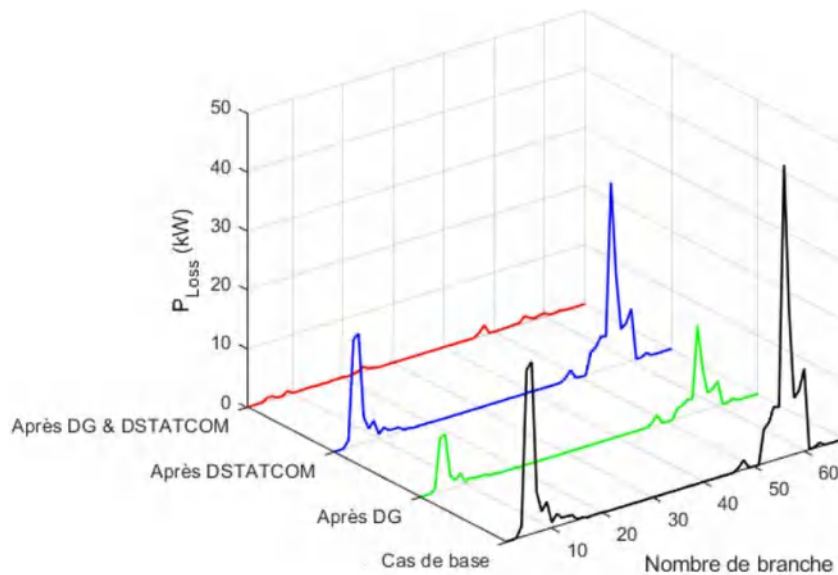
(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 20. Profil de tension de divers algorithmes PSO.

La figure 3.21 représente les impacts de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément aux pertes de la puissance active par branche.



(a) IEEE 33-JB.

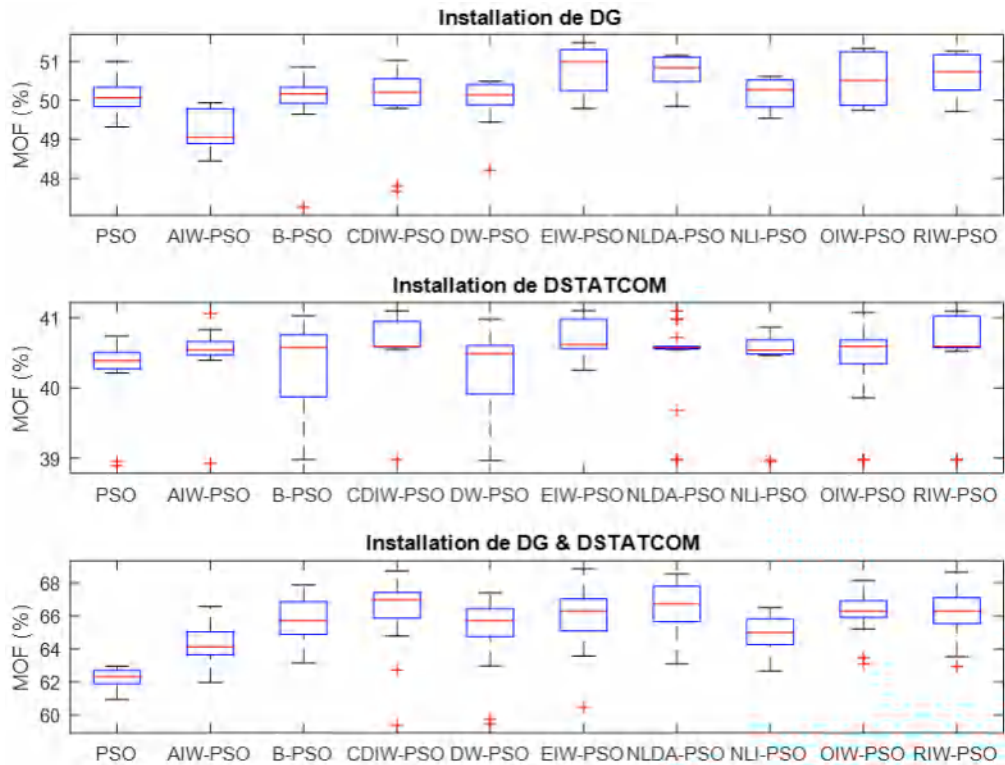


(b) IEEE 69-JB.

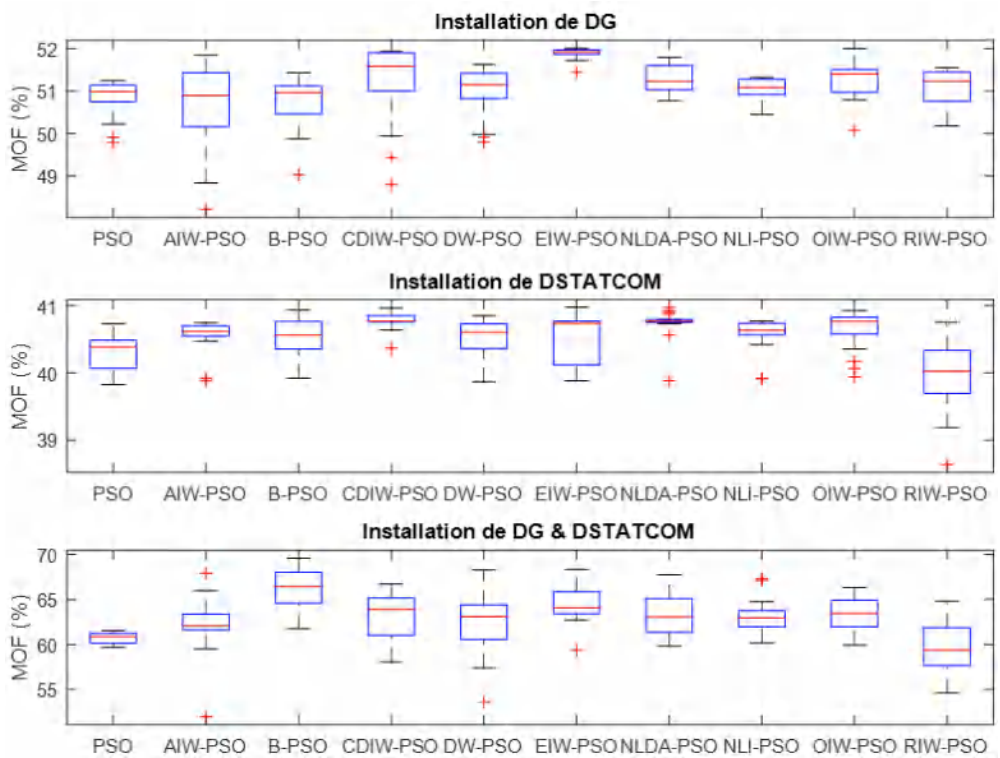
Figure 3. 21. Perte totale de puissance par branche utilisant EIW-PSO.

La figure 3.21 montre la contribution de l'incorporation de DG uniquement, DSTATCOM uniquement, et DG et DSTATCOM simultanément sur la minimisation de P_{Loss} , où il est évident l'effet de l'incorporation des deux dispositifs simultanément sur la réduction des pertes de puissance active en raison de la fourniture de la puissance active et réactive, d'autres observations, le pic de P_{Loss} dans le cas de base est produit dans les branches 2 et 56 respectivement pour les réseaux IEEE33-JB et 69-JB avec environ 50 kW. Après l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément les P_{Loss} dans ces deux branches sont minimiser jusqu'à 1 kW.

La boîte à moustaches de divers algorithmes PSO après l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG avec DSTATCOM simultanément est représentée dans la figure 3.22.



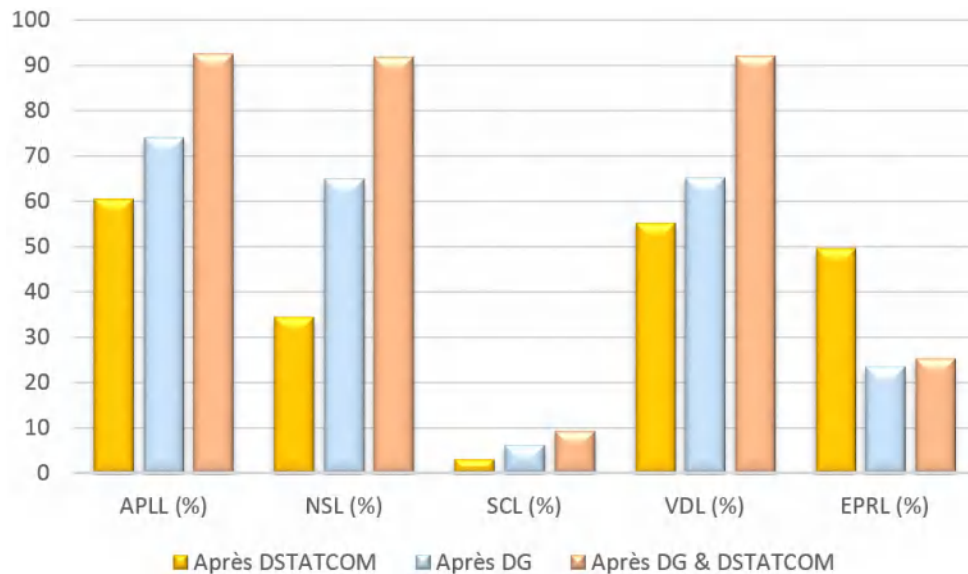
(a) IEEE 33-JB



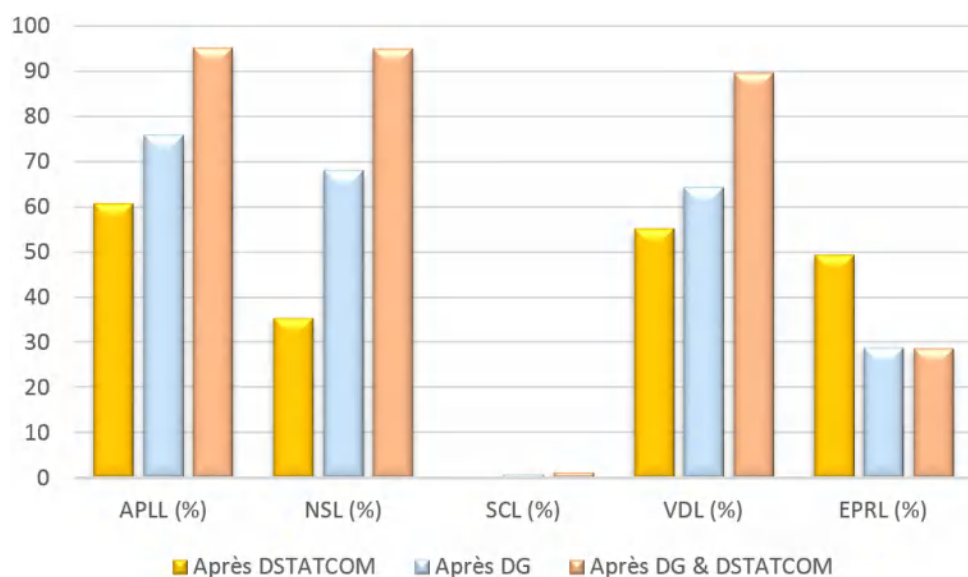
(b) IEEE 69-JB.

Figure 3. 22. Boîte à moustaches de MOF utilisant divers PSO pour les deux RDRs.

Pour les deux réseaux étudiés, les résultats de la boîte à moustaches prouvent l'efficacité des algorithmes IW-PSO proposés en termes d'obtention des meilleurs résultats de MOF pour tous les cas étudiés, où généralement les résultats de B-PSO, NLI-PSO et NLDA-PSO sont très proches l'un à l'autre. De plus, le meilleur résultat de MOF est obtenu par EIW-PSO.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

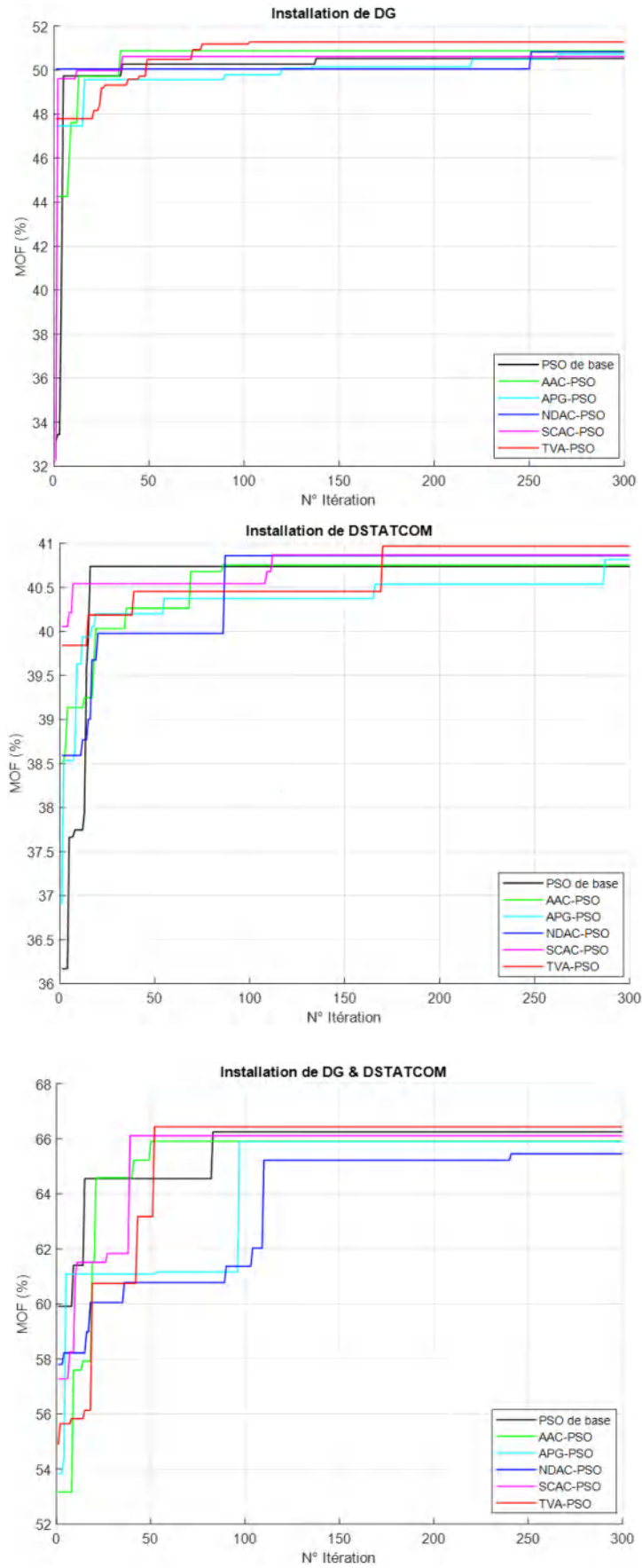
Figure 3. 23. Comparaison de différents indices pour différentes études de cas.

D'après la figure 3.23 pour les deux réseaux étudiés, on peut noter qu'il y a une grande amélioration pour tous les indices si le DG et le DSTATCOM sont placés simultanément avec leur emplacements et tailles optimales dans le RDR par rapport aux autres cas, sauf pour l'EPRL, où la meilleure amélioration est obtenue quand le DSTATCOM est installé.

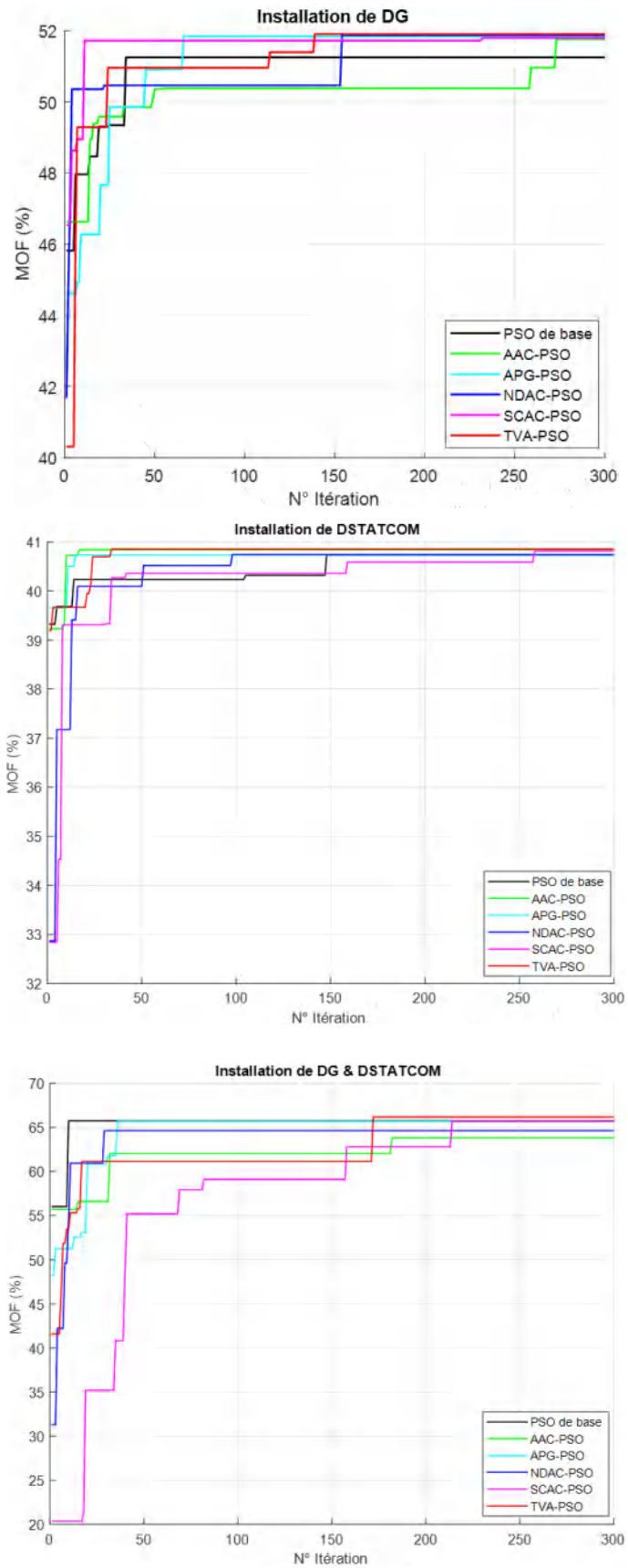
3.8.4. Résultats de simulation et comparaison de PSO basé sur la variation de c_1 et c_2 en fonction multi objectifs

La figure 3.24 représente les courbes de convergences de divers PSO après l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG avec DSTATCOM simultanément.

D'après la figure ci-dessus, il est clairement montré que les maximum valeurs de MOF sont obtenues dans le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément, en plus les résultats de MOF dans chaque cas sont très proches de l'un à l'autre pour tous les algorithmes avec une supériorité de l'algorithme TVA-PSO. Concernant la rapidité de convergence pour le réseau IEEE 33-JB, il est montré que les algorithmes AAC-PSO, PSO de base, et SCAC-PSO convergent rapidement, par contre pour le réseau IEEE 69-JB les algorithmes PSO de base, APG-PSO, et PSO de base convergent rapidement pour les cas de l'intégration de DG uniquement, DSTATCOM uniquement, et DG et DSTATCOM simultanément.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 24. Courbe de convergence de divers algorithmes PSO.

Les résultats d'optimisation après l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément en appliquant divers PSO sont représentés dans les tableaux ci- dessus.

Tableau 3. 10. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.

	Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.6942(6) 0.8395(13) 0.9375(30)	0.9709	80.9853	56.2416	72.2627	61.6161	6.8216	65.1394	25.2353	50.5273
	AAC-PSO	1.1166 (11) 0.8516 (25) 0.8175 (30)	0.9645	75.9937	52.3531	73.5196	63.9819	6.6764	65.1510	20.3896	50.8716
	APG-PSO	0.5704 (13) 0.7769 (25) 1.1264 (29)	0.9563	77.2600	53.8521	73.1966	63.3817	5.5701	64.2992	25.1459	50.7348
	NDAC-PSO	0.8614 (11) 0.8114 (24) 0.9290 (32)	0.9587	76.5906	53.2726	73.3670	63.6990	6.0145	64.6518	23.2612	50.8216
	SCAC-PSO	1.2436 (6) 0.7666 (14) 0.5843 (31)	0.9699	79.4285	55.1917	72.6501	62.3539	6.8646	65.1056	23.4138	50.6131
	TVA-PSO	0.8254 (13) 0.6710 (25) 1.0057 (31)	0.9677	75.5889	52.3967	73.6235	64.1738	6.3455	65.0087	24.7142	51.2784
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.7448(14) 0.0100(22) 1.7852(62)	0.9814	74.2008	36.8281	75.1960	67.0142	1.2325	64.5688	24.8270	51.2487
	AAC-PSO	0.3569 (19) 0.0100 (30) 1.7751 (61)	0.9777	72.8965	36.5721	75.5253	67.5941	0.9540	63.7414	30.0242	51.7618
	APG-PSO	0.5568 (15) 0.0100 (23) 1.8064 (61)	0.9800	71.8076	35.9297	75.8024	68.0781	1.1451	64.4918	27.0719	51.8375
	NDAC-PSO	0.5304 (19) 0.0100 (24) 1.5992 (61)	0.9726	73.0115	36.6034	75.4962	67.5429	1.1036	64.2640	30.0547	51.8797
	SCAC-PSO	0.5862 (22) 0.0174 (53) 1.6927 (61)	0.9763	72.6816	36.2755	75.5798	67.6896	1.2019	64.4635	28.0876	51.7984
	TVA-PSO	0.4236 (20) 0.0100 (43) 1.7290 (61)	0.9765	72.3683	36.3434	75.6595	67.8289	1.0221	64.0822	29.7655	51.9055

D'après le tableau 3.10, pour le réseau IEEE 33-JB, les résultats de tous les indices obtenus par tous les algorithmes sont très proche de l'un à l'autre. En plus, suit à l'emplacement optimal de DG dans les jeux de barres 13, 24, et 31 l'algorithme TVA-PSO recordé la réduction maximale des pertes de puissance, et la meilleure amélioration d'APLL, NSL, et MOF.

De même pour le réseau IEEE 69-JB, l'algorithme TVA-PSO record la minimale valeur de pertes de puissance active, qui était minimiser de 224.9840 kW à 72.3683 kW, grâce à cette minimisation l'APLL, et NSL sont maximisé jusqu'à 75.6595 %, et 67.8289 % respectivement.

Tableau 3. 11. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.

	Algorithmes appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.5755 (5) 0.3374 (15) 0.9031 (30)	0.9327	140.1873	95.7682	60.0805	33.5566	2.8137	54.7950	49.5505	40.7375
	AAC-PSO	0.2099 (7) 0.3638 (11) 1.0674 (30)	0.9296	140.9277	95.9689	59.9541	33.2057	2.8954	55.0678	49.5554	40.7511
	APG-PSO	0.7060 (9) 0.3730 (24) 0.8493 (30)	0.9326	140.5059	95.8671	60.0260	33.4056	3.0936	55.1371	49.5526	40.8156
	NDAC-PSO	0.3746 (15) 0.7790 (24) 1.1818 (30)	0.9360	140.2621	95.9073	60.0677	33.5211	3.3190	54.9493	49.5509	40.8598
	SCAC-PSO	0.6864 (9) 0.3117 (25) 1.0369 (30)	0.9337	140.4562	95.8330	60.0345	33.4291	3.3168	55.1390	49.5524	40.8688
	TVA-PSO	0.5046 (9) 0.3982 (24) 1.0136 (30)	0.9288	139.0947	94.7407	60.2680	34.0745	2.8978	55.0517	49.5435	40.9662
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.0100 (7) 0.3048 (18) 1.2534 (61)	0.9307	146.5304	68.3211	60.5548	34.8603	0.3366	55.1763	49.5141	40.7326
	AAC-PSO	0.3248 (19) 0.7071 (49) 1.3432 (61)	0.9321	145.9334	66.5203	60.6523	35.1257	0.3641	55.2756	49.5103	40.8409
	APG-PSO	0.3010 (15) 1.1852 (61) 0.1509 (65)	0.9329	146.5772	68.2653	60.5472	34.8395	0.3397	55.2146	49.5144	40.7348
	NDAC-PSO	0.2468 (14) 0.0995 (15) 1.2904 (61)	0.9313	146.5262	68.2669	60.5555	34.8622	0.3395	55.2191	49.5141	40.7426
	SCAC-PSO	0.6384 (9) 0.1979 (19) 1.1997 (62)	0.9319	146.4266	68.2021	60.5717	34.9064	0.3710	55.4668	49.5180	40.8132
	TVA-PSO	0.2027 (19) 0.7425 (51) 1.1668 (61)	0.9313	146.1696	68.0816	60.6137	35.0207	0.3772	55.4916	49.5121	40.8546

A partir de tableau 3.11, pour le réseau IEEE 33-JB, plusieurs DSTATCOM ont été placés de manière optimale aux jeux de barres 9, 24 et 30 à l'aide de l'algorithme TVA-PSO. Cette intégration permis de minimiser les pertes de puissance active et réactive jusqu'à 139.0947 kW et 94.7407 kVar, concernant les autres indices, par exemple SCL la meilleure valeur a été obtenu par l'algorithme NDAC-PSO.

De même pour le réseau IEEE 69-JB l'algorithme TVA-PSO à choisir les jeux de barres 19, 51, et 61 comme des emplacements optimaux pour l'intégration de DSTATCOM avec des tailles de 0.2027, 0.7425, et 1.1668 MVar respectivement, en raison de cette intégration l'APLL, NSL, et VDL sont maximiser jusqu'à 68.0816 60.6137, et 55.4916 % respectivement, par contre la meilleure résultats d'EPRL a été recordé par SCAC-PSO.

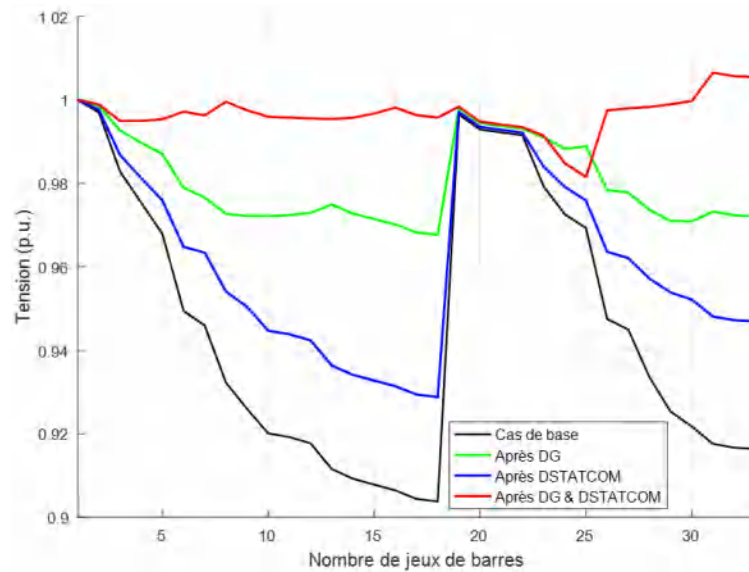
Tableau 3. 12. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.

	Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	Taille (MVAR) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.8310 (3) 0.9047 (14) 0.9712 (30)	0.2142 (18) 0.3756 (25) 1.4503 (30)	0.9882	25.4193	20.0893	89.2476	87.9522	8.7649	89.3846	20.8449	66.2465
	AAC-PSO	0.8960 (14) 0.4215 (26) 0.9973 (31)	0.3431 (14) 1.0709 (27) 0.3475 (32)	0.9821	29.7866	22.8281	87.6288	85.8823	9.7721	90.4841	26.7058	65.9038
	APG-PSO	1.1671 (12) 0.9977 (24) 0.8110 (29)	0.6971 (8) 0.1054 (15) 0.5852 (30)	0.9840	22.8830	16.7947	90.2155	89.1543	9.5340	88.6814	16.2605	65.8906
	NDAC-PSO	1.1763 (11) 0.6607 (23) 0.6700 (31)	0.4597 (7) 0.3071 (11) 0.6699 (32)	0.9841	26.8219	20.1611	88.7213	87.2874	8.8635	87.4803	23.9333	65.4519
	SCAC-PSO	0.7984 (13) 0.4327 (24) 0.8855 (32)	0.5146 (12) 0.0100 (19) 1.0075 (31)	0.9847	25.7888	19.7741	89.1084	87.7771	8.6858	87.2100	29.2711	66.1121
	TVA-PSO	0.8957 (8) 0.4334 (16) 0.8171 (31)	0.2079 (16) 0.6538 (27) 0.9446 (31)	0.9816	27.4567	20.6627	88.4851	86.9866	9.2230	90.1798	28.9132	66.4338
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.3754 (27) 0.7418 (60) 0.5973 (63)	0.3183 (25) 0.0134 (27) 1.2112 (61)	0.9804	19.4110	13.7098	92.0564	91.3709	1.2014	80.8296	34.3074	65.7312
	AAC-PSO	0.7983 (7) 0.0100 (43) 1.7731 (61)	0.2670 (21) 1.2150 (55) 0.6503 (64)	0.9823	22.8717	13.7559	90.7708	89.8324	1.1272	81.5116	23.4999	63.8104
	APG-PSO	0.2399 (17) 0.0100 (19) 1.6437 (61)	1.0831 (6) 0.0100 (42) 1.1980 (63)	0.9829	16.5435	12.1187	93.1495	92.6457	1.0623	80.1128	32.2915	65.6824
	NDAC-PSO	0.2711 (16) 0.0100 (38) 1.6693 (61)	0.0100 (48) 0.7968 (62) 0.4319 (66)	0.9827	18.1736	12.7814	92.5249	91.9210	1.0435	76.8474	31.6556	64.6230
	SCAC-PSO	1.0506 (12) 1.7002 (63) 0.0100 (69)	0.0489 (12) 0.1287 (17) 1.6354 (61)	0.9928	18.0027	12.1047	92.5900	91.9970	1.5376	86.8018	20.7163	65.6677
	TVA-PSO	0.5040 (24) 1.8061 (60) 0.3107 (66)	0.2945 (26) 1.2393 (53) 0.8722 (61)	0.9941	19.8218	13.8235	91.9019	91.1883	1.7429	89.8970	22.8761	66.1773

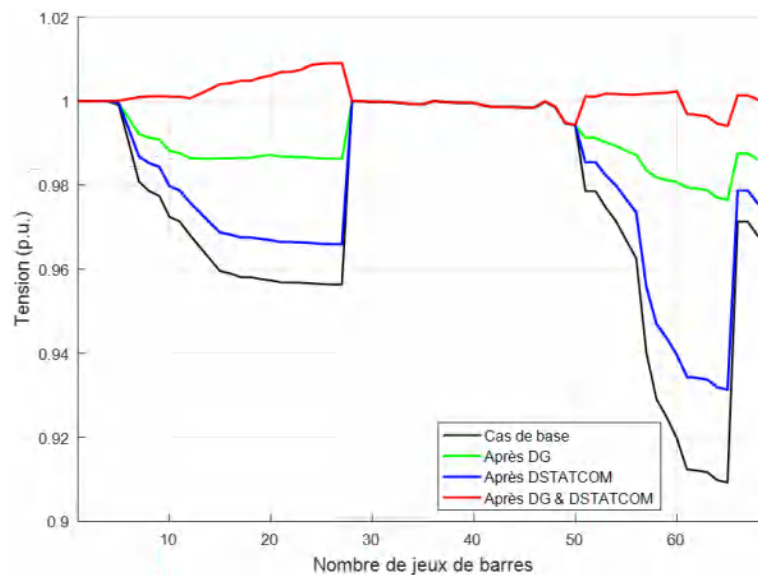
Pour le réseau IEEE 33-JB, après l'installation simultanée de DG et DSTATCOM, les pertes de puissance active et réactive dans RDR sont réduites à 22.8830 kW et 16.7947 kVar respectivement obtenu par l'algorithme APG-PSO. En plus, PSO de base recordé la meilleure augmentation de la tension minimale, qui est devenue 0.9882 p.u.. Les meilleurs résultats de SCL, et VDL sont obtenu en utilisant l'algorithme AAC-PSO qui sont maximiser jusqu'à 9.7721 %, et 90.4841 %.

