

Université Mohamed Kheider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département : Génie Electrique
Réf :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة الكهربائية
المرجع :

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de :

Doctorat en Sciences en :Génie Electrique

Spécialité : Electrotechnique

Option : Réseaux Electriques

Intitulé de la Thèse :

***Contribution à l'optimisation multi objective Dynamique du
coût et l'émission de gaz considérant les contraintes
pratiques et de sécurités***

Présentée par :

HAMED Mostefa

Soutenue publiquement le : 24 / 10 / 2019

Devant le jury composé de Messieurs :

Pr. CHIKHI Khaled	Prof	Président	Université de Batna II
Pr. SRAIRI Kamel	Prof	Encadreur	Université de Biskra
Pr. MAHDAD Belkacem	Prof	Co-encadreur	Université de Biskra
Pr. BENCHOUIA Med Toufik	Prof	Examineur	Université de Biskra
Pr. FETHA Chérif	Prof	Examineur	Université de Batna II
Pr. ZELLOUMA Laid	Prof	Examineur	Université d'El Oued

REMERCIEMENT

Cette thèse que je considère une aventure sacrée pendant 72 mois de travail, a été marquée par des moments de crises d'angoisse, par des tourments, par des épisodes de pleurs et de démotivation mais aussi par de joie et de productivité que je qualifierais personnellement de qualité.

*A tous ceux qui semaient les fleurs et également les épines dans le chemin d'accomplissement de cette thèse je leur dédie cette thèse. Cette thèse est adressée à la mémoire de mon père " **allah ya rhmo**" que le dieu l'accueilli dans son vaste Paradies. A ma chère mère, à mes chères frères et sœurs.*

*J'adresse un grand merci à mon chère enseignant et encadreur Professeur **MAHDAD Belkacem** pour de ne jamais avoir manqué d'encouragement et soutien moral jour et nuit et je dis bien même en "nuit " pendant les moments les plus pires de ma vie en 2011, qui m'avoit soutenu dans mes difficultés, Car je savais que grâce à lui, j'avais un ange gardien en cas de besoin,*

Ses qualités exceptionnelles d'encadreur, Ses conseils haut-garonnais, De n'avoir jamais douté de moi depuis déjà longtemps, Son aide son faille dans l'analyse des résultats obtenus, Ses précieuses phases de réflexions intenses, D'avoir ajouter une touche hispanique à mes débuts de vie de thésard. Il a été une véritable étoile qui m'étincelait les ténèbres immenses d'une longue et lourde nuit gitane,

J'adresse également mes chaleureux et sincères remerciements à mon frère Nabil qui m'avoit accompagné et m'aidé le long de ce travail, et avec qui j'ai pu relâcher la pression de travail quand l'atmosphère était trop lourde dans mon ancien poste de travail, d'avoir toujours à coté de moi pour me poussé de continuer à finaliser cette thèse.

*Je tiens également à remercier mon encadreur de thèse Professeur **Kamel SRAIRI** pour ses qualités d'écoute et ses conseils illimités pendant l'élaboration de cette thèse, chaque fois ou il était passé à son bureau dans le laboratoire "LMSE " il n'avait jamais hésité de m'encourager pour terminer ce travail.*

*Je remercie particulièrement Monsieur **Pr CHIKHI Khaled** pour avoir accepté de présider ce jury et tous ses membres c'est pour moi un grand honneur et un vrai plaisir de présenter mon travail devant eux.*

Publications Internationales

- [1] **Hamed, M.**, Mahdad, B., Srairi, K., Mancner, N. “Application of a novel modified hybrid algorithm for solving dynamic economic dispatch problem with practical constraints“, *Advances in Electrical and Electronic Engineering* 2018 pp 446 – 458 <http://advances.utc.sk/index.php/AEEE/article/view/2877>
- [2] Mancner N., Mahdad B., Srairi K., **Hamed, M.** (2019) Voltage Stability Improvement of Practical Power System Based STATCOM Using PSO_TVAC. In: Hatti M. (eds) *Renewable Energy for Smart and Sustainable Cities*. ICAIRES 2018. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 62. Springer, Cham pp 506-515 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-04789-4_54
- [3] **Hamed, M.**, Mahdad B., Srairi K., Mancner N. (2019) Dynamic Economic Dispatch Solution with Firefly Algorithm Considering Ramp Rate Limit's and Line Transmission Losses. In: Hatti M. (eds) *Renewable Energy for Smart and Sustainable Cities*. ICAIRES 2018. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 62. Springer, Cham pp 497-505 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-04789-4_53
- [4] **M. Hamed**, B. Mahdad, K. Srairi and Nabil Mancner. “Solving Dynamic Economic Dispatch With Modified PSO Algorithm Considering Valve Points Effect and Ramp Rate generators Limits” *Journal of Electrical Engineering: Volume 14 (3)* pp 141-145, 2014. <http://jee.org>
- [5] Nabil Mancner, B. Mahdad, K.Srairi, **M Hamed**. “Multi Objective For Optimal Reactive Power Flow Using Modified PSO Considering TCSC,” *International Journal of Energy Engineering*, 2012; 2(4): 165-170. <http://journal.sapub.org/ijee>

Communications Internationales

- [1] Mancner N., Mahdad B., Srairi K., **Mostefa H.** Voltage Stability Improvement of Practical Power System Based STATCOM Using PSO_TVAC. 2th International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems, IC-AIRES2018 Tipasa, Algeria, 24-26 Novembre 2018. <https://www.archeditech.org>.
- [2] **Mostefa H.**, Mahdad B., Srairi K., Mancner N. Dynamic Economic Dispatch Solution with Firefly Algorithm Considering Ramp Rate Limit's and Line Transmission Losses. 2th International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems, IC-AIRES2018 Tipasa, Algeria, 24-26 Novembre 2018. <https://www.archeditech.org>
- [3] Nabil Mancner, B. Mahdad, K.Srairi, **M Hamed**. “Multi Objective ORPF Using PSO with Time Varying Acceleration Considering TCSC” *Proceedings of the 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering, (EEEIC 2012) Venice Italy, 18 - 25 May 2012: 802-807.* <http://ieeexplore.ieee.org/>
- [4] **M. Hamed**, B. Mahdad, K. Srairi and Nabil Mancner. “Solving Combined Economic Emission Dispatch Problem Using Time Varying Acceleration Based PSO” *Proceedings of the 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering”, (EEEIC 2012) Venice Italy, 18 - 25 May 2012: pp 764-769.* <http://ieeexplore.ieee.org/>
- [5] **M. Hamed**, B. Mahdad, K. Srairi and Nabil Mancner. “Solving Multi-objective Economic Dispatch Problem Using Flexible Time Varying Acceleration Based PSO” .4th international conference on electrical engineering (ICEE'12) 07-09 Algiers 2012. <http://usthb.dz/icee12>.
- [6] Nabil Mancner, B. Mahdad, K. Srairi and **M. Hamed**. “Minimisation des Pertes de Transmission d'Énergie par Utilisation des AG et PSO”. 7th International Conference on Electrical Engineering **ICEE'12** October 8 – 10, Batna 2012
- [7] Nabil Mancner, B. Mahdad, K. Srairi, **M. Hamed** and B. Hadji. ” Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using PSO-TVAC”. *Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability (TMREES15 – EUMISD) Energy Procedia Elsevier, Beirut-Lebanon, April 17-20, 2015.*

Abstract : Dynamic Environmental Economic Dispatch (DEED) is a highly complex nonlinear optimization problem with practical and security constraints, the DEED is formulated as a multi-objective non-linear constrained optimization problem with two conflicting objectives gratifying both equality and inequality constraints, the optimal generated power minimizes finally with compromising both fuel and emission costs .The aim of DEED is to optimize dynamically, active power of generating units over operating time considering practical constraints such as valve point effect, prohibited zones, ramp rate limits and total power losses in one hand, in other hand the security constraint's must be verified such as generator terminal voltage limit's, transmission line loadings limit's., generator bus voltage magnitude limit's, and limits on the output of reactive power generation. Consequently this thesis focuses on the application of the artificial method to resolve the proposed multi objective problem such as the Time Varying Acceleration based Particle Swarm Optimization algorithm (PSOTVAC), Firefly algorithm (FA), biogeography based optimization algorithm (BBO), in other hand a hybrid Method's called FAPSOTVAC , BBO-PSOTVAC, FA-BBO are proposed to improve the solution of DEED. The main idea introduced towards combining FA and PSOTVAC, BBO and PSOTVAC , FA and BBO is to create a flexible equilibrium between exploration and exploitation during search process. The robustness of the proposed hybrid method's is validated on many practical power systems (6,10,13,15 and 30 units) to minimize simultaneously the total fuel and emission cost considering all practical and security constraints. The results found prove the efficiency of the proposed algorithm's in terms of solution quality and convergence characteristics.

Keywords : dynamic Environmental Economic Dispatch, PSOTVAC, BBO, FA, A hybrid algorithm, FA-PSOTVAC, BBO-PSOTVAC, FA-BBO, prohibited operating zones, ramps rate constraints, valve point effect, security constraints.

Résumé : Le Dispatching Economique Environnemental (DEED) est un problème d'optimisation complexe et fortement non linéaire avec deux objectifs totalement contradictoires, cette optimisation est sujet de plusieurs contraintes d'égalité et d'inégalité qu'il faut les satisfaire afin d'aboutir à une solution qui est un compromis entre le coût total de production de l'énergie et les émissions qui l'accompagne, en revanche cette optimisation doit satisfaire toutes les contraintes pratiques imposées par les unités de production à savoir l'effet de valves, les contraintes rampes, les zones de fonctionnement prohibes, les pertes de transport en premier lieu et aussi doit vérifier en deuxième lieu plusieurs contraintes liées à la sécurité de notre réseau de transmission telles que les limites de production de l'énergie réactive et les limites de tensions de nos générateurs, les limites de puissances maximales supportées par les lignes de transport et les limites de tension imposées au niveaux de jeux de barres de charge. Cette thèse focalise la lumière sur l'application des algorithmes de l'intelligence artificielle pour résoudre la dite optimisation en appliquant plusieurs algorithmes à savoir l'algorithme de l'essaim de particules à coefficient d'accélération variable PSOTVAC, l'algorithme à base de biogéographie BBO, l'algorithme de luciole FA d'une part et plusieurs algorithmes hybrides développés dans le cadre de cette thèse tels que le FA-PSOTVAC, BBO-PSOTVAC et le FA-BBO d'autre part, cette hybridation est pour but de créer un équilibre entre l'exploration et l'exploitation de l'espace de recherche durant le processus de recherche, la robustesse de nos algorithmes est prouvée et validée pour plusieurs réseaux test à savoir 6, 10, 13, 14, 15 et 30 unités, finalement nos résultats expliquent l'efficacité et la qualité de solution offerte en terme de qualité de solution et caractéristique de convergence.

Mots Clés : Dispatching Economique Environnemental , PSOTVAC, BBO, FA, Algorithmes Hybrides, FA-PSOTVAC, BBO-PSOTVAC, FA-BBO, zones de Fonctionnement Prohibées, Contraintes Rampes, Effet de Valves, Contraintes de Sécurité du Réseau de Transmission.

المخلص : إن التوزيع الاقتصادي المناخي الأمثل للطاقة الكهربائية يعد واحدا من أصعب المشاكل التي يتم دراستها في ميدان تحسين الشبكات الكهربائية نظرا للأهداف المراد خفضها وهي التكلفة الكلية لإنتاج الطاقة الكهربائية وما يقابلها من انبعاثات لغازات الاحتباس الحراري حيث نجد أن هذين الهدفين الغير خطيين يصاحبها الكثير من المعادلات والمترجمات الغير خطية التي يجب إحترامها عند حل هذا المشكل الذي يتميز لهذين متناقضين تماما . في هذا الصدد نجد هناك العديد من الإلتزامات المفروضة من ناحية مولدات الإنتاج التي يجب مراعاتها من أجل الحصول على أقل تكلفة ممكنة و التي يقابلها أيضا القليل من انبعاثات الغازات الضارة بالمناخ والتي تتمثل في الذروات القصوى لإنتاج الطاقة ،تأثير فتح صمامات الغاز ،الإنتاج التدرجي للطاقة من ساعة إلى أخرى ،وفي المقابل نجد هناك أيضا العديد من الإلتزامات المتعلقة بالسير الحسن للشبكات الكهربائية و حمايتها تذكر من بينها :عتبات التوتر لدى مولدات الإنتاج ،عتبات التوتر عند مأخذ الحمولات التدفقات القصوى التي يتم نقلها بواسطة الشبكات الكهربائية . من أجل حل هذا المشكل المعقد عدة خوارزميات تم إستعمالها و تهجينها نذكر من بينها خوارزمية < FA ، < BBO > ، < PSOTVAC > ، < FA-PSOTVAC > ، < FA-BBO > ، < BBO- PSOTVAC > ، خوارزميات أدت نجاعتها في حل المشكل المطروح وهذا نظرا لخصائص الحلول المقدمة

الكلمات المفتاحية : التوزيع الاقتصادي المناخي الأمثل للطاقة الكهربائية، الإلتزامات المفروضة من ناحية مولدات الإنتاج، من الإلتزامات المتعلقة بالسير الحسن للشبكات الكهربائية، تأثير فتح صمامات الغاز ،الإنتاج التدرجي للطاقة من ساعة إلى أخرى، خوارزميات تم إستعمالها و تهجينها نذكر من بينها خوارزمية < FA BBO PSOTVAC > ، < FA-PSOTVAC > ، < FA-BBO > ، < BBO- PSOTVAC >

TABLE DES MATIERE

REMERCIEMENT	i
LISTE DES PUBLICATIONS	ii
TABLE DES MATIERE	iv
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
NOMENCLATURE.....	xv
1 Chapitre 1 : Introduction Générale	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Etat de L’art :	6
1.3 Contribution de la thèse :	9
1.4 Organisation de la thèse :	10
2 Chapitre 2: Les systèmes énergétiques	13
2.1 Introduction.....	13
2.2 Le réseau de transport et d’interconnexion Algérien :	14
2.2.1 Interconnexion Magrébine:	17
2.2.2 Interconnexion méditerranéenne :	18
2.3 Plan prévisionnel de production de l’électricité en Algérie :	18
2.4 Réseaux Isolés du Sud (R.I.S) :	21
2.5 Energie renouvelable.....	21
2.6 Mécanisme d'un écroulement de tension :	22
2.7 Réglage de tension :	23
2.8 Réglage de fréquence :	23
2.8.1 Un réglage primaire :	24

2.8.2	Réglage secondaire :	24
2.8.3	Réglage tertiaire :	24
2.9	Production décentralisée :	24
2.10	Changement climatique et obligations liées à l'environnement :	25
2.11	Conclusion.....	28
3	Chapitre 3 : Problème multi-objectifs de la répartition optimale de la puissance électrique.....	29
3.1	Introduction :	29
3.1.1	Réchauffement Climatiques	29
3.1.2	Événements climatiques extrêmes :	31
3.1.3	Gaz à effet de serre (GES) :	32
3.1.4	Part des émissions de CO ₂ par le secteur de production d'électricité dans l'Europe :	33
3.1.5	Obligations de l'Algérie envers les changements climatiques :	35
3.2	Problème de l'engagement des turbines :	35
3.2.1	Problème de Dispatching Economique Statique	37
3.2.2	Formulation du problème de dispatching économique dynamique :	41
3.2.3	Optimisation Multi-Objectives de coût et de l'émission :	43
3.2.4	Formulation du Problème de l'engagement des turbines :	45
3.3	Conclusion :	46
4	Chapitre 4 : Méthodes d'Optimisation Méta-heuristiques	47
4.1	Introduction :	47
4.2	Définition de l'Optimisation :	49
4.3	Classification des problèmes d'optimisation :	49
4.4	L'optimisation multi objectives :	52
4.5	Méthodes Méta heuristiques :	53
4.5.1	Algorithme de Luciole (FA) :	53

4.5.2	L'algorithme à base de biogéographie (Biogeography Based Optimization BBO)	56
4.5.3	L'algorithme d'abeilles (Bees Algorithm BA)	61
4.5.4	L'algorithme de colonies des abeilles artificielles	61
4.5.5	Optimisation par essaims de particules	62
4.5.6	Algorithme d'optimisation par essaim de particule avec coefficient d'accélération variable (PSO-TVAC)	65
4.6	Conclusion	66
5	Chapitre 5 : Eudes de cas : Résultats et analyses	67
5.1	Cas d'Etude N°1 : Solution du problème de dispatching économique statique sans pertes	67
5.1.1	Introduction	67
5.1.2	Test N° 01 Réseau test 13 Unités	67
5.1.3	Interprétation des résultats	68
5.1.4	Test N°2 Réseau test 40 Unités	70
5.1.5	Interprétation des résultats	71
5.2	Ca d'Etude N°2 : Solution du problème de dispatching économique statique avec pertes avec zones de fonctionnement prohibées.	73
5.2.1	Introduction	73
5.2.2	Test N°1 Système 10 Unité	73
5.2.3	Interprétation des Résultats test N°1 : Réseau Test 10 Unité	75
5.2.4	Test N° 2 Réseau Test 30 Unités	75
5.2.5	Interprétation des Résultats Test N° 2 Réseau Test 30 Unités	78
5.3	Ca d'Etude N°3 .Solution du problème de dispatching économique dynamique en présence des zones de fonctionnement prohibées	79
5.3.1	Introduction	79
5.3.2	Interprétation des résultats	84

5.4	Cas d'étude N°4 : Dispatching Economique Dynamique avec pertes avec contraintes rampes et zones de fonctionnement prohibées.....	85
5.4.1	Introduction :	85
5.4.2	Test N° 1 Test 6 unités :.....	85
5.4.3	Discussion des résultats :	88
5.4.4	Test N° 2 Test 15 unités :	89
5.4.5	Interprétation des resultats :	91
5.5	Cas d'étude N°05: Dispatching Economique Dynamique avec pertes avec contraintes rampes et zones de fonctionnement prohibées par application des méthodes hybrides.....	95
5.5.1	Introduction.....	95
5.5.2	Interprétation des résultats :	103
5.6	Cas d'étude N°06 : Dispatching Economique Dynamique avec contraintes rampes	104
5.6.1	Introduction :	104
5.6.2	Test 10 unités avec contraintes rampes sans pertes :.....	104
5.6.3	Interprétation des résultats :	109
5.6.4	Test 10 unités avec contraintes rampes avec pertes :	110
5.6.5	Interprétation des résultats :	118
5.6.6	Système 30 unités avec contraintes rampes sans perte :	119
5.7	Cas d'Etude N°7 : Optimisation Multi-objective du Coût et de l'Emission	134
5.7.1	Introduction :	134
5.7.2	Optimisation de coût seulement système 10 unité:.....	136
5.7.3	Optimisation de l'émission seulement :	141
5.7.4	Optimisation multi objective du coût et l'émission système 10 unités.....	145
5.7.5	Optimisation Multi-objectives système 6 unités:	151
5.7.6	Interprétation des résultats :	155