Cette observation est toujours valable pour le réseau IEEE 69-JB, lorsque l'on compare l'amélioration des pourcentages de pertes de puissance active et réactive, qui sont respectivement devenus 92.6457 % et 88,1352 % obtenu par l'algorithme APG-PSO. De plus, les limites des valeurs de tension ont été améliorées par tous les algorithmes par rapport au cas de base. Les résultats maximaux de SCL, et VDL sont obtenu par TVA-PSO, par contre l'algorithme PSO de base a recordé le meilleur résultat d'EPRL.

Le profil de tension des deux réseaux après l'installation de DG, DSTATCOM, et DG avec DSTATCOM simultanément est représenté dans la figure 3.25.



(a). IEEE 33-JB

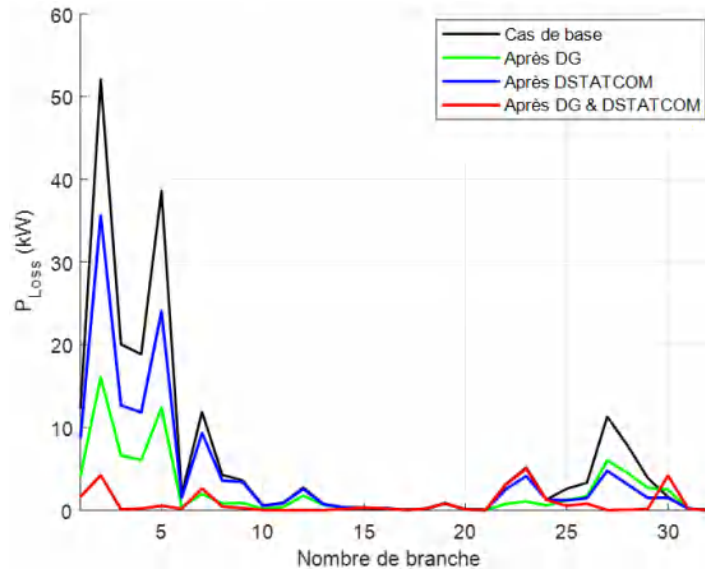


(b). IEEE 69-JB.

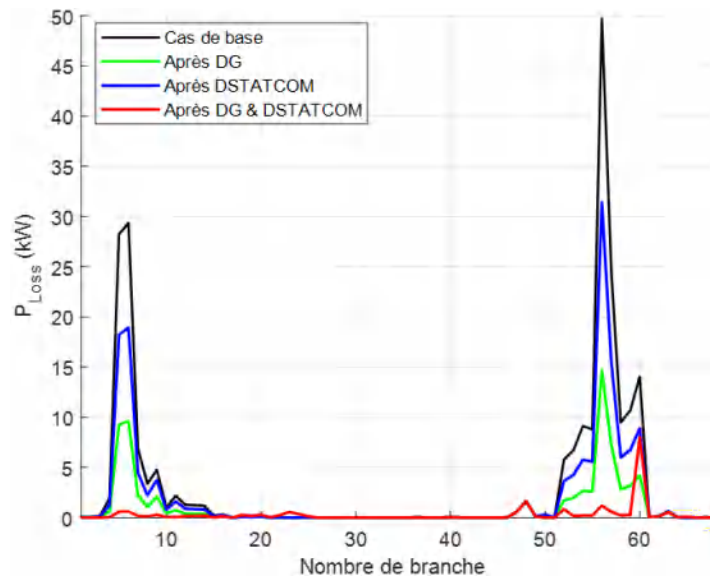
Figure 3. 25. Profil de tension de divers algorithmes PSO.

D'après la figure 3.25, le meilleur profil de tension est obtenu après l'installation simultanée de DG et DSTATCOM par rapport aux cas de l'installation de DG ou DSTATCOM. Cette observation pourrait être attribuée aux puissances actives et réactives qui sont injectées simultanément dans le RDR lors de l'utilisation des deux appareils.

La perte totale de puissance active après l'installation de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM utilisant TVA-PSO est représenté dans la figure 3.26.



(a). IEEE 33-JB.

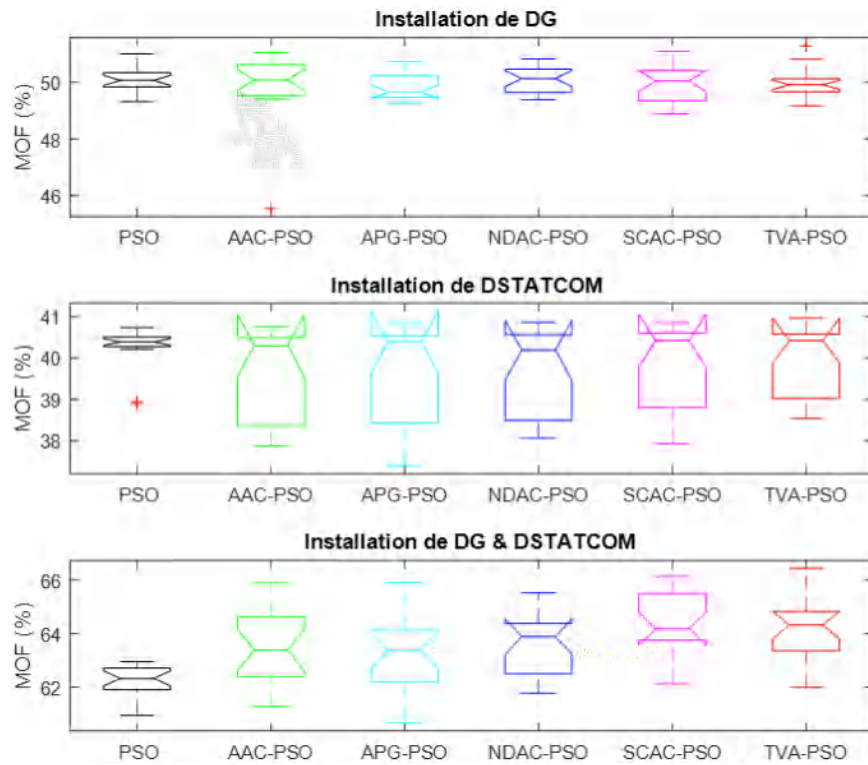


(b). IEEE 69-JB.

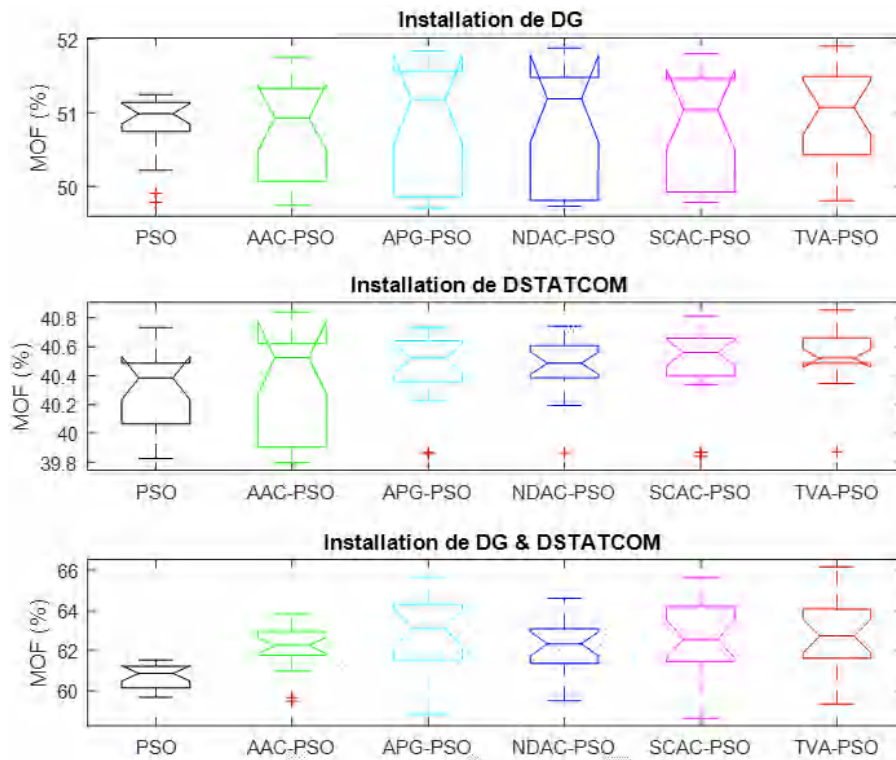
Figure 3. 26. P_{Loss} par branche utilisant TVA-PSO algorithme.

Comme montre la figure 3.26, la réduction des pertes de puissance active par branche est obtenue efficacement par l'intégration optimale de DG plutôt que de DSTATCOM, lorsqu'il est installé individuellement. Cependant, la réduction de perte maximale est obtenue lorsque le DG et DSTATCOM sont installés ensemble de manière optimale.

La figure 3.27 représente les résultats de 20 exécutions pour chaque algorithme appliqué pour les deux réseaux.



(a). IEEE 33-JB.

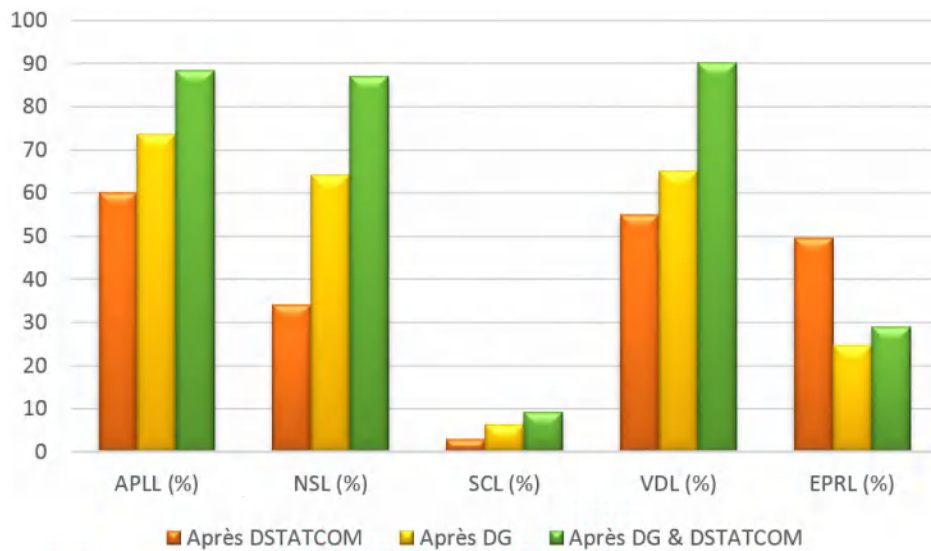


(b). IEEE 69-JB.

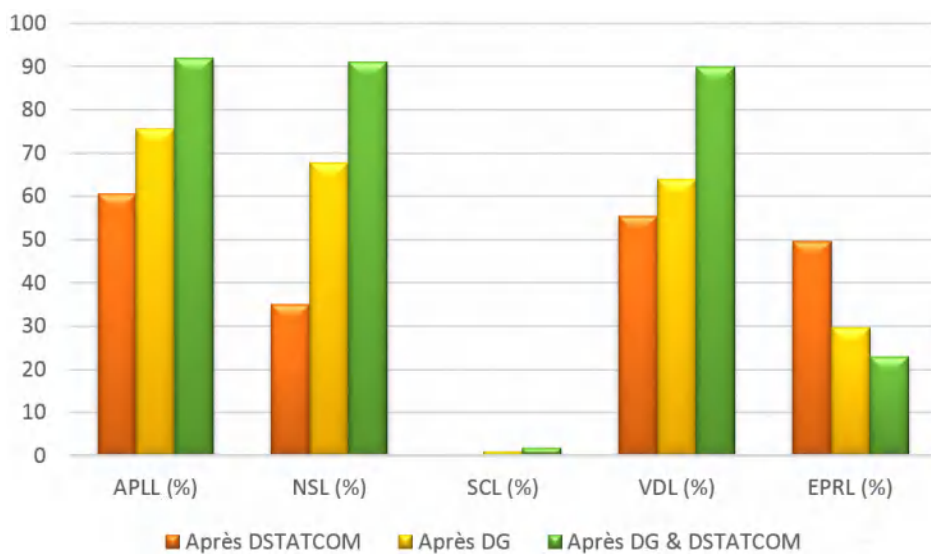
Figure 3. 27. Boîte à moustaches de MOF utilisant divers PSO pour les RDRs.

Pour les deux réseaux étudiés, les résultats de la boîte à moustaches prouvent l'efficacité de tous les algorithmes en termes d'achévé les meilleurs résultats de MOF pour tous les cas étudiés,

où généralement les résultats de 20 exécutions obtenus pour le cas de l'intégration de DG sont plus proche pour le réseau IEEE 33-JB par rapport au réseau IEEE 69-JB, et contrairement pour le cas de l'intégration de DSTATCOM. Par contre pour le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM les résultats sont presque similaires pour les deux réseaux.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 28. Comparaison de différents indices pour différentes études de cas

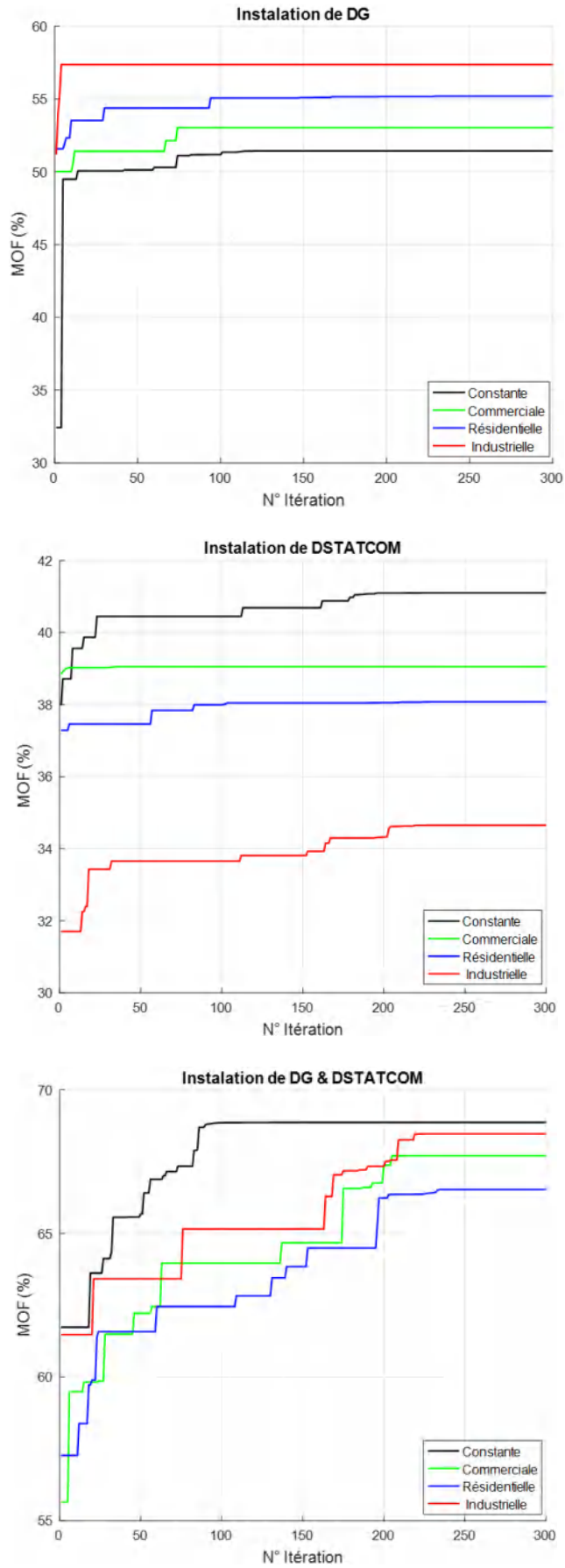
D'après la figure 3.28. On peut observer à partir des chiffres qu'à l'exception de l'EPRL l'amélioration de tous les indices lors de l'emplacement optimal de DG et DSTATCOM combiné est plus élevée par rapport aux autres cas. Cela montre que le placement simultané de DG et DSTATCOM dans RDR est meilleur que les autres cas considérés en termes de réduction des pertes de puissance et d'amélioration du profil de tension du jeu de barre.

3. 9. Application de l’algorithme EIW-PSO sous divers modèles de charge

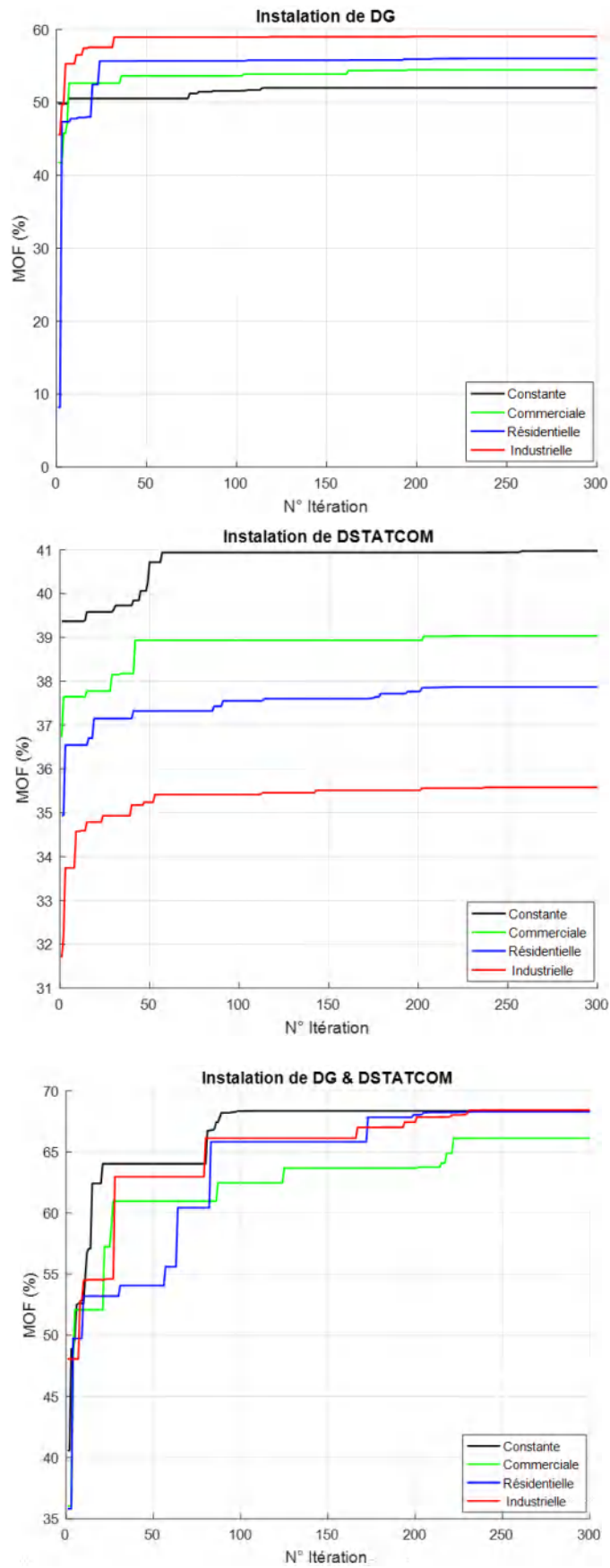
Les courbes de convergences d’EIW-PSO en présence de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément considèrent différents types de charge sont montrés dans la figure 3.29.

À partir de la figure 3.29, pour le réseau IEEE 33-JB, on note que chaque type de charge a un nombre différent d’itérations pour atteindre la solution optimale, de plus, on remarque une rapide convergence dans le cas de l’intégration de DG, puis de DSTATCOM, et enfin pour le cas de DG et DSTATCOM simultanément, en plus on peut noter que la charge industrielle converge rapidement dans le cas de l’installation de DG, par contre elle prend plus de 200 itérations pour converger dans les autres cas. Par contre la charge constante prend moins de 100 itérations pour converger dans le cas de l’intégration de DG et DG et DSTATCOM simultanément, cependant elle prend plus de 160 itérations dans le cas de l’installation de DSTATCOM.

De même, pour le réseau IEEE 69-JB, il est clairement démontré que la charge résidentielle atteint sa meilleure solution après l’itération numéro 30 dans le cas de l’intégration de DG, alors qu’elle prend plus de 230 itérations dans les autres cas, au contraire, la charge commerciale, prend plus de 150 itérations pour atteindre la solution optimale pour tous les cas.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 29. Courbe de convergence de EIW-PSO considèrent différent charges.

Comme illustré dans le tableau 3.13, pour le réseau IEEE 33-JB, il est noté que pour chaque type de charge l'intégration optimal de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément permet de réduire la perte de puissance active et l'amélioration de profil de tension par rapport au cas de base en plus, tous les indices sont maximisés, avec une grande amélioration dans le cas de l'installation de DG et DSTATCOM en même temps. Une autre observation indique que la minimisation de P_{Loss} est plus élevée pour le premier réseau par rapport au deuxième.

Tableau 3. 13. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.

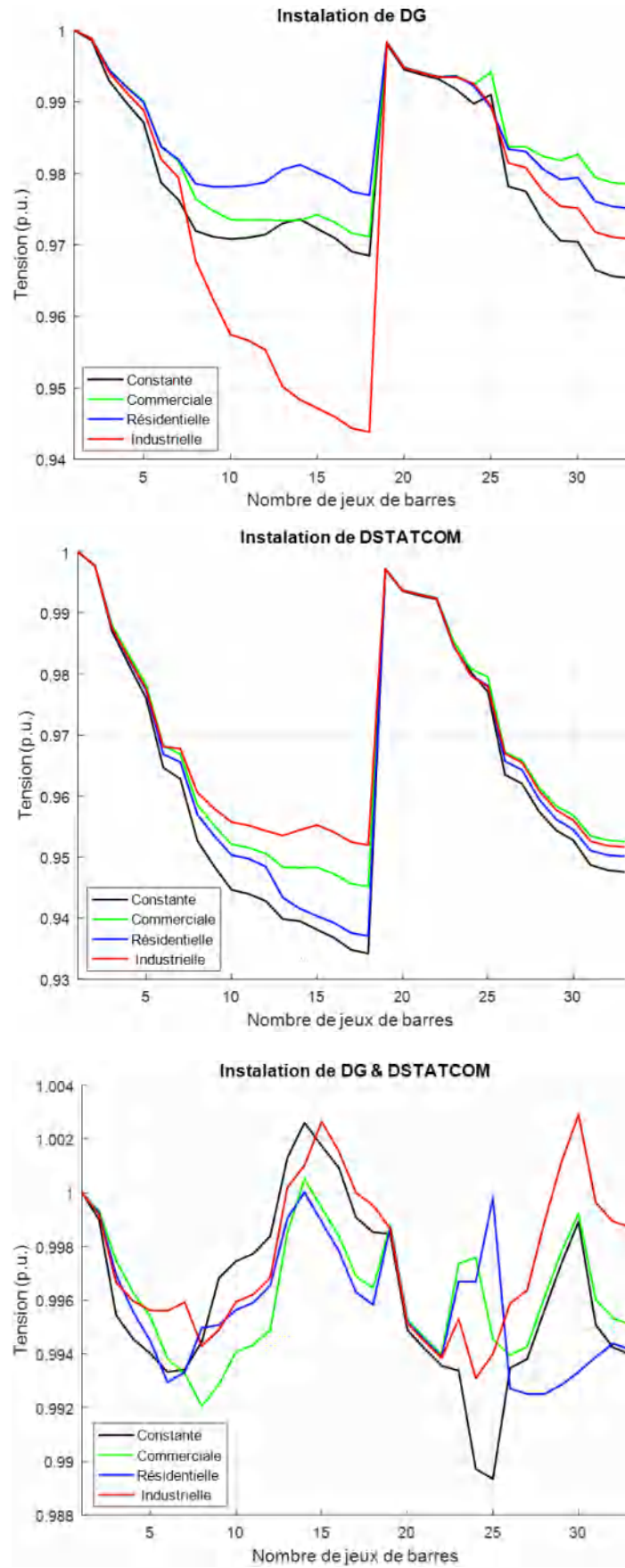
(a). IEEE 33-JB.

Type de la charge	Études de cas	DG taille MW, (JB)	DSTATCOM MVAR, (JB)	P_{Loss} (kW)	V_{min} (p.u.)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	EPRL (%)	VDL (%)	MOF
Constante	Cas de base	---	---	210.9875	0.9038	---	---	---	---	---	---
	DG	0.7815(14) 0.8034(25) 0.9925(30)	---	73.9712	0.9653	74.0414	64.9405	6.2630	23.5868	65.0061	51.4297
	DSTATCOM	---	0.3961 (14) 0.5473 (24) 1.0701 (30)	138.3903	0.9342	60.3895	34.4083	3.0928	49.5388	55.0178	41.1022
	DG & DSTATCOM	0.8303 (14) 0.5103 (25) 1.0564 (30)	0.4833 (9) 0.1313 (16) 0.9222 (30)	17.4260	0.9893	92.3709	91.7407	9.2738	25.3883	92.0678	68.8660
Commerciale	Cas de base	---	---	152.6171	0.9196	---	---	---	---	---	---
	DG	0.5014 (15) 0.8622 (25) 1.1253 (30)	---	48.5260	0.9711	75.8749	68.2041	5.3848	21.6450	66.9220	53.0296
	DSTATCOM	---	0.3526 (15) 0.3873 (25) 0.7609 (30)	110.9854	0.9452	57.8967	27.2785	2.4018	49.7103	53.8886	39.0543
	DG & DSTATCOM	0.6272 (14) 1.1337 (24) 0.9150 (30)	0.1999 (4) 0.3491 (14) 0.7587 (30)	12.5790	0.9921	92.3854	91.7578	7.6671	17.6286	90.2622	67.7013
Résidentielle	Cas de base	---	---	159.1118	0.9176	---	---	---	---	---	---
	DG	0.7122 (14) 0.8651 (24) 0.9566 (30)	---	43.5486	0.9751	78.5115	72.6302	5.7586	22.0781	68.6439	55.1925
	DSTATCOM	---	0.3641 (11) 0.3174 (25) 0.7070 (30)	120.0907	0.9371	56.9880	24.5243	2.1489	49.7367	53.3586	38.0766
	DG & DSTATCOM	0.7969 (14) 1.0591 (25) 0.6250 (32)	0.5281 (8) 0.0552 (25) 0.7798 (30)	16.9528	0.9925	90.3712	89.3453	7.8548	22.5086	88.6399	66.5300
Industrielle	Cas de base	---	---	163.6818	0.9165	---	---	---	---	---	---
	DG	0.7680 (13) 0.9449 (25) 0.7918 (32)	---	55.8242	0.9438	74.5682	65.8947	3.9466	24.2545	64.4572	57.3640
	DSTATCOM	---	0.5860 (15) 0.2963 (25) 0.6955 (30)	142.5978	0.9517	53.4420	12.8811	2.9119	49.8634	51.8118	34.6536
	DG & DSTATCOM	0.7549 (15) 0.7091 (25) 1.1011 (30)	0.3062 (7) 0.1882 (13) 0.6312 (30)	13.6209	0.9931	92.3177	91.6784	8.1722	22.6929	92.6649	68.4674

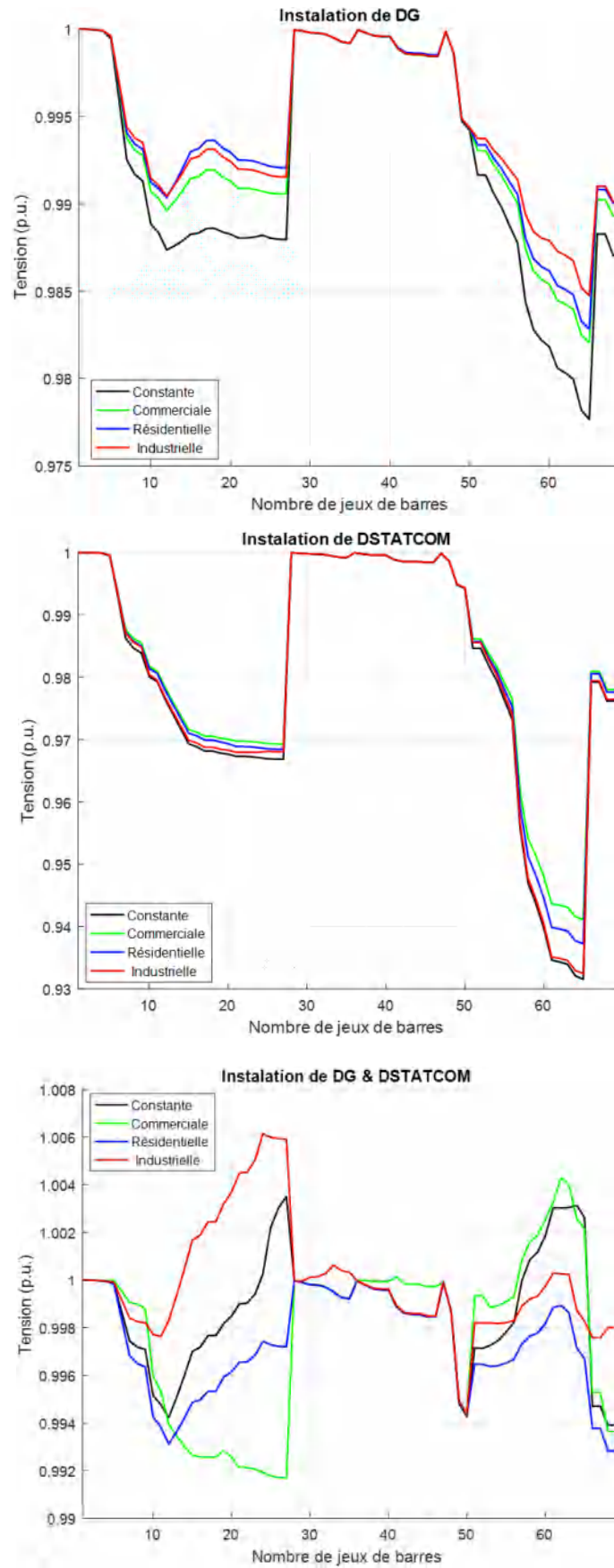
(b) IEEE 69-JB

Type de la charge	Études de cas	DG taille MW, (JB)	DSTATCOM MVAR, (JB)	P_{Loss} (kW)	V_{min} (p.u.)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	EPRL (%)	VDL (%)	MOF
Constante	Cas de base	---		224.9480	0.9092	---	---	---	---	---	---
	DG	0.3539(18) 0.1179(24) 1.7546(61)		71.6766	0.9777	75.8359	68.1364	1.0731	28.9642	64.2829	52.0079
	DSTATCOM		0.4753 (11) 0.2116 (21) 1.2294 (61)	145.1200	0.9315	60.7856	35.4873	0.4009	49.5053	55.3447	40.9751
	DG & DSTATCOM	0.4579 (27) 1.3214 (61) 0.4104 (64)	0.3280 (18) 0.0100 (20) 1.5122 (61)	11.6342	0.9939	95.0824	94.8281	1.4714	28.6707	89.5719	68.3539
Commerciale	Cas de base	---		156.9552	0.9242	---	---	---	---	---	---
	DG	0.4771 (18) 0.0100 (27) 1.4926 (61)		43.1818	0.9820	78.4239	72.4878	0.9943	30.1130	66.0809	54.4510
	DSTATCOM		0.3408 (11) 0.1799 (21) 0.9666 (61)	112.4034	0.9411	58.2700	28.3850	0.3091	49.6978	54.2289	39.0353
	DG & DSTATCOM	0.3278 (19) 0.0100 (36) 1.6626 (62)	0.1694 (41) 1.2663 (51) 0.6990 (62)	13.9488	0.9917	91.8382	91.1128	1.2139	29.4438	85.8023	66.1211
Résidentielle	Cas de base	---		164.8948	0.9217	---	---	---	---	---	---
	DG	0.5345 (18) 0.0100 (46) 1.5689 (61)		39.6752	0.9828	80.6056	75.9391	1.0740	29.0325	67.5918	56.0060
	DSTATCOM		0.4530 (11) 0.1736 (19) 0.8499 (61)	123.9391	0.9372	57.0898	24.8375	0.3104	49.7309	53.6940	37.8685
	DG & DSTATCOM	0.0434 (22) 0.3388 (24) 1.5446 (61)	0.3231 (19) 0.0393 (51) 0.9709 (62)	8.3970	0.9928	95.1544	94.9076	1.2167	31.0400	87.0897	68.2933
Industrielle	Cas de base	---		171.4038	0.9196	---	---	---	---	---	---
	DG	0.5150 (18) 0.0100 (55) 1.6740 (61)		30.7454	0.9847	84.7907	82.0626	1.0871	28.8079	70.4460	59.0372
	DSTATCOM		0.7200 (9) 0.1946 (25) 0.6174 (61)	141.1863	0.9325	54.8334	17.6294	0.2835	49.8091	52.8319	35.5800
	DG & DSTATCOM	0.5804 (24) 0.1038 (33) 1.7160 (61)	0.6955 (12) 0.0167 (39) 0.6300 (63)	9.8031	0.9944	94.5901	94.2807	1.4910	25.8218	91.5230	68.4184

Le profil de tension des deux réseaux après l'installation de DG, DSTATCOM, et DG avec DSTATCOM simultanément considèrent différent modèle de charge sont représenté dans la figure 3.30.



(a). IEEE 33-JB.



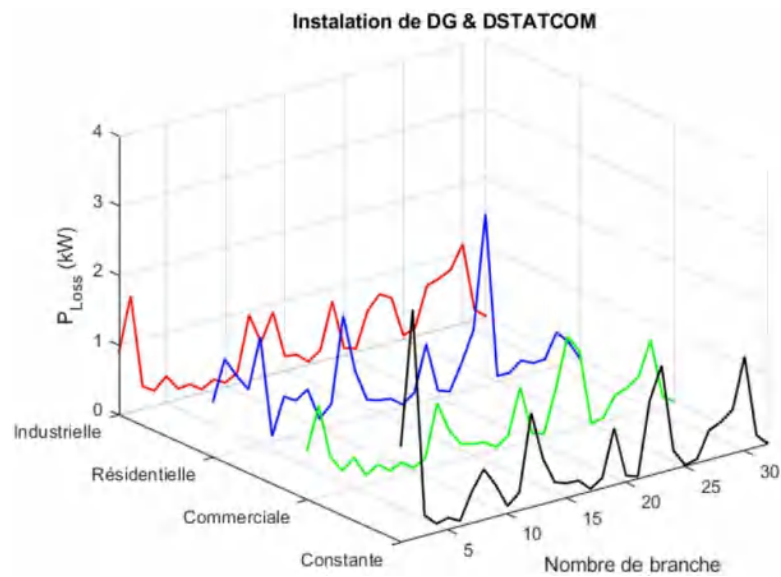
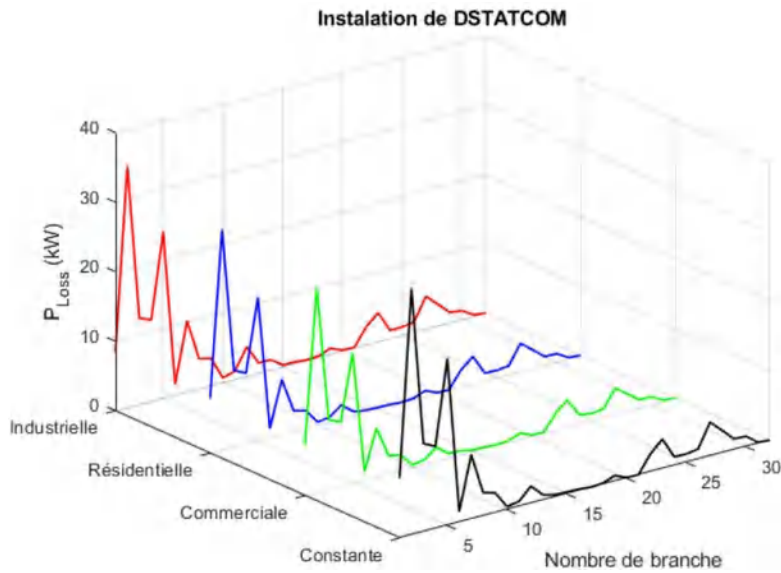
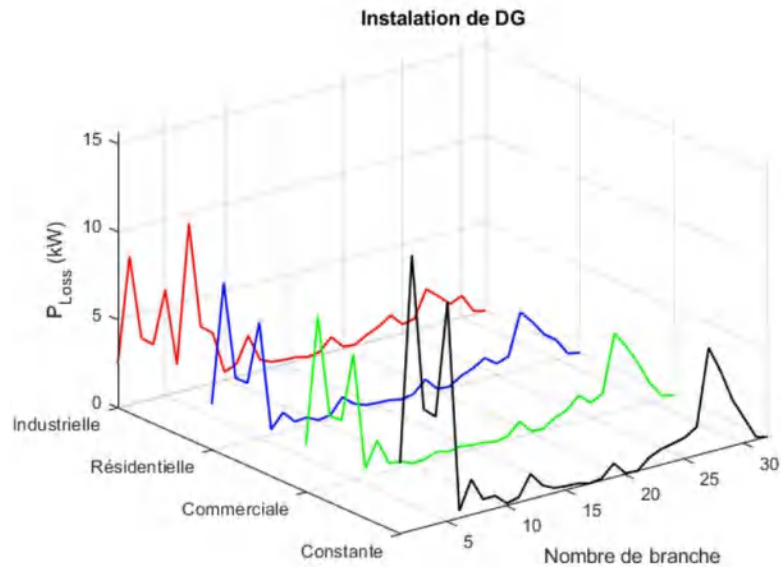
(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 30. Profil de tension d'EIW-PSO.

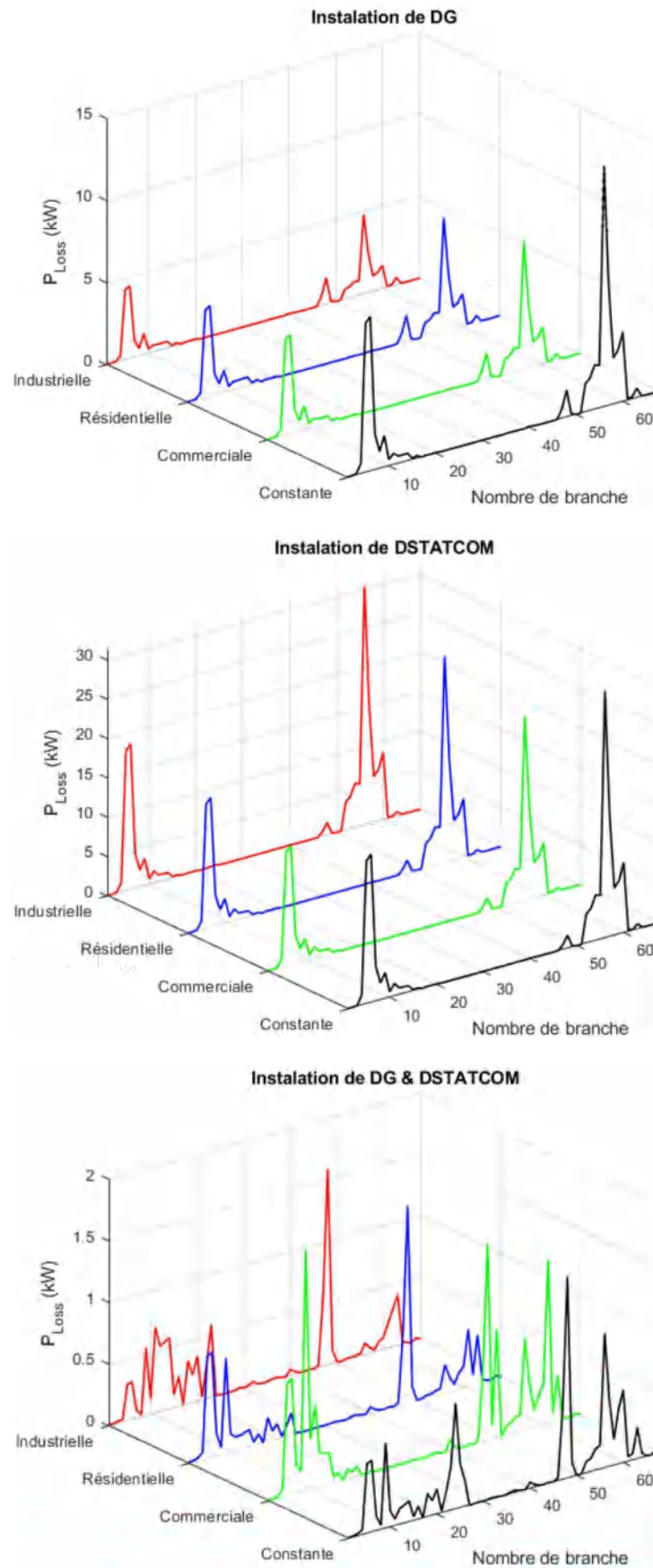
L'analyse de la figure 3.30 montre que pour chaque type de charge l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM à la fois, permet d'améliorer le profil de tension. On peut noter que la tension dans le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM offre une énorme amélioration de tension, où la tension minimale est devenue plus 0.99 p.u., en plus excepté pour la charge résidentielle la tension maximale a dépassé 1.00 p.u. dans plusieurs jeux de barres.

La figure 3.31 représenté la perte totale de puissance active après l'installation de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément.

D'après la figure 3.31, on observe que dans le cas de l'intégration de DG les pertes par branche pour la charge constante est plus élevé par rapport aux autres types de charge, contrairement, la charge industrielle avoir les pertes les plus élevées pour le cas de l'intégration de DSTATCOM, par contre, les charges résidentielles, et commerciales ont les P_{Loss} les plus élevées dans le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément respectivement pour le premier et le deuxième réseau.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 31. P_{Loss} par branche des RDRs utilisant EIW-PSO.

3. 10. Résultats de l'incertitude sous différents modèles de charge électrique par l'application de l'algorithme EIW-PSO

Après qu'on a résout le problème de l'intégration optimale de DG dans le régime constant nous allons maintenant résoudre le même problème en tenant compte la variation journalière de la charge et de DG.

Tableau 3.14 montre l'impact de l'incertitude de divers types de charge.

Tableau 3. 14. Impact de l'intégration de DG en considérant l'incertitude pour différent model de charge.

IEEE 33-JB.

Type de charge	Case study	$\sum P_{Loss}$ (MW)	$\sum Q_{Loss}$ (MVar)	$\sum V_{min}$ (p.u.)	\sum ALC	\sum SCI	\sum VD
Constante	Cas de base	3.5571	2.4122	22.1088	1.8696	2.1364e+04	35.6473
	DG	2.3012	1.5651	22.6221	1.2095	2.1786e+04	28.0323
Commerciale	Cas de base	1.4653	0.9881052	22.9052	0.7701	2.2048e+04	20.9505
	DG	0.7083411	0.4830217	23.3140	0.3723	2.2400e+04	14.6089
Residentille	Cas de base	1.2927	0.8728648	22.9860	0.6794	2.2124e+04	19.4043
	DG	0.8619837	0.5883028	23.3784	0.4531	2.2503e+04	14.9792
Industriale	Cas de base	1.3718	0.9281019	22.9330	0.7210	2.2081e+04	20.5536
	DG	1.0601	0.7261961	23.3063	0.5572	2.2453e+04	16.1057

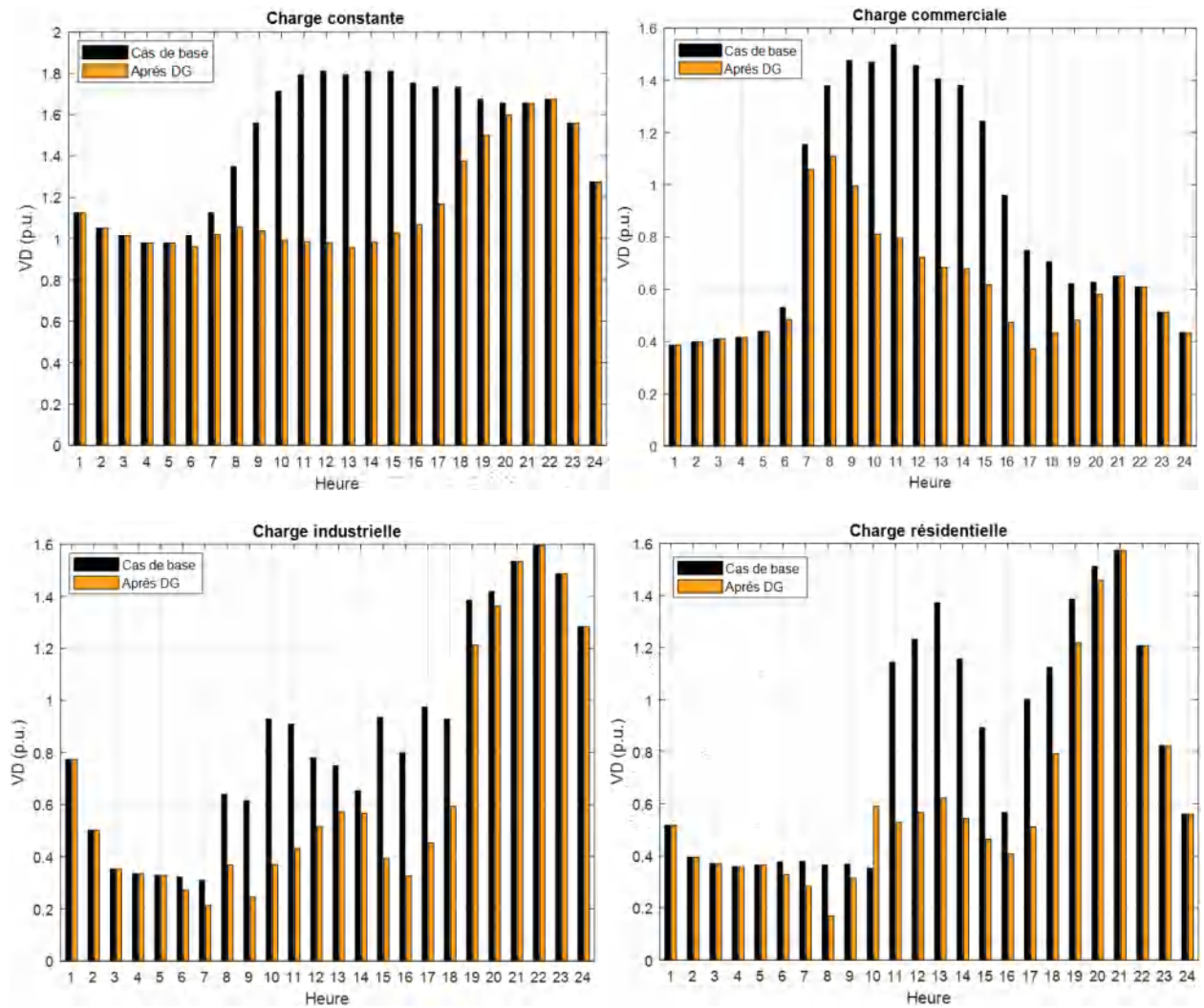
IEEE 69-JB.

Test system	Case study	$\sum P_{Loss}$ (kW)	$\sum Q_{Loss}$ (MVar)	$\sum V_{min}$ (p.u.)	\sum ALC	\sum SCI	\sum VD
Constante	Cas de base	1.8927	0.8603522	22.2166	0.9948	1.5609e+06	36.8334
	DG	1.1860	0.5570579	22.7664	0.6234	1.5658e+06	29.2998
Commerciale	Cas de base	0.7516261	0.3499991	22.9688	0.3951	1.5683e+06	21.8841
	DG	0.3412108	0.1727297	23.4241	0.1793	1.5728e+06	15.4294
Residentille	Cas de base	0.6674253	0.3097628	23.0377	0.3508	1.5692e+06	20.2003
	DG	0.4370366	0.2090465	23.4438	0.2297	1.5740e+06	15.8917
Industriale	Cas de base	0.7149175	0.3307193	22.9738	0.3758	1.5686e+06	21.2907
	DG	0.5471564	0.2567488	23.3594	0.2876	1.5734e+06	17.1653

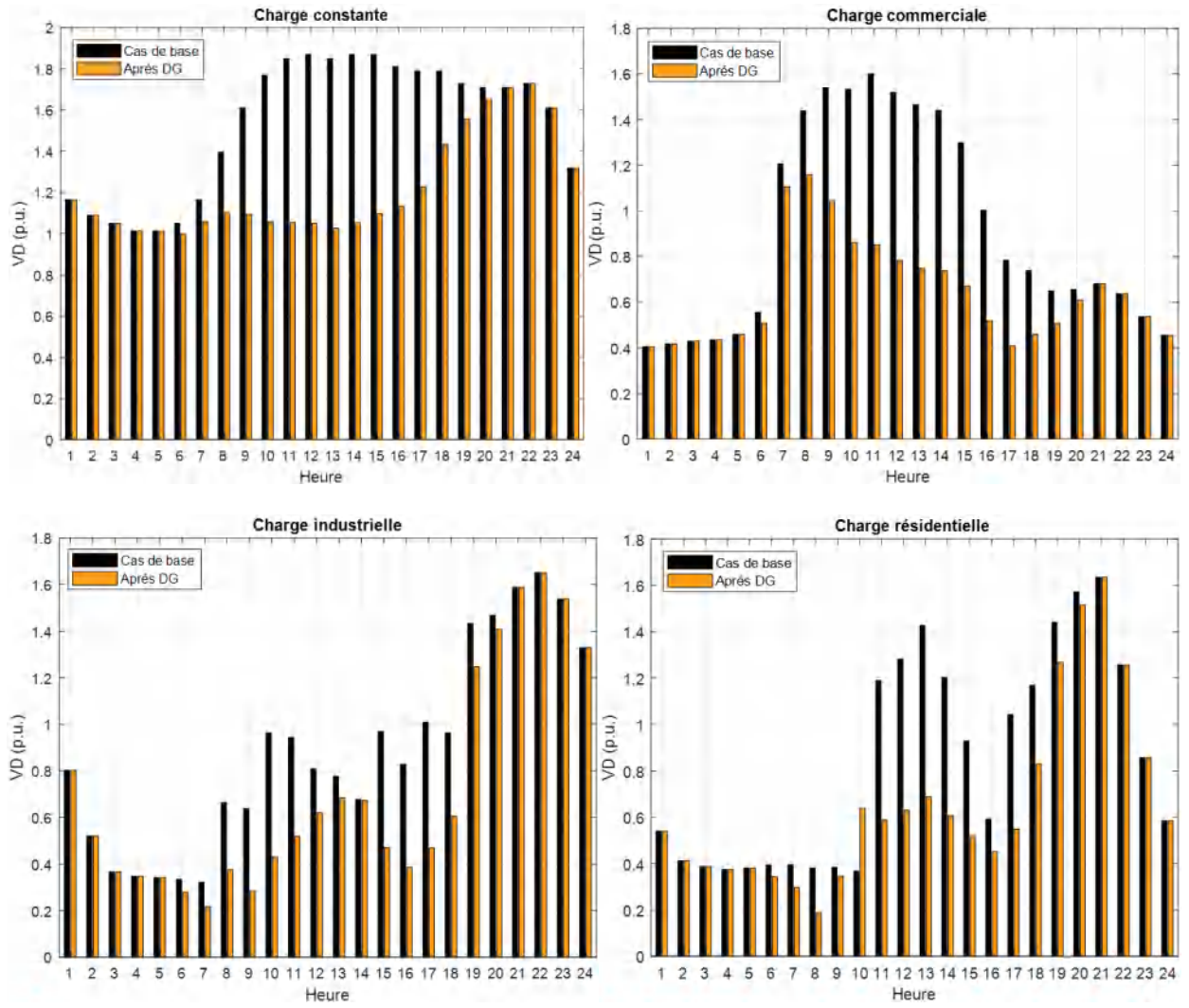
D'après le tableau 3.14, pour le réseau 33-JB, la somme des V_{min} , dans le cas de base étaient 22.1088, 22.9052, 23.3784, 23.3063 p.u. respectivement pour les charges constante, commerciale, residentielle, et industrielle et apres l'intégration de DG les V_{min} sont amélioré jusqu'à 22.6221, 23.3140, 23.3784, et 23.3063 p.u. respectivement. De plus la somme des P_{Loss} sont minimisées avec une pourcentage de réduction jusqu'à 35.3068, 51.6617, 33.3255 et 22.7219 %, respectivement pour les charges constantes, commerciales, residentielles et industrielles.

De meme, pour le réseau IEEE 69-JB, l'intégration de DG offre une énorme minimisation de P_{Loss} , et VD ainsi que l'amélioration de la tension minimale, où après l'intégration de DG la

tension minimale est devenue 22.7664, 23.4241, 23.4438, et 23.3594 p.u., après qu'ils étaient 22.2166, 22.9688, 23.0377, 22.9738 p.u. respectivement pour les charges constantes, commerciales, résidentielles, et industrielles, en plus les P_{Loss} sont réduites avec un pourcentage de réduction de 37.3381, 54.6035, 34.5220, et 23.4650 %.

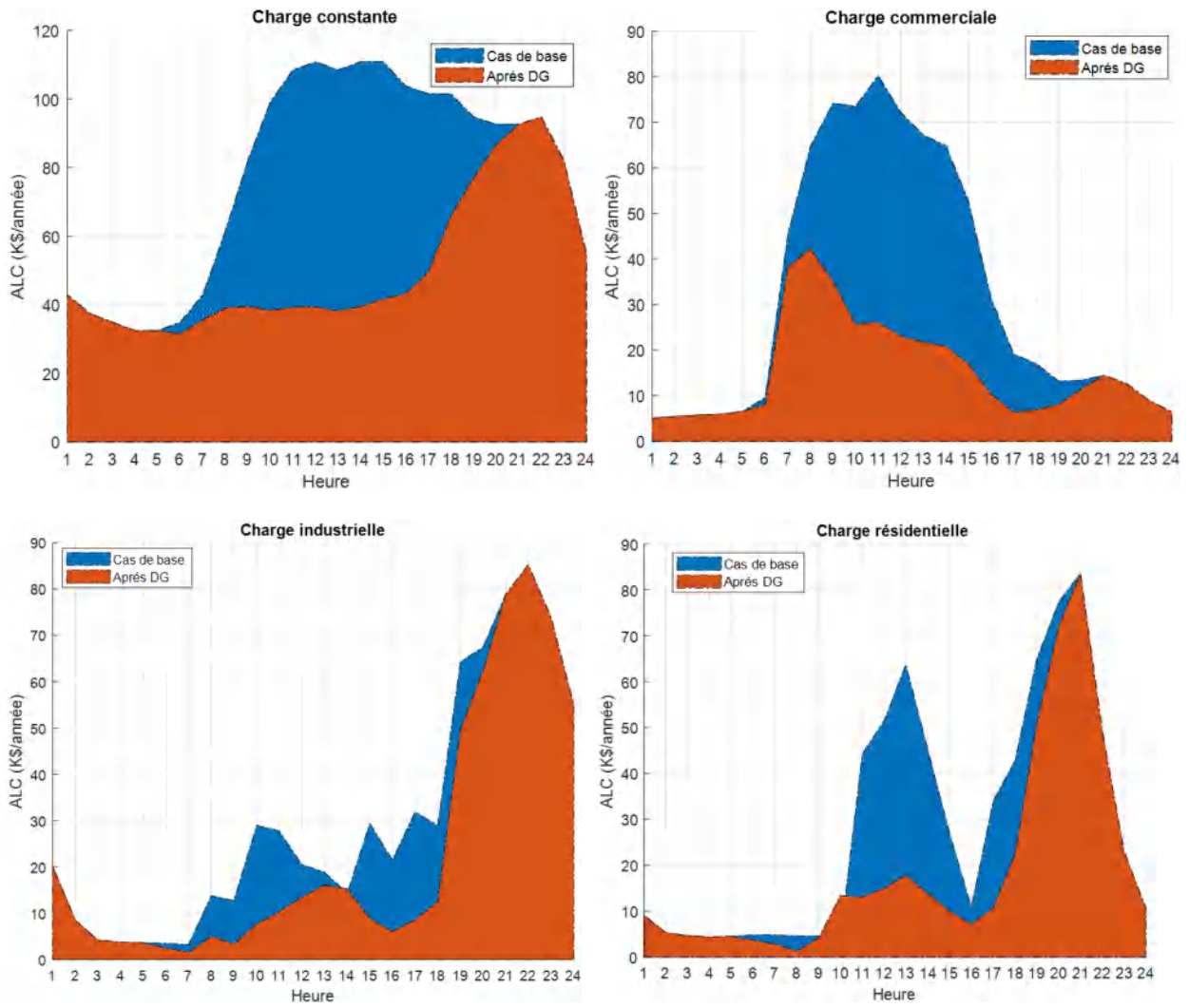


(a). IEEE 33-JB.

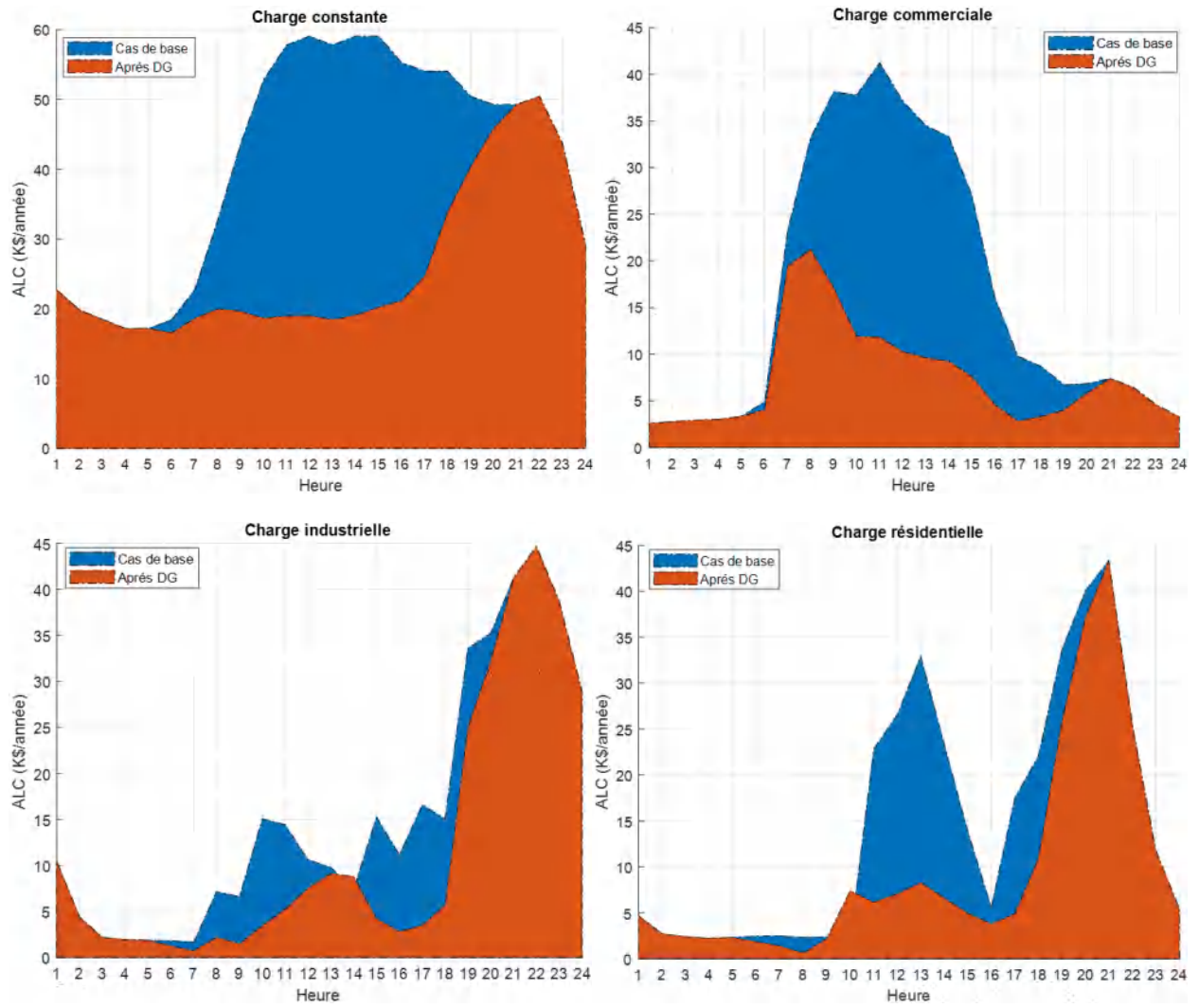


(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 32. La variation de la deviation de tension 24 h.