5.7.7	Solution 118 Jeux de barres	156
5.8	Cas d'étude N°8 Ecoulement de Puissance pour la Solution Multi objective Système 6 unités.....	164
5.8.1	Introduction :	164
5.8.2	Conclusion :	167
6	Conclusion générale.....	168
7	Bibliographique.....	170

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1: Logique de transport du réseau électrique algérien	14
Figure 2.2: Développement du réseau de transport Algérien	15
Figure 2.3: Evolution du nombre de postes électriques	16
Figure 2.4: Schéma unifilaire du réseau de transport Algérien	17
Figure 2.5: Evolution de PMA en Algérie.....	19
Figure 2.6: Evolution de la PMA sur le RIN durant l'été 2013.....	19
Figure 2.7: Pointe soir 2013 comparée à la pointe soir 2012	20
Figure 2.8: Evolution de la production sur le RIN	21
Figure 3.1: Evolution de la température moyenne annuelle mondiale de 1850 à 2017	30
Figure 3.2: Evolution du niveau marin	30
Figure 3.3: Fréquence et intensité des ouragans dans l'océan Atlantique depuis 50 ans	31
Figure 3.4: Caractéristique quadratique du coût.....	37
Figure 3.5: Effet de l'ouverture de vannes pour une unité thermique	39
Figure 3.6: Courbe de coût du combustible d'une unité thermique avec trois types de combustible	40
Figure 3.7: Caractéristique de coût avec deux zones de fonctionnement interdites	41
Figure 3.8: Représentation du rôle de l'optimisation multi objective	44
Figure 4.1: Optimum global d'une fonction non linéaire.....	49
Figure 4.2: Taxonomie des différentes méthodes d'optimisation [80].....	51
Figure 4.3: Luciole Naturelle	53
Figure 4.4: Organigramme Fonctionnel de l'algorithme BBO	58
Figure 4.5: Illustration de deux solutions candidates S1 et S2	60
Figure 4.6: Déplacement d'une particule	63
Figure 4.7: Organigramme d'un (PSO)	64
Figure 4.8: Interaction entre facteur social et cognitif	65
Figure 5.1: Caractéristique de convergence de FA	68
Figure 5.2: Caractéristique de convergence de BBO	69
Figure 5.3: Caractéristique de convergence de PSOTVAC	69
Figure 5.4: Caractéristique de convergence de FA	71
Figure 5.5: Caractéristique de convergence de BBO.....	72

Figure 5.6: Caractéristique de convergence de PSOTVAC.....	72
Figure 5.7: Caractéristique de convergence de FA	74
Figure 5.8: Caractéristique de convergence de BBO.....	74
Figure 5.9: Caractéristique de convergence de PSOTVAC.....	75
Figure 5.10: Caractéristique de convergence de FA.....	76
Figure 5.11: Caractéristique de convergence de BBO.....	76
Figure 5.12: Caractéristique de convergence de PSOTVAC.....	77
Figure 5.13 : Convergence de PSOTVAC	79
Figure 5.14: Convergence de FA	83
Figure 5.15: Convergence BBO	83
Figure 5.16: Caractéristique de convergence de PSO.....	85
Figure 5.17: Convergence de PSOTVAC système 6 Unités	87
Figure 5.18: Convergence de PSOTVAC 15 Unités	89
Figure 5.19: Organigramme de l’algorithme hybride FA-PSOTVAC.....	96
Figure 5.20: Convergence de FA	97
Figure 5.21: Convergence de FA-PSOTVAC.....	97
Figure 5.22: Convergence de BBO	100
Figure 5.23: Convergence de BBO-PSOTVAC et FA-PSOTVAC	100
Figure 5.24: Convergence de quatre algorithmes.....	101
Figure 5.25: Distribution de coût pour 50 répétions de l’algorithme FA-PSOTVAC.....	101
Figure 5.26: Violation de RU pour FA-PSOTVAC.....	102
Figure 5.27: Violation de contrainte RD pour FA-PSOTVAC	102
Figure 5.28: Convergence de PSOTVAC	104
Figure 5.29: Convergence de FA	105
Figure 5.30: Convergence de BBO	105
Figure 5.31: Convergence de FA-BBO.....	107
Figure 5.32: Convergence de BBO-PSOTVAC	109
Figure 5.33: Convergence de PSOTVAC	110
Figure 5.34: Convergence de BBO	111
Figure 5.35: Convergence de FA	111
Figure 5.36: Convergence de BBO-PSOTVAC	117
Figure 5.37: Convergence de FA-BBO.....	117
Figure 5.38: Convergence de BBO	119

Figure 5.39: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution BBO.....	119
Figure 5.40: Convergence de FA.....	124
Figure 5.41: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution FA.....	124
Figure 5.42: Caractéristique de Convergence de BBO-PSOTVAC.....	127
Figure 5.43: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution BBO-PSOTVAC.....	127
Figure 5.44: Caractéristique de Convergence de FA-BBO.....	130
Figure 5.45: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution FA-BBO.....	130
Figure 5.46: Caractéristique de Convergence de FA-PSOTVAC.....	133
Figure 5.47: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution FA-PSOTVAC.....	133
Figure 5.48: Organigramme de l'optimisation mono et multi objective par l'algorithme hybride BBO-PSOTVAC.....	135
Figure 5.50: Caractéristique de convergence de BBO.....	140
Figure 5.51: Caractéristique de convergence de BBO-PSOTVAC.....	140
Figure 5.52: Caractéristique de convergence de PSOTVAC.....	144
Figure 5.53: Caractéristique de convergence de BBO.....	144
Figure 5.54: Caractéristique de convergence de BBO-PSOTVAC.....	145
Figure 5.55: Distribution Pareto BBO.....	145
Figure 5.56: Distribution Pareto BBO-PSOTVAC.....	149
Figure 5.57: Distribution de Pareto pour FA.....	152
Figure 5.58: Distribution de Pareto pour PSOTVAC.....	153
Figure 5.59: Distribution de Pareto pour BBO.....	154
Figure 5.60: Solution de Pareto PSOTVAC.....	159
Figure 5.61: Distribution de Pareto FA.....	163
Figure 5.62: Distribution de Pareto BBO.....	163

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.2.1: Puissance Maximale appelée durant l'été 2013.....	20
Tableau 3.1: Principaux gaz à effet serre et leurs concentrations et origines (*) en 2015	32
Tableau 3.2: Emissions de CO ₂ des centrales électriques et de cogénération par combustible primaire pour l'union européenne (UE27) + Norvège	33
Tableau 3.3: Emissions de CO ₂ des centrales électriques et de cogénération par combustible primaire pour l'Allemagne.....	34
Tableau 4.1: Terminologie de la BBO	57
Tableau 4.2: Paramètres de l'algorithme BBO.....	58
Tableau 5.1: Solution de système 13 unités.....	67
Tableau 5.2:Tableau de comparaison des solutions 13 unités.....	68
Tableau 5.3: Solution de système 40 unités.....	70
Tableau 5.4: tableau de comparaison solution 40 unités.....	70
Tableau 5.5: Résultat système 10 unités pour Pd=1036.....	73
Tableau 5.6: Tableau de comparaison réseau test 10 unités Pd=1036 MW	73
Tableau 5.7: Résultat Système 30 Unités pour Pd=3108 MW	77
Tableau 5.8: Tableau de Comparaison Réseau Test 30 Unités Pd=3108 MW	78
Tableau 5.9: Solution de PSOTVAC pour 10 Unités avec Zones de Fonctionnement Prohibées avec Pertes.....	80
Tableau 5.10: Solution de FA pour 10 unités avec zones prohibées avec pertes	81
Tableau 5.11: Solution BBO pour 10 unités	82
Tableau 5.12: Tableau de comparaison entre solutions.....	84
Tableau 5.13: Solution de PSO pour système 6 Unités	86
Tableau 5.14: Solution de PSOTVAC 6 Unités.....	86
Tableau 5.15:Comparaison entre solutions.....	87
Tableau 5.16: Matrice de Violation de Contraintes de zone prohibées pour la Solution de Système Test 6 unités [SFEP] de [45]	88
Tableau 5.17: Comparaison de solution 15 unités avec pertes avec contraintes rampe et contraintes de zones fonctionnement prohibées.....	91
Tableau 5.18:Matrice de Violation de Contraintes de zones prohibées pour la Solution PSO du système Test 15 Unité de [45]	94
Tableau 5.19: Solution de FA.....	98
Tableau 5.20: Solution de FA-PSOTVAC	99

Tableau 5.21: Comparaison entre solutions FA, BBO, FA-PSOTVAC, BBO-PSOTVAC	103
OTableau 5.22: Solution de PSOTVAC	106
Tableau 5.23: Solution de FA.....	106
Tableau 5.24: Solution de BBO	107
Tableau 5.25: Solution de FA-BBO	108
Tableau 5.26: Solution de BBO-PSOTVAC.....	108
Tableau 5.27: Solution de PSOTVAC.....	112
Tableau 5.28: Solution de BBO	113
Tableau 5.29: Solution de FA.....	114
Tableau 5.30: Solution de BBO-PSOTVAC.....	115
Tableau 5.31: Solution de FA-BBO	116
Tableau 5.32: Tableau de comparaison entre solution.....	118
Tableau 5.33: Solution de BBO :.....	120
Tableau 5.34: Suite du Tableau 5.36 : Solution de BBO	121
Tableau 5.5.35: Solution de FA :.....	122
Tableau 5.36: Solution de BBO-PSOTVAC :	125
Tableau 5.37: Suite du Tableau 5.40 Solution de BBO-PSOTVAC.....	126
Tableau 5.38: Solution de FA-BBO :	128
Tableau 5.5.39: Suite du Tableau 5.42 Solution de FA-BBO.....	129
Tableau 5.5.40: Solution de FA-PSOTVAC.....	131
Tableau 5.41: Suite du Tableau 5.44 : Solution de FA-PSOTVAC.....	132
Tableau 5.42: Comparaison entre solutions.....	134
Tableau 5.43: Solution de BBO:.....	138
Tableau 5.44: Solution de BBO-PSOTVAC.....	139
Tableau 5.45: Solution de PSOTVAC :	141
Tableau 5.46: Solution de BBO:.....	142
Tableau 5.5.47: Solution de BBO-PSOTVAC:.....	143
Tableau 5.48: Solution BBO :	146
Tableau 5.49: Solution de BBO-PSOTVAC :	147
Tableau 5.50: Tableau de Comparaison entre solutions	148
Tableau 5.51: Solution de FA:.....	151
Tableau 5.52: Solution de PSOTVAC :	152
Tableau 5.5.53: Solution de BBO	153

Tableau 5.5.54: Comparaison entre solutions.....	154
Tableau 5.55: Solution de PSOTVAC	156
Tableau 5.56: Solution de FA.....	157
Tableau 5.57: Solution de BBO	158
Tableau 5.58: Comparaison entre solutions.....	159
Tableau 5.59: Solution de PSOTVAC	160
Tableau 5.60: Solution de FA.....	161
Tableau 5.61: Solution de BBO	162
Tableau 5.62: Comparaison entre solutions.....	164
Tableau 5.63: Solution de jeux de barre (bus data) :	165
Tableau 5.64: Solution de line data :	166
Tableau 5.65: Violation de tension au niveau de jeux de barres :.....	167
Tableau 5.66: Violation de puissance réactive des générateurs de production :.....	167
Tableau 5.67: Violation de puissance apparentes des lignes de transmission :	167

NOMENCLATURE

$a_i, b_i, c_i e_i, f_i$	Coefficients de coût de l'unité génératrice i
γ	Coût incrémental
P_{gi}	Puissance générée de l'unité i
P_{gi}^{max}	Puissance maximale de l'unité i
P_{gi}^{min}	Puissance minimale de l'unité i
$F(p_{gi})$	Fonction de coût
$Ci(p_{gi})$	coût de production de i ème générateur
C_t	Coût total de production
ng	nombre total de générateurs
P_{loss}	Pertes de transmission
UR_i	Contrainte rampe supérieure du générateur i
DR_i	Contrainte rampe inférieure du générateur i
$G(p_{gi})$	Fonction de l'émission
P_{it}	Puissance produite par l'unité i à l'heure t
ST_i	Coût de redémarrage de générateur i
SD_i	Coût d'arrêt de générateur i .
X_{it}	Etat de générateur i à l'instant t
T_{it}^{on}	La période de temps de fonctionnement de générateur i
T_{it}^{off}	La période de temps d'arrêt de générateur i
MUT_i	Le minimum de temps de fonctionnement de générateur i
MDT_i	Le minimum de temps d'arrêt de générateur i
$\alpha, \beta, \gamma, \xi, \lambda$	Coefficients des émissions de générateurs de productions
$I(r)$	L'absorption
r_{ij}	Distance entre deux lucioles i et j
FA	Algorithme du luciole
BBO	Algorithme de biogéographie
PSO	Algorithme d'essaim de particules
HSI	Qualité de la solution
SIV	Variables du problème d'optimisation
$\lambda(Hi)$	Taux d'immigration
$\mu(Hi)$	Taux d'émigration
NP	Taille de la population
Pm	Probabilité de mutation
n_{elit}	Taille de la mémoire élite
I	Taux d'immigration maximal
E	Taux d'émigration maximal
g_{max}	Nombre maximum de générations
$X(t)$	Position de la particule $P(t)$
$V(t)$	Vitesse de la particule $P(t)$
$Pbest(t)$	Meilleure fitness obtenue pour la particule $P(t)$
$Gbest(t)$	Position de la particule $P(t)$ pour la meilleure fitness
$C1, C2$	Coefficients d'accélération
$C_{1i}, C_{2i}, C_{1f}, C_{2f}$	valeurs initiales et finales de deux coefficients cognitif et social respectivement
w	Facteur de poids

Chapitre 1 : Introduction Générale

1.1 Introduction:

L'énergie électrique de nos jours représente l'artère vitale de notre vie quotidienne et le principal moteur de toute activité économique et commerciale, cette place qu'elle occupe l'a rend incontournable vu sa fiabilité par rapport d'autre énergie naturelle.

L'énergie électrique suit notre rythme économique, elle est depuis les années 70 multipliée par 3.2 en 37 ans pour toucher 19738TWh en 2010, cette chiffre colossale nous montre la place essentielle qu'elle occupe dans l'économie mondiale actuelle.

Le système énergétique composé des centrales de production interconnectées avec des lignes de transmission qui véhiculent l'énergie produite aux consommateurs après plusieurs stades de transformation, l'aspect non stockable de cette forme d'énergie nous oblige de la produire en même temps qu'on la consomme, l'équilibre entre la production et la puissance demandée doit être respecté en temps réel et ce dans la capacité de production des unités de production, ce problème est communément appelé problème de dispatching économique statique (SED).

La puissance demandée est variable dans le temps, les centrales de production s'intéressent en permanence à l'équilibre de production et la consommation qui doit être garder afin de garantir une qualité acceptable de la puissance livrée et de procurer une sécurité d'alimentation accrue, la détermination de l'état optimal de chaque générateur interconnecté dans le réseau électrique durant vingt-quatre heures complique encore la solution du problème envisagé qui ne devient plus statique mais dynamique dans le temps, dans un autre contexte la complexité grandissante du réseau d'aujourd'hui vis-à-vis de sa taille qui comporte des centaines de jeux de barres et de centaines de milliers de kilomètres de lignes de transmission, vu aussi de la structure très complexe du réseau interconnecté, tous ses facteurs exigent

qu'une optimisation de la répartition optimale de la puissance active générée constitue une nécessité impérative et un faible coût représente son but primordial.

Dans cette optique des nouvelles contraintes pratiques liées principalement aux constructions des unités thermiques d'un côté et les conditions imposées par leur système d'exploitation d'autre côté doivent être respectées, l'ouverture des vannes de gaz perturbe la forme quadratique de la fonction objective du coût en l'introduisant une forme fortement non linéaire.

Une nouvelle contrainte s'ajoute pour compliquer encore de plus le problème (DED) c'est la contrainte rampe des générateurs qui ne les permettent pas d'ajuster la puissance active générée d'une heure à une autre que d'une valeur déjà imposée, l'étude effectuée par C.Wang et S.M. Shahidehpour en 1994 portant le nom "Ramp-Rate limits in unit commitment and economic dispatch incorporating rotor fatigue effect"[1] nous explique comment la violation de ces contraintes diminue fortement la vie du rotor par la contrainte de fatigue, imaginant maintenant les lourdes pertes en matière de maintenance, indisponibilité des unités, et pièce de rechange causées par le non-respect de ces contraintes pour un parc qui contient de centaines de générateurs.

A ces contraintes fortement non linéaires s'ajoutent les zones de fonctionnement indésirables liées à la stabilité des unités de production, cette dernière doit travailler en dehors de certains intervalles communément appelés zones de fonctionnement prohibées afin d'éviter des vibrations importantes au niveau des paliers de la machine[2], ces zones de fonctionnement prohibées affectent les unités de production et ce suite aux auxiliaires de la machine principale telles que les pompes et les chaudières[3-4].

La continuité de la fonction du coût s'est altérée cette fois-ci par des sous-régions de fonctionnement isolées entre eux par ces zones prohibées ou la machine ne peut fournir aucune énergie.

Les unités thermiques produisent l'électricité mais en contre-partie dégagent dans l'atmosphère les gaz d'oxyde de soufre SO_x , l'oxyde nitrique NO_x , le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO_2 , ces gaz toxiques et polluants sont néfastes pour les systèmes vivants, non seulement pour l'être humain mais aussi pour la flore et la faune et détruits les écosystèmes aquatiques, c'est pour cela les obligations liées à l'environnement ces dernières années visées dans leur contexte de minimiser le taux d'émission des gaz à effet de

serre et qui a été complétée par la convention de Paris en 2015 insistant avec une vive préoccupation sur l'urgence de combler l'écart significatif entre l'effet global des engagements d'atténuation pris par les parties en termes d'émissions annuelles mondiales de gaz à effet de serre jusqu'à 2020 et les profils d'évolution des émissions globales compatibles avec la perspective de contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C[5] obligent les producteurs de l'électricité de minimiser leur émission de gaz en préservant un coût de production le plus faible possible afin de garder un bénéfice dans un marché concurrentiel totalement libre et acharné, malheureusement cette convention a été éprouvée un choc très violent par la sortie des états unis d'Amérique le premier juin 2017 qui complique l'application de cette dernière sur le terrain. Après la sortie redoutable de l'USA et les événements et enjeux géopolitiques que le monde actuel vit avec inquiétude notamment avec le retour du géant russe sur la scène politique internationale, et l'entrée de l'affaire de Brexit (Britain-exit) qui marquera la sortie du royaume britannique de l'union européenne (UE) pour une date officielle le 29 mars 2019 fragilisera économiquement toute l'Europe ou chaque pays européen cherchera dorénavant son intérêt particulier, on peut conclure d'après tous ce qui précède que cette équation avec deux objectives parfaitement contradictoires industrialisation-diminution de taux d'émission s'avère difficile à solutionner.