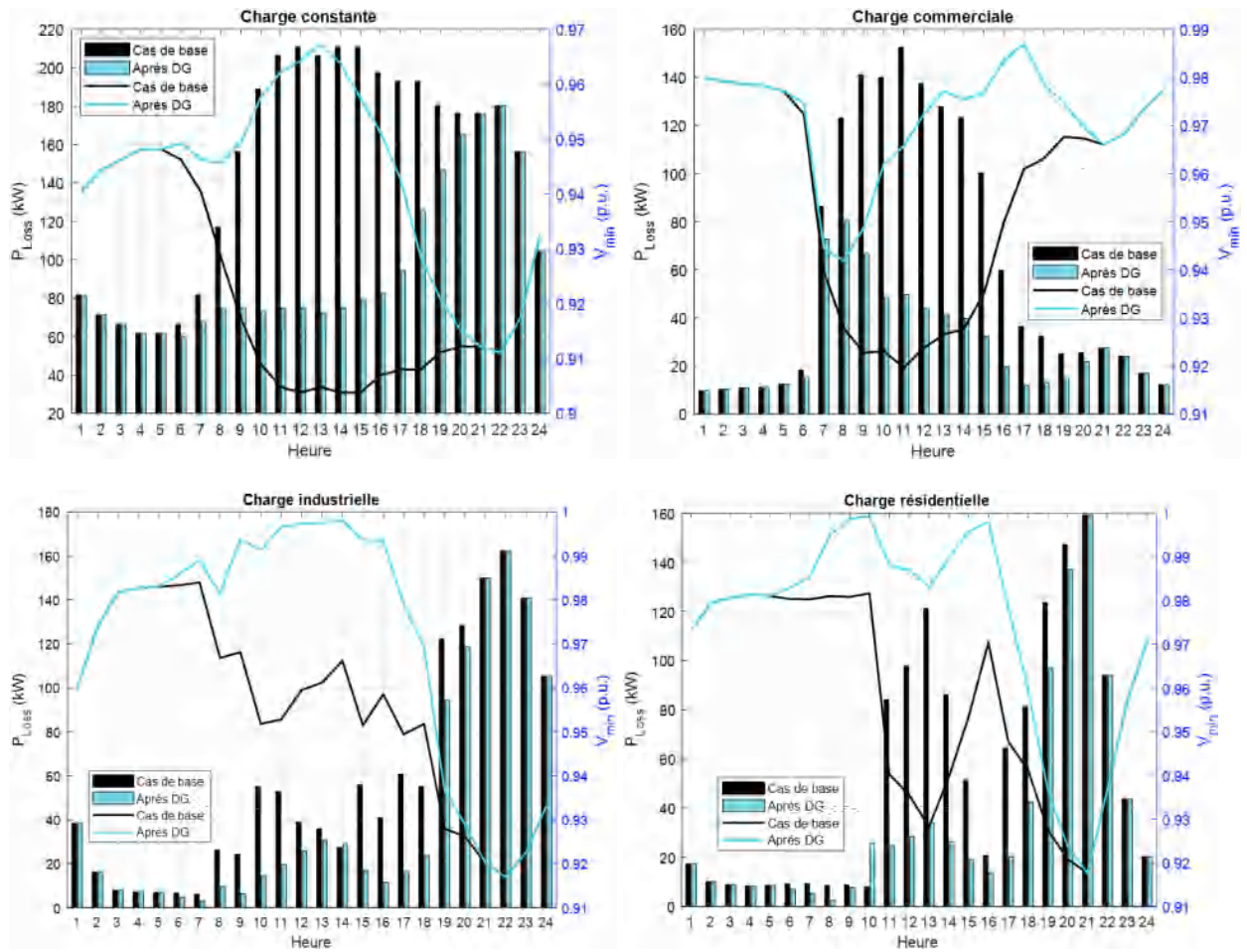


(a). IEEE 33-JB.

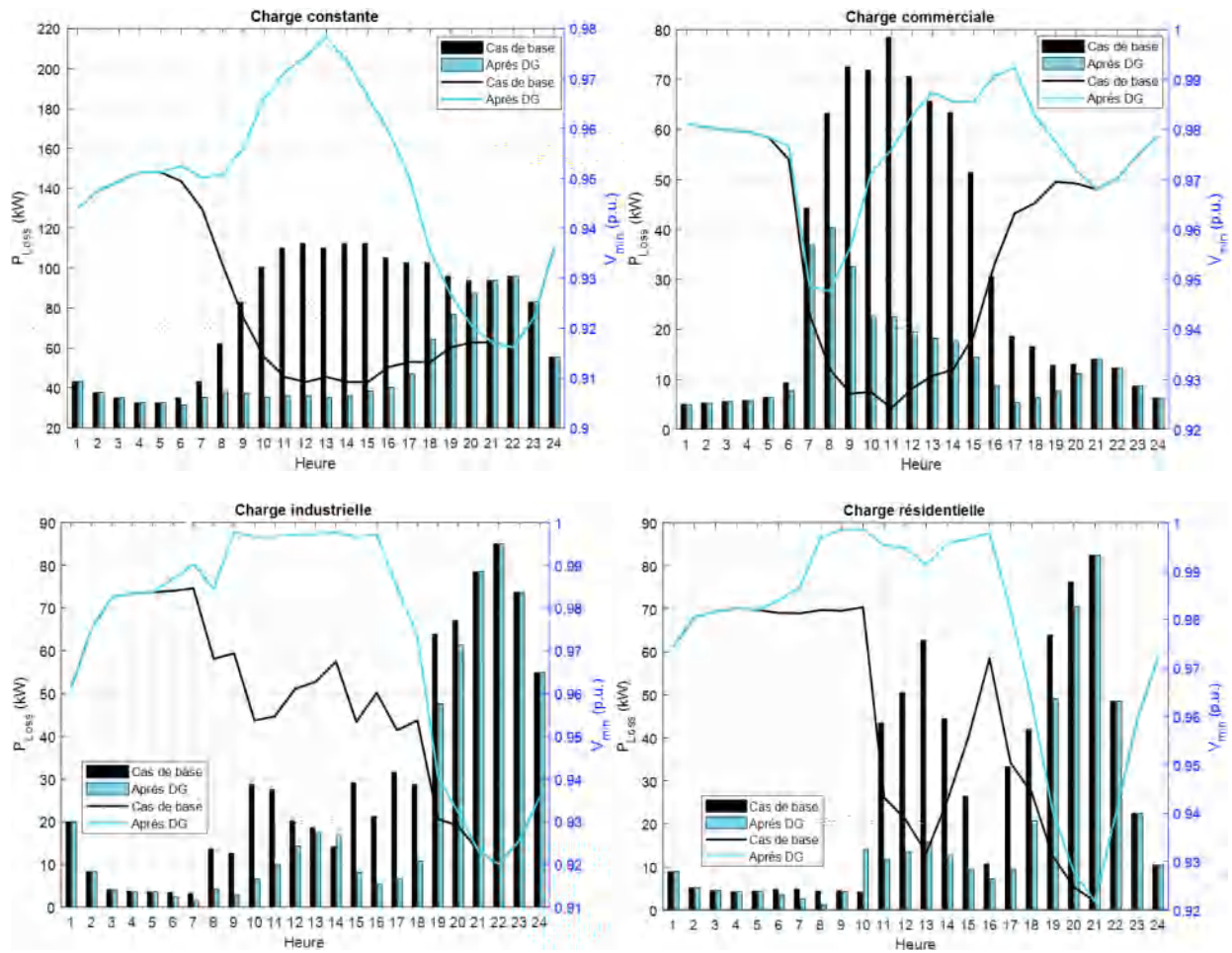


(b). IEEE 69-JB.

Figure 3. 33. Variation d'ALC en 24 h.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 3.34. Variation de P_{Loss} et V_{min} en 24 h.

D'après les figures 3.32 à 3.34 quelque soit le type de la charge, l'intégration de DG a aucun effet dans les heures entre 21:00 h et 5:00 h, car il n'y a pas de puissance injectée depuis le DG, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'amélioration des résultats de l'optimisation, par contre dans le reste des heures, on constate qu'il y a une amélioration du résultat obtenu qui dépend de l'incertitude de la demande de charge, et de puissance injectée depuis le DG. en d'autres termes, dans les heures entre 10:00 h et 15:00 h, notamment, à 12:00 h on constate qu'il y a une grande amélioration des résultats de l'optimisation en raison de puissance plus élevée fournit par le DG, par contre dans les autres heures on observe une petite amélioration.

3. 11. Conclusion

La contribution de ce chapitre est la résolution de problème de l'intégration optimale de DG et DSTATCOM dans le réseau de distribution en utilisant divers algorithmes PSO, afin de maximiser la fonction mono-, et multi-objectif.

Les algorithmes proposés ont été appliqués aux réseaux de distribution standard IEEE 33, et 69 jeux de barres. Différent scénario ont été étudié à savoir l'intégration optimale de DG uniquement, DSTATCOM uniquement, et DG et DSTATCOM simultanément. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de ces algorithmes pour résoudre le problème de l'intégration optimale de DG et DSTATCOM. En plus, leur comparaison montre la supériorité de l'algorithme EIW-PSO.

Ce dernier est implémenté pour l'intégration optimale de DG et DSTATCOM en prenant compte les différents modèles de charge, ainsi que l'incertitude de la charge et de la puissance de sortie de DG.

Dans le chapitre quatre, nous allons expliciter les nouvelles techniques d'optimisation développées en se basant sur l'hybridation des algorithmes d'optimisation PSO et Lucie pour améliorer leurs performances.

Chapitre 4 : Application des algorithmes hybride FA-PSO pour la fonction MOF

4. 1. Introduction

La recherche d'une solution optimale dans plusieurs problèmes d'optimisation nécessite des évaluations coûteuses en termes de calcul. De plus certains algorithmes ne donnent souvent pas de garanties de convergence de nombreux problèmes d'optimisation vers un optimum global, tandis que, d'autres algorithmes prennent un grand nombre d'évaluations de fonction [120]. Par contre les algorithmes d'optimisation hybride offre des solutions d'optimisation rapides et fiables [121].

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe d'hybridation des algorithmes, et leurs classifications. Aussi, nous avons détaillé les bases d'hybridation de l'algorithme FA-PSO et leurs résultats d'optimisation dans le problème de l'intégration optimale de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément.

4. 2. Principe d'hybridation des algorithmes

L'hybridation des algorithmes consiste à combiner entre deux algorithmes afin d'améliorer leurs performances. Généralement, ces derniers sont combinés entre des algorithmes locaux et globaux. Où les algorithmes locaux mènent rapidement à une solution locale (qui pourrait ne pas être la meilleure). Tandis que les algorithmes globaux prennent énormément de temps pour obtenir la solution optimale. On peut donc dire que les algorithmes locaux tendent beaucoup vers l'exploitation, alors que les globaux tendent beaucoup vers l'exploration [122]. En finalité, cette hybridation d'algorithmes vise à trouver un équilibre entre l'exploration et l'exploitation pour bien bénéficier de leurs avantages [123].

4. 3. Les algorithmes d'optimisation hybride

Dans les dernières années, plusieurs algorithmes d'optimisation hybride sont introduits et développés. Ils peuvent être classés selon le type d'algorithmes combinés et aussi des modifications effectuées. Dans ce contexte on distingue deux types d'hybridation: niveau faible ou haut et relais ou travail d'équipe [124].

Niveau bas (low level) : dans cette hybridation on remplace une fonction donnée d'un algorithme avec celle d'autre algorithme.

Haut niveau (high-level) : dans cette hybridation les différents algorithmes sont autonomes, c'est-à-dire nous n'avons aucune relation directe avec le fonctionnement interne de l'algorithme.

Relais : dans cette hybridation un ensemble d'algorithmes est utilisé l'un après l'autre, donc l'entrée de l'algorithme est la sortie de l'algorithme précédente.

Travail d'équipe : dans cette hybridation nous avons plusieurs agents coopérants parallèles, où chaque agent fait une recherche dans son espace, généralement cette hybridation représente des modèles d'optimisation coopératifs.

4. 4. Principe d'algorithme Hybride FA-PSO

L'algorithme d'optimisation hybride FA-PSO est la combinaison des deux algorithmes : L'algorithme de luciole ou Firefly (FA) et l'algorithme essaim de particule (PSO). Avant de développer l'algorithme hybride, nous devons d'abord expliciter chaque algorithme de base. Comme l'algorithme PSO de base a été déjà détaillé précédemment, nous allons définir les concepts de base de l'algorithme FA.

Firefly Optimization Algorithm (FA)

L'algorithme d'optimisation de luciole (Firefly en anglais : FA) est développé en 2008 par Pr. Xin-She Yang. Il est inspiré de la nature, et décrit le comportement social des lucioles [124]–[126], et il est basé sur leur attractivité lumineuse chimique pour communiquer, chasser et avertir leurs ennemis.

La relation entre l'intensité lumineuse (I) et la distance (r) est régit par la loi des carrés inverses [127], où ces deux grandeurs sont inversement proportionnelles, et elle exprimée par:

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma \cdot r^2} \quad 4.1$$

Où γ est coefficient d'absorption de la lumière.

De plus, l'intensité lumineuse diminue lorsqu'elle est absorbée par l'air. Comme la plupart des lucioles sont visibles à une centaine de mètres, cela leur permet de communiquer entre elles.

La forme principale de la fonction d'attractivité β peut être l'une des fonctions monotones décroissantes définie par [124] :

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma \cdot r_{ij}^2} \quad 4.2$$

Où, β_0 est l'attractivité à $r = 0$. La distance entre deux lucioles est donnée par :

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad 4.3$$

Le mouvement d'une luciole i , lorsqu'elle est attirée par une autre luciole j plus attrayante (plus lumineuse), s'exprime par :

$$x_i' = x_i + \beta(r) \times (x_i - x_j) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right) \quad 4.4$$

4. 5. Algorithmes Hybride FA-PSO

L'algorithme hybride FA-PSO est proposé par X.-S. Yang [125]. Ce dernier est une combinaison des deux algorithmes (luciole et essaim de particule), permettant ainsi de bénéficier de leur avantages [127]. Les lucioles n'ont pas de mémoire de vitesse (V) et de meilleure position personnelle (P_{best}) par rapport aux particules. De plus dans cette hybridation PSO est utilisé dans la recherche globale suite à sa rapide convergence dans l'exploration, Tandis que FA est utilisé dans la recherche locale, car il permet un réglage fin dans l'exploitation. Les études de poids d'inertie ajustées dynamiquement qui tiennent compte des améliorations par rapport aux précédents records personnels ont réussi [128]. L'organigramme de l'algorithme hybride FA-PSO est présenté dans la figure 4.1.

Premièrement, les particules G_{best} et P_{best} sont calculées, ensuite dans l'étape de comparaison, on vérifie si nous avons une amélioration de la valeur de fitness de la particule dans sa dernière itération selon l'équation (4.5) :

$$f_i^k = \begin{cases} \text{vrais,} & \text{si } fitness(particule_i^k) \leq G_{best}^{k-1} \\ \text{faux,} & \text{si } fitness(particule_i^k) \geq G_{best}^{k-1} \end{cases} \quad 4.5$$

Par la suite, la position actuelle est enregistrée dans une variable appelée temp (X_{i_temp}) et la nouvelle position et la nouvelle vitesse sont calculées selon l'équation 4.6:

$$\begin{aligned} X_i^{k+1} &= X_i^k + \beta_0 e^{-\gamma_0^2} (X_i^k - G_{best}^{k-1}) + \alpha \varepsilon_i \\ V_i^{k+1} &= X_i^{k+1} - X_{i_temp} \end{aligned} \quad 4.6$$

Ainsi, si une particule a une valeur de fitness meilleure ou égale à la meilleure valeur globale précédente, on suppose que la recherche est terminée et que la recherche locale commence. Et dans ce cas, la particule est gérée par un l'algorithme FA imitatif, sinon la particule sera gérée par PSO qui poursuit ses processus standards avec cette particule selon l'équation 3.1.

Dans l'étape de comparaison suivante, les évaluations de valeur de fitness et les limites de portée sont vérifiées pour toutes les particules et les lucioles. Le nombre maximum d'évaluations (MaxFES) est utilisé comme critère d'arrêt du processus.

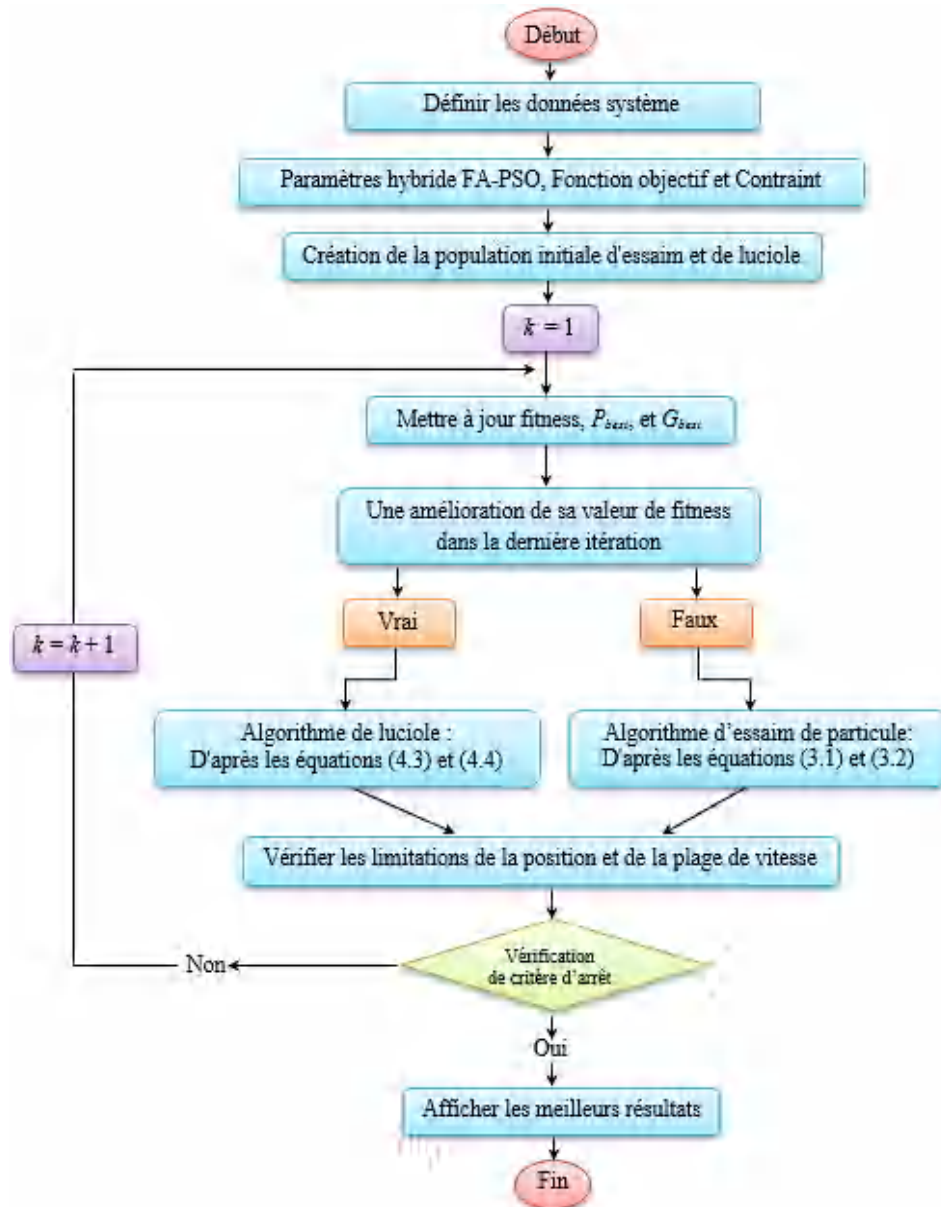
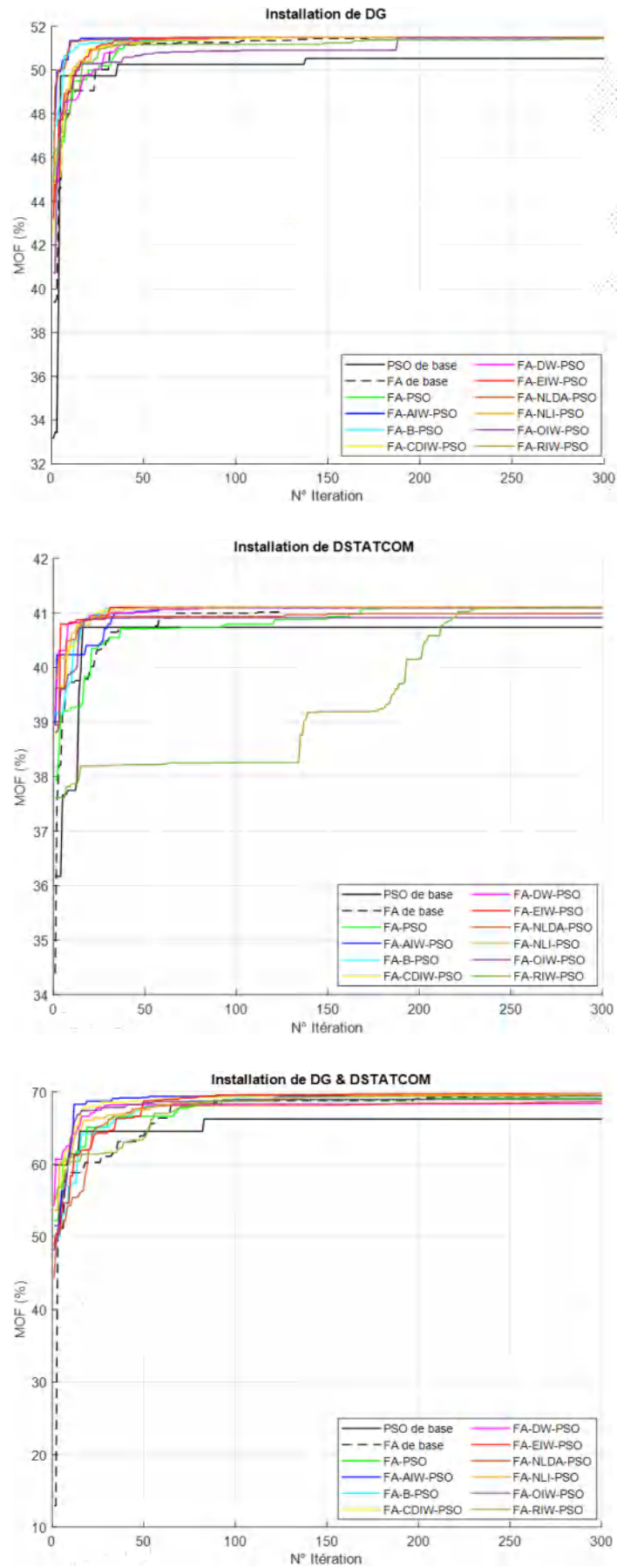


Figure 4. 1. L'organigramme de l'algorithme hybride FA-PSO.

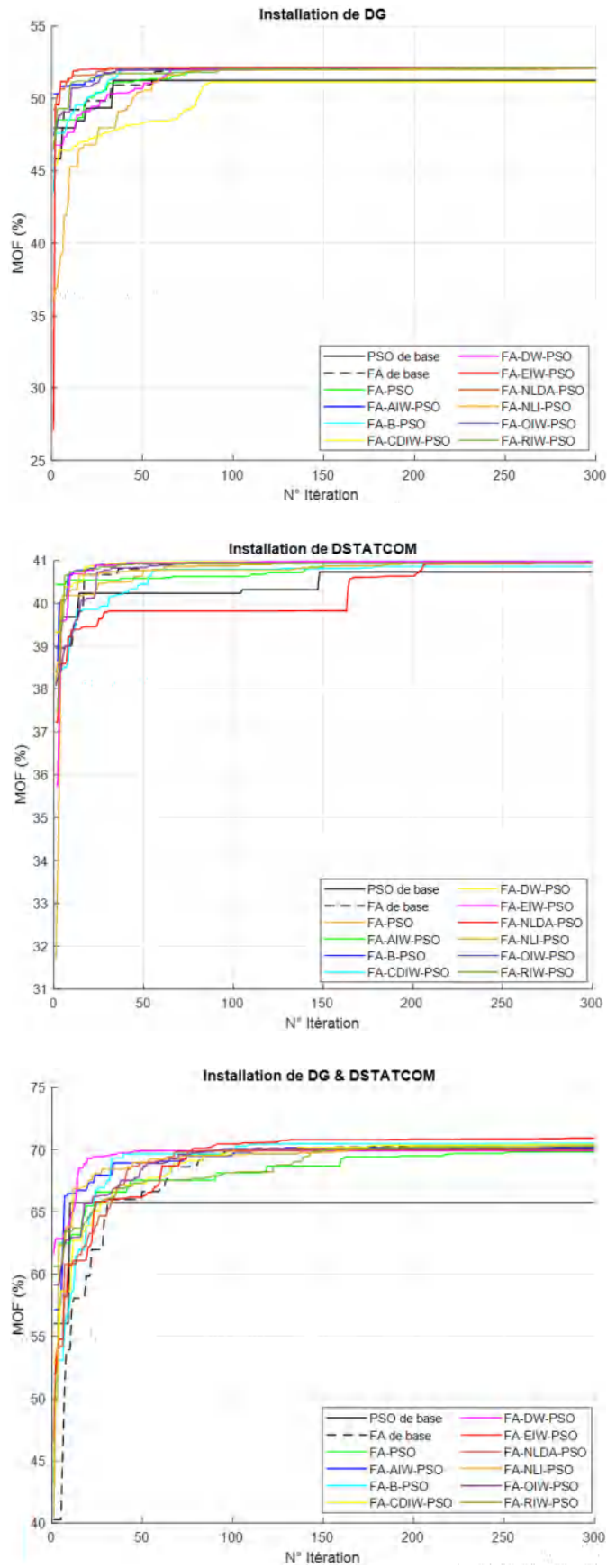
4. 6. Résultats de simulation

- Comparaison de FA-PSO base sur la variation de w

La figure 4.2 représente les courbes de convergences des deux réseaux utilisant divers FA-PSO algorithmes basé sur la variation de w .



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 4. 2. Courbe de convergence de FA- divers PSO.

D'après la figure 4.2, l'observation principale est que l'algorithme PSO de base converge rapidement, et on constate qu'il enregistre les pires résultats de MOF dans tous les cas. Dans le cas de l'intégration de DG, et en termes de caractéristique de convergence du réseau IEEE 33-JB, la plupart des algorithmes convergent avec un nombre d'itérations allant de 95 à 189. Cependant, on peut noter que l'algorithme hybride FA-AIW-PSO a convergé rapidement par rapport aux autres algorithmes. Dans le cas de l'intégration de DSTATCOM, à l'exception des deux algorithmes FA-RIW-PSO et FA-PSO, la plupart des autres algorithmes convergent rapidement avec moins de 100 itérations. Dans le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément, l'algorithme PSO de base converge rapidement à l'itération numéro 83, en plus, la majorité des autres algorithmes convergent entre les itérations 100 et 150.

Pour le réseau IEEE 69-JB, on peut constater, que tous les algorithmes convergent rapidement avec moins de 100 itérations avec une rapidité pour l'algorithme PSO de base qui ne nécessite seulement 35 itérations. Par contre, pour le cas de l'intégration de DSTATCOM tous les algorithmes prennent beaucoup d'itération pour atteindre la solution optimale avec plus de 140 itérations. D'ailleurs c'est le même constat, pour le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM, à l'exception de PSO de base tous les algorithmes convergent après l'itération 120.

Les tableaux 4.1, 4.2 et 4.3 représentent les différents indices technico-économiques-environnementaux obtenus par les algorithmes hybrides FA-PSO après l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément.

D'après les résultats tabulés dans le tableau 4.1, pour le réseau IEEE 33-JB, les tailles optimales des DG par l'application de l'algorithme FA-DW-PSO sont 0.8234, 0.7240 et 1.0179 MW, qui sont connectés aux jeux de barres 13, 25 et 30 respectivement. Ce qui a permis d'obtenir la plus grande réduction de P_{Loss} et de Q_{Loss} par rapport aux autres algorithmes, qui sont respectivement de 74.0374 kW et 51.1051 kVar. En plus, il a également enregistré le meilleur résultat d'APLL et NSL qui sont de 74.0242 % et 64,9091 % respectivement, tandis que les valeurs maximales de SCL, VDL et EPRL sont obtenues par PSO de base, FA-NLI-PSO et FA-RIW-PSO respectivement.

Tableau 4. 1. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.

a- IEEE 33-JB

	Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.6942(6) 0.8395(13) 0.9375(30)	0.9709	80.9853	56.2416	72.2627	61.6161	6.8216	65.1394	25.2353	50.5273
	Basic FA	0.8102 (13) 0.7027 (25) 1.0330 (30)	0.9667	74.1275	51.1722	74.0008	64.8664	5.9230	65.1712	24.0550	51.4901
	FA-PSO	0.8182 (13) 0.6985 (25) 1.0341 (30)	0.9668	74.1336	51.1686	73.9993	64.8635	5.9492	65.1881	23.9830	51.4902
	FA-AIW-PSO	0.8190 (13) 0.6995 (25) 1.0410 (30)	0.9670	74.1017	51.1589	74.0075	64.8786	6.3447	65.2041	23.8542	51.4900
	FA-B-PSO	0.8138 (13) 0.6937 (25) 1.0473 (30)	0.9671	74.1280	51.1833	74.0007	64.8662	6.3335	65.1984	23.9240	51.4890
	FA-CDIW-PSO	0.8225 (13) 0.7160 (25) 1.0232 (30)	0.9666	74.0618	51.1208	74.0179	64.8975	6.3332	65.1944	23.8211	51.4893
	FA-DW-PSO	0.8234 (13) 0.7240 (25) 1.0179 (30)	0.9664	74.0374	51.1051	74.0242	64.9091	6.3319	65.1941	23.7675	51.4879
	FA-EIW-PSO	0.8204 (13) 0.7022 (25) 1.0333 (30)	0.9668	74.1093	51.1540	74.0056	64.8750	6.3354	65.1953	23.9075	51.4903
	FA-NLDA-PSO	0.8149 (13) 0.6990 (25) 1.0430 (30)	0.9670	74.1049	51.1661	74.0067	64.8771	6.3328	65.1982	23.8927	51.4897
	FA-NLI-PSO	0.8114 (13) 0.7002 (25) 1.0509 (30)	0.9672	74.0797	51.1654	74.0132	64.8891	6.3378	65.2063	23.8095	51.4884
	FA-OIW-PSO	0.7834 (14) 0.7012 (25) 1.0543 (30)	0.9670	74.1542	51.2419	73.9939	64.8538	6.3187	65.0356	24.1581	51.4721
FA-RIW-PSO	0.8891 (13) 0.6786 (25) 0.9625 (30)	0.9654	74.7227	51.4170	73.8467	64.5843	6.4226	65.1593	24.2937	51.4325	

Pour le réseau IEEE 69-JB, grâce à les tailles et les emplacements optimaux de DG obtenus par tous les algorithmes les pertes de puissance active sont minimisées avec un pourcentage de réduction plus de 75 %, ainsi que la tension minimale est augmenté jusqu'au plus de 0.9760 p.u.. De plus, la meilleure amélioration de tous les indices est obtenue par l'algorithme FA-EIW-PSO, en raison de l'intégration optimale de DG dans les jeux de barres 12, 21, et 61 avec une taille totale de 2.3469 MW.

b- IEEE 69-JB

Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
Basic PSO	0.7448(14) 0.0100(22) 1.7852(62)	0.9814	74.2008	36.8281	75.1960	67.0142	1.2325	64.5688	24.8270	51.2487
Basic FA	0.3793 (21) 1.6820 (61) 0.2477 (68)	0.9761	70.6127	35.5738	76.1089	68.6093	1.1183	64.4199	27.8969	52.1017
FA-PSO	0.2922 (12) 0.3767 (19) 1.6760 (61)	0.9761	70.1892	35.3961	76.2181	68.7976	1.1194	64.4301	27.4235	52.1277
FA-AIW-PSO	0.3091 (12) 0.3605 (21) 1.6671 (61)	0.9758	70.2207	35.4154	76.2100	68.7836	1.1331	64.4325	27.5313	52.1338
FA-B-PSO	0.2851 (12) 0.3775 (20) 1.6740 (61)	0.9760	70.2504	35.4248	76.2023	68.7704	1.1322	64.4335	27.5330	52.1290
FA-CDIW-PSO	0.0100 (35) 1.6988 (61) 0.5988 (69)	0.9764	74.7946	36.9776	75.0471	66.7503	0.9442	63.2080	27.9690	51.1326
FA-DW-PSO	0.3353 (12) 0.3408 (21) 1.6777 (61)	0.9762	70.0778	35.3502	76.2469	68.8471	1.1306	64.4285	27.3051	52.1339
FA-EIW-PSO	0.3247 (12) 0.3503 (21) 1.6719 (61)	0.9760	70.1360	35.3766	76.2319	68.8212	1.1329	64.4332	27.3965	52.1346
FA-NLDA-PSO	0.3444 (12) 0.3386 (21) 1.6742 (61)	0.9761	70.0598	35.3411	76.2516	68.8551	1.1328	64.4322	27.2600	52.1336
FA-NLI-PSO	0.4457 (17) 1.6857 (61) 0.1522 (69)	0.9760	70.8247	35.6724	76.0543	68.5151	1.1207	64.3899	28.2270	52.0911
FA-OIW-PSO	0.4190 (18) 1.6802 (61) 0.2170 (69)	0.9760	70.5566	35.5476	76.1233	68.6342	1.1344	64.4187	27.8028	52.1021
FA-RIW-PSO	0.3086 (12) 0.3589 (21) 1.6725 (61)	0.9760	70.1938	35.4027	76.2169	68.7955	1.1325	64.4336	27.4878	52.1341

Les résultats d'optimisation présentés dans les tableaux 4.2.a, et 4.2.b montrent que pour le réseau IEEE 33-JB, grâce à l'intégration optimal de DSTATCOM dans les jeux de barres 14, 24, et 30 les algorithmes FA-EIW-PSO et FA-CDIW-PSO ont la même efficacité de minimisations des pertes de puissance active et des indices d'APLL et NSL. De plus, l'algorithme FA-NLDA-PSO a enregistré la meilleure valeur de VDL, par contre PSO de base a obtenu le maximum valeur d'EPRL qui est 49.5505 %.