Cette thèse dénommée “ *Contribution à l'optimisation multi objective Dynamique du coût et l'émission de gaz considérant les contraintes pratiques et de sécurités* ” a pour but de résoudre le problème de répartition optimale de puissance dont plusieurs objectives ont été considérées à savoir la minimisation du coût total de production de l'énergie électrique sans et avec considération de l'émission, la détermination de l'état optimal de chaque unité de production pendant 24 h avec et sans pertes, notant que cette optimisation multi objectives vise à respecter plusieurs contraintes pratiques liées aux contraintes de l'exploitation et la stabilité des unités thermiques de production d'une part et également plusieurs contraintes de sécurité liées à la stabilité et le bon fonctionnement de notre réseau de transport tels que le respect des niveaux minimaux et maximaux des tensions au niveau de jeux de barres de contrôle et de charges et également le respect des capacités maximales des flux maximaux de puissance transités dans les lignes de transmission.

La sécurité du réseau est un sujet essentiel pour juger l'état de ce dernier et prévoir les plans correctionnels afin de le prévenir contre un éventuel effondrement partiel ou total (black-out) et ses conséquences fâcheuses sur la sécurité et l'économie national du pays, plusieurs facteurs sont influents sur la stabilité et la sécurité d'un réseau de transport parmi-lesquelles on cite les conditions météorologiques prépondérantes, surcharges maximales, avaries touchant le système énergétique telles que perte d'une ou plusieurs unités de production, court-circuit d'une ou plusieurs lignes de transmission, protection non optimisée, compensation de l'énergie réactive non dynamique...etc, à titre d'exemple l'Algérie a vécu en 2003 un black-out survenant sur le réseau nord algérien (RIN) en février 2003 suite à une interruption de deux générateurs de production de 360MW à Elhamma et ce après un soutirage de 4476 MW, le rétablissement de ce réseau avait besoin 03 heures[06], imaginant maintenant le nombre des foyers privés de l'électricité dans le nord Algérien en plein froid durable et intense, en France ou la consommation est fortement dépendante avec la température et pour un pays comptant de très nombreux chauffages électriques, notant que pour chaque degré en moins la consommation peut augmenter jusqu'à 2400MW [7] et en se référant à la vague de froid qui avait touché le pays en février 2012 ou le réseau français a enregistré un pic proche de l'historique à 102000 MW et qui a conduit à penser cet hiver (2019) à trois scénarios repère permettent d'évaluer la variation de consommation[7] :

- ✓ 85000MW aux températures moyennes de saison.
- ✓ 100000MW en cas des vagues de froid décennales à 6.5 C° en moyenne sous les normales de saison au cœur de l'hiver 2019.
- ✓ 109 000MW en cas de vagues de froid centennales à 12 C° en moyenne sous les normales de saison en janvier et février 2019.

Dans cette même logique D^f Mahdad Belgacem a focalisé la lumière sur l'étude de sécurité de réseau dans son article "Blackout risk prevention in a smart grid based flexible optimal strategy using Grey Wolf-pattern search algorithms", l'auteur a étudié le développement d'un plan énergétique flexible répandant aux situations critiques du réseau afin d'en prévenir contre un fort probable black-out et ce en pensant aux plusieurs scénarios tels que :

- ✓ Perte d'une unité de production.
- ✓ Perte d'une ligne de transmission importante.
- ✓ Charges maximales imposées.

L'auteur a poussé le système en premier lieu à sa stabilité marginale, en deuxième lieu les variables de contrôles de générateurs, la puissance réactive de système FACTS sont ajustés en coordination avec la minimisation de la puissance réactive pour des charges critiques afin de maintenir le système dans un état de sécurité en garantissant enfin la continuité de service recherchée. Trois niveaux de risque sont considérés :

Le premier niveau : Etude de dispatching économique et l'écoulement de puissance optimal(OPF) à des conditions normales (OPF standard).

Le deuxième niveau : Etude de l'écoulement de puissance sécuritaire (SOPF).

Le troisième niveau : Etude de (SOPF) dans des conditions sévères de stabilité et de charges.

Dans cette thèse on peut clairement palper que toutes ces contraintes totalement sévères et fortement non linéaires minimisent largement l'espace de recherche à savoir :

- ✓ Contrainte d'égalité: qui détermine la satisfaction de l'offre à la demande.
- ✓ Contraintes d'inégalité: qui respectent les seuils de production minimaux et maximaux des générateurs de production.
- ✓ Les contraintes rampes des générateurs.
- ✓ Les zones de fonctionnement prohibées.
- ✓ Les contraintes minimales et maximales de niveau de tension de jeux de barres de contrôle.
- ✓ Les déviations de tensions de jeux de barres de charge.
- ✓ Les capacités maximales de lignes de transport.

La fonction objective, les variables de contrôle, et les contraintes d'optimisation sont largement discutés dans les futurs chapitres.

Dans cette thèse on a appliqué plusieurs algorithmes d'intelligence artificielle pour résoudre notre problème d'optimisation multi-objectives à savoir l'algorithme d'optimisation par essaim de particules à coefficient d'accélération variable (PSOTVAC), l'algorithme de luciole (FA), l'algorithme biogéographie (BBO) dont plusieurs réseaux tests ont été envisagés tels que les réseaux test 6, 10, 13, 14 unité (118 jeux de barres), 15 unités et le grand réseau test 30 unités avec et sans pertes.

Trois algorithmes hybrides ont été développés dans ce travail tels que (FA-PSOTVAC), le (BBO-PSOTVAC), et l'algorithme (FA-BBO) qui sont appliqués à la dite optimisation afin d'améliorer la qualité de solution offerte respectant toutes les contraintes imposées d'une part et en gardant un temps de calcul le plus minimum d'autre part.

En se basant sur les travaux de **Dr. MAHDAD Belkacem** dans le domaine de l'optimisation et en se référant à son expérience concrétisée par ses algorithmes développés dans plusieurs articles à savoir les algorithmes génétiques dans l'article [8], adaptive flower pollination algorithm (APFPA)[09], l'algorithme d'essaim de particules réalisés dans le travail[10], l'algorithme à évolution différentielle [11], Grey Wolf-pattern search algorithm dans l'article [6] et en se basant sur ses algorithmes hybrides développés et qui sont caractérisés à la fois par leurs résultats efficaces et leur robustesse pertinente avoué dans la thèse de V. R. Roberge dénommée « Contribution à l'optimisation des réseaux électriques intelligents par le développement d'un cadre pour métaheuristiques parallèles sur processeurs graphiques »[12], on a pu s'inspirer de bonnes idées qui sont traduites efficacement dans ce travail.

Cette thèse a été réalisée au sein du laboratoire de modélisation des systèmes énergétiques (LMSE) de l'université de Biskra représente une contribution à l'optimisation multi-objectives du coût et de l'émission de gaz à effet de serre en respectant les contraintes pratiques imposées par les unités de production et les contraintes de sécurité imposées par les capacités de transport et les niveaux de tension de jeux de barres de contrôle et de charges en exploitant les performances et la robustesse des algorithmes d'optimisation globales.

1.2 Etat de L'art :

Beaucoup de méthodes mathématiques ont été utilisées pour résoudre le problème de dispatching économique tout en exploitant les caractéristiques mathématiques de la fonction du coût à savoir la continuité, la dérivée le hessien...etc, K.Chandran et al ont réalisé une comparaison entre la solution de la méthode itérative de lamda (lamda itérative) et le nouvel algorithme méta-heuristique de brent "Brent method" pour résoudre le problème de dispatching économique dynamique avec pertes et contraintes rampes [13], J.Y.Fan et al ont appliqué la programmation dynamique pour apporter une solution au dudit problème en traitant cette fois-ci les zones de fonctionnement prohibées [14], les contraintes de réserves sont traitées par Frennd N.Lee et ce par l'application de la relaxation lagrangienne (lagrange

relaxation method)[15], la même méthode a été appliquée cette fois par Vinod MRaj et al pour envisager le problème de l'engagement des turbines [16], Wanamdi Nwulu a résolu le problème (DED) en tenant compte l'effet de l'émission en employant la méthode de programmation quadratique[17], ces méthodes sont rapides et n'ont besoin qu'un seul lancement pour aboutir à la solution optimale or elles restent incapable devant la multitude de contraintes sus expliquées, les méthodes d'optimisation conventionnelles ne peuvent palier tout l'espace de recherche en quête du faible coût parce qu'elles se bloquent dans un optimum local est non global avec un temps de calcul exagéré inutile de les appliquées en temps réel.

L'application des méthodes de l'intelligence artificielle y représentent une alternative plusieurs techniques ont été développées et appliquées telles que les algorithmes génétiques (GA)[8], l'optimisation par essaim de particule (PSO)[18] et leurs versions modifiées, Vinay Kumar Jadoun et al ont utilisé la version modifiée de PSO appelée l'optimisation par essaim de particule modulé (Modulated particles swarm optimization) pour résoudre le problème de dispatching économique multi objectives[19], M.Basu a employé la méthode d'optimisation cinétique des molécules de gaz (Kenetic gaz molecule optimiszation) pour résoudre le problème de dispatching économique statique [2], Debashis Jana et al ont appliqué la méthode modifiée de l'algorithme génétique à codage réel (the Modified Real Coded Genetic Algorithm (MRCGA) pour résoudre le dispatching économique dynamique multi objectives (DEED)[20], Ambo.Meng et al ont traité le (DED) de grande taille par la méthode de l'entrecroisement Crisscross optimization algorithm[21], Dinh Hoa Nguyen et al ont proposé la technique des multiplicateurs de direction alternative (the Alternating Direction Method of Multipliers) (ADMM) pour résoudre le problème de dispatching économique environnemental [22], R. Balamurugan a utilisé la technique à évolution différentielle pour solutionner le problème de(DED) avec contraintes rampes [23]. Bishwajit Dey et al a résolu le dispatching économique pour les micro-réseaux avec intégration des sources renouvelable en employant l'algorithme à évolution différentielle [24], Suppakarn Chansareewittaya a apporté une modification à l'algorithme standard (DE), cet algorithme est dénommé (DE/sin) est pour but de traiter le problème de dispatching économique statique environnemental (SEED), l'idée de l'auteur est de créer une variation dynamique sinusoïdale au coefficient scalaire utiliser dans l'équation de mutation (scaling factor) qui est généralement posé 0.5 dans l'algorithme standard, en conséquence cette variation améliore la mutation est évitée les solutions locaux [25],Vinary comar jadoun et al ont employé le nouvel algorithme

stochastique feu d'artifice (firework) (FWA) pour résoudre le problème de dispatching dynamique en introduisant des sources de l'énergie renouvelable solaires et éoliennes[26].

Afin de palier tout l'espace de recherche limité par ce nombre important de contraintes et leur forte non linéarité d'une part et résoudre le problème de (DED) de grande taille d'autre part plusieurs algorithmes hybrides ont été proposés, Hassan Barati et al ont utilisé le (PSO-GA) modifié (modified particle swarm optimization and genetic algorithm) pour résoudre le problème de dispatching statique avec zone prohibées, contraintes rampes et avec multi fuel[27], Pengpeng Yang et al ont proposé la méthode hybride (MILP-MDSD) pour résoudre le problème de dispatching économique dynamique avec effet de valves [28], R. Balamurugan et al utilisent la programmation dynamique améliorée (improved dynamic programming) (IDP) qui constitue la méthode récursive de la programmation dynamique pour résoudre le problème de dispatching économique avec la contrainte de zones prohibées et rampes[29], R. Arul et al ont utilisé l'algorithme chaotique auto adaptative (Chaotic self-adaptive differential harmony search algorithm (CDHS) pour traiter le problème de dispatching économique dynamique envisageant les zones prohibées d'une part et les contraintes rampes d'autre part [30], Zhaolong Wu et al proposent la méthode méta-heuristique dénommée programmation linéaire en nombres entiers mixtes à deux niveaux (two-stage mixed integer linear programming) (TSMILP) pour résoudre le problème de dispatching économique dynamique en considérant les effets de valves et les pertes de transmission [31], Zwe-Lee Gaing et al utilise la programmation évolutionnaire rapide avec essaim de direction (Fast Evolutionary Programming with Swarm Direction) pour traiter dudit problème [32], M. S. P. Subathra applique la technique hybride de l'Entropie croisée et la programmation quadratique séquentielle (Cross-Entropy Method and Sequential Quadratic Programming) pour envisager le même problème [33].

L'algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO) proposé pour la première fois en 1995 par Kennedy et Eberhart [34], et ses versions modifiées telle que l'algorithme (PSOTVAC) qui additionnement au processus de recherche de (PSO) standard inspiré de travail collectif du groupe chez les oiseaux, on trouve que l'expérience de l'individu dans cette version s'ajoute à l'expérience du groupe pour aboutir à la solution souhaitée rassemble aussi le pouvoir de recherche guidé par les deux facteurs cognitif et social qui sont variables dans le temps ce qui nous offre d'une manière avantageuse une meilleure exploration de recherche en surclassant les optimums locaux.

Dans la littérature on cite plusieurs travaux appliquant cet algorithme à savoir les travaux de Mohammadi–ivatloo et al[35], qui a appliqué l'algorithme (PSOTVAC) pour solutionner le problème de dispatching économique dynamique avec fonction nonlinéaire.

La théorie de la méthode de biogéographie apparue pour la première fois par R. Mac Arthur et E. Wilson [36] ou son algorithme d'optimisation à base de biogéographie "*Biogeography based optimization*" (BBO) a été développé par Simon en 2008 [37] et appliqué par Aniruddha Bhattacharya [38] pour solutionner le problème d'optimisation de la répartition optimale statique.

Le dispatching environnemental a été traité par la même méthode dans le travail de Chandan Kumar Chanda[39], Rajasomasheka. S[40] utilisant le même algorithme pour solutionner le même problème.

L'algorithme de luciole en anglais Firefly algorithm est une méta-heuristique, introduite par D^rXin-She Yan de l'université de Cambridge en 2007. L'algorithme est basé sur le principe d'attraction entre les lucioles via leur lumière émise, qui sert comme un moyen de communication, cet algorithme est caractérisé par sa puissance stratégie de recherche, il est employé pour résoudre des problèmes d'optimisation difficile, D^r Mahdad a utilisé une hybridation de cet algorithme pour traiter le problème de l'écoulement optimal de puissance en considérant la stabilité marginale des charges [41], Xin-She Yang et al ont exploité cet algorithme pour traiter le problème de dispatching économique considérant l'effet de valves [42], Abhishek Rajan et al ont traité le problème de répartition de la puissance réactive utilisant la technique Nelder–Mead simplex basée sur l'algorithme (FA) [43], Apostolopoulos Theofanis et al ont appliqué l'algorithme (FA) pour solutionner le problème de dispatching économique environnemental [44].

1.3 Contribution de la thèse :

Cette thèse représente l'application des algorithmes globales à la résolution du problème de répartition optimale de puissance multi objectives à savoir le (PSOTVAC), le (BBO) et le (FA), cette optimisation est sujet de multitude de contraintes pratiques des générateurs afin d'arriver à formuler le problème réel, la caractéristique non linéaire de la fonction objective du coût affectée par l'effet de l'ouverture des vannes d'admission de gaz d'une part et les contraintes imposées à l'exploitation de nos générateurs thermiques lors de

l'augmentation ou la diminution de la production d'autre part classent notre problème à la catégorie des problèmes d'optimisation qualifiés difficiles.

Trois approches hybrides ont été développés entre l'algorithme de luciole (FA), l'algorithme (BBO) et l'algorithme d'optimisation par essaim de particules à coefficient d'accélération variable (PSOTVAC) dénommées respectivement (FA-PSOTVAC), (BBO-PSOTVAC) et (FA-BBO) pour traiter ladite optimisation, c'est dans cette logique que les approches proposées viennent d'être surclasser les contraintes fortement non linéaires suscitées pour obtenir le faible coût possible d'une part en respectant toutes les contraintes pratiques du système d'autre part, les solutions ainsi obtenues sont menues de larges interprétations et comparaisons avec d'autre résultats parus dans la littérature à savoir les résultats de Anbo Meng utilisant la nouvelle méthode de l'entrecroisement (Crisscross optimization algorithm) appliquée à ladite optimisation [21], les solutions de R.Arul utilisant la technique chaotique auto adaptative (Chaotic self-adaptive differential harmony search algorithm) traitant toujours le même problème [30], Gaing Zwe-Lee, et al dans l'article "Dynamic economic dispatch solution using fast evolutionary programming with swarm direction" [32], Zwe-Lee Gaing Dans son travail "Constrained dynamic economic dispatch solution using particle swarm optimization"[45] et plusieurs d'autres résultats parues dans la littérature.

Les résultats ainsi obtenus prouvent clairement la puissance de la stratégie de recherche chez nos algorithmes hybrides en matière de qualité de solution calculée et caractéristique de convergence.

1.4 Organisation de la thèse :

Cette thèse comporte cinq chapitres qui sont respectivement :

Un premier chapitre dénommé introduction générale qui représente une exposition de l'optimisation *multi objective Dynamique du coût et l'émission de gaz considérant les contraintes pratiques et de sécurités*, les contraintes imposées du système sont largement expliquées, la notion multi-objectives est bien détaillée notamment les obligations envers l'environnement que le monde a accentué récemment le respect et l'application de ces dernières, puis un état de l'art de notre problème qui a été présenté en expliquant les étapes et les principaux travaux qui ont été réalisés pour résoudre ce problème.

Le deuxième chapitre nommé généralité sur les systèmes énergétiques focalise la lumière sur le rôle et l'architecture du réseau algérien de transport.

Les plans de développement connus pendant cette dernière décennie en Algérie notamment le secteur agricole qui a connu un saut inédit sollicitant une augmentation incessante de l'électricité, pour faire face à cette importante demande un plan d'investissement 2015-2025 en matière de production et de transport a été réalisé, cependant ce chapitre donne des chiffres clés en matière de ces investissements qui expliquent l'importante évolution que connue récemment ce secteur stratégique en Algérie.

Le troisième chapitre dénommé problème de l'engagement des turbines est divisé en trois parties le premier offre une étude statistique sur les valeurs des émissions de CO₂ dans le monde en concentrant sur la part du secteur de production de l'électricité par les centrales thermiques.

Le deuxième a pour but d'expliquer le problème de dispatching économique dynamique en traitant :

- La fonction objective à envisager mono et multi-objectives.
- La modélisation des équations des contraintes à savoir :
 - ✓ Les limites de production inférieures et supérieures.
 - ✓ Les contraintes rampes.
 - ✓ Les zones de fonctionnement prohibées.
 - ✓ Modèle des unités avec plusieurs types de combustibles.
 - ✓ Contrainte de puissances maximales transitées par les lignes de transmission.
 - ✓ Les limites minimales et maximales de valeurs de tension de générateurs de production.
 - ✓ Les limites minimales et maximales de tension au niveau de jeux de barres de charge.

La troisième partie aborde le problème de l'engagement des turbines traitant les différentes contraintes liées à ce problème telles que :

- ✓ Contrainte de demande.
- ✓ Coût de démarrage et de l'arrêt.
- ✓ Contrainte de limites de puissances actives de générateurs.
- ✓ Contrainte de temps.

Le quatrième chapitre nommé les méthodes d'optimisation méta-heuristiques envisage en détail les méthodes d'optimisation de l'intelligence artificielle employées dans cette thèse notamment le (PSOTVAC), le (FA), le (BBO) en expliquant leur processus de recherche et leurs équations régissant au fonctionnement de ces algorithmes.

Le cinquième chapitre représente la partie pratique de cette thèse qui est structuré en 08 cas d'étude portant plusieurs réseaux tests mentionnés plus haut traitant notre problème avec différentes contraintes sus-expliquées, nos solutions trouvées par plusieurs algorithmes standards et hybrides sont sujet de plusieurs comparaisons avec celles trouvées dans la littérature, dans ce stade des tableaux de comparaison envisageant le coût optimal, le temps d'exécution, la taille de population, le nombre de génération, les pertes de transmission, et les violations des contraintes sont bien détaillés et expliqués dans chaque test.

Finalement on termine chapitre par une perspective qui représente une continuité de ce travail dans cet axe de recherche.

Chapitre 2: Les systèmes énergétiques

2.1 Introduction:

Le réseau de transport assure la liaison entre les centres de production et les zones de consommation, l'exploitation du système production-transport doit permettre de faire face à la demande et aux différentes avaries qui peuvent l'affecté telle que perte d'une ligne, perte d'un groupe de production, un court-circuit survenant affectant une partie de ce réseau, écroulements de tension, fluctuation de fréquence...etc d'en limiter les conséquences.

Les gestionnaires des réseaux veillent en permanence de garder un équilibre entre l'offre et la demande, une réserve toujours doit être mobilisée pour faire face à une augmentation éventuelle de la demande afin d'éviter les surcharges des lignes et les alternateurs et les conséquences désastreuses que les suivent à savoir la perte d'une ou la totalité de ce réseau.

Cette équilibre impose que tous les groupes qui produisent de l'électricité fonctionnent en synchronisme, notant que les capacités de transport sur les lignes sont limitées par les seuils de surcharges admissibles et par les marges de sécurité liées au niveau de tension, le gestionnaire devra donc agir sur la fréquence et la tension afin d'assurer le bon fonctionnement du réseau.

Cependant une baisse brusque de consommation peut apparaître dans le cas d'un court-circuit en ligne durant 100 à 200 ms qui représente le temps d'élimination du défaut, la régulation rapide de vitesse n'a pas le temps d'agir et la puissance utile est nulle. La puissance non délivrée est accumulée sous forme d'énergie cinétique sur les arbres des alternateurs qui s'accélèrent et la fréquence augmente. Lorsque la liaison est rétablie, le renvoi de ce surplus d'énergie sur les lignes génère des oscillations qui peuvent conduire au décrochage. Pour garantir la stabilité de notre système énergétique, le gestionnaire doit contrôler un paramètre appelé angle de transport qui doit rester inférieur à 20° .

2.2 Le réseau de transport et d'interconnexion Algérien :

l'étendue des distances géographiques qui séparent les centres de production généralement localisés dans le nord algérien d'une part et les centres de consommation dispersés sur tout le territoire national notamment le sud algérien nécessitent d'implanter un réseau électrique capable de supporter et véhiculer cette énergie sur de grandes distances avec une fiabilité accrue.

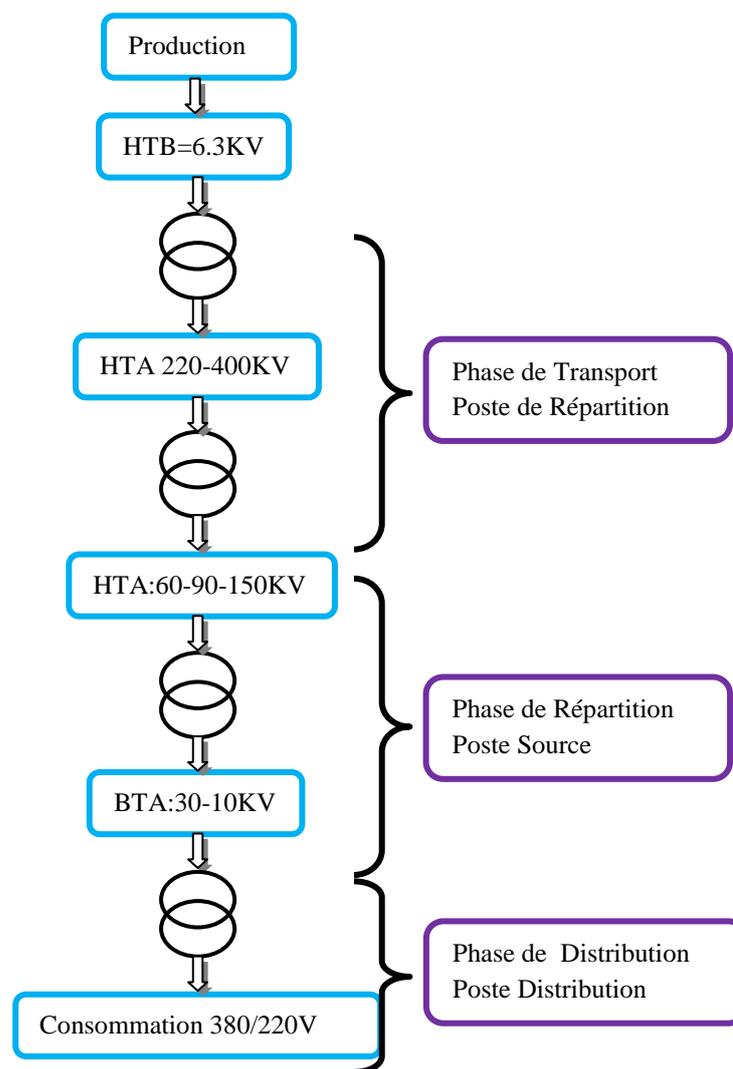


Figure 2.1: Logique de transport du réseau électrique algérien

Ses lignes comportent plusieurs niveaux de tension à savoir 60-90-150-220-400KV (Figure 2.1) atteignent des milliers de kilomètres avec une longueur qui devront aller jusqu'à 59552 Km en 2025, cette évolution incessante représentée par la figure (2.2) [46] reflète

l'augmentation notable de la consommation dans notre pays, il est intéressant dans ce chapitre de donner un coup d'œil sur le montant global du plan de développement du transport de l'électricité en Algérie pour la période 2015-2025 qui s'élève à 1517041 MDA afin d'imaginer l'importance donnée par l'état au développement de ce secteur stratégique.

Plusieurs postes de transformation relient ces réseaux entre eux et représentent ainsi le maillon fort du système de transport national sont aussi dotés d'une réhabilitation et d'un développement nettement remarquable concrétisé par le plan de développement 2015-2025, en effet 537 nouveaux postes seront installés pour que le nombre total de postes et avant-postes sera de 834 à l'horizon 2025 avec une puissance installée de 142160MVA[46], le développement du nombre de transformateurs de puissance est celui indiqué dans la figure (2.3)[46].

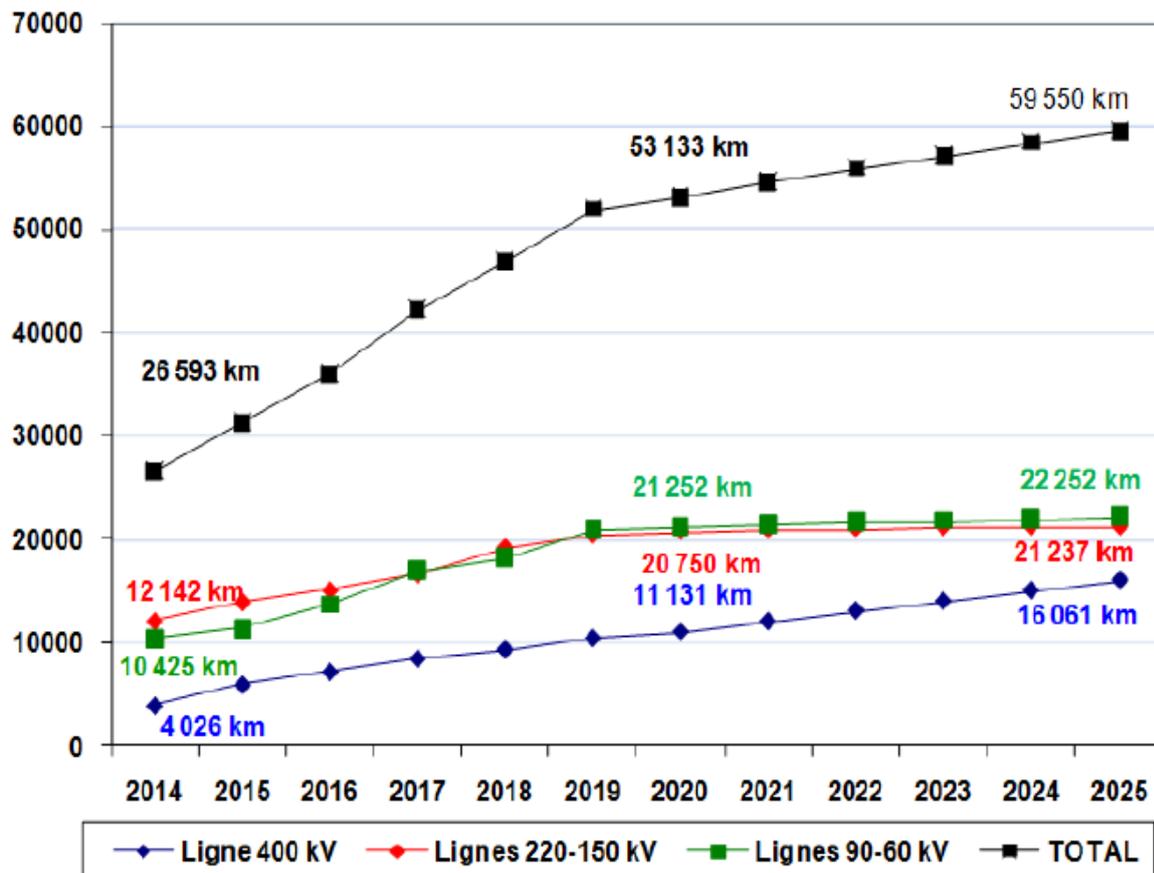


Figure 2.2: Développement du réseau de transport Algérien

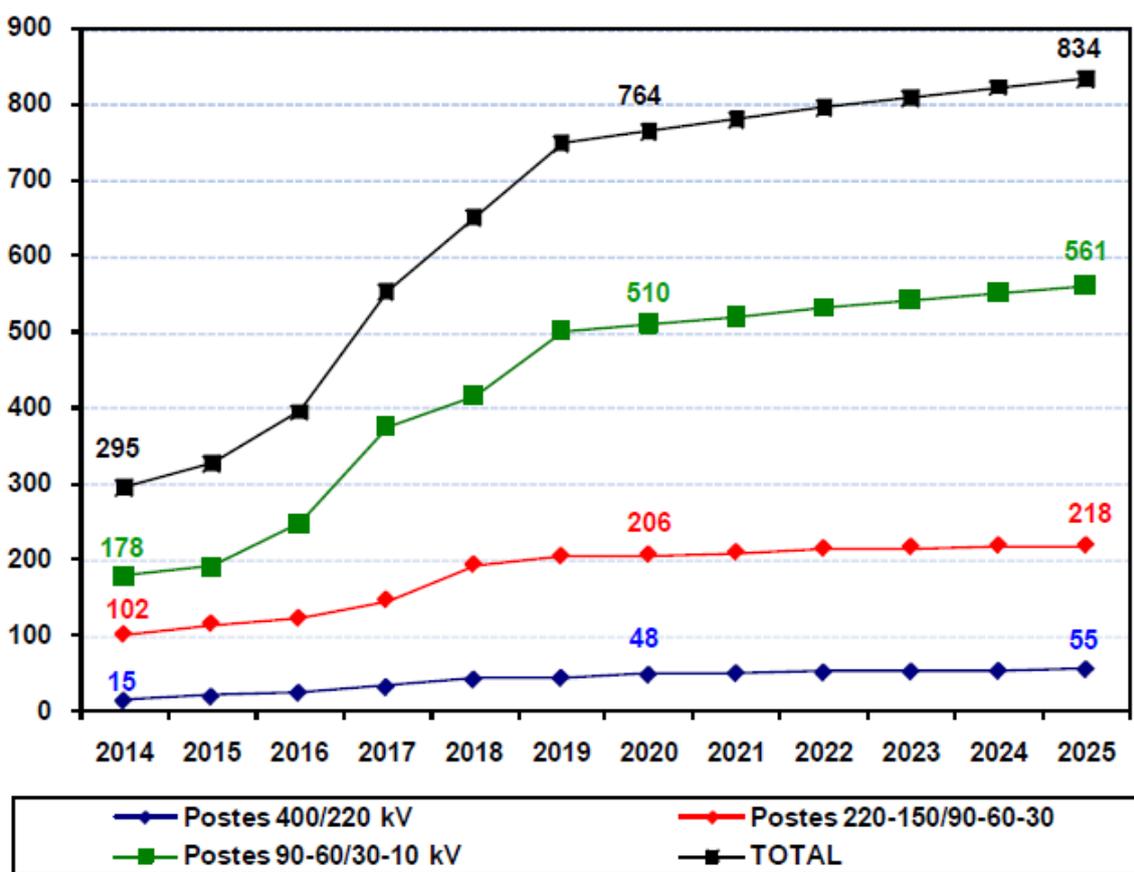


Figure 2.3: Evolution du nombre de postes électriques

Le réseau de transport national assure plusieurs rôles qui sont les suivants :

- **Une fonction de Transport :** dont le but est de véhiculer l'électricité des centres de production aux centres de consommation.
- **Une fonction d'interconnexion nationale :** qui assure la liaison entre le réseau d'interconnexion nord (RIN) par le réseau d'interconnexion sud (RIS), notant que ce dernier tire une partie de son énergie depuis le réseau d'interconnexion nord avec un flux de puissance qui sera augmenté de 342 MW à l'horizon 2025 le réseau de transport national est abordé par la figure (2.4) [47].
- **Une fonction d'interconnexion internationale :** Pour gérer des flux d'énergie entre l'Algérie et ses voisins Sonelgaz a établi les connexions suivantes:

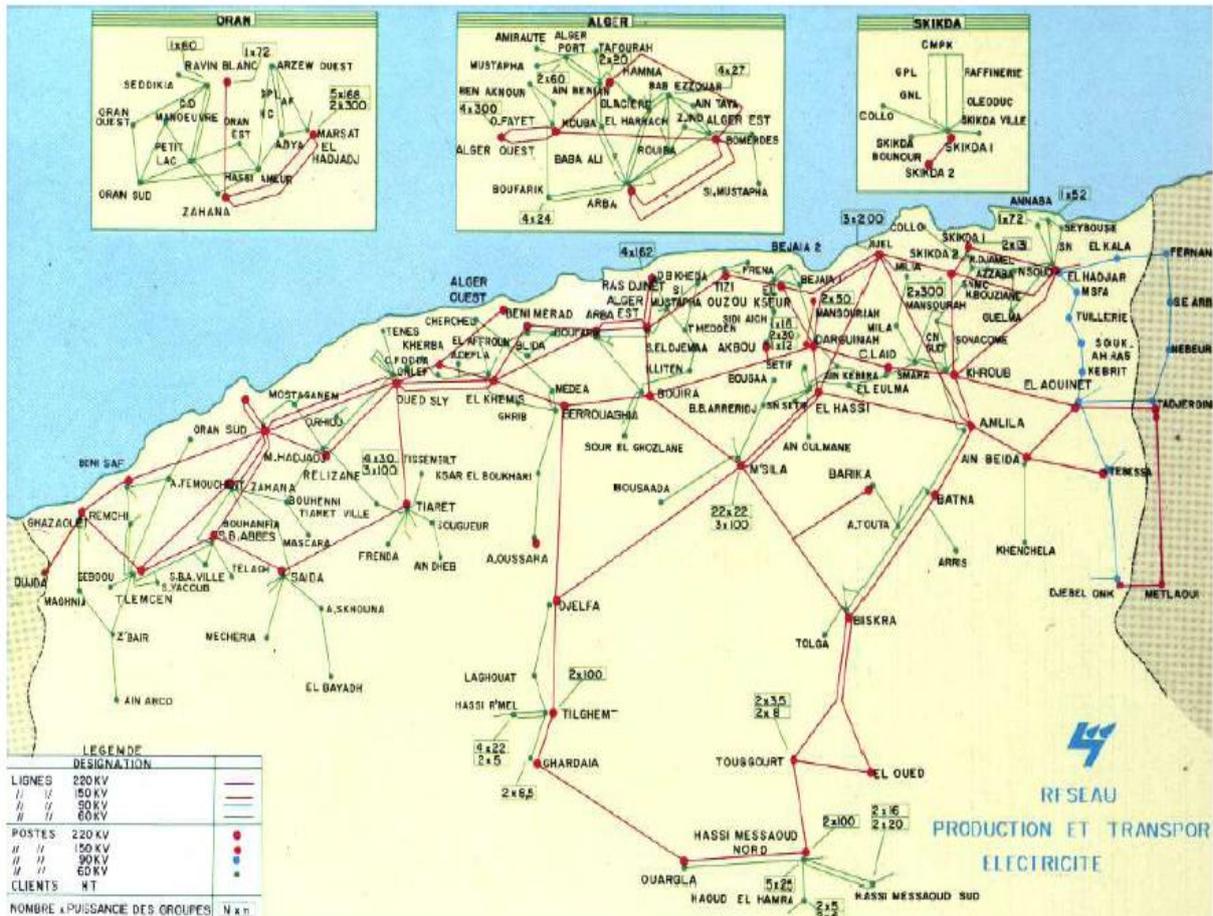


Figure 2.4: Schéma unifilaire du réseau de transport Algérien

2.2.1 Interconnexion Magrébine:

Dans le cadre d'une coopération énergétique efficace le réseau de transport électrique algérien est doté de nouvelles liaisons en très haute tension 400KV entre le Maroc et la Tunisie, ces nouvelles interconnexions viennent renforcer les lignes déjà existantes et qui sont construites au fil des années en sécurisant l'approvisionnement en énergie de nos voisins limitrophes.