Tableau 4. 2. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.

a- IEEE 33-JB

	Algorithmes Appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.5755 (5) 0.3374 (15) 0.9031 (30)	0.9327	140.1873	95.7682	60.0805	33.5566	2.8137	54.7950	49.5505	40.7375
	Basic FA	0.4037 (14) 0.5668 (24) 1.0584 (30)	0.9345	138.4071	94.4557	60.3866	34.4003	3.0131	55.0179	49.5389	41.1025
	FA-PSO	0.4870 (11) 0.5629 (24) 1.0007 (30)	0.9312	138.4244	94.3296	60.3836	34.3921	2.9751	55.0237	49.5392	41.0932
	FA-AIW-PSO	0.4070 (14) 0.5461 (24) 1.0502 (30)	0.9345	138.3959	94.4376	60.3885	34.4056	3.0955	55.0199	49.5388	41.1023
	FA-B-PSO	0.4908 (11) 0.5368 (24) 1.0248 (30)	0.9315	138.4489	94.3467	60.3794	34.3805	3.0992	55.0295	49.5393	41.0974
	FA-CDIW-PSO	0.4032 (14) 0.5594 (24) 1.0551 (30)	0.9344	138.3928	94.4411	60.3891	34.4071	3.0973	55.0182	49.5388	41.1028
	FA-DW-PSO	0.5005 (10) 0.5351 (24) 1.0211 (30)	0.9316	138.5221	94.3832	60.3667	34.3458	3.1081	55.0609	49.5398	41.0947
	FA-EIW-PSO	0.4021 (14) 0.5531 (24) 1.0594 (30)	0.9344	138.3928	94.4403	60.3891	34.4071	3.0975	55.0186	49.5388	41.1029
	FA-NLDA-PSO	0.5913 (7) 0.3074 (14) 0.9295 (30)	0.9358	139.6975	95.6494	60.1644	33.7888	3.2142	55.2802	49.5476	40.9881
	FA-NLI-PSO	0.4067 (14) 0.5503 (24) 1.0592 (30)	0.9346	138.4124	94.4552	60.3857	34.3978	3.1094	55.0200	49.5389	41.1027
	FA-OIW-PSO	0.8789 (3) 0.3899 (14) 1.0303 (30)	0.9342	139.4983	95.2779	60.1986	33.8831	3.0475	54.9314	49.5461	40.9133
	FA-RIW-PSO	0.4928 (11) 0.5312 (24) 1.0194 (30)	0.9315	138.4445	94.3395	60.3801	34.3826	3.0941	55.0304	49.5393	41.0972

Pour le réseau IEEE 69-JB, suite à l'intégration optimale de DSTATCOM dans les jeux de barres 11, 18 et 61 avec une taille totale de 1.8965 MVar, l'algorithme FA-EIW-PSO a obtenu les meilleurs résultats d'APLL, NSL et MOF, par contre les meilleurs résultats de SCL, VDL, et EPRL sont enregistrés par FA-AIW-PSO, FA-DW-PSO et PSO de base respectivement.

b- IEEE 69-JB

	Algorithmes Appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.0100 (7) 0.3048 (18) 1.2534 (61)	0.9307	146.5304	68.3211	60.5548	34.8603	0.3366	55.1763	49.5141	40.7326
	Basic FA	0.5652 (9) 0.2918 (17) 1.2066 (61)	0.9317	145.3442	67.7264	60.7488	35.3877	0.3979	55.4482	49.5068	40.9648
	FA-PSO	0.4440 (10) 0.2330 (19) 1.2566 (61)	0.9319	145.2120	67.6807	60.7705	35.4464	0.3966	55.3610	49.5059	40.9652
	FA-AIW-PSO	0.4411 (11) 0.2149 (21) 1.2674 (61)	0.9320	145.1484	67.6626	60.7809	35.4747	0.4006	55.3455	49.5055	40.9714
	FA-B-PSO	0.3031 (18) 0.5016 (51) 1.2192 (61)	0.9317	145.4934	67.7980	60.7243	35.3213	0.3942	55.4157	49.5078	40.9364
	FA-CDIW-PSO	0.5806 (12) 0.8020 (49) 1.2483 (61)	0.9315	145.9323	66.5874	60.6525	35.1262	0.3666	55.3591	49.5104	40.8584
	FA-DW-PSO	0.5709 (9) 0.2898 (18) 1.2069 (61)	0.9318	145.3483	67.7285	60.7481	35.3858	0.3995	55.4510	49.5069	40.9647
	FA-EIW-PSO	0.4174 (11) 0.2412 (18) 1.2379 (61)	0.9316	145.1066	67.6483	60.7878	35.4933	0.3983	55.3399	49.5053	40.9755
	FA-NLDA-PSO	0.2764 (18) 0.5078 (53) 1.2140 (61)	0.9319	145.5335	67.8219	60.7177	35.3035	0.3871	55.4392	49.5080	40.9343
	FA-NLI-PSO	0.2945 (18) 0.4969 (53) 1.2001 (61)	0.9317	145.4876	67.8017	60.7253	35.3239	0.3910	55.4278	49.5078	40.9390
	FA-OIW-PSO	0.3036 (17) 0.4869 (53) 1.2028 (61)	0.9318	145.4781	67.7973	60.7268	35.3281	0.3937	55.4211	49.5077	40.9396
	FA-RIW-PSO	0.3007 (17) 0.4827 (53) 1.2072 (61)	0.9318	145.4786	67.7975	60.7267	35.3279	0.3926	55.4217	49.5077	40.9394

Tableau 4. 3. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.

a- **IEEE 33JB**

Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	Taille (MVAR) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
Basic PSO	0.8310 (3) 0.9047 (14) 0.9712 (30)	0.2142 (18) 0.3756 (25) 1.4503 (30)	0.9882	25.4193	20.0893	89.2476	87.9522	8.7649	89.3846	20.8449	66.2465
Basic FA	0.8716 (13) 0.6572 (25) 1.1703 (29)	0.4092 (13) 0.5466 (24) 1.0517 (30)	0.9939	14.1136	11.1518	93.7301	93.3107	8.8896	94.6766	20.7890	69.4991
FA-PSO	0.8243 (14) 0.5742 (25) 1.1509 (30)	0.3180 (13) 0.8431 (24) 1.0901 (30)	0.9928	12.3859	15.5953	93.1172	92.6084	8.7032	93.2863	23.1345	69.0803
FA-AIW-PSO	0.8742 (13) 1.0127 (24) 1.0378 (30)	0.5097 (10) 0.5755 (24) 0.9519 (30)	0.9940	12.5541	10.1576	94.3840	94.0499	9.7522	94.9979	16.9828	69.5292
FA-B-PSO	0.8944 (13) 0.6578 (25) 1.0694 (30)	0.4921 (11) 0.4480 (24) 0.9983 (30)	0.9938	13.6789	10.6363	93.9114	93.5167	9.6610	94.3811	22.0022	69.6376
FA-CDIW-PSO	0.8746 (13) 0.9404 (24) 1.0479 (30)	0.4635 (12) 0.4010 (25) 1.0171 (30)	0.9939	12.5271	10.0867	94.3954	94.0626	9.6728	95.0145	18.0536	69.6295
FA-DW-PSO	0.8726 (13) 0.9378 (24) 1.0674 (30)	0.4109 (12) 0.6425 (27) 0.6262 (33)	0.9921	17.4403	14.6925	92.3651	91.7340	9.6010	94.2789	17.8823	68.3652
FA-EIW-PSO	0.8718 (13) 0.7255 (25) 1.0843 (30)	0.4436 (12) 0.5433 (24) 1.0360 (30)	0.9939	13.1026	10.3988	94.1530	93.7899	9.6514	94.7077	21.0518	69.7346
FA-NLDA-PSO	0.9239 (13) 0.9199 (24) 0.8995 (31)	0.4814 (5) 0.3401 (16) 0.9676 (30)	0.9917	15.3270	12.0859	93.2276	92.7356	9.4718	92.8479	20.0958	68.7351
FA-NLI-PSO	0.8468 (13) 0.7563 (25) 1.1498 (30)	0.4639 (11) 0.4868 (24) 1.0348 (30)	0.9939	13.2148	10.5880	94.1059	93.7367	9.7377	95.0001	19.9048	69.6714
FA-OIW-PSO	0.8450 (14) 0.7989 (25) 1.0625 (30)	0.3808 (13) 0.5636 (27) 0.7315 (30)	0.9936	15.1269	11.9589	93.3101	92.8304	9.5641	93.4187	20.6884	68.9720
FA-RIW-PSO	0.8716 (13) 0.7415 (25) 1.0978 (30)	0.9117 (3) 0.4398 (12) 0.9766 (30)	0.9940	14.3825	11.3590	93.6183	93.1833	9.6404	94.5984	20.6042	69.3814

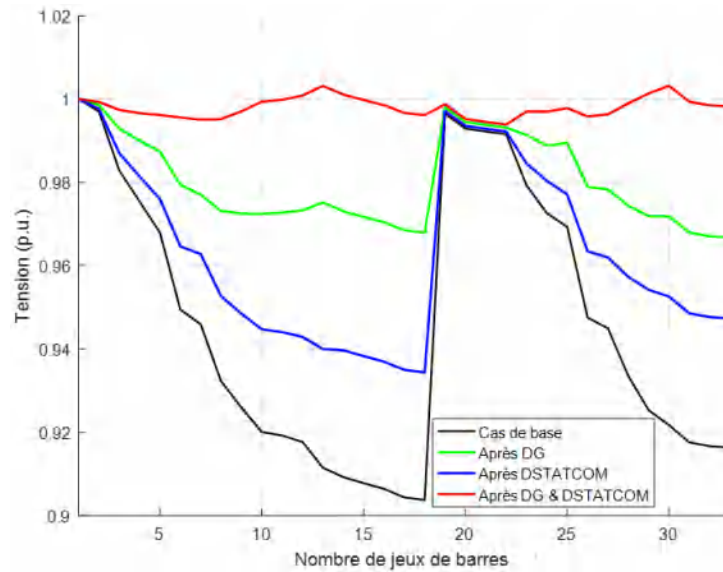
D'après le tableau 4.3, pour le réseau IEEE 33-JB, l'algorithme FA-EIW-PSO choisit les jeux de barres 13, 25 et 30 pour l'intégration de DG, également les jeux de barres 12, 24 et 30 pour l'intégration de DSTATCOM avec une taille optimale injectée dans chaque jeu de barre. Cette incorporation permet à l'algorithme FA-EIW-PSO pour obtenir le minimum P_{Loss} et Q_{Loss} qui sont de 13.1026 kW et 10.3988 kVar. Ce qui permet d'obtenir le meilleur résultat d'APLL et NSL, d'autre part, les meilleurs résultats de VDL, SCL sont obtenus par FA-CDIW-PSO, et FA-AIW-PSO, qui a maximisé à 95.0145 % et 9.7522 % respectivement.

b- IEEE 69-JB

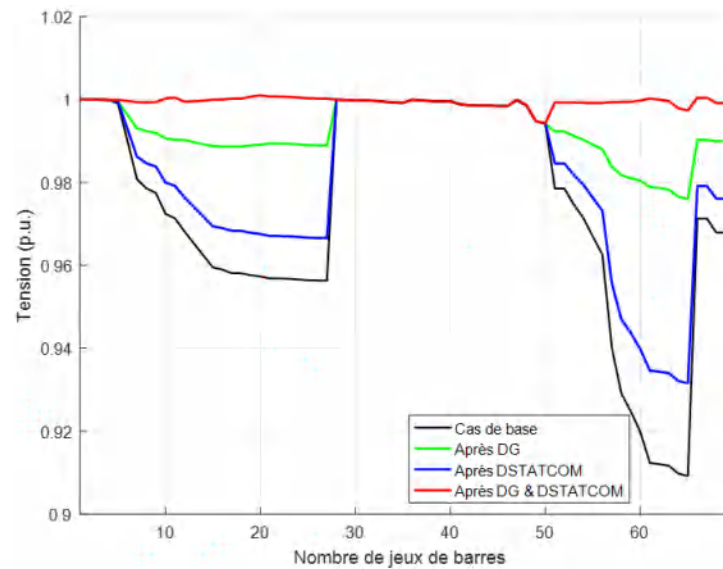
	Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	Taille (MVAR) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.3754 (27) 0.7418 (60) 0.5973 (63)	0.3183 (25) 0.0134 (27) 1.2112 (61)	0.9804	19.4110	13.7098	92.0564	91.3709	1.2014	80.8296	34.3074	65.7312
	Basic FA	0.4939 (22) 0.9230 (61) 0.8409 (62)	0.3018 (12) 0.2143 (21) 1.2174 (61)	0.9943	6.7941	7.8503	97.0683	96.9797	1.4664	94.2834	27.7343	70.2277
	FA-PSO	0.3776 (18) 1.7474 (61) 0.4103 (69)	0.7685 (12) 1.4346 (48) 1.1691 (62)	0.9963	7.8259	8.3775	96.6380	96.5210	1.6144	95.0499	23.9500	69.8119
	FA-AIW-PSO	0.3977 (17) 1.6344 (61) 0.4325 (69)	0.4120 (15) 0.3273 (40) 1.2192 (61)	0.9943	6.3868	7.6278	97.2392	97.1608	1.6474	94.7561	24.9347	70.1632
	FA-B-PSO	0.6903 (11) 0.3027 (23) 1.6486 (61)	0.2619 (21) 0.5852 (51) 1.1833 (61)	0.9943	5.2257	7.0907	97.7297	97.6769	1.5985	96.4996	22.3482	70.4994
	FA-CDIW-PSO	0.4893 (12) 0.3378 (19) 1.6953 (61)	0.3420 (20) 0.8561 (28) 1.2568 (61)	0.9943	5.5363	7.3151	97.5980	97.5388	1.5733	95.5800	24.1025	70.4164
	FA-DW-PSO	0.5954 (15) 0.2319 (60) 1.5302 (61)	0.4807 (14) 0.8454 (36) 1.2230 (62)	0.9943	8.3777	8.3767	96.4094	96.2757	1.5323	95.0591	26.4352	69.9216
	FA-EIW-PSO	0.5214 (11) 0.3782 (20) 1.6778 (61)	0.4414 (11) 0.2217 (22) 1.1841 (61)	0.9943	4.3263	6.7585	98.1130	98.0767	1.6034	97.1378	23.2874	70.9196
	FA-NLDA-PSO	0.4138 (7) 0.4566 (21) 1.7045 (61)	0.4851 (14) 0.0100 (53) 1.2277 (61)	0.9943	6.8258	7.6578	97.0550	96.9656	1.5157	95.3047	23.3606	69.9950
	FA-NLI-PSO	0.3804 (23) 1.6388 (61) 0.4948 (66)	0.5611 (13) 0.5402 (49) 1.2024 (61)	0.9958	5.5502	5.5633	97.5921	97.5327	1.5807	95.2591	24.2230	70.3623
	FA-OIW-PSO	0.5456 (18) 0.4318 (59) 1.3681 (61)	0.3589 (18) 1.5202 (36) 1.2648 (61)	0.9943	7.3487	8.1092	96.8365	96.7331	1.5213	94.6470	26.5827	70.0726
	FA-RIW-PSO	0.3454 (20) 1.6826 (61) 0.4618 (69)	0.3467 (20) 0.1846 (29) 1.2571 (61)	0.9943	6.2621	7.5536	97.2916	97.2162	1.5864	95.3427	24.5776	70.2608

Pour le réseau IEEE 69-JB, l'algorithme FA-EIW-PSO a enregistré une énorme minimisation de P_{Loss} et Q_{Loss} (4.3263 kW, 6.7585 kVar) grâce au choix optimal des tailles et des emplacements de DG et DSTATCOM. De plus, il fournit les meilleurs résultats d'APLL, NSL et VDL qui sont maximisés jusqu'au 98.1130, 98.0767 et 97.1378 %. Cependant, les meilleures valeurs de SCL, et EPRL sont obtenues par FA-AIW-PSO et PSO de base qui sont 1.6474 %, et 34.3074 % respectivement.

La figure 4.3 montre l'efficacité de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément pour le profil de tension des systèmes étudiés.



(a) IEEE 33-JB.

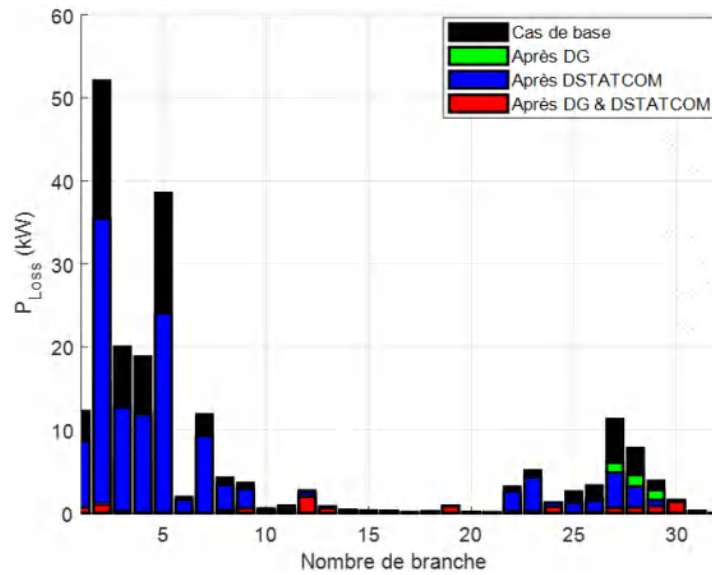


(b) IEEE 69-JB.

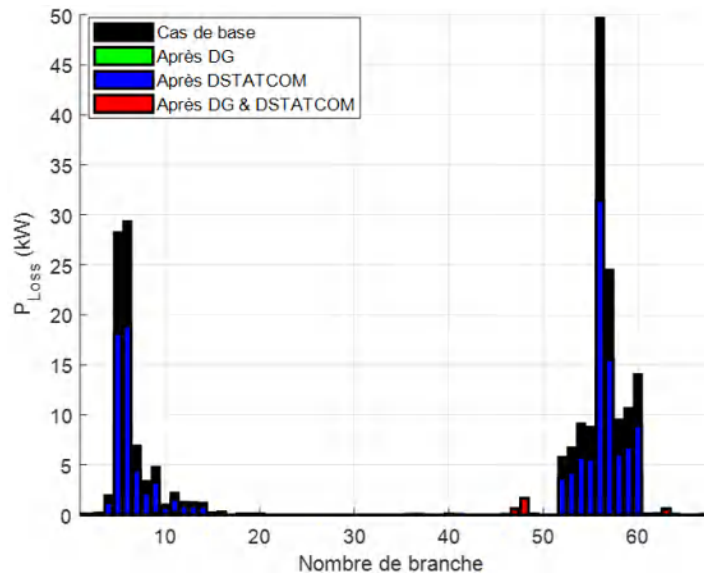
Figure 4. 3. Profil de tension de FA-EIW-PSO.

A partir de la figure 4.3, on peut observer que le profil de tension est amélioré pour tous les cas par rapport à celui de base. En plus, le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM donne une énorme amélioration du profil de tension par rapport aux autres cas, où la tension dans tous les jeux de barres dépasse 0.99 p.u (unité réduite).

La figure 4.4 indique l'influence de l'installation DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément pour les pertes totales de puissance active.



(a). IEEE 33-JB.

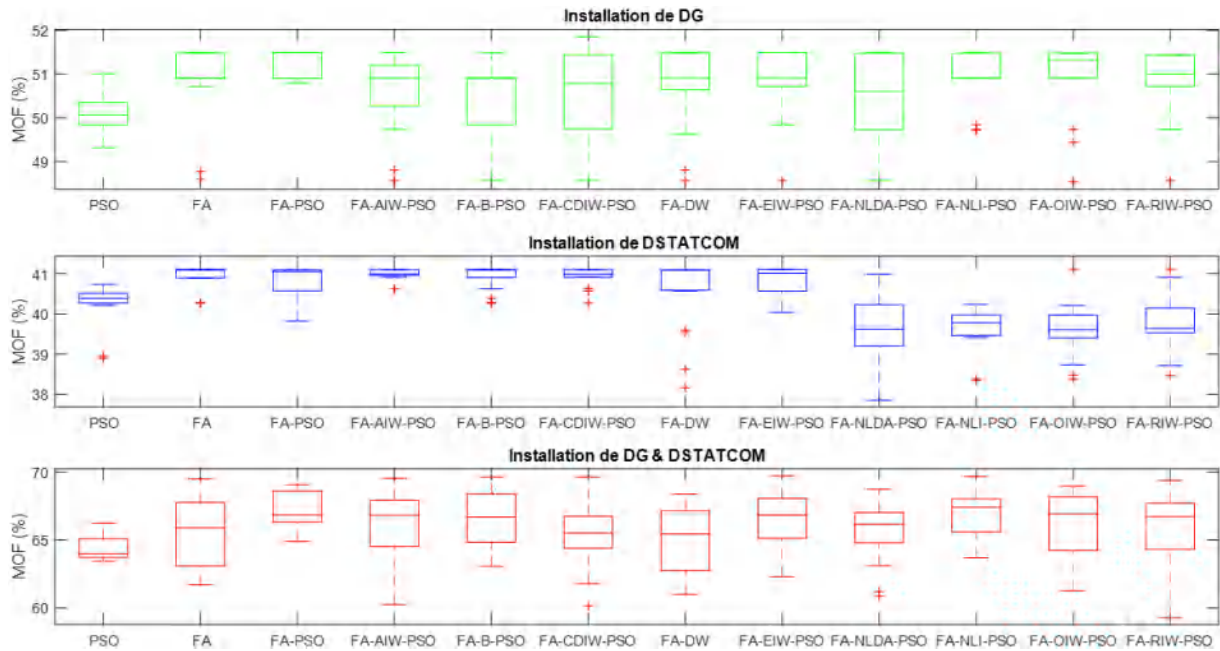


(b). IEEE 69-JB.

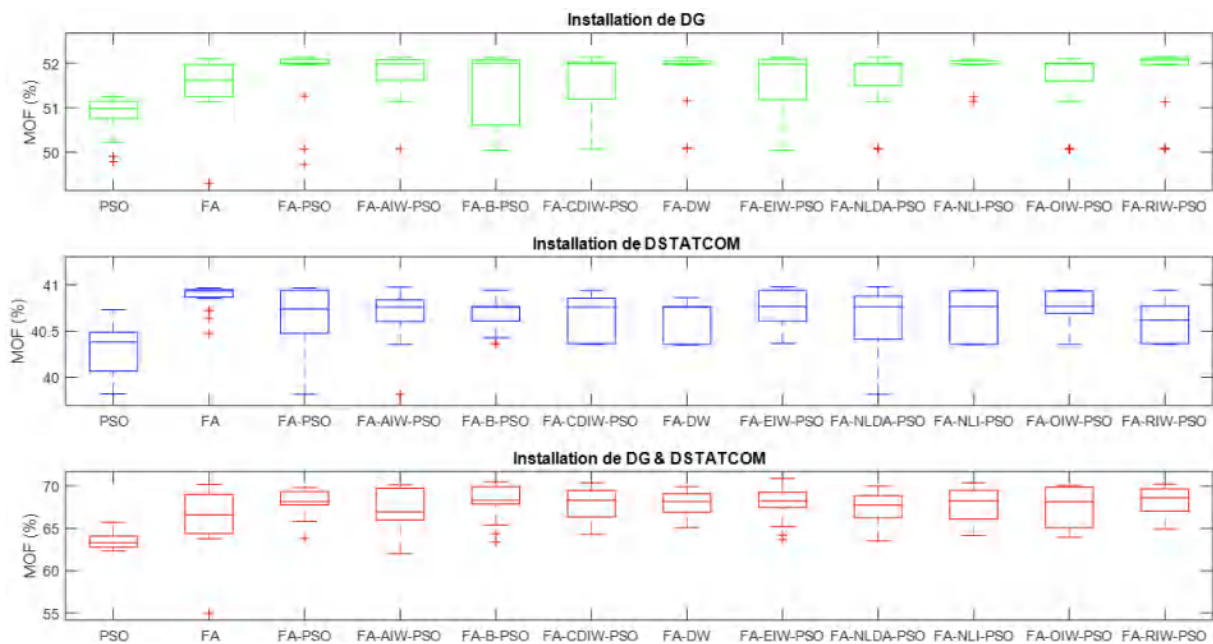
Figure 4. 4. P_{Loss} par branche des RDRs utilisant FA-EIW-PSO.

A partir de la figure 4.4, on constate que les pertes dans chaque branche sont réduites pour tous les cas par rapport au cas de base, avec une supériorité pour le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément, où les pertes par branche dans la plupart des jeux de barres sont moins de 3 kW.

La figure 4.5 montre l'efficacité des algorithmes hybride FA-PSO en terme d'atteindre la solution pour les 20 exécutions.



(a). IEEE 33-JB.

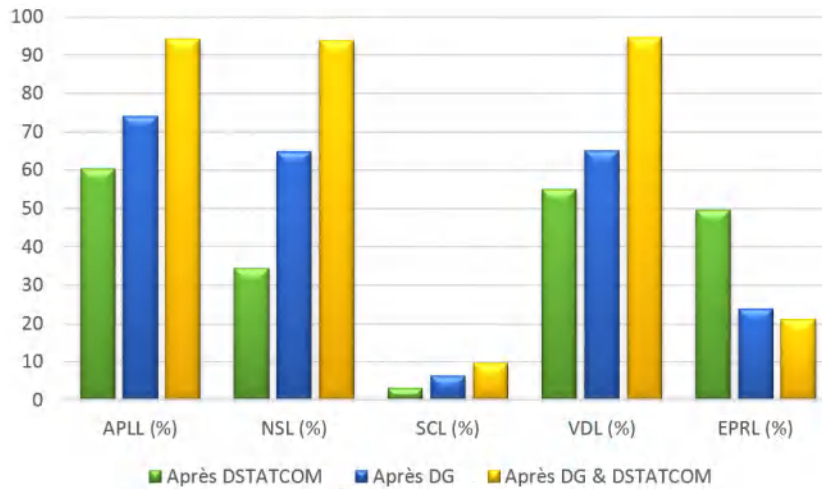


(b). IEEE 69-JB.

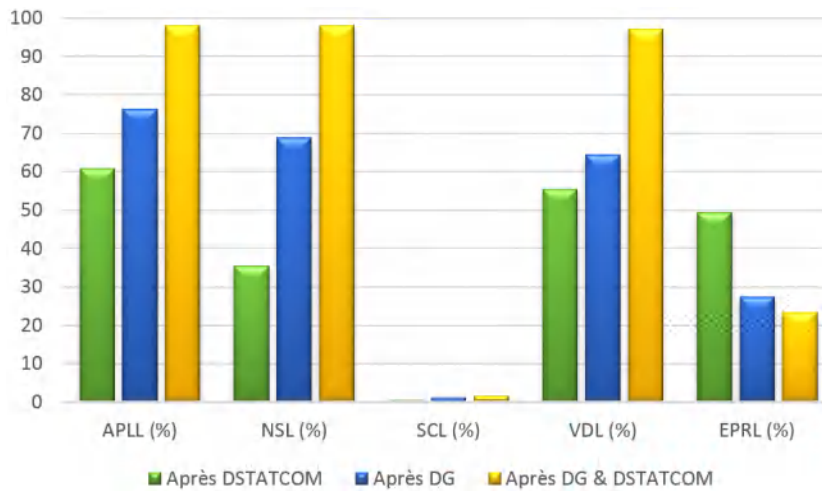
Figure 4. 5. Boîte à moustaches de MOF utilisant FA- divers algorithmes PSO pour les RDRs.

Pour les deux réseaux, on voit que les performances de la plus parts des algorithmes sont très cohérentes dans la production des valeurs optimales tandis qu'elle est faible pour FA-NDAC-PSO et FA-B-PSO avec une plage interquartile plus large pour les cas de l'intégration de DG et DSTATCOM uniquement. Par contre pour le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM les

résultats obtenus de 20 exécutions de l’algorithme PSO de base sont très proches les uns des autres rapport aux autres algorithmes mais il n’ont enregistrés pas la valeur maximale de MOF.



(a). IEEE 33-JB.