Avec la Tunisie :

- ✓ El Aouinet-Tadjerouine en 90 kV (1952).
- ✓ El Kala-Fernana en 90 kV (1954).
- ✓ El Aouinet-Tadjerouine en 220 kV (1980).
- ✓ Djebel Onk-Metlaoui en 150 kV (1984).
- ✓ Cheffia-Djendouba en 400 kV (2014)

Avec le Maroc :

- ✓ Ghazaouet-Oujda en 220 kV (1988).
- ✓ Tlemcen-Oujda en 220 kV (1992).
- ✓ HassiAmeur –Bourdim en 400 KV (2010).

2.2.2 Interconnexion méditerranéenne :

Dans le but d'établir un système électriques méditerranéen interconnecté entre l'Algérie et la rive nord du méditerranéen un protocole de coopération entre la société Sonelgaz et le gestionnaire du réseau méditerranéen Medgrid a été signé le 11 septembre 2013, il porte essentiellement sur les études de faisabilité technique liées au développement des réseaux et des interconnexions.

L'accord porte également sur les aspects techniques du développement des interconnexions transméditerranéennes en vue d'étudier la possibilité d'exportation de l'électricité produite de sources renouvelables entre les rives sud et nord de la méditerranée et sur l'évaluation des bénéfices économiques et environnementaux objet d'une exploitation optimisée de l'ensemble euro-méditerranéen interconnecté, un accord fait pour renforcer le développement industriel de l'énergie renouvelable des déserts et des réseaux de transport associés. [46]

2.3 Plan prévisionnel de production de l'électricité en Algérie :

L'évolution de la consommation pendant ses dernières années expliquée par la Figure (2.5)[48] et le pic de consommation historique que vécu l'Algérie en été 2013 avec une puissance maximale appelée (PMA) enregistrée sur le réseau interconnecté nord (RIN) qui a été atteinte 10 464 MW le 07 août 2013 donnée par la figure (2.6) [49], en évolution de près de 7% par rapport à la PMA de l'été 2012 [49] et la puissance maximale appelée sur l'ensemble des réseaux électriques algériens (RIN, PIAT et RIS) atteinte au total 10 904 MW durant l'été 2013 et représentée dans le tableau (2.1)[49] a poussé la société de production de l'électricité d'établir un plan de développement qui vise à développer les capacités de production, de transport et de distribution sur l'ensemble du réseau national, cette dernière s'est intéressée de développer ces infrastructures électriques ce qui a permet également de conclure un contrat signé entre la société de production de l'électricité (SPE) et la firme général electric (GE) qui s'élève à près de 1, 9 milliard de dollars. En effet, (GE) s'est engagé, dans le cadre d'une société en partenariat, à réaliser un complexe industriel de fabrication en

Algérie de turbines à gaz et des turbines à vapeur, des alternateurs ainsi que leurs systèmes de contrôle commande et qui produira des équipements fabriqués en Algérie généreront ainsi environ 2 000 MW par an à partir de 2018[50].

Cette opération est sans conteste la plus importante dans l'histoire de l'électricité en Algérie et aussi la plus innovante par sa démarche fondée sur une vision industrielle stratégique [46].

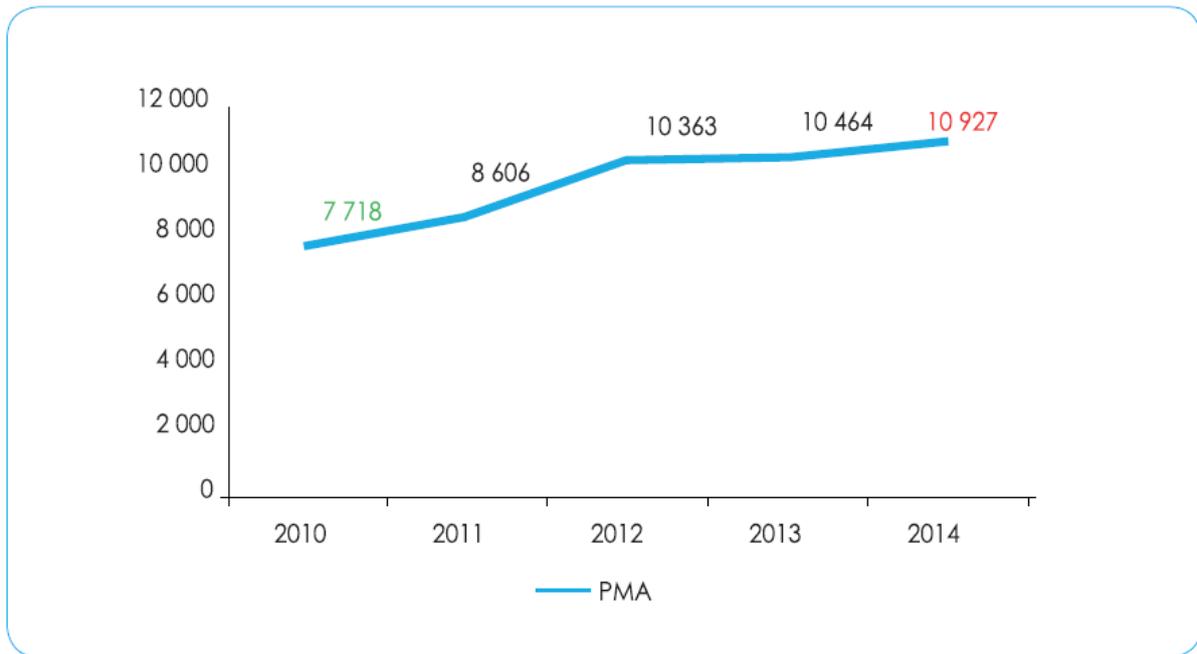


Figure 2.5: Evolution de PMA en Algérie

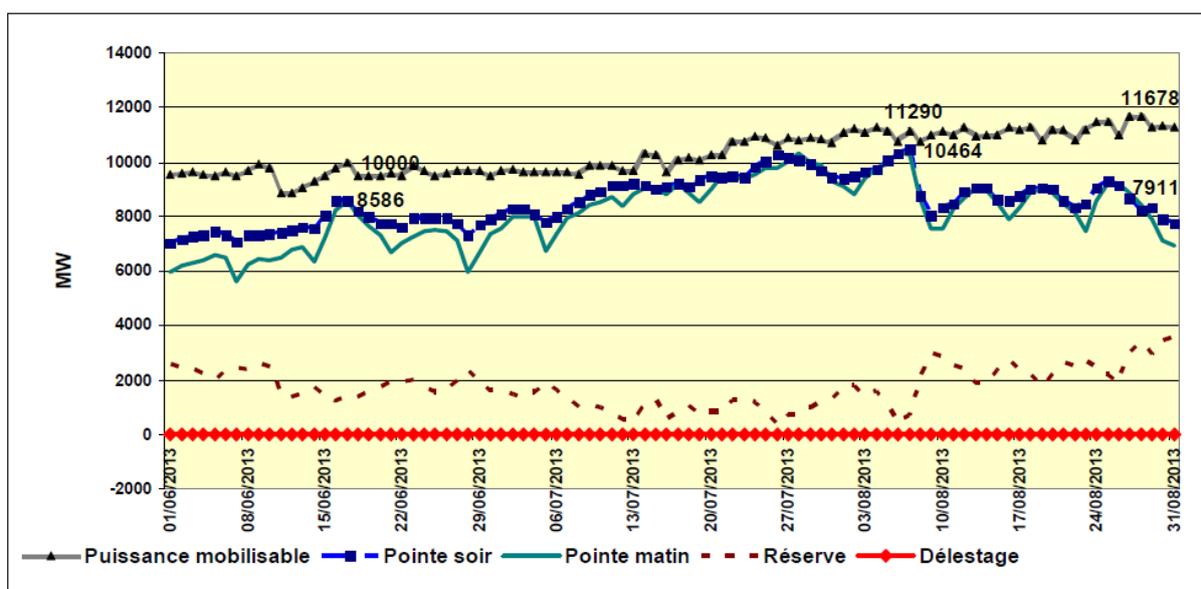


Figure 2.6: Evolution de la PMA sur le RIN durant l'été 2013



Figure 2.7: Pointe soir 2013 comparée à la pointe soir 2012

Tableau 2.2.1: Puissance Maximale appelée durant l'été 2013

Réseau	Puissance Maximale Appelée (MW)	Puissance disponible (MW)
RIN	10 464	11 515
PAT	232	243
RIS	208	391
TOTAL	10 904	12 149

La capacité de production additionnelle nationale prévue sur ce plan qui s'étale à l'horizon 2025 est et réalisé pendant la période 2015-2025 est de 27800 MW (tous réseaux confondus) dont 15 385 MW décidés et 12 415 MW en idée de projet dont 12150 MW sur le (RIN) et 265 MW sur les (RIS), les 15 385 MW déjà décidés sont réparties comme suit :

- ✓ 14 150 MW pour le réseau nord(RIN),
- ✓ 340 MW en turbine à gaz (TG) pour le pole Inaminas-Tamenrast (PIAT),
- ✓ 495 MW dont 153 MW en diesel et 342 MW en turbines à gaz pour le réseau sud (RIS) qui seront transférées à partir du (RIN).
- ✓ 400 MW en photovoltaïque (PV).

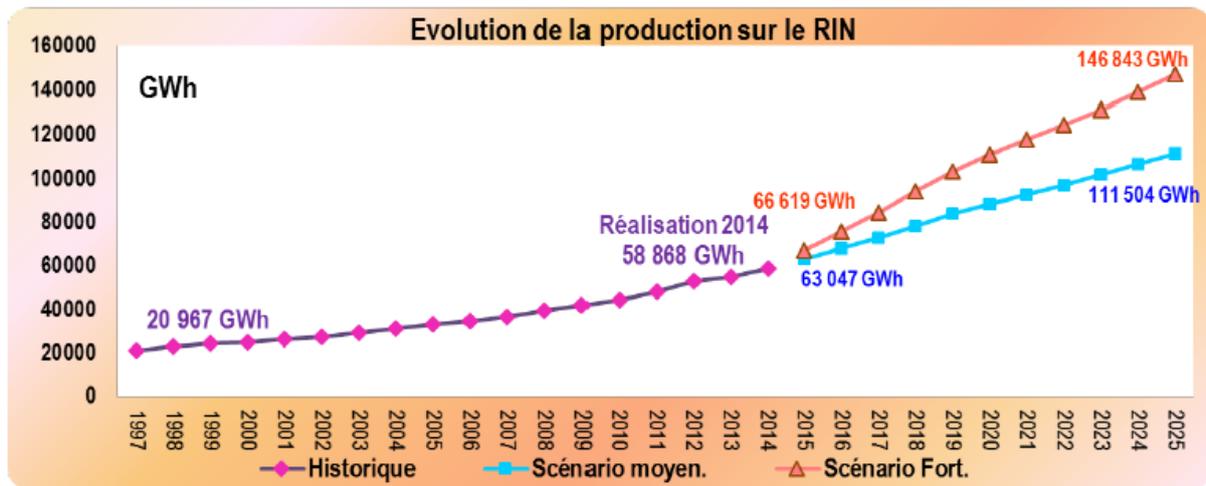


Figure 2.8: Evolution de la production sur le RIN

2.4 Réseaux Isolés du Sud (R.I.S) :

Pour la période 2015 - 2025, la capacité à installer est de l'ordre de 760 MW dont 495 MW décidé (342 MW en turbine à gaz et 153 MW en diesel) et 265 MW en idée de projet (200 MW en turbines à gaz et 65 MW en diesel), le montant des investissements prévus sur la période 2015 – 2025 s'élève à 65 000 MDA dont 22 485 MDA pour les groupes décidés (diesel et Turbines à gaz) et 42 515 MDA pour les groupes en idée de projet [46].

2.5 Energie renouvelable:

Des efforts importants ont été déployés par l'état portant sur la diversification des sources d'approvisionnement énergétique. Le lancement des projets de construction des fermes solaires et éoliennes dans le sud et les régions des hauts plateaux afin de faire face à une demande en pleine croissance de l'énergie électrique représente une nécessité absolue pour le groupe.

Ces efforts ciblant d'économiser les énergies fossiles sont rendus nécessaires pour préserver davantage nos réserves en gaz naturel et ce d'autant plus que le parc algérien de production d'électricité est essentiellement basé sur cette ressource épuisable [40], des projets de centrales photovoltaïques totalisant près de 400 MW de capacité répartie sur environ 20 sites à travers le pays dont le montant lié à la réalisation s'élève à 92 571 MDA[46].

Dans ce domaine, la ferme éolienne d'Adrar d'une capacité de 10 MW, a été mise en service en 2014, la politique de développement des énergies renouvelables prendra son essor avec la réalisation du projet de fabrication des modules photovoltaïques, ce projet permettra

d'installer d'ici 2024 pas moins de 1 300 MW en PV et 1 530 MW en concentrateur solaire (CSP).[50]

Le plan national des énergies renouvelables, a permis de concrétiser la construction d'une centrale électrique solaire à concentration thermique à Beni Abbes (230 km au sud de Bechar), qui a été réceptionnée en 2015 est conçue principalement pour doter les capacités de production d'électricité de cette wilaya par 150 MW afin de participer au développement croissant de l'agriculture et l'industrie.

Des projets commencés en 2013 sont en cours de l'étude relatif à l'exportation de 1000 MW d'origine renouvelable de l'Algérie vers le marché européen dont 10% dédiés au marché local, l'étude a été entamée comportant le financement ainsi que des analyses sur le potentiel et les sites d'installation de centrales CSP, PV et éoliennes ont été pré-sélectionnés et ce en considérant le potentiel ainsi que d'autres critères de pertinence et de sélection de sites (vitesse du vent, irradiation solaire, proximité du réseau de transport d'électricité, présence d'eau, etc) tout en concentrant la lumière sur les technologies des énergies renouvelables à employées.

2.6 Mécanisme d'un écroulement de tension :

Les flux de puissance sur les différentes lignes dépendent de la topologie du réseau et des charges qui y sont connectées.

Une surcharge de la ligne apparaît lorsque celle-ci transporte plus de puissance qu'elle ne peut en supporter. Cette limitation est due à une valeur du courant qui, par effet Joule causée une chute de tension, par exemple en 400 kV une ligne sera déclenchée au bout de :

- ✓ 20 min si elle est en surcharge de 130 %
- ✓ 10 min si elle est en surcharge de 150 %
- ✓ 1 min si elle est en surcharge de 170 %

La perte d'une ligne causée par une chute de tension peut conduire à une augmentation du flux transité dans les lignes restantes qui peut par suite conduire à de nouveaux déclenchements en cascade exposant ainsi une ou plusieurs parties du réseau en pénurie de l'électricité, le phénomène s'aggrave jusqu'à l'effondrement total du réseau si aucun aspect correctionnel n'est établi.

2.7 Réglage de tension :

Les producteurs de l'énergie électrique s'intéressent toujours à maintenir une tension fixe dans leurs réseaux de transport quoique cette dernière subit instantanément des perturbations qui peuvent être importantes lorsque la demande dépasse l'offre ce qui entraîne une dégradation du niveau de tension et augmente la circulation de l'énergie réactive accompagnée par une augmentation de pertes, les statistiques nous montrent que la majorité des incidents affectés nos systèmes énergétiques viendront de la variation importante de la charge, des diminutions de tension sont constatées dans plusieurs points de réseaux engendrées une perte d'alimentation d'une partie de ce réseau voire même la perte de la totalité de ces derniers si aucun aspect correctionnel n'a aboutit à rétablir le niveau de tension au bout de quelques minutes.

Notant que fondamentalement la tension d'un alternateur alimentant un réseau électrique doit être maintenue constante quels que soit le facteur de puissance et l'intensité du courant débité par le stator, en effet la tension d'une machine synchrone est l'image du courant d'excitation, alors pour faire varier la tension à ses bornes on joue sur la variation de son courant d'excitation, réellement dans les centres de production ce réglage est obtenu automatiquement à l'aide de régulateurs de tension, le développement de semi-conducteurs ces dernières années a permis d'introduire des nouveaux systèmes dénommés FACTS "flexible alternating current transmission system " offrant une réponse rapide et une souplesse d'ajustage et de contrôle de tension, de l'écoulement de puissance, de déphasage, ils donnent la possibilité de charger même les lignes de transmission près de leurs limites thermiques admissibles.

2.8 Réglage de fréquence :

La fréquence est un caractère déterminant pour juger la qualité de l'énergie fournie, sa variation doit se maintenir dans une fourchette acceptable $\pm 0.1\text{Hz}$, la variation de la fréquence est liée étroitement à la perturbation de la charge, en effet une augmentation de cette dernière se traduit par l'augmentation du couple résistant appliqué sur l'arbre de la machine qui va causer une chute de la vitesse, or la fréquence est en relation directe à la vitesse par l'équation $N=60f/p$ ce qui doit en conséquence diminuer la fréquence, dans un autre sens une diminution de la charge augmentera la fréquence, cette variation est indésirable pour certaines applications industrielles comme la perte de synchronisme des horloges, augmentation des pertes de fer dans les machines tournantes et les transformateurs, risque

potentiel pour les pompes, apparition des phénomènes de saturation dans les machines électriques, diminution de flux dans les moteurs selon la loi $V/f = K.f.i$ causant ainsi des effets préjudiciables et ce par une diminution du couple moteur asynchrone et baisse de tension pour les transformateurs de puissance. Dans ce stade un réglage en temps réel doit être maintenu en définissant par la suite trois types de réglage entretenus pour revoir l'état de l'équilibre qui sont :

2.8.1 Un réglage primaire :

Une puissance suffisante de réserve doit être gardée afin de rétablir la fréquence par une action automatique au bout de quelque seconde faite par les régulateurs de vitesse de chaque centrale provoquant le réglage des vannes d'admission du fluide moteur des turbines cette action n'intervient que lorsque une réserve adéquate anticipativement est planifiée. Les réserves du réseau de transport nord algérien pour l'été 2013 est celle montrée par la figure (2.6), la totalité de réserve du réseau algérien sont celles indiquées dans le tableau (2.1).

2.8.2 Réglage secondaire :

Ce réglage automatique est activé après 30 secondes et dure au maximum 15 minutes.

2.8.3 Réglage tertiaire :

généralement au-delà de 15 minutes.

2.9 Production décentralisée :

Les restrictions liées à l'environnement ces dernières années d'une part et la notion de libération de marché de l'électricité d'autre part a favorisé l'apparition d'une nouvelle forme de production de l'électricité basée sur la production de sources naturelles à caractère renouvelable, en effet plusieurs producteurs décentralisés ou distribués utilisent l'énergie solaire, éolienne, l'énergie géothermique pour générer l'énergie électrique d'une puissance allant de 100 KW jusqu'à 150MW et de l'injecter dans le réseau .

Ces énergies prennent leur place dans l'économie mondiale à titre d'exemple dans les Etats unis (USA) 35% de la demande de l'énergie industrielle est couverte par l'auto production, en outre de caractère écologique que les caractérisent, d'autres facteurs économiques et techniques peuvent être exploités à savoir :

- ✓ Les parcs de production décentralisée sont de petite et moyenne puissance donc ils sont plus rapides par rapport aux parcs conventionnels en matière d'injection de la puissance produite dans le réseau (temps de réponse élevé).
- ✓ Les sites pour installer de centres de production de 100KW à 150MW sont plus faciles à trouver.
- ✓ La compétitivité du prix de KW/h par rapport celui produit par les énergies fossiles est incomparable vu la gratuité de la matière première.
- ✓ La production se fait en générale à proximité de consommation diminuant ainsi les pertes de transport.

Néanmoins la pollution visuelle qu'elle accompagne et le bruit incessant des éoliennes représentent leurs désavantages essentiels, on outre la production décentralisée peut induire une inversion de flux de puissance sur le réseau électrique qui est conçu pour qu'il soit unidirectionnel.

2.10 Changement climatique et obligations liées à l'environnement :

Les émissions des gaz à effet de serre couverts initialement par le Protocole de Kyoto ont augmenté de plus de 80 % depuis 1970 et de 45 % depuis 1990 pour atteindre 49 Gt CO₂ éq en 2010 et 53,4 Gt CO₂ éq en 2016[51], les pays du G20 représentent 81 % des émissions mondiales de CO₂ et la Chine représente à elle seule 29 % de celles-ci. En 2016, les émissions de CO₂ hors (UTCATF) atteignent 35,8 milliards de tonnes[51].

Plus de 40 % de ces émissions sont liées à la combustion de charbon, contre 32 % pour le pétrole et 19 % pour le gaz naturel. Le reste, 10 %, est lié aux procédés industriels comme la fabrication de ciment (hors combustion d'énergie) ; elles représentent 10 % du total[51].

Ces chiffres se manifestent actuellement sous plusieurs formes de changement climatiques telles que la submersion d'îles, dégradation des sols, sécheresses, inondations prolongées, extension des déserts, fonte des glaces, incendies des forêts, cyclones et événements pluvieux intenses, plus grave encore le rapport de la Banque Mondiale intitulé « *Decarbonizing development* » parue avant la COP 21 (Conférence de Paris) constate que le changement climatique risque de générer des flux de migrations importants si aucune action n'est prise pour mitiger l'impact de ce changement [52], le Conseil norvégien pour les réfugiés estime qu'en 2013 22 millions de personnes ont été contraintes de migrer en raison

de catastrophes naturelles, tandis que l'organisation mondiale des migrations estime que d'ici 2050 entre 200 millions et 1 milliard de personnes pourraient être forcées de migrer en raison du changement climatique [52], outre les catastrophes naturelles, le monde peut connaître des conflits armés à long terme si la pollution continue à s'accroître.

Ces chiffres clés nous montrent combien les changements climatiques représentent une menace immédiate et potentiellement irréversible pour les sociétés humaines et la planète et qu'ils nécessitent donc la coopération la plus large possible de tous les pays ainsi que leur participation dans le cadre d'une riposte internationale efficace et appropriée, en vue d'accélérer la réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre [5], la convention de Paris reconnaisse également qu'il faudra fortement réduire les émissions mondiales pour atteindre son objectif ultime.

Dans un autre contexte la production d'électricité reste le premier secteur émetteur de CO₂ dans le monde, elle a enregistré en 2015 une part de 39 % du total des émissions dues à la combustion d'énergie [51], les centrales les plus répandues et les moins chères à construire sont les centrales thermiques à flamme, qui brûlent des énergies fossiles (charbon, pétrole ou gaz naturel), parmi elles on trouve les centrales à charbon qui sont les plus nombreuses dans le monde, elles fournissent actuellement plus de 40 % de l'électricité mondiale mais qui sont aussi celles qui dégagent le plus de CO₂ par kWh produit, ainsi par (kWh) produit, une centrale à charbon émet 950 g de CO₂, contre 350 g pour une centrale à gaz, et une centrale à charbon émet 40 fois plus de CO₂ qu'une centrale hydraulique.

Cependant les producteurs de l'électricité sont obligés de diminuer leurs émissions et respectant les quotas d'émission de CO₂ pour chaque producteur d'électricité, néanmoins ces démarches confrontent plusieurs obstacles insurmontables actuellement tels que :

- ✓ Divergence des enjeux et intérêts géostratégiques et économiques des pays développés et émergents.
- ✓ Production de l'électricité dans les pays émergents la chine et l'inde qui se basant sur les centrales thermiques à charbon pour produire leur électricité gêneront plus de CO₂, en 2016, la Chine reste le premier pays émetteur mondial de CO₂ (29,2 %), devant les États-Unis (14,0 %), l'Union européenne (9,6 %) et l'Inde (7,1 %), notant que le secteur de production de l'électricité en chine participe par 43% des émissions globales de CO₂[51].

En Allemagne la production en 2017 est de près de 90 GW à partir des centrales conventionnelles charbon 22,5%, gaz 13,2% , lignite 14,1% du total produit, la part de l'électricité provenant des centrales conventionnelles est de 62% en décembre 2018[53] bien qu'elle occupe la quatrième puissance économique mondiale et la première en Europe, son économie besoin autant de l'électricité pour émettre 299,2 Mt CO₂ en 2012 contre la France qui émette 28,8 Mt de CO₂ dans la même année basant principalement sur les centrales nucléaires pour produire son électricité.

✓ Développement d'un parc important des centrales à gaz dans la rive nord de la méditerranée pour l'Espagne, l'Italie et le Portugal et ce après la construction de plusieurs gazoducs reliant le Maghreb avec l'Europe ses dernières années notamment avec l'Algérie à savoir:

- Transmed ou gazoduc Enerico mattei construit en 1983 doublé et 1994 reliant l'Algérie avec l'Italie via la Tunisie.
- Maghreb-Europe ou gazoduc Pedro Duran Farell construit en 1997 reliant l'Algerie et l'Espagne via le Maroc.
- ✓ Greenstream en 2004 reliant la libie avec l'Italie.
- ✓ Medgaz en 2009 reliant l'Algérie avec l'Espagne.

✓ Compétitivité du charbon comme combustible pour les centrales thermiques en Europe après la chute libre de prix de charbon dans le marché international 3 Euros/tonne fin 2012 contre 30 Euros/tonne en 2008 et l'exportation de la production excédentaire du charbon des Etats-Unis vers ce continent.

En se basant sur la recommandation de la Banque Mondiale de 2015 décelant que pour limiter le réchauffement climatique à 2°C d'ici 2100, il faudrait doubler l'augmentation annuelle de l'efficacité énergétique [52], qui ne sera concrétisée que seulement lorsqu'une répartition optimale et environnementale de la puissance électrique est appliquée minimisant ainsi le taux des émissions de gaz d'une part en respectant les quotas prédéfinis de diminution de gaz de CO₂ des centrales thermiques pour chaque pays et pour chaque producteur, mais aussi la produire avec le prix le plus faible que possible d'autre part. Cette thèse dénommée '***Contribution à l'optimisation multi objective du coût et l'émission de gaz considérant les contraintes pratiques et de sécurités***' a pour objectif de résoudre le problème contradictoire de répartition optimale de la puissance produite par des centrales thermiques en minimisant le

taux des émissions de gaz à effet de serre d'une part tout en gardant un faible coût de production garantissant ainsi la marge de bénéfice des producteurs.

2.11 Conclusion

Ce deuxième chapitre intitulé généralités sur les systèmes énergétiques vient de donner une présentation générale sur les réseaux électriques de transport, en focalisant la lumière sur l'architecture et le développement du réseau de transport algérien, l'augmentation de la charge ces dernières années suite aux divers plans de relancement de l'économie nationale et au développement agricole notamment dans le sud a haussé la demande d'une manière spectaculaire ce qui a favorisé d'établir en urgence le plan d'investissement national 2015-2025 pour répondre au besoin énergétiques incessants, ce plan est bien expliqué dans ce chapitre, les notions de base de l'équilibre entre la demande et production, la notion de stabilité, la notion de réglage de fréquence et de la tension sont aussi clairement traitées, en déviant à la fin du présent chapitre sur les changements climatiques d'aujourd'hui en exposant la part importante de dégagement de CO₂ par les centrales fossiles et les intérêts géopolitiques très complexes des pays posant obstacle devant la diminution de CO₂ provenant du secteur de production de l'énergie électrique.

Le chapitre suivant explique en détail les principaux éléments scientifiques sur les indicateurs, les causes et les conséquences possibles du changement climatique donnant aperçu sur les quantités de gaz à effet de serre émises dans le monde, ainsi quelques chiffres clés sur la répartition de CO₂ dans le secteur de production de l'électricité par type de centrale dans l'Europe et notamment l'Allemagne vu son économie la plus forte de toute l'Europe puis une exposition mathématique claire de notre problème étudié et aussi abordée.

Chapitre 3 : Problème multi-objectifs de la répartition optimale de la puissance électrique

3.1 Introduction :

Ce troisième chapitre s'attache à l'étude de changement climatique et le taux de dégagement des gaz à effet de serre accompagnant la production de l'électricité par des centrales thermiques à flamme qui brûlent la matière brute fossile gaz, charbon, pétrole pour produire l'énergie électrique, en effet ces centrales sont les plus nombreuses dans le monde et sont celles qui génèrent plus de CO₂ par rapport les centrales nucléaires et hydrauliques moins polluantes afin d'expliquer l'importance accorder à l'étude multi-objective visant de minimiser le taux d'émission d'une part et le coût de production de l'électricité d'autre part pour un parc qui détient plusieurs centrales thermiques tel que le cas de notre pays ou l'Algérie repose sur un gisement gazier important, l'Allemagne, la Pologne et la Chine basant sur les quantités importantes de charbon qu'ils possèdent.

3.1.1 Réchauffement Climatiques

Le réchauffement climatique a atteint une vitesse jamais égalée qui s'accroît positivement depuis le début des années 1980, la décennie 2001-2010 a été plus chaude de 0,21°C que la décennie 1991-2000, le réchauffement global sera au moins deux fois plus rapide à la fin du siècle qu'actuellement voire même trois fois dans certaines zones géographiques.

Les mesures météorologique nous montre que l'année 2016 a été marquée par des températures supérieures de 1,1°C par rapport à la période préindustrielle, les quatre dernières années (2014, 2015, 2016, 2017) restent les quatre années les plus chaudes jamais enregistrée.

La figure (3.1) explique clairement l'augmentation importante de la température moyenne annuelle mondiale. [51]

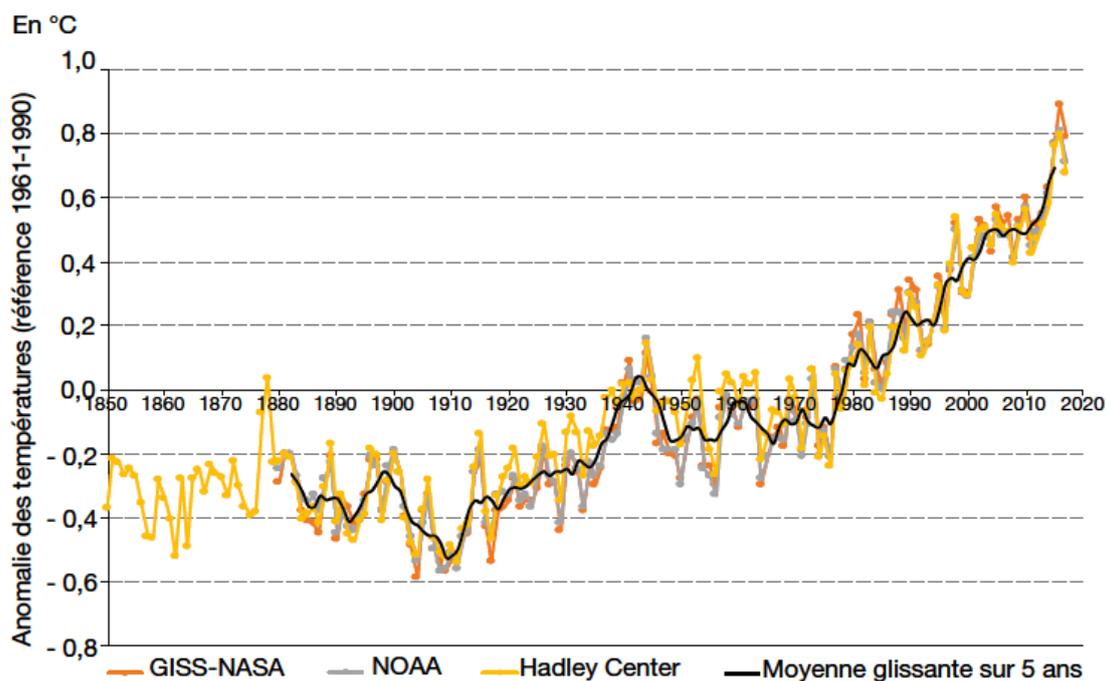


Figure 3.1: Evolution de la température moyenne annuelle mondiale de 1850 à 2017



Figure 3.2: Evolution du niveau marin

Le niveau des mers s'est élevé de 20 cm environ pendant le siècle dernier mais il est plus important depuis les années 1970, les mesures satellitaires nous montre que le niveau moyen de la mer s'est élevé de $1,7 \pm 0,3$ mm/an sur la période 1901-2010 cette élévation et ce suite à la dilatation thermique des mers et océans influencée par l'augmentation de la température du globe, le deuxième facteur est lié au fonte des glaces terrestres tels que

l'Antarctique, le Groenland et les glaciers de montagne qui alimentent les océans par de grandes quantités d'eau fondée. Le taux d'élévation du niveau marin s'est accéléré durant les dernières deux décennies pour atteindre $3,2 \pm 0,4$ mm/an, la figure (3.2) [51] indique l'importance de cette évolution.

3.1.2 Événements climatiques extrêmes :

Les événements climatiques extrêmes sont en forte recrudescence se ci est expliqué par le dernier rapport des Académies des sciences européennes (EASAC) indiquant que le nombre de ces événements canicules, cyclones, tempêtes, événements pluvieux intenses a plus que doublé en moyenne entre 1980 et 2016 et qui dépassant de beaucoup les niveaux de référence, pas trop loin et en se référant au dernier tsunami qui a frappé encore l'Île de Java en Indonésie le 22/12/18 après un tsunami catastrophique de 2004 ou les flots tuaient près de 250000 personnes en Indonésie et Sri Lanka.

Plus encore les changements climatiques ont modifié les vitesses d'humidification et d'assèchement, la fréquence, l'intensité, l'étendue, la durée et le moment d'apparition des phénomènes météorologiques extrêmes, le climat des décennies à venir est lié directement au développement démographique, l'utilisation des sols, la consommation d'énergie ces facteurs contribueront au taux de dégagement des émissions des gaz à effet de serre tandis que l'utilisation d'énergies renouvelables et la reforestation sont des actions correctionnelles contres les effets négatifs de ses changements climatiques.

La figure (3-3) [54] montre l'intensité et fréquence des ouragans dans l'océan atlantique.

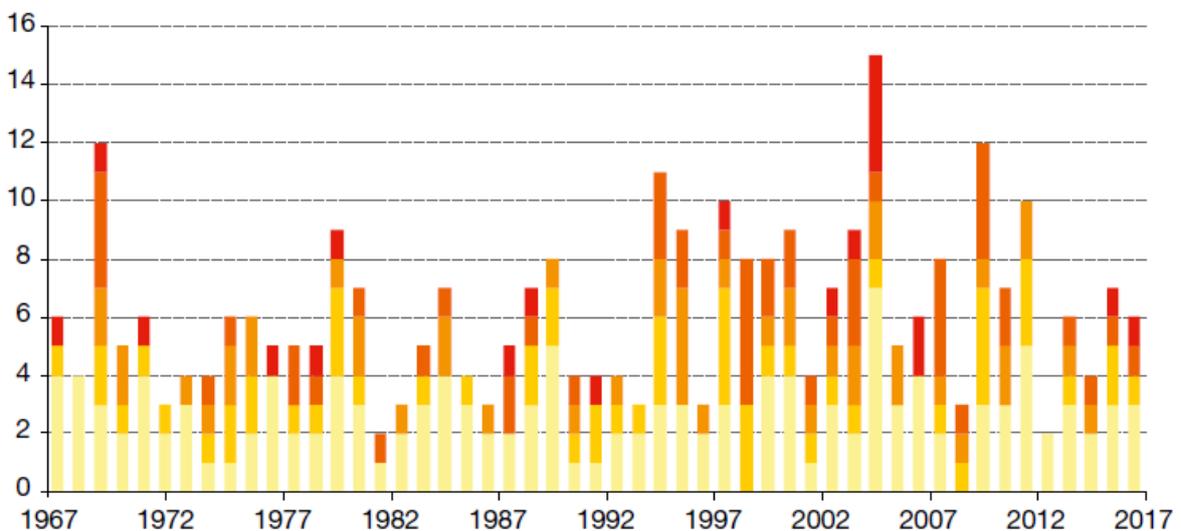


Figure 3.3: Fréquence et intensité des ouragans dans l'océan Atlantique depuis 50 ans

3.1.3 Gaz à effet de serre (GES) :

Les gaz à effet de serre dans leur simple contexte sont des gaz qui absorbent les rayons infrarouge émis par la surface terrestre, parmi eux il existe deux types des gaz à effet de serre (GES) :

Ceux qui sont naturels comme la vapeur d'eau H₂O et le CO₂ qui sont les principaux (GES) naturels et qui étaient présents dans l'air avant même l'apparition de l'homme mais leur concentration reste stable au fils des siècles, or l'industrialisation contribué à l'augmentation de leur concentration dans l'air, le dioxyde de carbone reste le gaz qui a contribué le plus au réchauffement climatique depuis la révolution industrielle du fait des importantes quantités émises, leurs sources sont la pluie et la photosynthèse respectivement.