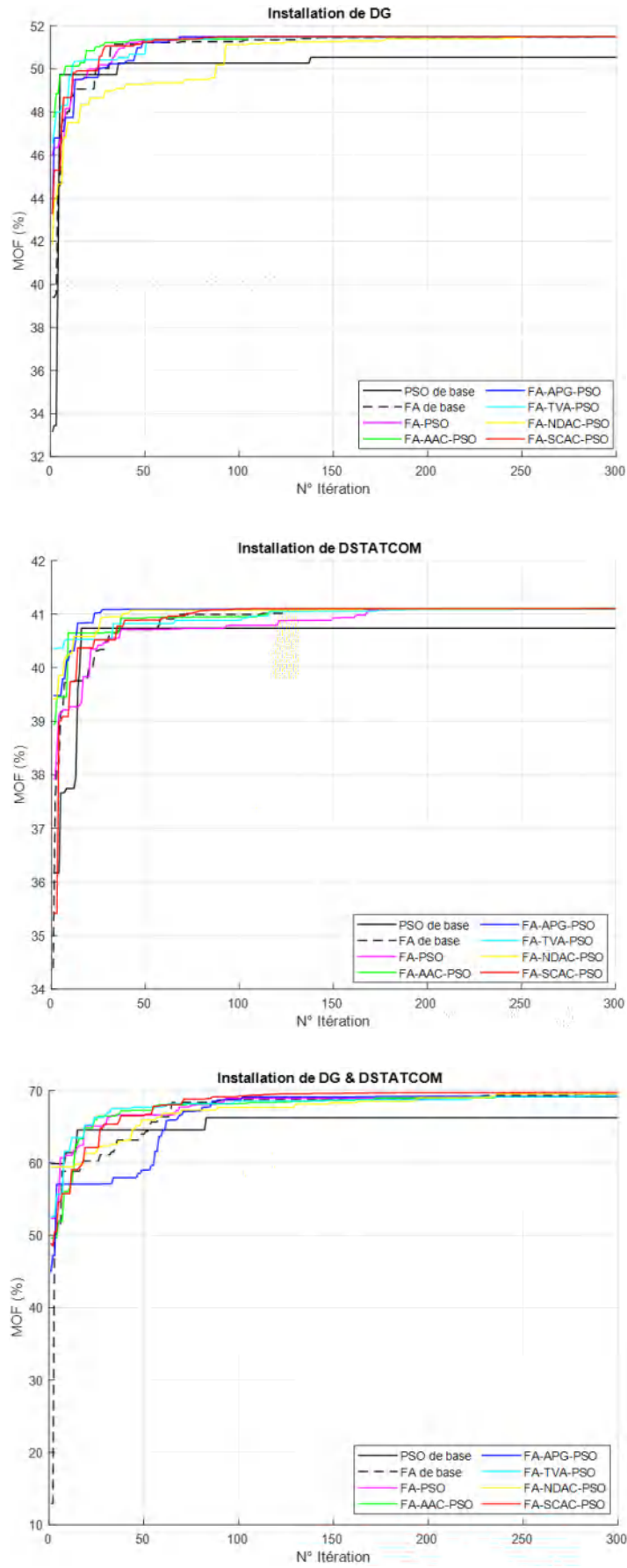
(b). IEEE69-JB.

Figure 4. 6. Comparaison de différents indices pour différentes études de cas.

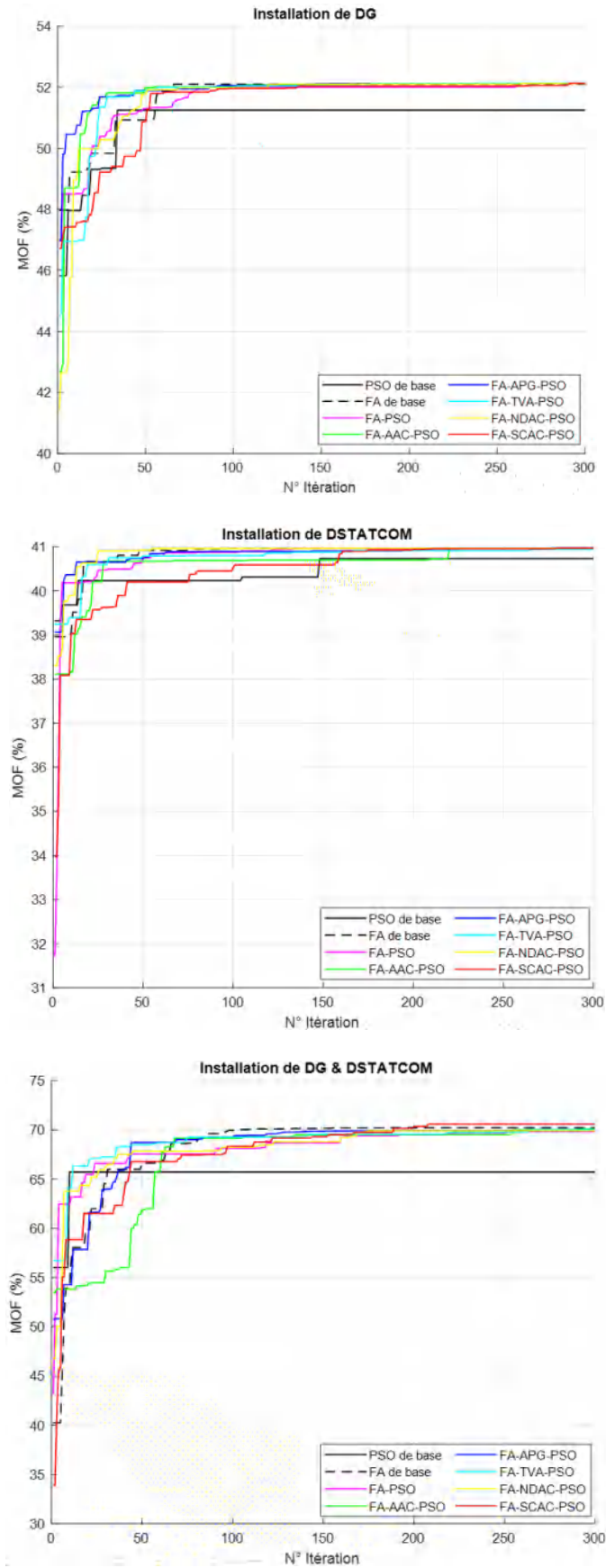
A partir de la figure 4.6. L’intégration individuelle et simultanée de DG et DSTATCOM ont de grands effets sur l’amélioration de différents indices technico-économiques et environnementaux. De plus, l’intégration de DG et DSTATCOM en même temps fourni une meilleure amélioration de tous les indices sauf pour l’EPRL par rapport aux autres cas.

4. 7. Résultats de simulation

- **Comparaison de FA-PSO basé sur la variation de c_1 et c_2**



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 4. 7. Courbe de convergence de FA- divers algorithmes PSO.

Les caractéristiques de convergences des algorithmes FA-PSO basé sur la variation de c_1 , et c_2 lors de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément sont représentées dans la figure 4.7 :

A partir de cette figure on peut constater :

- 1- **Pour le réseau IEEE 33-JB**, lors de l'installation de DG, tous les algorithmes convergents après 50 itérations, notamment, l'algorithme FA-TVA-PSO qui a enregistré le plus petit temps pour atteindre la solution optimale. Dans le cas de l'intégration de DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément, le PSO de base a rapidement convergé par rapport aux autres algorithmes, avec moins de 30 et 185 itérations respectivement.
- 2- **Pour le réseau IEEE 69-JB**, dans le cas de l'intégration de DG tous les algorithmes convergent après 100 itérations sauf pour le PSO de base, qui nécessite moins de 40 itérations. Dans le cas de l'intégration de DSTATCOM, l'algorithme FA-NDAC-PSO suivi de l'algorithme PSO de base convergent rapidement, alors que, pour le cas de l'intégration de DG et DSTATCOM simultanément, le PSO de base a atteint la solution optimale avec moins de 10 itérations (à noter qu'il a convergé rapidement par rapport à d'autres algorithmes).

Les résultats d'optimisation des algorithmes FA et de divers PSO sont représentés dans les tableaux 4.4, 4.5, et 4.6 pour les deux réseaux.

Les résultats résumés dans le tableau 4.4 représentent les différents indices technico-économiques-environnementaux obtenus par les algorithmes hybrides FA-PSO proposés après l'intégration de DG uniquement pour les deux réseaux.

Pour le réseau IEEE 33-JB, les valeurs les plus faibles de P_{Loss} et Q_{Loss} sont obtenues par l'algorithme FA-SCAC-PSO, qui sont liés aux intégrations de DG dans les jeux de barres 13, 25 et 30 avec une taille totale de 2,5558 MW. Suite à cette intégration, les APLL, NSL sont maximisées à 74,0075 % et 64,8786 % respectivement. En revanche, les valeurs maximales de SCL, VDL et EPRL sont obtenues par FA-TVA-PSO, et FA de base, qui sont de 5,9904, 65,2128 et 24,055% respectivement.

Tableau 4. 4. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG.

	Algorithmes Appliqué	Taille (MW) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.6942(6) 0.8395(13) 0.9375(30)	0.9709	80.9853	56.2416	72.2627	61.6161	6.8216	65.1394	25.2353	50.5273
	Basic FA	0.8102 (13) 0.7027 (25) 1.0330 (30)	0.9667	74.1275	51.1722	74.0008	64.8664	5.9230	65.1712	24.0550	51.4901
	FA-PSO	0.8182 (13) 0.6985 (25) 1.0341 (30)	0.9668	74.1336	51.1686	73.9993	64.8635	5.9492	65.1881	23.9830	51.4902
	FA-AAC-PSO	0.8212 (13) 0.7024 (25) 1.0296 (30)	0.9667	74.1211	51.1559	74.0025	64.8694	5.9536	65.1902	23.9475	51.4900
	FA-APG-PSO	0.8261 (13) 0.6781 (25) 1.0437 (30)	0.9671	74.2306	51.2230	73.9741	64.8175	5.9792	65.2025	24.0271	51.4875
	FA-TVA-PSO	0.8295 (13) 0.6903 (25) 1.0387 (30)	0.9671	74.1601	51.1791	73.9924	64.8510	5.9904	65.2128	23.8699	51.4886
	FA-NDAC-PSO	0.8223 (13) 0.6911 (25) 1.0409 (30)	0.9670	74.1530	51.1822	73.9942	64.8543	5.9708	65.2026	23.9317	51.4894
	FA-SCAC-PSO	0.8181 (13) 0.7033 (25) 1.0344 (30)	0.9668	74.1018	51.1532	74.0075	64.8786	5.9531	65.1934	23.9088	51.4903
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.7448(14) 0.0100(22) 1.7852(62)	0.9814	74.2008	36.8281	75.1960	67.0142	1.2325	64.5688	24.8270	51.2487
	Basic FA	0.3793 (21) 1.6820 (61) 0.2477 (68)	0.9761	70.6127	35.5738	76.1089	68.6093	1.1183	64.4199	27.8969	52.1017
	FA-PSO	0.2922 (12) 0.3767 (19) 1.6760 (61)	0.9761	70.1892	35.3961	76.2181	68.7976	1.1194	64.4301	27.4235	52.1277
	FA-AAC-PSO	0.3110 (12) 0.3715 (21) 1.6722 (61)	0.9760	70.1568	35.3759	76.2265	68.8120	1.1351	64.4709	27.2942	52.1316
	FA-APG-PSO	0.2993 (12) 0.3661 (20) 1.6734 (61)	0.9760	70.2083	35.4087	76.2132	68.7891	1.1158	64.4221	27.5037	52.1301
	FA-TVA-PSO	0.3391 (12) 0.3470 (21) 1.6870 (61)	0.9766	69.9919	35.3031	76.2691	68.8853	1.1298	64.4625	27.0490	52.1321
	FA-NDAC-PSO	0.3090 (12) 0.3712 (18) 1.6876 (61)	0.9766	70.0921	35.3413	76.2432	68.8407	1.1381	64.4842	27.1205	52.1213
	FA-SCAC-PSO	0.3248 (12) 0.3503 (21) 1.6719 (61)	0.9760	70.1355	35.3764	76.2320	68.8215	1.1202	64.4333	27.3952	52.1346

Pour le réseau IEEE 69-JB, on peut noter que la meilleure valeur de MOF est obtenue par FA-SCAC-PSO, mais cela ne signifie pas qu'il a enregistré le meilleur résultat pour les autres indices, où, la valeur minimale des pertes de puissance active et réactive est obtenue par FA-TVA-PSO, en raison de l'emplacement et de la taille optimaux de DG, qui sont installés dans les jeux de barres 12, 21 et 61 avec une taille totale de 2,3731 MW. Cela permet de maximiser l'APLL et NSL à 76,2691 %, et 68,8853 % respectivement. Concernant les autres indices, le PSO de base a obtenu les meilleures valeurs de SCL, et VDL, de plus, la valeur maximale d'EPRL est obtenue par FA de base.

Les résultats de simulation tabulé dans le tableau 4.5 représentent les indices technico-économiques-environnementaux obtenus par les algorithmes hybrides FA-PSO proposés après l'intégration de DSTATCOM uniquement pour les deux RDR.

Tableau 4. 5. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DSTATCOM.

	Algorithmes appliqué	Taille (MVar) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.5755 (5) 0.3374 (15) 0.9031 (30)	0.9327	140.1873	95.7682	60.0805	33.5566	2.8137	54.7950	49.5505	40.7375
	Basic FA	0.4037 (14) 0.5668 (24) 1.0584 (30)	0.9345	138.4071	94.4557	60.3866	34.4003	3.0131	55.0179	49.5389	41.1025
	FA-PSO	0.4870 (11) 0.5629 (24) 1.0007 (30)	0.9312	138.4244	94.3296	60.3836	34.3921	2.9751	55.0237	49.5392	41.0932
	FA-AAC-PSO	0.4016 (14) 0.5298 (24) 1.0628 (30)	0.9344	138.3928	94.4328	60.3891	34.4071	2.9981	55.0204	49.5388	41.1019
	FA-APG-PSO	0.4126 (14) 0.5537 (24) 1.0572 (30)	0.9348	138.4411	94.4787	60.3807	34.3842	3.0305	55.0208	49.5391	41.1018
	FA-TVA-PSO	0.3982 (14) 0.6039 (24) 1.0464 (30)	0.9342	138.4090	94.4629	60.3863	34.3995	2.9969	55.0122	49.5389	41.0976
	FA-NDAC-PSO	0.4061 (14) 0.5524 (24) 1.0577 (30)	0.9346	138.4074	94.4513	60.3866	34.4002	3.0128	55.0196	49.5389	41.1027
	FA-SCAC-PSO	0.4021 (14) 0.5531 (24) 1.0594 (30)	0.9344	138.3928	94.4403	60.3891	34.4071	3.0044	55.0186	49.5388	41.1029
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.0100 (7) 0.3048 (18) 1.2534 (61)	0.9307	146.5304	68.3211	60.5548	34.8603	0.3366	55.1763	49.5141	40.7326
	Basic FA	0.5652 (9) 0.2918 (17) 1.2066 (61)	0.9317	145.3442	67.7264	60.7488	35.3877	0.3979	55.4482	49.5068	40.9648
	FA-PSO	0.4440 (10) 0.2330 (19) 1.2566 (61)	0.9319	145.2120	67.6807	60.7705	35.4464	0.3966	55.3610	49.5059	40.9652
	FA-AAC-PSO	0.4951 (11) 0.2011 (23) 1.2014 (61)	0.9311	145.1998	67.6782	60.7725	35.4518	0.3953	55.3438	49.5059	40.9629
	FA-APG-PSO	0.3866 (11) 0.2536 (20) 1.2323 (61)	0.9314	145.1012	67.6513	60.7887	35.4957	0.3968	55.3168	49.5052	40.9715
	FA-TVA-PSO	0.2422 (20) 1.2180 (61) 0.3743 (67)	0.9311	145.2844	67.7192	60.7586	35.4142	0.3886	55.3142	49.5064	40.9438
	FA-NDAC-PSO	0.5085 (11) 0.2098 (21) 1.2149 (61)	0.9314	145.1676	67.6618	60.7778	35.4661	0.4035	55.3444	49.5057	40.9693
	FA-SCAC-PSO	0.3868 (11) 0.2355 (20) 1.2367 (61)	0.9314	145.0980	67.6542	60.7892	35.4971	0.3900	55.3286	49.5052	40.9729

Pour le réseau IEEE 33-JB, à l'exception de PSO de base et de FA-PSO, tous les algorithmes trouvent les jeux de barres 14, 24, 30, chaque algorithme avec sa taille optimale de DSTATCOM. De plus, le FA- SCAC-PSO a les valeurs minimales de P_{Loss} , qui sont réduites de 210,9875 kW à 138,3928 kW. En plus, il a enregistré les meilleurs résultats d'APLL et de NSL, De même, l'algorithme FA-AAC-PSO obtient la même valeur d'APLL et de NSL qui sont de

60,3891 % et 34,4071 %. D'autre part, le PSO de base enregistré le meilleur résultat d'EPRL en raison de leur taille totale la plus élevée de DSTATCOM qui est de 2,1099 MVar.

Pour réseau IEEE 69-JB, quel que soit l'algorithme utilisé, l'intégration de DSTATCOM a affecté tous les indices étudiés, où le FA-SCAC-PSO a plus d'efficacité en termes de minimisation de la perte de puissance active, qui est minimisée de 224,9480 kW à 145,0980 kW avec un pourcentage de réduction jusqu'à 35,4961 %. De plus, il a les valeurs maximales d'APLL et NSL. Concernant, les autres indices, le PSO de base a enregistré le meilleur résultat d'EPRL qui est de 49,5275%, tandis que le FA de base a le meilleur résultat de VDL qui est de 55,4482 %.

Tableau 4. 6. Comparaison des résultats optimaux pour les RDR après l'intégration de DG & DSTATCOM simultanément.

Algorithmes appliqué	Taille (MW) JB	Taille (MVAR) JB	V_{min} (p.u.)	P_{Loss} (kW)	Q_{Loss} (kVar)	APLL (%)	NSL (%)	SCL (%)	VDL (%)	EPRL (%)	MOF (%)	
IEEE 33-JB	Basic PSO	0.8310 (3) 0.9047 (14) 0.9712 (30)	0.2142 (18) 0.3756 (25) 1.4503 (30)	0.9882	25.4193	20.0893	89.2476	87.9522	8.7649	89.3846	20.8449	66.2465
	Basic FA	0.8716 (13) 0.6572 (25) 1.1703 (29)	0.4092 (13) 0.5466 (24) 1.0517 (30)	0.9939	14.1136	11.1518	93.7301	93.3107	8.8896	94.6766	20.7890	69.4991
	FA-PSO	0.8243 (14) 0.5742 (25) 1.1509 (30)	0.3180 (13) 0.8431 (24) 1.0901 (30)	0.9928	12.3859	15.5953	93.1172	92.6084	8.7032	93.2863	23.1345	69.0803
	FA-AAC-PSO	0.8421 (14) 0.8863 (25) 1.0981 (30)	0.5099 (3) 0.4403 (13) 1.0414 (30)	0.9940	14.8006	11.7759	93.4449	92.9851	8.8215	93.3659	18.7100	69.1038
	FA-APG-PSO	0.8893 (13) 0.8854 (25) 1.0867 (30)	0.3892 (6) 0.3307 (13) 0.9561 (30)	0.9939	14.5686	11.6408	93.5410	93.0950	8.8734	94.9816	18.1142	69.1879
	FA-TVA-PSO	0.7801 (15) 0.9217 (24) 1.0734 (30)	0.5661 (10) 0.4604 (24) 0.9143 (30)	0.9939	13.5001	10.9850	93.9862	93.6015	8.7462	93.4701	19.5433	69.2325
	FA-NDAC-PSO	0.8094 (14) 1.0271 (24) 1.0661 (30)	0.4515 (12) 0.5659 (24) 1.0483 (30)	0.9940	12.2394	10.1370	94.5170	94.1990	8.8169	94.5385	17.3637	69.5283
	FA-SCAC-PSO	0.8963 (13) 0.6520 (25) 1.0685 (30)	0.3895 (13) 0.4762 (24) 1.0581 (30)	0.9938	13.4967	10.5822	93.9877	93.6031	8.7664	94.5390	22.0738	69.7066
IEEE 69-JB	Basic PSO	0.3754 (27) 0.7418 (60) 0.5973 (63)	0.3183 (25) 0.0134 (27) 1.2112 (61)	0.9804	19.4110	13.7098	92.0564	91.3709	1.2014	80.8296	34.3074	65.7312
	Basic FA	0.4939 (22) 0.9230 (61) 0.8409 (62)	0.3018 (12) 0.2143 (21) 1.2174 (61)	0.9943	6.7941	7.8503	97.0683	96.9797	1.4664	94.2834	27.7343	70.2277
	FA-PSO	0.3776 (18) 1.7474 (61) 0.4103 (69)	0.7685 (12) 1.4346 (48) 1.1691 (62)	0.9963	7.8259	8.3775	96.6380	96.5210	1.6144	95.0499	23.9500	69.8119
	FA-AAC-PSO	0.5671 (10) 0.3878 (19) 1.6144 (62)	0.3557 (7) 0.4808 (13) 1.1703 (61)	0.9943	7.7155	6.6652	97.1223	97.0370	1.5563	95.4828	23.4401	70.0867
	FA-APG-PSO	0.5256 (19) 0.4233 (60) 1.3619 (61)	0.3227 (23) 0.7548 (61) 0.5022 (62)	0.9943	7.7066	8.1870	96.6875	96.5740	1.4642	94.0281	27.0504	69.9103
	FA-TVA-PSO	0.5978 (15) 0.0100 (21) 1.7296 (61)	0.3670 (16) 1.1681 (61) 0.1052 (69)	0.9943	7.1936	7.9260	96.9012	96.8021	1.5094	94.0819	26.6892	70.0051
	FA-NDAC-PSO	0.3193 (22) 1.6497 (62) 0.4933 (69)	0.3710 (17) 0.0100 (52) 1.3159 (61)	0.9943	7.4982	8.1119	96.7742	96.6667	1.5656	94.7544	24.9826	69.9163
	FA-SCAC-PSO	0.3559 (17) 1.7539 (61) 0.4070 (69)	0.4007 (11) 0.2673 (17) 1.1588 (61)	0.9943	5.1608	7.0747	97.7573	97.7058	1.5814	96.0002	24.1774	70.5975

Le tableau 4.6 représente les différents indices technico-économiques-environnementaux obtenus par les algorithmes hybrides FA-PSO après l'intégration simultanée de DG et DSTATCOM.

Pour le réseau IEEE 33-JB, après l'emplacement optimal de DG et de DSTATCOM dans les jeux de barres 14, 24 et 30 avec une taille totale de 2,9026 MW et de 2,0657 MVar, respectivement, l'algorithme FA-NDAC-PSO a obtenu les résultats minimums de pertes de puissance active et réactive qui sont de 12,2394 kW et 10,1370 kVar.

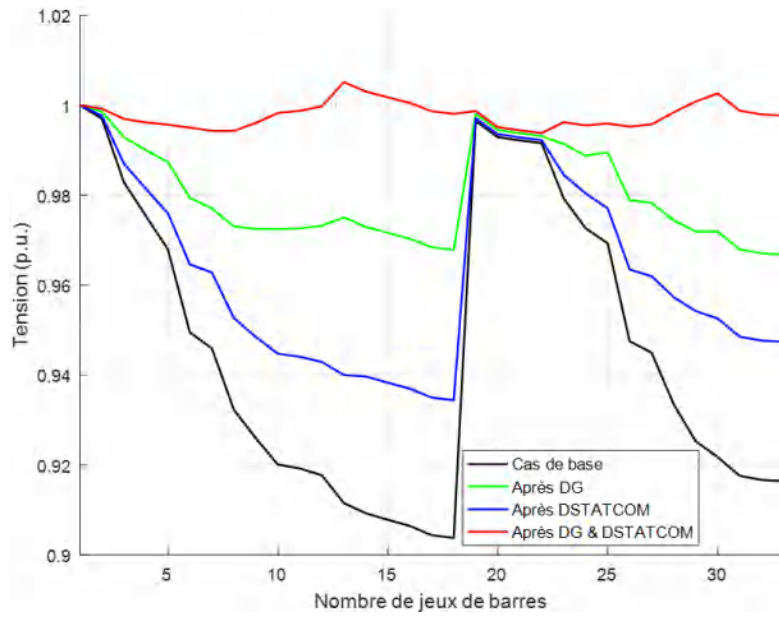
Il a également enregistré la meilleure valeur d'APLL et NSL, d'autre part, le FA-APG-PSO a obtenu le meilleur résultat de VDL, qui est de 94,9816 %.

Pour le réseau IEEE 69-JB, on observe que le résultat du PSO de base est plus éloigné par rapport aux autres algorithmes. Les meilleurs résultats d'APLL et de NSL sont obtenus par le FA-SCAC-PSO, qui est lié à la minimisation considérable de P_{Loss} (5,1608 kW) avec un pourcentage de réduction jusqu'à 97,7058 %. Aussi, il a enregistré le meilleur résultat de VDL qui est passé à 96,002 %, alors que, le meilleur résultat de SCL est réalisé par FA-PSO qui est de 1,6144 %.

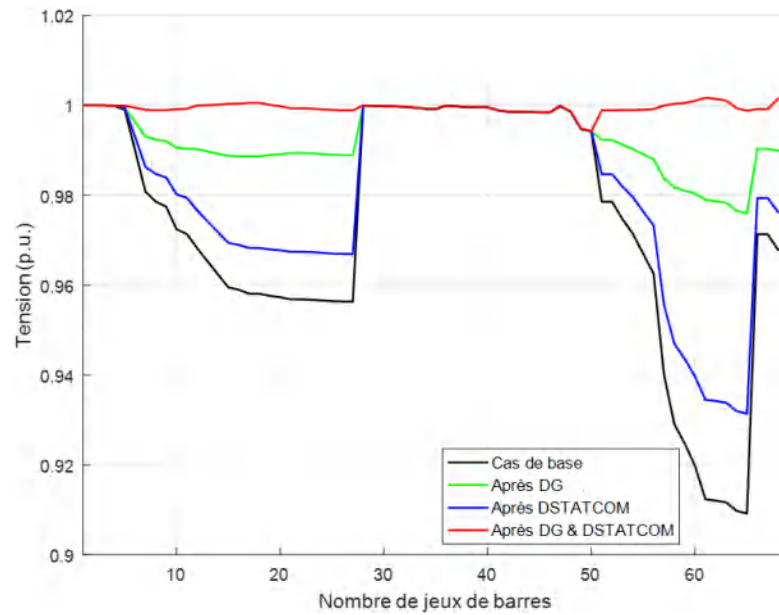
La figure 4.8 montre l'effet de l'installation de DG et DSTATCOM sur le profil de tension pour les deux RDR.

Comme le montre la figure 4.8, pour les deux RDR, le profil de tension est amélioré pour tous les cas étudiés par rapport au cas de base, où l'intégration de DG et DSTATCOM a permis une amélioration considérable du profil de tension, suivie par le cas d'installation de DG uniquement, puis l'installation de DSTATCOM uniquement. Une autre observation, le profil de tension dans le cas de l'installation de DG et DSTATCOM simultanément est atteint supérieur à 0,9800 p.u., ce qui est lié à l'injection de puissance active et réactive.

Les tensions minimales sont améliorées de 0.9038 p.u. à 0.9938 p.u. et à partir de 0,9092 p.u. à 0,9943 p.u., respectivement pour le premier, et le deuxième réseau.



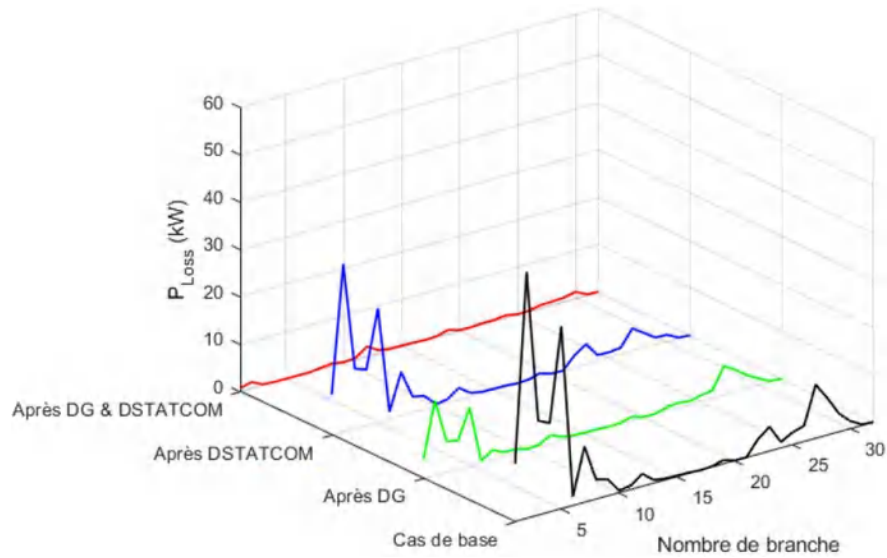
(a) IEEE 33-JB.



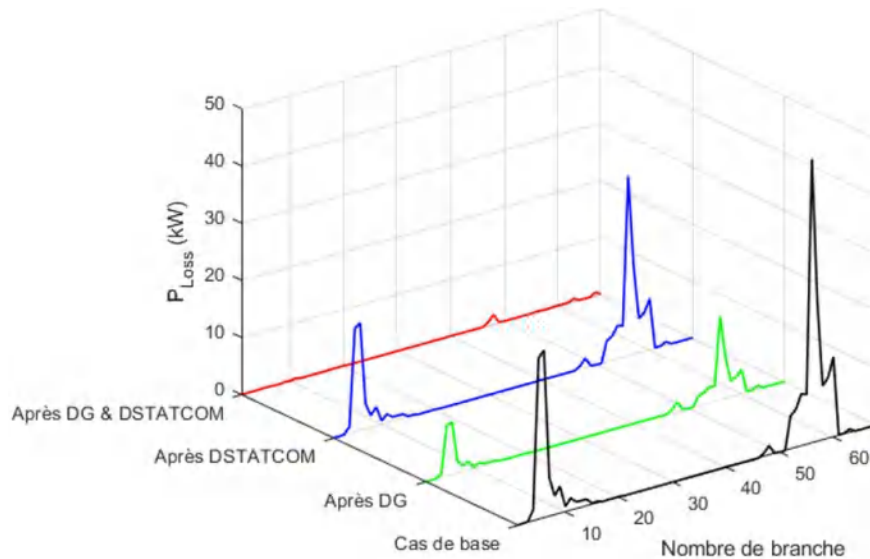
(b) IEEE 69-JB.

Figure 4. 8. Profil de tension de divers algorithmes PSO.

La figure 4.9 prouve les avantages de l'intégration de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément pour la minimisation des pertes totales de la puissance active.



(a) IEEE 33-JB.

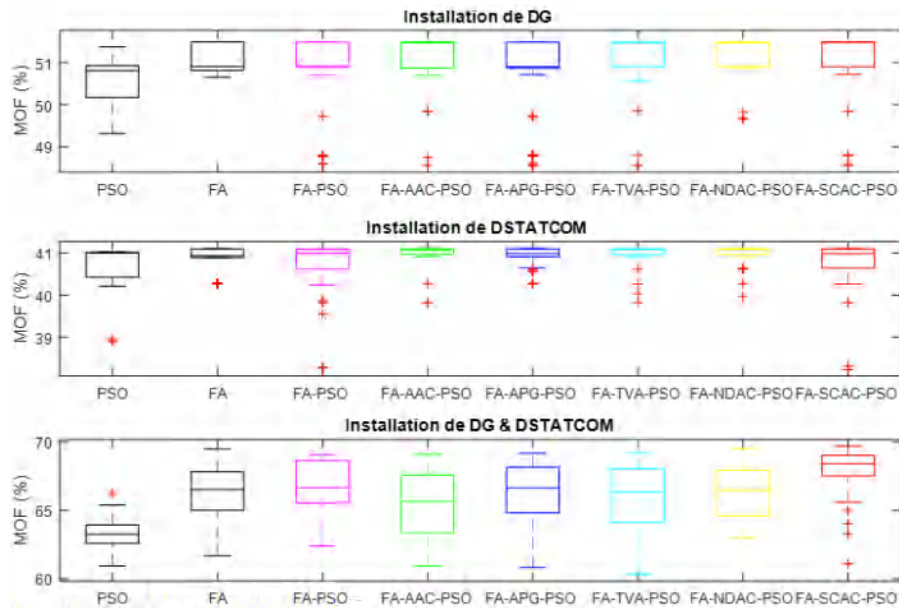


(b) IEEE 69-JB.