Ceux qui sont artificiels du aux activités humaines et qui sont caractérisés par de forte absorption de rayons infrarouges tels que l'hexa fluorure de soufre (SF₆) utilisé fréquemment dans les l'appareillages électriques dédié à la haute tension vu ses caractéristiques de supporter des seuils de tension et de température extrêmes, le chlorofluorocarbures (CFC) utilisé dans plusieurs applications industrielles telles que l'industrie de froid et l'industrie militaire exploitant ses caractéristiques d'un gaz extrêmement stable, inerte et ininflammable.

Le (tableau 3.1) explique la concentration et origines des gaz à effet de serre les plus importants [55]. Les quantités sont en ppm (partie par million), ppb (partie par milliard) ou ppt (partie par trillion).

Tableau 3.1: Principaux gaz à effet serre et leurs concentrations et origines en 2015

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	NF ₃
Concentration atmosphérique 2016	403 ppm 379* ppm	1 842 ppb 1 773* ppb	329 ppb 320* ppb	183 ppt (> 49 ppt)*	88 ppt (> 4,1 ppt)*	8,9 ppt (5,6 ppt)	1,4 ppt
Potentiel de réchauffement global (cumulé sur cent ans)	1	28-30	265	1,4 :14 800	6 630 :11 100	23 500	16 100
Origine des émissions anthropiques	Combustion d'énergie fossile, procédés industriels et déforestation tropicale	Décharges, agriculture, élevage et procédés industriels	Agriculture, procédés industriels, utilisation d'engrais	Sprays, réfrigération, procédés industriels			Fabrication de composants électronique

3.1.4 Part des émissions de CO₂ par le secteur de production d'électricité dans l'Europe :

En 2015, la production d'électricité reste le premier secteur émetteur de CO₂ dans le monde, avec **39 %** du total des émissions dues à la combustion d'énergie, les deux autres gros secteurs facteurs d'émissions sont les transports (**24 %**) et l'industrie et la construction (**19 %**)[51].

Tableau 3.2: Emissions de CO₂ des centrales électriques et de cogénération par combustible primaire pour l'union européenne (UE27) + Norvège

En MtCO ₂ Combustible primaire	PHASE I			PHASE II				
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Production d'électricité	922	928	983	923	833	835	826	830
Charbon bitumineux	373,8	391,5	392,2	345,4	307,6	311,3	306,6	351,3
Charbon lignite	199,9	194,3	231,6	221,5	211,6	207,2	225,2	225,8
Autres charbons	43,6	39,9	41,3	33,3	26,1	20,4	29,0	32,4
Gaz naturel	202,9	211,4	228,5	240,0	218,9	221,9	194,0	152,6
Pétrole	64,7	55,8	48,7	46,0	41,9	37,6	33,5	33,6
Gaz de hauts-fourneaux	23,6	22,6	24,2	22,6	14,7	20,8	21,9	20,2
Schistes bitumineux	10,0	9,2	12,1	10,3	8,3	12,2	12,1	10,9
Cogénération	297	305	323	307	294	306	298	289
Charbon bitumineux	111,4	118,6	121,8	108,7	102,7	109,3	104,4	99,5
Charbon lignite	133,7	131,5	142,4	142,0	136,6	136,1	138,2	138,8
Autres charbons	4,3	4,4	5,7	5,4	4,7	5,0	4,3	4,2
Gaz naturel	26,1	28,3	31,6	31,1	31,2	33,0	29,7	27,4
Pétrole	5,0	4,1	4,5	4,3	4,4	4,3	3,8	3,9
Gaz de hauts-fourneaux	9,1	8,9	8,3	8,1	7,1	9,4	9,4	8,9
Schistes bitumineux	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9
Total Electricité / Cogénération	1 219	1 233	1 306	1 230	1 127	1 141	1 124	1 120

Les émissions de CO₂ accompagnant la production d'un kilowattheure de l'électricité en Europe pour l'année 2015 se situent en moyenne à 347g CO₂/kWh, or le niveau des émissions reste variable d'un pays à un autre, les pays scandinaves comme la Norvège et le Suède et qui comptent parmi les pays les plus écologiques de la planète ont largement développés leur secteur renouvelable, la Norvège va encore plus loin et a annoncé que les voitures sont interdites de circuler dans le centre ville de la capitale Oslo en 2019 afin d'arriver à diminuer en moitié ses émissions d'ici 2020, tandis que la France est basée principalement sur la production nucléaire 71,61% en 2017 a continue de renforcer son parc renouvelable qui atteint 50,2 GW au 30 septembre 2018 toute filières renouvelables

confondues avec une augmentation notable de 2591 MW en 2018 par rapport l'année 2017 [56], l'économie Allemande la plus forte de toute l'Europe tire principalement son énergie électrique (près de 40% du total) à partir du charbon, cette énergie fossile reste la plus prépondérante après l'important détournement de la stratégie du pays contre la production électrique nucléaire suite au grave incident de Fukushima, le nucléaire ne contribue maintenant que de 11% de la totalité de production électrique, malgré les immenses efforts déployés pour renforcer la part de renouvelable qui fournit 33% du total, le charbon reste le dominant du mix énergétique Allemand, le tableau (3.3)[57] représente le taux d'émissions dans l'union européenne alors que le tableau (3.4)[57] explique la dépendance de l'électricité allemande au charbon comme matière première fossile, son taux de dégagement des gaz à effet de serre reste le plus grand de l'union européenne avec 23 % des émissions totales enregistrées dans cette dernière.

Tableau 3.3: Emissions de CO₂ des centrales électriques et de cogénération par combustible primaire pour l'Allemagne

En Mt CO ₂ Combustible primaire	PHASE I			PHASE II				
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Production d'électricité	196	198	206	197	177	187	186	190
Charbon bitumineux	73,2	77,7	80,2	73,2	60,6	67,3	65,1	65,4
Charbon lignite	97,5	94,5	99,2	94,5	90,2	89,7	93,5	99,3
Autres charbons	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Gaz de haut fourneaux	4,1	3,7	4,2	4,0	1,9	4,2	4,3	4,2
Gaz naturel	19,5	20,7	21,0	23,8	23,1	24,6	22,7	19,6
Pétrole	1,0	0,8	1,1	1,0	1,2	1,2	0,6	1,0
Cogénération	120	119	118	110	107	109	107	109
Charbon bitumineux	44,2	43,8	44,1	37,9	35,5	37,1	34,8	36,8
Charbon lignite	67,1	66,5	66,1	64,7	64,5	63,7	64,6	65,4
Autres charbons	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
Gaz naturel	4,4	4,2	3,9	4,0	3,7	4,0	3,2	3,2
Pétrole	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Gaz de hauts-fourneaux	3,3	3,6	3,1	3,1	2,8	4,0	4,1	3,6
Schistes bitumineux								
Total Electricité/Cogénération	315,2	316,6	323,8	307,1	284,3	296,5	293,5	299,2

3.1.5 Obligations de l'Algérie envers les changements climatiques :

Lors de la convention de Paris l'Algérie a renouvelée sa fidélité à ses engagements contractuels en vue de la réalisation des objectifs de la convention cadre des nations unies sur les Changements Climatiques, en effet l'Algérie s'est engagée de réduire sa part d'émission des gaz à effet de serre principalement le CO₂, le méthane CH₄ et l'oxyde nitreux N₂O à 7 % avec des moyens nationaux pour la période 2021-2030 voire même 22% si l'Algérie reçoit le transfère technologique et les ressources financières adéquates de la part de la communauté internationale, à cet effet un programme ambitieux a été déclenché touchant plusieurs secteurs à savoir le secteur de l'énergie, le foret, l'habitat et le secteur de transport afin de concrétiser la contribution onusienne du pays :

Le programme du secteur énergétique[58] s'articule sur :

1. Visant à minimiser la consommation globale de l'énergie à 9 % d'ici 2030.
2. Atteindre 27 % de la production nationale d'électricité grâce aux énergies renouvelables.
3. Intégration de la cogénération.
4. Réduire à moins de 1% le volume des gaz torchés à l'horizon 2030.

Le programme du secteur de l'habitat repose sur :

1. Procéder à l'isolation thermique d'un important programme de logement pour la période 2021-2030.

Le secteur de transport visant à :

1. Convertir au GPL d'un million véhicules privés et 20000 autobus.

Le Secteur de foret procédé à :

1. Objectif de reboisement de 1.245.000 ha.
2. Prévention des incendies de forêts et amélioration des moyens de lutte.

3.2 Problème de l'engagement des turbines :

Le Problème de l'engagement des turbines communément appelé unit commitment [59] consiste à déterminer l'état optimal de fonctionnement de chaque générateur de production interconnecté au réseau pour répondre à une certaine demande qui est en permanence variable, la détermination de l'état optimal de marche « 1 » ou d'arrêt « 0 » de chaque unité

[60] doit passer par la satisfaction de multitude de contraintes qui sont additionnement aux contraintes imposées au problème de dispatching économique dynamique d'autres sont ajoutées pour donner un dimensionnement économiquement encore plus lointain et avantageux afin de décider quelles unités doivent mettre en marche et quelles unités doivent mettre en arrêt en répondant à une demande fluctuante tout en gardant une réserve tournante suffisante pour vaincre certaine augmentation de demande non programmée [61], contrairement au problème de dispatching économique dynamique unit commitment tient compte le temps minimal de fonctionnement et de l'arrêt de chaque unité qui sont le temps minimal de fonctionnement (minimum up time) (MUT)[62] et le temps minimal d'arrêt (minimum down time) (MDT)[63] liés à la rentabilité et le temps nécessaire pour le refroidissement de chaque unité respectivement, le problème de l'engagement de turbine prend en considération aussi les arrêts programmés du parc de production pour une éventuelle révision, d'autres facteurs techniques peuvent être traités par le problème en question comme le nombre élevé de démarrages qui diminue fortement la durée de vie de la machine d'une part et minimise le temps qui sépare deux révisions successives programmées d'autre part, notant qu'un démarrage d'une turbine se compte comme plusieurs heures de marche, en remarquant donc que ce n'est pas rentable ni de point de vue économique ni de point de vue technique de mettre autant de turbines en marche pour satisfaire une demande appelée avec certaine réserve tournante[64].

Il faut prendre en compte aussi les erreurs de prévision qui peuvent venir aussi de la défaillance forcée d'une ou de plusieurs unités de production ou d'autres facteurs qui l'empêchent d'atteindre leur niveau normal de production. Le cas le plus extrême est quand l'unité n'arrive pas à démarrer comme prévu, ou qu'elle doit être arrêtée complètement pour des problèmes techniques à savoir échauffement excessif au niveau des paliers, de corps turbine ou alternateur, perte d'étanchéité, niveau de vibration important qui dépasse les seuils prescrits par le constructeur...etc.

Le problème d'Unit Commitment consiste donc à déterminer la configuration optimale de chaque unité [65] que ce soit en marche, en arrêt ou en réserve chaude pour répondre à la demande avec un faible coût possible en prenant en considération toutes les contraintes sus-citées. Les paragraphes suivants expliquent en détail l'évolution du problème de dispatching économique statique passant par le problème de dispatching économique dynamique pour devenir un problème de l'engagement de turbine, les contraintes de chaque problème sont

bien expliquées et modélisées, en outre l'optimisation multi-objective considérant l'émission des gaz est bien traitée est modélisée.

3.2.1 Problème de Dispatching Economique Statique

3.2.1.1 Caractéristique quadratique de la fonction du coût :

Le coût de production de l'énergie électrique reflète principalement le type de combustible utilisé, dans une centrale thermique la valeur de consommation spécifique de chaleur (CSC) nécessaire pour produire de l'électricité est proportionnellement inverse au rendement énergétique, plus la (CSC) est grande moins la centrale est performante [66], en revanche les centrales thermiques à gaz en une relation étroite avec les conditions climatiques par ailleurs le rendement d'une turbine à gaz qui est inférieur à 50% chute notablement quand la température augmente c'est pour cela elles ont une efficacité meilleure dans les régions les plus froides du monde.

La caractéristique quadratique du coût peut être modélisée par l'équation sous dessous et présentée par la figure(3.4):

$$a_i + b_i p_{gi} + c_i p_{gi}^2 \quad 3.1$$

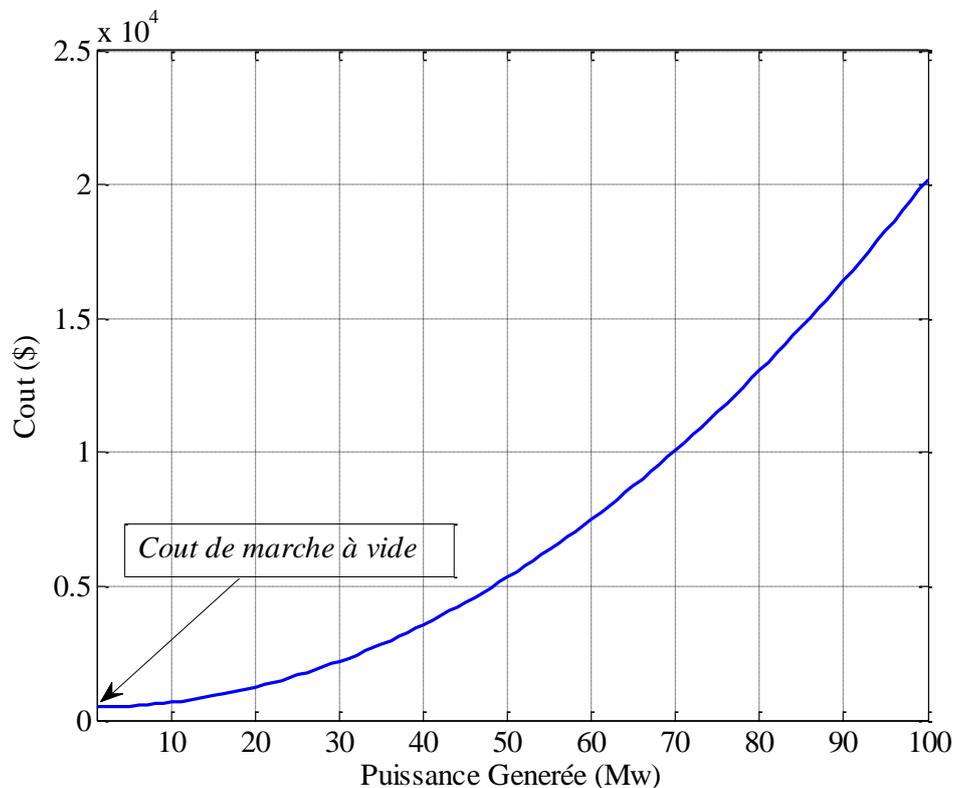


Figure 3.4: Caractéristique quadratique du coût

La constante a_i représente le coût de marche à vide, elle signifie le coût pour mettre une unité en marche à vide (unité à production nulle).

Le coût incrémental (ou marginal) de production est le coût pour générer une unité supplémentaire de puissance. Ce coût est important pour prendre les décisions d'exploitation à court terme [66] :

$$\gamma = \frac{\delta C_i}{\delta P_{gi}} = b_i + 2c_i P_{gi} \quad 3.2$$

Où $a_i, b_i, c_i; e_i, f_i$ sont les coefficients de coût de l'unité génératrice i .

3.2.1.2 Contrainte inférieure et supérieure de générateurs :

L'unité de production ne peut fonctionner de manière stable qu'à partir d'un niveau de production minimal (capacité minimale de production) et jusqu'à un niveau maximal de production (capacité maximale de production). [66]

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \quad 3.3$$

3.2.1.3 Caractéristique non linéaire de la fonction du coût :

La représentation quadratique du coût des unités thermiques sera discontinue et devient non linéaire lorsqu'on prend en compte, plusieurs facteurs techniques à savoir :

3.2.1.3.1 Effet de l'ouverture des vannes :

D'habitude, les grandes centrales thermiques disposent de plusieurs vannes d'admission de vapeur, qui sont utilisées pour le contrôle de la puissance délivrée par l'unité. Chaque fois qu'on commence à ouvrir une vanne d'admission, on enregistre une augmentation soudaine des pertes et il en résulte alors des ondulations dans la courbe de coût du combustible [66].

La Figure (3.5) montre la courbe de coût typique d'une unité thermique avec trois vannes d'admission de vapeur. L'effet d'ouverture de vanne est souvent modélisé par l'équation (3-4) en ajoutant une composante sinusoïdale à la fonction quadratique de base. [67]

$$F(p_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i p_{gi} + c_i p_{gi}^2 + |e_i \sin(f_i (P_{gi}^{min} - P_{gi}))|) \quad 3.4$$

Où a_i, b_i, c_i, e_i, f_i sont les coefficients de coût de l'unité génératrice i .