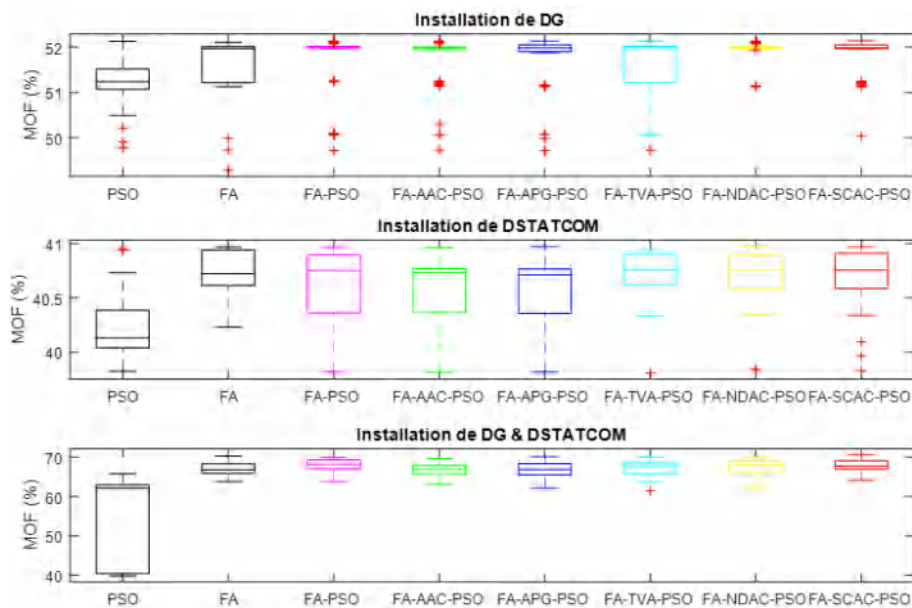
Figure 4.9. P_{Loss} par branche des RDRs utilisant FA- divers algorithmes PSO.

La figure 4.9 montre l'effet de l'installation de DG et DSTATCOM sur la P_{Loss} de chaque branche de ligne pour les deux réseaux après l'intégration de DG, DSTATCOM uniquement et DG et DSTATCOM simultanément, il y a une minimisation de P_{Loss} dans toutes les branches par rapport au cas de base, où l'intégration de DG et DSTATCOM en même temps, contribué à la réduction la plus élevée de P_{Loss} , qui est liée à la capacité de fourniture de la puissance active et réactive. Concernant le P_{Loss} maximum par branche, celui-ci est minimisé à partir de 52.0767 kW à 1,3847 kW, et de 49,6844 kW à près de 1 kW respectivement pour le premier, et le deuxième réseau.

La figure suivante représente la boîte à moustaches après avoir effectué 20 exécutions pour chacun des algorithmes appliqués.



(a). IEEE 33-JB.



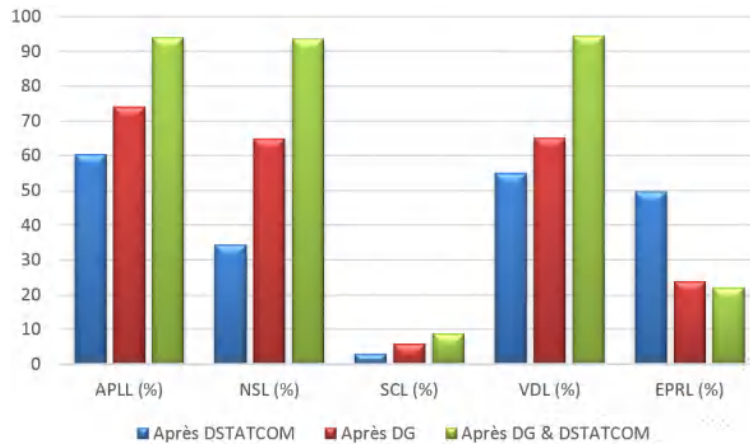
(b). IEEE 69-JB.

Figure 4. 10. Boîte à moustaches de MOF utilisant FA- divers algorithmes PSO.

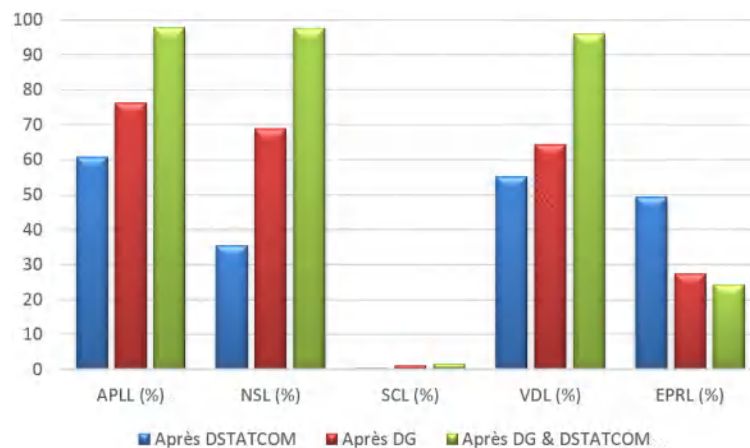
La figure 4.10 illustre la boîte à moustaches de la valeur MOF en utilisant différents algorithmes compétitifs appliqués aux deux RDR de tests. Après 20 exécutions de chaque algorithme proposé et en prenant en considération le même nombre d'itérations et la même taille de population, les résultats de la boîte à moustaches prouvent que l'algorithme hybride FA-SCAS-PSO a enregistré les meilleurs résultats de MOF dans les trois cas d'étude.

Les résultats de simulation de MOF sont proches les uns des autres dans le cas de l'installation de DG avec une petite différence de 3% entre la meilleure et la pire valeur de MOF. De plus, pour le cas de l'installation de DSTATCOM, les résultats de MOF sont proches les uns des autres, où la meilleure et la pire valeur de MOF sont proches de 41,5 % et 39 % respectivement. D'autre part, les résultats de MOF les plus éloignés sont enregistrés dans le cas de l'installation de DG et DSTATCOM simultanément. Dans ce cas, la différence entre la meilleure et la pire valeur de MOF est d'environ 10 %. L'analyse statistique confirme l'efficacité de l'algorithme hybride FA-SCAC-PSO afin d'atteindre la meilleure valeur de MOF par rapport aux autres algorithmes.

La figure 4.11 représente la comparaison des cinq indices composés du MOF pour différentes cas d'étude pour les deux réseaux.



(a). IEEE 33-JB.



(b). IEEE 69-JB.

Figure 4. 11. Comparaison de différents indices pour différentes études de cas.

Par exemple, pour le réseau IEEE 33-JB, l'intégration simultanée de DG et DSTATCOM donné les valeurs maximales d'APLL, NSL et VDL, qui sont autour de 90 %, ainsi que le SCL qui

maximise à 8,7664 %, par contre, l'intégration de DG maximise les indices mentionnés précédemment mais avec moins d'efficacité par rapport à l'installation avec DG et DSTATCOM simultanément.

4. 8. Résultats et Discussion

- Comparaisons avec d'autres algorithmes en la littérature

Les tableaux 4.7, et 4.8 représentent les résultats de comparaisons de FA-EIW-PSO avec d'autres algorithmes dans la littérature lors de l'installation simultanée de DG, DSTATCOM et DG et DSTATCOM pour les réseaux IEEE 33-JB, et 69-JB respectivement.

Tableau 4. 7. Résultat de comparaison de FA-EIW-PSO avec d'autres algorithmes pour le réseau IEEE 33-JB.

(a). Instalation de DG.

Méthodes	Année	DG size in MW; (location)	P_{Loss} (kW)	ΔP_{Loss} (%)
TLBO [129]	2014	1.1826 (12) 1.1913 (28) 1.1863 (30)	124.7000	40.8970
QTLBO [130]	2014	1.0834 (12) 1.1876 (26) 1.1992 (30)	103.4000	50.9924
BFOA [131]	2014	0.6330 (17) 0.0900 (18) 0.9470 (33)	98.3000	53.4096
HAS [131]	2013	0.5724 (17) 0.1070 (18) 1.0462 (33)	96.7600	54.1395
MOTA [132]	2017	0.9800 (7) 0.9600 (8) 1.3400 (30)	96.3000	54.3575
TM [133]	2015	0.5876 (15) 0.1959 (25) 0.7835 (33)	91.3052	56.7248
FWA [134]	2018	0.5897 (14) 0.1895 (18) 1.0146 (32)	88.68	57.9691
SFLA [134]	2018	0.5144 (14) 0.5639 (28) 0.3182 (30)	83.37	60.4858
ACSA [134]	2018	0.7798 (14) 1.2510 (24) 1.3496 (30)	74.26	64.8036
FA-EIW-PSO	2021	0.8204 (13) 0.7022 (25) 1.0333 (30)	74.1093	64.8750

(b). Installation de DSTATCOM.

Méthodes	Année	DSTATCOM (MVAR) (JB)	P_{Loss} (kW)	ΔP_{Loss} (%)
MOPSO [135]	2020	0.6792 (16) 0.5495 (29) 0.7220 (30)	152.44	27.7493
MOSCA [135]	2020	0.7334 (8) 0.4102 (16) 1.0290 (30)	150.27	28.7778
PSO [136]	2018	0.3360 (12) 1.4490 (23) 0.8410 (30)	143.58	31.9486
CSA [30]	2020	0.3500 (14) 0.5200 (24) 1.0100 (30)	138.45	34.3800
MVGWO [136]	2018	0.4400 (11) 0.5200 (24) 1.0000 (30)	138.39	34.4084
FA-EIW-PSO	2021	0.4021 (14) 0.5531 (24) 1.0594 (30)	138.39	34.4084

(c). Installation de DG et DSTATCOM.

Méthodes	Année	DG size in MW; (location)	DSTATCOM (MVAR) (JB)	P_{Loss} (kW)	ΔP_{Loss} (%)
PSO [136]	2018	0.7960 (15) 1.3320 (24) 0.9480 (31)	0.3730 (14) 0.7730 (24) 0.1290 (32)	17.82	91.5540
BFOA [137]	2015	0.8500 (12) 0.7500 (25) 0.8600 (30)	0.4000 (12) 0.3500 (25) 0.8500 (30)	15.07	92.8574
WOA [138]	2020	0.7100 (14) 1.0400 (24) 1.0200 (30)	0.3800 (11) 0.4800 (24) 0.9800 (30)	13.67	93.5209
FA [40]	2021	1.0144 (12) 1.0863 (24) 1.0146 (30)	0.5297 (10) 0.6502 (25) 0.6112 (30)	13.4	93.6489
FA-EIW-PSO	2021	0.8718 (13) 0.7255 (25) 1.0843 (30)	0.4436 (12) 0.5433 (24) 1.0360 (30)	13.1026	93.7899

Le tableau 4. 7. a., représente la comparaison entre l’algorithme FA-EIW-PSO, avec d’autres algorithmes bien connus dans la littérature pour la charge constante, tels que TLBO, QTLBO, FOA, HSA, MOTA, TM, FWA, SFLA, et ACSA pour le cas de l’intégration de DG. De même le tableau 4. 7. b., représente la comparaison entre l’algorithme FA-EIW-PSO, avec d’autres algorithmes bien connus dans la littérature pour la charge constante, tels que MOPSO, MOSCA, PSO, CSA, MVGWO pour le cas de l’intégration de DSTATCOM. Aussi la comparaison de l’algorithme FA-EIW-PSO avec les algorithmes PSO, BFOA, WOA, et FA est représenté dans le tableau 4.7. c.

Le tableau 4.8. a., représente la comparaison entre l’algorithme FA-EIW-PSO, avec d’autres algorithmes bien connus dans la littérature, ces algorithmes sont ABC, PSO, QOSIMBO-Q, FWA, SFLA, ISCA, IWO, IWD, ACSA, TLBO, et QODELFA pour le cas de l’incorporation de DG. Pour le cas de l’intégration de DSTATCOM l’algorithme proposé a été comparé avec les

algorithmes MOPSO, MOSCA, LSA, MSCA, PSO, CSA, MVGWO, et CLSA comme montre dans le tableau 4.8. b. Aussi la comparaison de l’algorithme FA-EIW-PSO avec les algorithmes PSO, MVGWO, et CLSA est représenté dans le tableau 4.8. c.

Comme illustré dans les tableaux 4.7 l’algorithme FA-EIW-PSO offre une meilleure minimisation de P_{Loss} par rapport à d’autres algorithmes pour les différent cas étude. Par exemple pour le cas de l’intégration de DG l’algorithme FA-EIW-PSO montre la supériorité de minimisation des pertes de puissance active avec un pourcentage de réduction allant jusqu’à 64,8750 %, tandis que ACSA, SFLA, FWA, et TM minimisent la P_{Loss} à 74.26, 83.37, 88,68 et 91.3052 kW avec un pourcentage de réduction jusqu’à 64.8036, 60,4858, 57.9691 et 56.7248 %. Cette observation est toujours valable pour le deuxième réseau

Tableau 4. 8. Résultat de comparaison de FA-EIW-PSO avec d'autres algorithmes pour le réseau IEEE 69-JB.

(a). Installation de DG.

Méthodes	Année	DG size in MW; (location)	P_{Loss} (kW)	ΔP_{Loss} (%)
ABC[139]	2019	1.6530 (63) 0.1210 (64) 0.0580 (65)	86.61	61.4978
PSO [140]	2012	0.9925 (17) 1.1998 (61) 0.7956 (63)	83.20	63.0137
QOSIMBO-Q [141]	2016	0.7754 (15) 1.4385 (61) 0.7235 (63)	79.70	64.5696
FWA [134]	2018	0.2258 (27) 1.1986 (61) 0.4085 (65)	77.85	65.3920
SFLA [134]	2018	0.9809 (26) 1.0887 (57) 0.1673 (63)	77.75	65.4365
ISCA [142]	2020	0.7604 (12) 0.7604 (63) 0.7604 (63)	77.40	65.5920
IWO [143]	2016	0.2381(27) 1.3266(61) 0.4334(65)	74.59	66.8412
IWD [144]	2015	2.9990 (17) 1.3200 (60) 0.4388 (63)	73.55	67.3036
ACSA [134]	2018	0.6022 (11) 0.3804 (18) 2.000 (61)	72.44	67.7970
TLBO [129]	2014	0.5919 (15) 0.8188 (61) 0.9003 (63)	72.40	67.8148
QODELFA [145]	2019	0.6294 (11) 0.4386 (20) 1.9537 (61)	72.29	67.8637
FA-EIW-PSO	2021	0.3247 (12) 0.3503 (21) 1.6719 (61)	70.1360	68.8212

(b). Instalation de DSTATCOM.

Méthodes	Année	DSTATCOM (MVAR) (JB)	P_{Loss} (kW)	ΔP_{Loss} (%)
MOPSO [135]	2020	0.9064 (53) 0.8465 (56) 1.1353 (62)	159.42	29.1303
MOSCA [135]	2020	1.1551 (10) 0.2057 (61) 1.3228 (63)	157.64	29.9216
LSA [146]	2017	0.3740 (11) 0.2400 (18) 1.2170 (61)	154.16	31.4686
MSCA [147]	2020	1.4480 (4) 1.5896 (55) 0.9004 (63)	149.10	33.7180
PSO [136]	2018	0.3590 (15) 1.0000 (40) 1.4490 (61)	147.69	34.3448
CSA [30]	2020	0.3500 (11) 0.2300 (18) 1.1700 (61)	145.34	35.3895
MVGWO [136]	2018	0.3740 (11) 0.2400 (18) 1.2170 (61)	145.16	35.4695
CLSA [148]	2019	0.4128 (11) 0.2304 (21) 1.2324 (61)	145.10	35.4962
FA-EIW-PSO	2021	0.4174 (11) 0.2412 (18) 1.2379 (61)	145.10	35.4962

(c). Instalation de DG et DSTATCOM.

Méthodes	Année	DG size in MW; (location)	DSTATCOM (MVAR) (JB)	P_{Loss} (kW)	ΔP_{Loss} (%)
PSO [137]	2015	0.3510 (23) 1.5850 (63) 0.4820 (67)	1.0000 (3) 0.3590 (16) 1.4480 (61)	9.85	95.6212
MVGWO [136]	2018	0.5270 (11) 0.3800 (18) 1.7190 (61)	0.3500 (11) 0.2200 (21) 1.1950 (61)	4.37	98.0573
CLSA [148]	2019	0.4946 (11) 0.3786 (18) 1.6742 (61)	0.3627 (11) 0.2425 (19) 1.1954 (61)	4.34	98.0707
FA-EIW-PSO	2021	0.5214 (11) 0.3782 (20) 1.6778 (61)	0.4414 (11) 0.2217 (22) 1.1841 (61)	4.32	98.0796

4. 9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons utilisé les algorithmes d'optimisation hybride, notamment, l'algorithme PSO et FA pour l'incorporation de DG et DSTATCOM à travers l'obtention des tailles et emplacements optimaux pour les deux réseaux de distribution IEEE 33-JB et IEEE 69-JB afin de maximiser la fonction multi-objectifs basée sur : l'indice de perte de puissance active (APLL), l'indice de court-circuit (SCL), l'indice d'écart de tension (VDL), l'indice d'économie nette (NSL) et l'indice de réduction de la pollution environnementale (EPRL). Les résultats obtenus montrent l'efficacité des algorithmes proposés pour résoudre le problème de l'intégration optimale de DG et DSTATCOM. Ils ont montré aussi la supériorité de l'intégration optimale de DG et DSTATCOM par rapport aux autres cas.

La comparaison des algorithmes entre eux, et autres algorithmes bien connus dans la littérature montrent la supériorité de l'algorithme FA-EIW-PSO pour résoudre ce problème avec une grande minimisation des pertes de puissance, et une énorme amélioration du profil de tension.

Conclusion Générale & Perspectives

Le réseau de distribution rencontre toujours des problèmes de qualité de l'énergie tels que, des pertes élevées, des chutes de tension et l'instabilité de la tension du jeu de barre par conséquent, une solution technique doit être nécessaire pour résoudre ce problème.

Le travail présenté dans cette thèse s'inscrit dans le cadre de la résolution du problème de l'intégration des sources d'énergie décentralisées telles que la Génération Distribuée (DG), et le Compensateur Synchrone Statique (DSTATCOM) dans les réseaux électriques de distribution à cause de ces avantages technico-économiques et environnementaux par l'utilisation de divers algorithmes, en optimisant une fonction mono et multi objectif.

L'objectif de notre travail est d'améliorer l'efficacité énergétique des réseaux électriques de distribution par l'intégration optimale (taille et emplacement) de multiple DG uniquement, multiple DSTATCOM uniquement, et multiple DG et DSTATCOM simultanément pour atteindre les meilleurs résultats des fonctions objectifs étudiées, tout en satisfaisant, les contraintes opérationnelles du système dans une tolérance prédéfinie pour éviter la violation des contraintes.

Au début, nous avons effectué un état de l'art sur le problème de l'intégration optimale des productions décentralisées telles que les sources d'énergies photovoltaïques, éoliennes, le compensateur synchrone statique dans les réseaux de distribution électriques, en présentant les différentes techniques et algorithmes appliqués, ainsi que les différentes fonctions objectifs étudiées.

Ensuite, nous avons spécifié les fonctions objectifs étudiées qui sont divisées en la maximisation de la fonction mono-objectif basée sur l'indice de pertes de puissance active, et une fonction multi-objectifs basée sur des indices technico-économiques, et environnementales, notamment, l'indice de perte de puissance active (APLL), l'indice de déviation de tension (VDL), l'indice d'économie nette (NSL), l'indice de court-circuit (SCL), et l'indice de réduction de la pollution environnementale (EPRL) sous des contraintes techniques, opérationnelles et économiques

Par la suite nous avons abordé les équations de l'écoulement de puissance et leur solution, par la méthode de Newton-Raphson dans les deux réseaux de distribution électriques standards IEEE 33-JB et IEEE 69-JB. Aussi nous avons explicité tous les algorithmes et les techniques d'optimisations exactes et heuristiques, notamment l'algorithme méta-heuristique PSO de base et ses diverses versions modifiées telles que l'algorithme PSO basé sur la variation de poids d'inertie et la variation des coefficients d'accélération.

Puis, nous avons détaillé les principes d'hybridations des algorithmes et leurs avantages afin d'améliorer les résultats obtenus. Pour cela une hybridation entre l'algorithme FA et PSO a été effectuée, ce qui a permis une réduction importante de temps de simulation avec une grande efficacité et précision, car l'algorithme PSO est un algorithme de recherche globale, tandis que l'algorithme FA est un algorithme de recherche local.

L'effet de la caractéristique de charge dans les études de l'intégration optimale des sources d'énergie décentralisée a été étudié, ainsi que l'étude de l'impact de la variation journalière de la charge et puissance fournie par le DG. Les résultats de simulation obtenus montrent que :

Les algorithmes proposés ont été appliqués avec succès pour le problème de l'intégration optimale de DG et DSTATCOM.

Les différents paramètres technico-économiques et environnementaux composant la fonction objectif sont affectés, où, les pertes de puissance active sont minimisées, le profil de tension dans tous les jeux de barres sont améliorés, la minimisation du coût des pertes annuelles, et la réduction de la pollution environnementale.

L'intégration optimale de DG et DSTATCOM simultanément offre les meilleurs résultats par rapport à l'intégration de chaque dispositif individuellement.

Les algorithmes hybrides offrent les meilleurs résultats par rapport aux autres algorithmes.

L'influence de types de charge dans la décision de la taille et l'emplacement optimale de DG, DSTATCOM, et DG et DSTATCOM simultanément.

En perspective, nous proposons l'application de l'algorithme hybride FA-EIW-PSO dans les réseaux de distribution électriques pratiques et à grande échelle avec des autres types de production décentralisés et en considérant les stations de rechargement des véhicules électriques comme une charge en tenant compte de l'incertitude.

Références Bibliographiques

- [1] O. Richardot, « Réglage Coordonné de Tension dans les Réseaux de Distribution à l'aide de la Production Décentralisée », PhD Thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2006.
- [2] A. V. Herzog, T. E. Lipman, J. L. Edwards, et D. M. Kammen, « Renewable energy: a viable choice », *Environ. Sci. Policy Sustain. Dev.*, vol. 43, n° 10, p. 8-20, 2001.
- [3] Y.-H. Song et A. Johns, *Flexible ac transmission systems (FACTS)*. IET, 1999.
- [4] A. Eldamaty, « Damping interarea and torsional oscillations using FACTS devices », PhD Thesis, University of Saskatchewan, 2005.
- [5] J. Deng, « Robust damping control of power systems with FACTS », PhD Thesis, University of Birmingham, 2014.
- [6] M. Hadjikypris, *Supervisory control scheme for FACTS and HVDC based damping of inter-area power oscillations in hybrid AC-DC power systems*. The University of Manchester (United Kingdom), 2016.
- [7] G. Migliavacca, *Advanced technologies for future transmission grids*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [8] X.-P. Zhang, C. Rehtanz, et B. Pal, *Flexible AC transmission systems: modelling and control*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [9] E. G. Shahraki, « Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques », PhD Thesis, Université Henri Poincaré-Nancy 1, 2003.
- [10] A. A. Bayod-Rújula, « Future development of the electricity systems with distributed generation », *Energy*, vol. 34, n° 3, p. 377-383, 2009.
- [11] W. El-Khattam et M. M. Salama, « Distributed generation technologies, definitions and benefits », *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 71, n° 2, p. 119-128, 2004.
- [12] M. P. HA, P. D. Huy, et V. K. Ramachandramurthy, « A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, p. 293-312, 2017.
- [13] Y. Li, B. Feng, G. Li, J. Qi, D. Zhao, et Y. Mu, « Optimal distributed generation planning in active distribution networks considering integration of energy storage », *Appl. Energy*, vol. 210, p. 1073-1081, 2018.
- [14] S. N. G. Naik, D. K. Khatod, et M. P. Sharma, « Analytical approach for optimal siting and sizing of distributed generation in radial distribution networks », *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 9, n° 3, p. 209-220, 2015.

- [15] I. A. Quadri, S. Bhowmick, et D. Joshi, « A hybrid teaching–learning-based optimization technique for optimal DG sizing and placement in radial distribution systems », *Soft Comput.*, vol. 23, n° 20, p. 9899-9917, 2019.
- [16] R. Palanisamy et S. K. Muthusamy, « Optimal Siting and Sizing of Multiple Distributed Generation Units in Radial Distribution System Using Ant Lion Optimization Algorithm », *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 16, n° 1, p. 79-89, 2021.
- [17] S. Kaur, G. Kumbhar, et J. Sharma, « A MINLP technique for optimal placement of multiple DG units in distribution systems », *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, p. 609-617, 2014.
- [18] K. H. Truong, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi, et D. N. Vo, « A quasi-oppositional-chaotic symbiotic organisms search algorithm for optimal allocation of DG in radial distribution networks », *Appl. Soft Comput.*, vol. 88, p. 106067, 2020.
- [19] E. A. Al-Ammar *et al.*, « ABC algorithm based optimal sizing and placement of DGs in distribution networks considering multiple objectives », *Ain Shams Eng. J.*, vol. 12, n° 1, p. 697-708, 2021.
- [20] S. Sultana et P. K. Roy, « Krill herd algorithm for optimal location of distributed generator in radial distribution system », *Appl. Soft Comput.*, vol. 40, p. 391-404, 2016.
- [21] L. F. Grisales-Noreña, D. Gonzalez Montoya, et C. A. Ramos-Paja, « Optimal sizing and location of distributed generators based on PBIL and PSO techniques », *Energies*, vol. 11, n° 4, p. 1018, 2018.
- [22] S. Kawambwa, N. Hamisi, P. Mafole, et H. Kundaeli, « A cloud model based symbiotic organism search algorithm for DG allocation in radial distribution network », *Evol. Intell.*, p. 1-18, 2021.
- [23] A. M. Jaleel et M. K. Abd, « Reliability Evaluation of Electric Distribution Network with Distributed Generation Integrated », *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 14, n° 5, 2021.
- [24] T. Yuvaraj, K. R. Devabalaji, et K. Ravi, « Optimal placement and sizing of DSTATCOM using harmony search algorithm », *Energy Procedia*, vol. 79, p. 759-765, 2015.
- [25] A. R. Gupta, A. Jain, et A. Kumar, « Optimal D-STATCOM placement in radial distribution system based on power loss index approach », in *2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE)*, 2015, p. 1-5.
- [26] S. F. Mekhamer, R. H. Shehata, A. Y. Abdelaziz, et M. A. Al-Gabalawy, « Enhancing radial distribution system performance by optimal placement of DSTATCOM », *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, n° 3, p. 2850, 2020.
- [27] A. K. Arya, A. Kumar, et S. Chanana, « Analysis of distribution system with D-STATCOM by gravitational search algorithm (GSA) », *J. Inst. Eng. India Ser. B*, vol. 100, n° 3, p. 207-215, 2019.

- [28] T. Yuvaraj, K. Ravi, et K. R. Devabalaji, « DSTATCOM allocation in distribution networks considering load variations using bat algorithm », *Ain Shams Eng. J.*, vol. 8, n° 3, p. 391-403, 2017.
- [29] S. S. Hussain et M. Subbaramiah, « An analytical approach for optimal location of DSTATCOM in radial distribution system », in *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, 2013, p. 1365-1369.
- [30] D. Kaliaperumal Rukmani *et al.*, « A new approach to optimal location and sizing of DSTATCOM in radial distribution networks using bio-inspired cuckoo search algorithm », *Energies*, vol. 13, n° 18, p. 4615, 2020.
- [31] P. Balamurugan, T. Yuvaraj, et P. Muthukannan, « Optimal allocation of DSTATCOM in distribution network using whale optimization algorithm », *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 8, n° 5, p. 3445-3449, 2018.
- [32] B. Khan, K. Redae, E. Gidey, O. P. Mahela, I. B. Taha, et M. G. Hussien, « Optimal integration of DSTATCOM using improved bacterial search algorithm for distribution network optimization », *Alex. Eng. J.*, vol. 61, n° 7, p. 5539-5555, 2022.
- [33] K. Padmavathi et K. R. Sudha, « Optimal placement and sizing of DSTATCOM using firefly algorithm in the distribution system », *Int. J. Renew. Energy Technol.*, vol. 10, n° 1-2, p. 26-44, 2019.
- [34] T. Yuvaraj et K. Ravi, « Multi-objective simultaneous DG and DSTATCOM allocation in radial distribution networks using cuckoo searching algorithm », *Alex. Eng. J.*, vol. 57, n° 4, p. 2729-2742, 2018.
- [35] S. R. Ghatak, S. Sannigrahi, et P. Acharjee, « Optimal placement of DSTATCOM and DG using modified SFLA based technique for techno-economic and environmental benefits », *Recent Adv. Electr. Electron. Eng. Former. Recent Pat. Electr. Electron. Eng.*, vol. 11, n° 3, p. 334-347, 2018.
- [36] M. A. E. S. Mohamed, A. A. E. Mohammed, A. M. Abd Elhamed, et M. E. Hessean, « Optimal Allocation of Photovoltaic Based and DSTATCOM in a Distribution Network under Multi Load Levels: Optimal Allocation of Photovoltaic Based and DSTATCOM in a Distribution Network under Multi Load Levels », *Eur. J. Eng. Technol. Res.*, vol. 4, n° 8, p. 114-119, 2019.
- [37] H. A. Hassan et M. Zellagui, « MVO algorithm for optimal simultaneous integration of DG and DSTATCOM in standard radial distribution systems based on technical-economic indices », in *2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 2019, p. 277-282.
- [38] M. Abd El Sattar, A. M. Abd El Hamed, A. A. Elbaset, et M. Ebeed, « Application of Enhanced Sine Cosine Algorithm for Optimal Allocation of PV-DG and DSTATCOM in Distribution Systems ».
- [39] E. S. Oda, A. M. Abd El Hamed, A. Ali, A. A. Elbaset, M. Abd El Sattar, et M. Ebeed, « Stochastic optimal planning of distribution system considering integrated photovoltaic-based DG and DSTATCOM under uncertainties of loads and solar irradiance », *IEEE Access*, vol. 9, p. 26541-26555, 2021.

- [40] J. S. Bhadoriya et A. R. Gupta, « Optimal Share of DG and DSTATCOM in Distribution Network Using Firefly Algorithm », in *Recent Advances in Power Systems*, Springer, 2021, p. 497-508.
- [41] G. Isha et P. Jagatheeswari, « Optimal allocation of DSTATCOM and PV array in distribution system employing fuzzy-lightning search algorithm », *Automatika*, vol. 62, n° 3-4, p. 339-352, 2021.
- [42] S. Sannigrahi et P. Acharjee, « Techno-environmental impact analysis of optimally incorporated DSTATCOM and DG using modified shuffled frog leaping algorithm », in *2018 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC)*, 2018, p. 1-6.
- [43] A. M. El-Zonkoly, « Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimisation », *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 5, n° 7, p. 760-771, 2011.
- [44] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, et K. Y. Lee, « Determining PV penetration for distribution systems with time-varying load models », *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 29, n° 6, p. 3048-3057, 2014.
- [45] A. Ahmed, M. F. Nadeem, I. A. Sajjad, R. Bo, I. A. Khan, et A. Raza, « Probabilistic generation model for optimal allocation of wind DG in distribution systems with time varying load models », *Sustain. Energy Grids Netw.*, vol. 22, p. 100358, 2020.
- [46] S. K. Sudabattula et K. Muniswamy, « Optimal Allocation of Photo Voltaic Arrays in Radial Distribution System with Various Load Models », *Gazi Univ. J. Sci.*, vol. 31, n° 4, p. 1123-1139, 2018.
- [47] I. B. Hamida, S. B. Salah, F. Msahli, et M. F. Mimouni, « Optimal network reconfiguration and renewable DG integration considering time sequence variation in load and DGs », *Renew. Energy*, vol. 121, p. 66-80, 2018.
- [48] M. Kowsalya, « Optimal size and siting of multiple distributed generators in distribution system using bacterial foraging optimization », *Swarm Evol. Comput.*, vol. 15, p. 58-65, 2014.
- [49] S. R. A. Rahim, I. Musirin, M. M. Othman, et M. H. Hussain, « Analysis on load model for cost optimization using embedded meta EP-Firefly algorithm for DG installation », in *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 793, p. 478-482.
- [50] V. Swetha, « Impact of various load models in distribution system with DG using Harmony and Backtracking Search Algorithms », *Int. J. Eng. Sci. Invent.*, vol. 6, n° 11, p. 34-42, 2017.
- [51] P. Karimyan, G. B. Gharehpetian, M. Abedi, et A. Gavili, « Long term scheduling for optimal allocation and sizing of DG unit considering load variations and DG type », *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 54, p. 277-287, 2014.
- [52] Z. Boor et S. M. Hosseini, « Optimal placement of DG units for loss reduction and reliability improvement in distribution system considering time varying loads », *Int J Mechatron Electr Comput Technol*, vol. 4, n° 10, p. 1200-1227, 2014.

- [53] M. Zellagui, A. Lasmari, S. Settoul, R. A. El-Sehiemy, C. Z. El-Bayeh, et R. Chenni, « Simultaneous allocation of photovoltaic DG and DSTATCOM for techno-economic and environmental benefits in electrical distribution systems at different loading conditions using novel hybrid optimization algorithms », *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 31, n° 8, p. e12992, 2021.
- [54] H. Abdel-Mawgoud, S. Kamel, M. Khasanov, et T. Khurshaid, « A strategy for PV and BESS allocation considering uncertainty based on a modified Henry gas solubility optimizer », *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 191, p. 106886, 2021.
- [55] R. Chenni, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire », PhD Thesis, University of Constantine 1, 2007.
- [56] B. C. Affari, R. Chenni, N. Kahoul, H. Cheghib, Z. Kherici, M. Younes, M.S. Cardona, « Proposed simulator for testing MPPT techniques for photovoltaic systems », in *2020 11th International Renewable Energy Congress (IREC)*, 2020, p. 1-5.
- [57] S. R. Ghatak, S. Sannigrahi, et P. Acharjee, « Comparative performance analysis of DG and DSTATCOM using improved PSO based on success rate for deregulated environment », *IEEE Syst. J.*, vol. 12, n° 3, p. 2791-2802, 2017.
- [58] S. Sannigrahi, S. R. Ghatak, et P. Acharjee, « Multi-objective optimisation-based active distribution system planning with reconfiguration, intermittent RES, and DSTATCOM », *IET Renew. Power Gener.*, vol. 13, n° 13, p. 2418-2429, 2019.
- [59] S. A. Taher et S. A. Afsari, « Optimal location and sizing of DSTATCOM in distribution systems by immune algorithm », *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 60, p. 34-44, 2014.
- [60] H. Zidani, « Représentation de solution en optimisation continue, multi-objectif et applications », PhD Thesis, INSA de Rouen; Université Mohammed V-Agdal (Rabat, Maroc; 1993-2014), 2013.
- [61] O. Herbadji, « Contribution à l'optimisation des réseaux électriques en présence des Multi-FACTS par des méthodes métaheuristiques hybrides », PhD Thesis, University of Setif, 2019.
- [62] M. Zellagui, A. Lasmari, K. Alaboudy, S. Settoul et H. A. Hassan, « Enhancing energy efficiency for optimal multiple photovoltaic distributed generators integration using inertia weight control strategies in PSO algorithms », *Polityka Energetyczna.*, vol. 25, p 59-88, 2022.
- [63] A. Lasmari, M. Zellagui, R. Chenni, S. Semaoui, C. Z. El-Bayeh et H. A. Hassan, « Optimal energy management system for distribution systems using simultaneous integration of PV-based DG and DSTATCOM units », *Energetika*, vol. 66, n° 1, p 1-14, 2021.
- [64] A. Lasmari, M. Zellagui, A. A. Gupta, R. A. El-Sehiemy et R. Chenni, « Multi-objective salp swarm algorithm for performance enhancement of electrical distribution system including DG and DSTATCOM

- simultaneously », *In the 4th International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems (IC-AIRES)* 2020.
- [65] N. Belbachir, M. Zellagui, A. Lasmari, C. Z. El-Bayeh et B. Bekkouche, « Optimal integration of photovoltaic distributed generation in electrical distribution network using hybrid modified PSO algorithms », *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.*, vol 24 n°1 p. 50-60, 2021.
- [66] M. Zellagui, A. Lasmari S. Settoul , C. Z. El-Bayeh et R. Chenni, « Assessment integration of hybrid PV-DSTATCOM-BES-DG system in EDS under uncertainties using chaotic adaptive inertia weight PSO algorithms », *in 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2021.
- [67] N. Belbachir, M. Zellagui, A. Lasmari, C. Z. El-Bayeh, et B. Bekkouche, « Optimal PV sources integration in distribution system and its impacts on overcurrent relay based time-current-voltage tripping characteristic », *in 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2021, p. 1-7.
- [68] Z. Ullah, M. R. Elkadeem, S. Wang, et S. M. A. Akber, « Optimal planning of RDS considering PV uncertainty with different load models using artificial intelligence techniques », *Int. J. Web Grid Serv.*, vol. 16, n° 1, p. 63-80, 2020.
- [69] A. Parizad, H. R. Baghaee, A. Yazdani, et G. B. Gharehpetian, « Optimal distribution systems reconfiguration for short circuit level reduction using PSO algorithm », *in 2018 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)*, 2018, p. 1-6.
- [70] W. S. Tan, M. Y. Hassan, M. S. Majid, et H. A. Rahman, « Allocation and sizing of DG using cuckoo search algorithm », *in 2012 IEEE international conference on power and energy (PECon)*, 2012, p. 133-138.
- [71] A. Ameli, S. Bahrami, F. Khazaeli, et M.-R. Haghifam, « A multiobjective particle swarm optimization for sizing and placement of DGs from DG owner's and distribution company's viewpoints », *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, n° 4, p. 1831-1840, 2014.
- [72] A. M. El-Zonkoly, « Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimization », *Swarm Evol. Comput.*, vol. 1, n° 1, p. 50-59, 2011.
- [73] A. Lasmari, M. Zellagui, H. A. Hassan, S. Settoul, A. Y. Abdelaziz, et R. Chenni, « Optimal energy-efficient integration of photovoltaic DG in radial distribution systems for various load models », *in 2020 11th International Renewable Energy Congress (IREC)*, 2020, p. 1-6.
- [74] T. Ziyu et Z. Dingxue, « A modified particle swarm optimization with an adaptive acceleration coefficients », *in 2009 Asia-Pacific Conference on Information Processing*, 2009, vol. 2, p. 330-332.

- [75] S. Mirjalili, A. Lewis, et A. S. Sadiq, « Autonomous particles groups for particle swarm optimization », *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 39, n° 6, p. 4683-4697, 2014.
- [76] M. Zellagui, N. Belbachir, A. Lasmari, B. Bekkouche et C. Z. El-Bayeh, «Application hybrid chaotic maps and adaptive acceleration coefficients PSO algorithm for optimal integration photovoltaic distributed generation problem in distribution energy network», *In Control Applications in Modern Power Systems*, Springer, 2022, p. 29-37.
- [77] M. Zellagui, S. Settoul, A. Lasmari, C. Z. El-Bayeh, R. Chenni, et H. A. Hassan « Optimal allocation of renewable energy source integrated-smart distribution systems based on technical-economic analysis considering load demand and DG uncertainties », *In International Conference in Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems*, Springer, 2020, p. 391-404.
- [78] A. Lasmari, S. Settoul, M. Zellagui, et R. Chenni, « Optimal hourly scheduling of PV sources in EDS considering the power variability of load demand and DG using MOGWO algorithm », *In 2020 6th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS)*, 2020, p. 85-90.
- [79] M. Zellagui, A. Lasmari, S. Settoul, C. Z. El-Bayeh, R. Chenni, et N. Belbachir, « Arithmetic optimization algorithm for optimal installation of DSTATCOM into distribution system based on various voltage stability indices », *In 2021 9th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, 2021, p. 1-6.
- [80] M. Zellagui, A. Lasmari, S. Settoul, et R. Chenni, , « Integration of PV Distributed Generator in Electrical Distribution System with Electric Vehicles Charging Stations Considering Uncertainties using Chaotic SSA Algorithm », *Journal of Renewable Energies*, vol. 24 n° 1, p. 5-24 2021.
- [81] A. Lasmari, M. Zellagui, et R. Chenni, , « Enhancing Energy Efficiency for Optimal Multiple Photovoltaic DG and DSTATCOM Integration for Techno-Economic and Environmental Analysis: A Case Study of Adrar City Distribution System », *Algerian Journal of Engineering and Technology*, vol. 6 p. 1-8 2022.
- [82] A. Von Meier, *Electric power systems: a conceptual introduction*. John Wiley & Sons, 2006.
- [83] K. Volkov, *Computational Models in Engineering*. BoD–Books on Demand, 2020.
- [84] T. Ochi, Y. Nonaka, D. Yamashita, K. Koyanagi, et R. Yokoyama, « Reliable power flow calculation with improved convergence characteristics for distribution systems », in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, 2012, p. 1-6.
- [85] S. Ahmed, « CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE EN UTILISANT LA LOGIQUE FLOUE ASSOCIEE AUX RESEAUX DE NEURONES (NEURO-FLOU) », PhD Thesis, Université de Biskra, 2015.
- [86] B. Berseneff, « Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur », PhD Thesis, Université de Grenoble, 2010.

- [87] N. Tebbakh, D. Labed, « Load flow analysis using Newton-Raphson method in presence of distributed generation », *International Journal of Power Electronics and Drive Systems.*, vol. 12, n° 1, p 1659-1672, 2021.
- [88] A. Beaudry, « Simulateur d'écoulement de puissance en régime triphasé », PhD Thesis, École de technologie supérieure, 2016.
- [89] R. Shankar et P. Kundur, « Power system stability and control II », *N. Y. McGraw-Hill Books Pp581*, 1994.
- [90] S. Touré, « Optimisation des réseaux: réseau actif et flexible », PhD Thesis, Université de Grenoble, 2014.
- [91] Y. A. Rahman, S. Manjang, et A. A. Ilham, « Distributed generation's integration planning involving growth load models by means of genetic algorithm », *Arch. Electr. Eng.*, p. 667-682, 2018.
- [92] D. Q. Hung, N. Mithulanathan, et K. Y. Lee, « Determining PV penetration for distribution systems with time-varying load models », *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 29, n° 6, p. 3048-3057, 2014.
- [93] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, et R. Seethapathy, « Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization », *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, n° 1, p. 360-370, 2009.
- [94] N. Djemai, « Optimisation de l'intégration des ressources énergétiques décentralisées (RED) aux réseaux de distribution dans un marché de l'électricité dérégulé », PhD Thesis, Université de Batna, 2016.
- [95] P. B. Chaaya, « Service Absence: système de gestion des congés et des missions des militaires et des salariés », 2013.
- [96] R. P. Mukund, *Wind and solar power systems*. CRC press, 1999.
- [97] M. HAMED, « Contribution à l'optimisation multi objective Dynamique du coût et l'émission de gaz considérant les contraintes pratiques et de sécurités », PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra, 2019.
- [98] Y. Cooren, « Perfectionnement d'un algorithme adaptatif d'Optimisation par Essaim Particulaire: application en génie médical et en électronique », PhD Thesis, Université Paris-Est, 2008.
- [99] H. Sebaa, « Contribution à l'optimisation de l'insertion des énergies renouvelables dans un réseau électrique intelligent », PhD Thesis, 2019.
- [100] M. Zemzami, N. Elhami, A. Makhloufi, M. Itmi, et N. Hmina, « Application d'un modèle parallèle de la méthode PSO au problème de transport d'électricité », *OpenScience-ISTE Sci. Publ.*, 2016.
- [101] R. Eberhart et J. Kennedy, « A new optimizer using particle swarm theory », in *MHS'95. Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science*, 1995, p. 39-43.
- [102] J. Kennedy et R. Eberhart, « Particle swarm optimization », in *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 1995, vol. 4, p. 1942-1948.

- [103] F. Van Den Bergh, « An analysis of particle swarm optimizers », PhD Thesis, University of Pretoria, 2007.
- [104] M. Clerc et J. Kennedy, « The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space », *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 6, n° 1, p. 58-73, 2002.
- [105] S. Kachroudi, « Commande et optimisation pour la régulation du trafic urbain multimodale sur de grands réseaux urbains », PhD Thesis, Evry-Val d'Essonne, 2010.
- [106] Y. Shi et R. Eberhart, « A modified particle swarm optimizer », in *1998 IEEE international conference on evolutionary computation proceedings. IEEE world congress on computational intelligence (Cat. No. 98TH8360)*, 1998, p. 69-73.
- [107] A. Nickabadi, M. M. Ebadzadeh, et R. Safabakhsh, « A novel particle swarm optimization algorithm with adaptive inertia weight », *Appl. Soft Comput.*, vol. 11, n° 4, p. 3658-3670, 2011.
- [108] X. Zhu et H. Wang, « A new inertia weight control strategy for particle swarm optimization », in *AIP Conference Proceedings*, 2018, vol. 1955, n° 1, p. 040095.
- [109] Y. Feng, G.-F. Teng, A.-X. Wang, et Y.-M. Yao, « Chaotic inertia weight in particle swarm optimization », in *Second International Conference on Innovative Computing, Informatio and Control (ICICIC 2007)*, 2007, p. 475-475.
- [110] S.-K. S. Fan et Y.-Y. Chiu, « A decreasing inertia weight particle swarm optimizer », *Eng. Optim.*, vol. 39, n° 2, p. 203-228, 2007.
- [111] T. O. Ting, Y. Shi, S. Cheng, et S. Lee, « Exponential inertia weight for particle swarm optimization », in *International conference in swarm intelligence*, 2012, p. 83-90.
- [112] A. Chatterjee et P. Siarry, « Nonlinear inertia weight variation for dynamic adaptation in particle swarm optimization », *Comput. Oper. Res.*, vol. 33, n° 3, p. 859-871, 2006.
- [113] B. Jiao, Z. Lian, et X. Gu, « A dynamic inertia weight particle swarm optimization algorithm », *Chaos Solitons Fractals*, vol. 37, n° 3, p. 698-705, 2008.
- [114] K. Kentzoglanakis et M. Poole, « Particle swarm optimization with an oscillating inertia weight », in *Proceedings of the 11th Annual conference on Genetic and evolutionary computation*, 2009, p. 1749-1750.
- [115] P. V. K. Babu et K. Swarnasri, « Optimal integration of different types of DGs in radial distribution system by using Harris hawk optimization algorithm », *Cogent Eng.*, vol. 7, n° 1, p. 1823156, 2020.
- [116] R. C. Eberhart et Y. Shi, « Tracking and optimizing dynamic systems with particle swarms », in *Proceedings of the 2001 congress on evolutionary computation (IEEE Cat. No. 01TH8546)*, 2001, vol. 1, p. 94-100.
- [117] K. Chen, F. Zhou, Y. Wang, et L. Yin, « An ameliorated particle swarm optimizer for solving numerical optimization problems », *Appl. Soft Comput.*, vol. 73, p. 482-496, 2018.

- [118] K. Chen, F. Zhou, L. Yin, S. Wang, Y. Wang, et F. Wan, « A hybrid particle swarm optimizer with sine cosine acceleration coefficients », *Inf. Sci.*, vol. 422, p. 218-241, 2018.
- [119] A. Ratnaweera, S. K. Halgamuge, et H. C. Watson, « Self-organizing hierarchical particle swarm optimizer with time-varying acceleration coefficients », *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 8, n° 3, p. 240-255, 2004.
- [120] M. R. Tanweer, S. Suresh, et N. Sundararajan, « Improved SRPSO algorithm for solving CEC 2015 computationally expensive numerical optimization problems », in *2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2015, p. 1943-1949.
- [121] I. B. Aydilek, « A hybrid firefly and particle swarm optimization algorithm for computationally expensive numerical problems », *Appl. Soft Comput.*, vol. 66, p. 232-249, 2018.
- [122] H. Hachimi, « Hybridations d'algorithmes métaheuristiques en optimisation globale et leurs applications », PhD Thesis, INSA de Rouen; École Mohammadia d'ingénieurs (Rabat, Maroc), 2013.
- [123] V. Barichard, « Approches hybrides pour les problèmes multiobjectifs », PhD Thesis, Université d'Angers, 2003.
- [124] X.-S. Yang, *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Luniver press, 2010.
- [125] X.-S. Yang, « Firefly algorithms for multimodal optimization », in *International symposium on stochastic algorithms*, 2009, p. 169-178.
- [126] X.-S. Yang, « Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation », *Int. J. Bio-Inspired Comput.*, vol. 2, n° 2, p. 78-84, 2010.
- [127] P. Kora et K. S. R. Krishna, « Hybrid firefly and particle swarm optimization algorithm for the detection of bundle branch block », *Int. J. Cardiovasc. Acad.*, vol. 2, n° 1, p. 44-48, 2016.
- [128] M. Taherkhani et R. Safabakhsh, « A novel stability-based adaptive inertia weight for particle swarm optimization », *Appl. Soft Comput.*, vol. 38, p. 281-295, 2016.
- [129] S. Sultana et P. K. Roy, « Multi-objective quasi-oppositional teaching learning based optimization for optimal location of distributed generator in radial distribution systems », *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, p. 534-545, 2014.
- [130] M. Kowsalya, « Optimal distributed generation and capacitor placement in power distribution networks for power loss minimization », in *2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, 2014, p. 1-6.
- [131] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, et S. V. L. Narasimham, « Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation », *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, n° 1, p. 317-325, 2012.

- [132] N. K. Meena, A. Swarnkar, N. Gupta, et K. R. Niazi, « Multi-objective Taguchi approach for optimal DG integration in distribution systems », *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 11, n° 9, p. 2418-2428, 2017.
- [133] N. K. Meena, A. Swarnkar, N. Gupta, et K. R. Niazi, « A Taguchi-based approach for optimal placement of distributed generations for power loss minimization in distribution system », in *2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2015, p. 1-5.
- [134] A. Onlam, D. Yodphet, R. Chatthaworn, C. Surawanitkun, A. Siritaratiwat, et P. Khunkitti, « Power loss minimization and voltage stability improvement in electrical distribution system via network reconfiguration and distributed generation placement using novel adaptive shuffled frogs leaping algorithm », *Energies*, vol. 12, n° 3, p. 553, 2019.
- [135] A. Selim, S. Kamel, et F. Jurado, « Optimal allocation of distribution static compensators using a developed multi-objective sine cosine approach », *Comput. Electr. Eng.*, vol. 85, p. 106671, 2020.
- [136] S. Nagaballi et V. S. Kale, « Optimal deployment of DG and DSTATCOM in distribution system using swarm intelligent techniques », in *Proceedings of the 2018 International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering*, 2018, p. 65-70.
- [137] K. R. Devabalaji et K. Ravi, « Optimal size and siting of multiple DG and DSTATCOM in radial distribution system using bacterial foraging optimization algorithm », *Ain Shams Eng. J.*, vol. 7, n° 3, p. 959-971, 2016.
- [138] T. Yuvaraj, K. R. Devabalaji, et S. B. Thanikanti, « Simultaneous allocation of DG and DSTATCOM using whale optimization algorithm », *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Electr. Eng.*, vol. 44, n° 2, p. 879-896, 2020.
- [139] A. Dogan et M. Alci, « Simultaneous optimization of network reconfiguration and DG installation using heuristic algorithms », *Elektron. Ir Elektrotehnika*, vol. 25, n° 1, p. 8-13, 2019.
- [140] M. H. Moradi et M. Abedini, « A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems », *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 34, n° 1, p. 66-74, 2012.
- [141] S. Sharma, S. Bhattacharjee, et A. Bhattacharya, « Quasi-Oppositional Swine Influenza Model Based Optimization with Quarantine for optimal allocation of DG in radial distribution network », *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 74, p. 348-373, 2016.
- [142] U. Raut et S. Mishra, « An improved sine–cosine algorithm for simultaneous network reconfiguration and DG allocation in power distribution systems », *Appl. Soft Comput.*, vol. 92, p. 106293, 2020.
- [143] D. R. Prabha et T. Jayabarathi, « Optimal placement and sizing of multiple distributed generating units in distribution networks by invasive weed optimization algorithm », *Ain Shams Eng. J.*, vol. 7, n° 2, p. 683-694, 2016.

- [144] D. R. Prabha, T. Jayabarathi, R. Umamageswari, et S. Saranya, « Optimal location and sizing of distributed generation unit using intelligent water drop algorithm », *Sustain. Energy Technol. Assess.*, vol. 11, p. 106-113, 2015.
- [145] R. Jamil Mahfoud, Y. Sun, N. Faisal Alkayem, H. Haes Alhelou, P. Siano, et M. Shafie-khah, « A novel combined evolutionary algorithm for optimal planning of distributed generators in radial distribution systems », *Appl. Sci.*, vol. 9, n° 16, p. 3394, 2019.
- [146] Y. Thangaraj et R. Kuppan, « Multi-objective simultaneous placement of DG and DSTATCOM using novel lightning search algorithm », *J. Appl. Res. Technol.*, vol. 15, n° 5, p. 477-491, 2017.
- [147] R. Sirjani et H. Shareef, « Performance assessment of pareto and non-pareto approaches for the optimal allocation of DG and DSTATCOM in the distribution system », *Teh. Vjesn.*, vol. 27, n° 5, p. 1654-1661, 2020.
- [148] A. R. Bhowmik, A. K. Chakraborty, et S. Mukherjee, « Notice of Retraction: Gauss/Mouse Map based Chaotic Lightning Search Algorithm for Sizing and Allocation of DG and DSTATCOM Considering Probabilistic Load Flow », in *2019 8th International Conference on Power Systems (ICPS)*, 2019, p. 1-6.

Annexes

Annexe A - Réseau standard IEEE 33 nœuds

Nombre de branche	JB (<i>i</i>)	JB (<i>J</i>)	Résistance (Ω)	Réactance (Ω)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVar)
1	1	2	0.0922	0.0477	100	60
2	2	3	0.4930	0.2511	90	40
3	3	4	0.3660	0.1864	120	80
4	4	5	0.3811	0.1941	60	30
5	5	6	0.8190	0.7070	60	20
6	6	7	0.1872	0.6188	200	100
7	7	8	1.7114	1.2351	200	100
8	8	9	1.0300	0.7400	60	20
9	9	10	1.0400	0.7400	60	20
10	10	11	0.1966	0.0650	45	30
11	11	12	0.3744	0.1238	60	35
12	12	13	1.4680	1.1550	60	35
13	13	14	0.5416	0.7129	120	80
14	14	15	0.5910	0.5260	60	10
15	15	16	0.7463	0.5450	60	20
16	16	17	1.2890	1.7210	60	20
17	17	18	0.7320	0.5740	90	40
18	2	19	0.1640	0.1565	90	40
19	19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	21	22	0.7089	0.9373	90	40
22	3	23	0.4512	0.3083	90	50
23	23	24	0.8980	0.7091	420	200
24	24	25	0.8960	0.7011	420	200
25	6	26	0.2030	0.1034	60	25
26	26	27	0.2842	0.1447	60	25
27	27	28	1.0590	0.9337	60	20
28	28	29	0.8042	0.7006	120	70
29	29	30	0.5075	0.2585	200	600
30	30	31	0.9744	0.9630	150	70
31	31	32	0.3105	0.3619	210	100
32	32	33	0.3410	0.5302	60	40

Annexe B - Réseau standard IEEE 69 nœuds

Nombre de branche	JB (<i>i</i>)	JB (<i>J</i>)	Résistance (Ω)	Réactance (Ω)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVar)
1	1	2	0.0005	0.0012	0	0
2	2	3	0.0005	0.0012	0	0
3	3	4	0.0015	0.0036	0	0
4	4	5	0.0251	0.0294	0	0
5	5	6	0.3660	0.1864	0	0
6	6	7	0.3811	0.1941	2.60	2.2
7	7	8	0.0922	0.0470	40.4	30.0
8	8	9	0.0493	0.0251	75.0	54.0
9	9	10	0.8190	0.2707	30.0	22.0
10	10	11	0.1872	0.0619	28.0	19.0
11	11	12	0.7114	0.2351	145.0	104.0
12	12	13	1.0300	0.3400	145.0	104.0
13	13	14	1.0440	0.3450	8.0	5.0
14	14	15	1.0580	0.3496	8.0	5.5
15	15	16	0.1966	0.0650	0	0
16	16	17	0.3744	0.1238	45.5	30.0
17	17	18	0.0047	0.0016	60.0	35.0
18	18	19	0.3276	0.1083	60.0	35.0
19	19	20	0.2106	0.0690	0	0
20	20	21	0.3416	0.1129	1.0	0.6
21	21	22	0.0140	0.0046	114.0	81.0
22	22	23	0.1591	0.0526	5.0	3.5
23	23	24	0.3463	0.1145	0	0
24	24	25	0.7488	0.2475	28.0	20.0
25	25	26	0.3089	0.1021	0	0
26	26	27	0.1732	0.0572	14.0	10.0
27	3	28	0.0044	0.0108	14.0	10.0
28	28	29	0.0640	0.1565	26.0	18.6
29	29	30	0.3978	0.1315	26.0	18.6
30	30	31	0.0702	0.0232	0	0
31	31	32	0.3510	0.1160	0	0
32	32	33	0.8390	0.2816	0	0
33	33	34	1.7080	0.5646	14.0	10.0
34	34	35	1.4740	0.4873	9.5	14.0
35	3	36	0.0044	0.0108	6.0	4.0
36	36	37	0.0640	0.1565	26.0	18.55
37	37	38	0.1053	0.1230	26.0	18.55
38	38	39	0.0304	0.0355	0	0
39	39	40	0.0018	0.0021	24.0	17.0
40	40	41	0.7283	0.8509	24.0	17.0
41	41	42	0.3100	0.3623	1.2	1.0
42	42	43	0.0410	0.0478	0	0
43	43	44	0.0092	0.0116	6.0	4.30
44	44	45	0.1089	0.1373	0	0
45	45	46	0.0009	0.0012	39.2	26.30
46	4	47	0.0034	0.0084	39.2	26.30
47	47	48	0.0851	0.2083	0	0

48	48	49	0.2898	0.7091	79.0	56.4
49	49	50	0.0822	0.2011	384.7	274.5
50	8	51	0.0928	0.0473	384.7	274.5
51	51	52	0.3319	0.1114	40.5	28.3
52	9	53	0.1740	0.0886	3.6	2.7
53	53	54	0.2030	0.1034	4.3	3.5
54	54	55	0.2842	0.1447	26.4	19.0
55	55	56	0.2813	0.1433	24.0	17.2
56	56	57	1.5900	0.5337	0	0
57	57	58	0.7837	0.2630	0	0
58	58	59	0.3042	0.1006	0	0
59	59	60	0.3861	0.1172	100.0	72.0
60	60	61	0.5075	0.2585	0	0
61	61	62	0.0974	0.0496	1244.0	888.0
62	62	63	0.1450	0.0738	32.0	23.0
63	63	64	0.7105	0.3619	0	0
64	64	65	1.0410	0.5302	227.0	162.0
65	11	66	0.2012	0.0611	59.0	42.0
66	66	67	0.0047	0.0014	18.0	13.0
67	12	68	0.7394	0.2444	18.0	13.0
68	68	69	0.0047	0.0016	28.0	20.0

Annexe C – modélisation de DSTATCOM

À partir du diagramme de phaseur illustré à la Fig. 2, les équations suivantes sont notées

$$V_{Rnov} \angle \beta = V_s \angle \delta - (R + jX) I_L \angle \alpha - (R + jX) I_D \angle \left(\beta + \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{A.1}$$

Après la séparation des parties réelles et imaginaires de l'équation on trouve :

$$V_{Rnov} \cos \beta = \text{Re}(V_s \angle \delta) + X I_D \sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right) - \text{Re}(Z I_L \angle \alpha) - R I_D \cos \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right) \quad \text{A.2}$$

$$V_{Rnov} \sin \beta = \text{Im}(V_s \angle \delta) - X I_D \cos \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right) - \text{Im}(Z I_L \angle \alpha) - R I_D \sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right) \quad \text{A.3}$$

Si on met :

$$X = \text{Re}(V_s \angle \delta) - \text{Re}(Z I_L \angle \alpha)$$

$$Y = \text{Im}(V_s \angle \delta) - \text{Im}(Z I_L \angle \alpha)$$

$$\alpha_1 = V_{Rnov} \quad , b_1 = -R \quad , b_2 = -X$$

On trouve

$$I_D = \frac{\alpha_1 \cos \beta - X}{-b_1 \sin \beta - b_2 \cos \beta} \quad \text{A.4}$$

$$I_D = \frac{\alpha_1 \sin \beta - Y}{-b_2 \sin \beta - b_1 \cos \beta} \quad \text{A.5}$$

À travers les équations A.4, et A.5 on trouve

$$(Xb_2 - Yb_1) \sin \beta + (-Xb_1 - Yb_2) \cos \beta + \alpha_1 b_1 = 0 \quad \text{A.6}$$

Si on mette :

$$x = \sin \beta, \quad k_1 = Xb_2 - Yb_1, \quad k_2 = Xb_1 - Yb_2$$

$$(k_1^2 + k_2^2)x^2 + (2k_1\alpha_1 b_1)x + (\alpha_1^2 b_1^2 - k_2^2) = 0 \quad \text{A.7}$$

On peut déterminer la valeur de B par l'équation suivante :

$$\beta = \sin^{-1} x \quad \text{A.8}$$

Par conséquent, l'angle de la tension après le placement de DSTATCOM peut être trouvé à partir de (A.8) et le courant injecté par le DSTATCOM peut être trouvé à partir de (A.4) et (A.5)