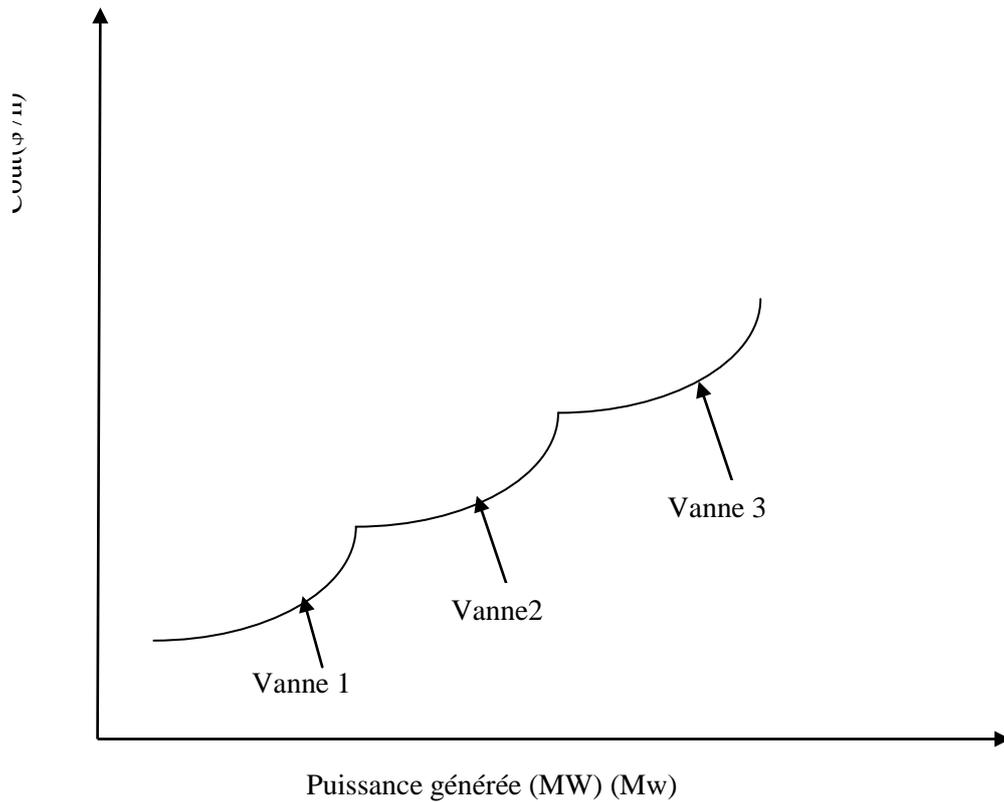


Figure 3.5: Effet de l'ouverture de vannes pour une unité thermique

3.2.1.3.2 Unité avec plusieurs types de combustibles

Parfois, les unités thermiques sont capables de fonctionner avec plusieurs types de combustibles [68], dans ces conditions, la caractéristique de coût est constituée de plusieurs morceaux de fonctions quadratiques (Fig. 3.6), qui s'écrivent comme suit :

$$C_i(P_{gi}) = \begin{cases} a_{i1} + b_{i1}p_{gi} + c_{i1}p_{gi}^2 \text{combustible 1} \\ a_{i2} + b_{i2}p_{gi} + c_{i2}p_{gi}^2 \text{combustible 2} \\ a_{iK} + b_{iK}p_{gi} + c_{iK}p_{gi}^2 \text{combustible K} \end{cases} \quad 3.5$$

Où a_{iK}, b_{iK}, c_{iK} sont les coefficients de coût de l'unité i avec le combustible k .

Ce modèle est communément appelé modèle quadratique par morceaux. D'après la figure (3.6), on peut confirmer que le combustible le plus économique est celui qui est représenté par le morceau le plus inférieur de la courbe.

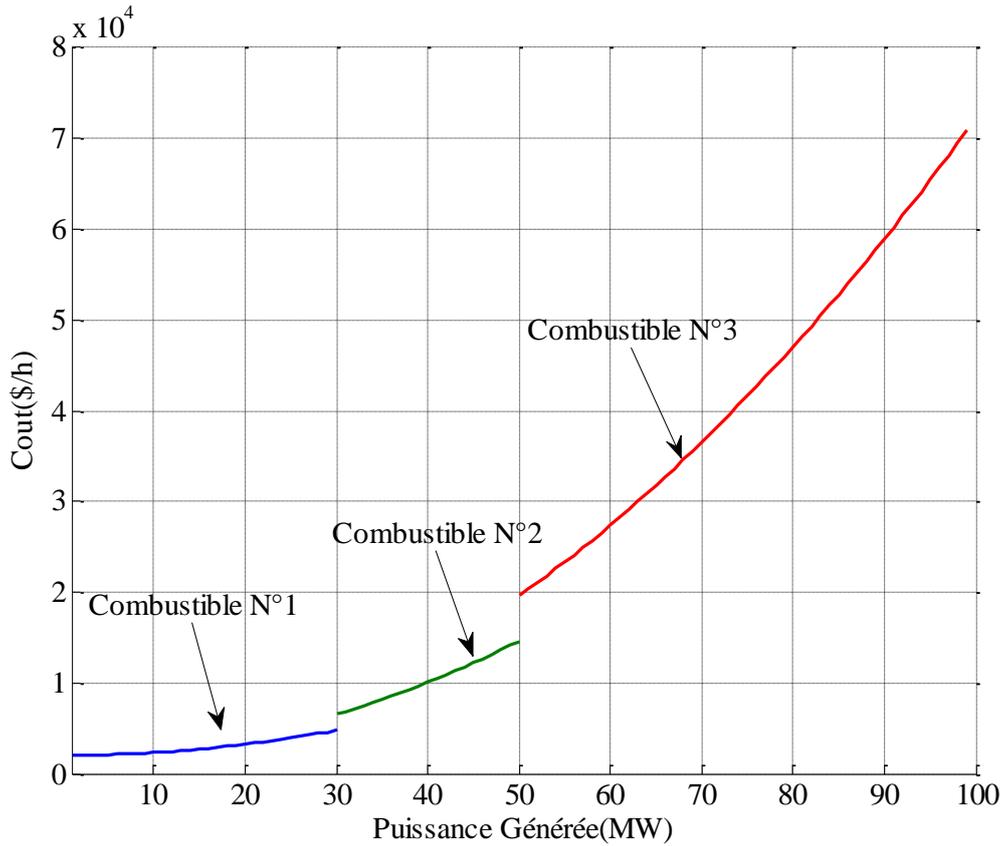


Figure 3.6: Courbe de coût du combustible d'une unité thermique avec trois types de combustible

3.2.1.4 Zones de fonctionnement prohibées :

La puissance générée théoriquement compris entre $P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max}$ [69], mais dans la pratique, les unités thermiques peuvent avoir des régions de fonctionnement indésirables pour des problèmes liés essentiellement à la stabilité de l'unité, des vibrations importantes sont ressenties au niveau des paliers de la machine quand en travail dans ces régions [2], la puissance générée doit être située en dehors de ces dernières créant ainsi des discontinuités au niveau de la courbe de coût du combustible. Ce type de fonction est caractérisé par un espace de solution non convexe. Les zones de fonctionnement prohibées sont représentées par l'équation sous dessous [70-71] :

$$P_i \in \begin{cases} P_i^{min} \leq P_i \leq P_{i1}^L \\ P_{iK-1}^U \leq P_i \leq P_{iK}^L \\ \dots \dots \\ P_{iZi}^U \leq P_i \leq P_i^{max} \end{cases} \quad 3.6$$

Avec: n_i est le nombre de zones prohibées dans le i^{ieme} unité de production. K : est l'indice de la zone prohibée pour la i^{ieme} unité de production. P_{ik}^L, P_{ik}^U : sont les minimum et le maximum limites de la K^{ieme} zone prohibée de l'unité.

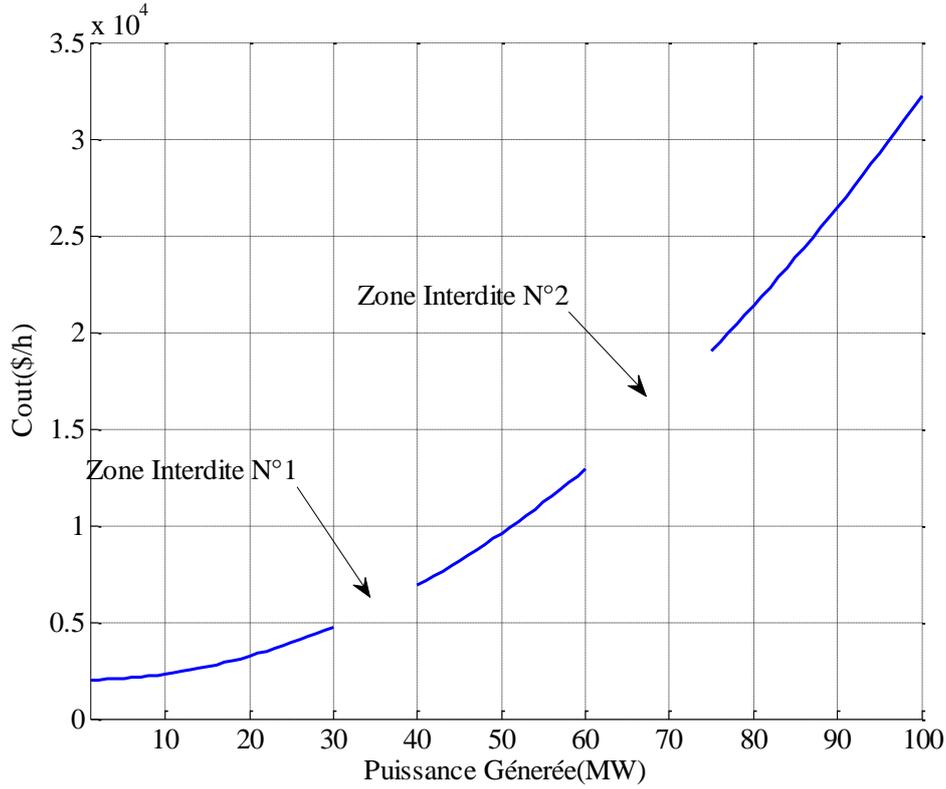


Figure 3.7: Caractéristique de coût avec deux zones de fonctionnement interdites

3.2.2 Formulation du problème de dispatching économique dynamique :

3.2.2.1 Fonction Objectif à minimiser :

L'objectif principal du dispatching économique dynamique est de trouver la contribution en puissance de chaque groupe de production du système électrique, de sorte que le coût total de production soit minimisé pour n'importe quelle condition de charge tout en respectant les contraintes physiques de ces générateurs.

Pour un système électro-énergétique avec ng unités de production, le coût total du combustible est égal à la somme des coûts élémentaires du combustible des différentes unités est donnée par l'équation suivante :

$$C_t = \sum_{i=1}^{ng} C_i(P_{gi}) \quad 3.7$$

Tel que :

P_{gi} : C'est la puissance active produite par le générateur i . C_t : Représente le coût total de production. $C_i(P_{gi})$: Exprime le coût de production de i ème générateur en (\$/h).

$$C_i(p_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i p_{gi} + c_i p_{gi}^2) \quad 3.8$$

a_i, b_i, c_i représentent les coefficients de la fonction coût sujet de contraintes suivantes :

3.2.2.2 Contrainte d'égalité :

La somme de toutes les puissances actives générées doit satisfaire la demande plus les pertes totales de transmission représentée par [72].

$$\sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = P_d + P_{loss} \quad 3.9$$

Avec P_d : la puissance demandée. P_{loss} : Pertes actives de toutes les lignes électriques.
ou: $i = 1 : ng$. ng : nombre total de générateurs

La valeur exacte des pertes de transmission ne peut être obtenue qu'à partir d'une étude de l'écoulement de puissance néanmoins, dans les études de dispatching économique on exprime souvent les pertes de transmission en fonction des puissances actives générées. Cette technique est communément appelée la méthode des coefficients B qu'on a utilisé dans cette thèse pour estimer ces pertes. Dans cette approche, les pertes sont approximées par la formule de Kron[66]. La formule Beta coefficient est donnée par l'équation suivante [73] :

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{ng} (B_{ij} P_{gi} P_{gj}) + \sum_{i=1}^{ng} (B_{io} P_{gi} + B_o) \quad 3.10$$

Tels que les termes B_{ij} , B_{io} , B_o sont les coefficients B .qui ne sont pas constants mais variables suivant les conditions de fonctionnement du système. Cependant, des résultats acceptables peuvent être obtenus si les conditions de fonctionnement actuelles sont relativement proches de celles pour lesquelles les coefficients B ont été calculés. Il existe plusieurs méthodes basées sur l'étude de l'écoulement de puissance qui permettent de calculer les coefficients de pertes [66].

3.2.2.3 Contrainte d'inégalité :

La répartition de la demande sur les unités de production doit en plus respecter les limites maximales admissibles de production de chaque générateur de production P_g^{min} et P_g^{max} . Par conséquent, le problème du dispatching économique se formule mathématiquement comme suit :

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \quad 3.11$$

Min (C_t) (fonction objectif à minimiser)

3.2.2.4 Contraintes Rampes de générateurs :

Le caractère de flexibilité ou de souplesse de moyens de production à court terme représente la vitesse à laquelle chaque moyen de production peut changer le niveau de sa

production après un signal donné. Nous trouvons des moyens de production plus flexibles, comme les centrales hydrauliques (avec réservoir) et les centrales à combustion ou les moteurs diesel (avec des temps de démarrage faibles et des contraintes faibles de rampe).[47]

Au contraire, les centrales thermiques et nucléaires sont peu flexible, les centrales nucléaires doivent être programmées la veille pour réaliser des variations importantes, on définit la contrainte rampe [74] comme limites inférieures et supérieures de production d'une heure à une autre que le générateur ne peut pas les dépassées en aucun cas, dans le cas contraire les unités thermiques sont subits de fortes contraintes au niveau de leurs rotors causant ainsi des dégâts préjudiciables[01-69].

$$P_{it} - P_{i(t-1)} \leq UR_i \quad 3.12$$

$$P_{i(t-1)} - P_{it} \leq DR_i \quad 3.13$$

3.2.2.5 Contraintes des zones prohibées :

Les intervalles de fonctionnement pour une unité thermique avec des zones de fonctionnement prohibées sont données par [75]:

$$\begin{cases} P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,1}^l \\ P_{gi,K-1}^U \leq P_{gi} \leq P_{gi,K}^l \\ P_{gi,ni}^U \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \end{cases} \quad k=2, 3 \dots ni \quad 3.14$$

Où ni est le nombre de zones prohibées de l'unité i , $P_{gi,K}^l, P_{gi,K}^U$ sont, respectivement, la borne inférieure et la borne supérieure de la zone de fonctionnement prohibée k .

3.2.3 Optimisation Multi-Objectives de coût et de l'émission :

La fonction de l'émission est une fonction non linéaire qui est modélisée par l'équation suivante [76] :

$$G(p_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (10^{-2}(\alpha_i + \beta_i p_{gi} + \gamma_i p_{gi}^2) + \exp(\lambda_i p_{gi})) \quad 3.15$$

C'est une équation qui représente le total des émissions de CO₂ et le gaz NOX générés par les unités de production en (ton/h) les coefficients $\alpha, \beta, \gamma, \xi, \lambda$ sont les coefficients des émissions de générateurs de productions.

L'équation de coût à optimiser tenant en considération les émissions de gaz à effet de serre est donnée par l'équation suivante [76]:

$$H(p_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i p_{gi} + c_i p_{gi}^2 + 10^{-2}(\alpha_i + \beta_i p_{gi} + \gamma_i p_{gi}^2) + \xi_i \exp(\lambda_i p_{gi})) \quad 3.2.3.16$$

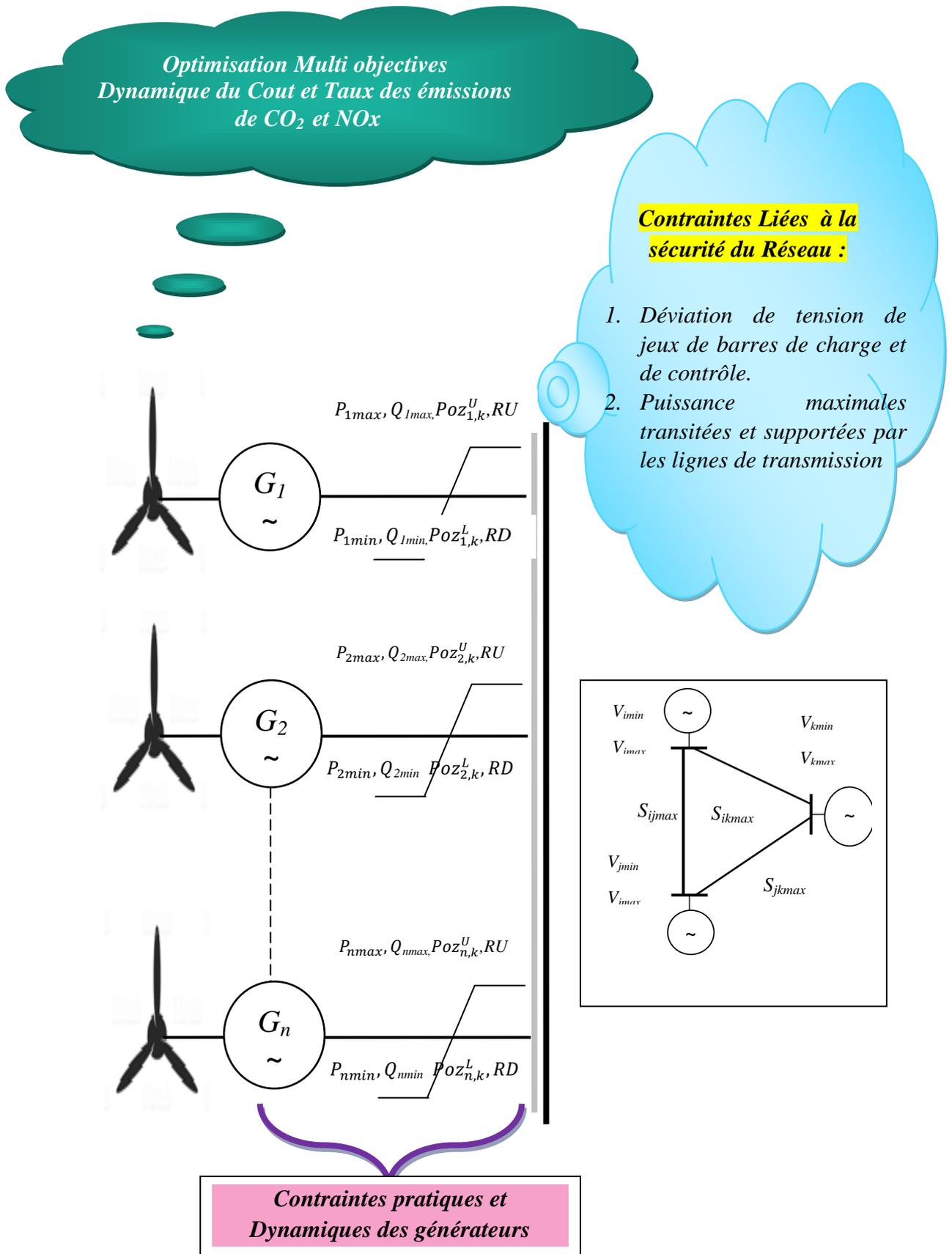


Figure 3.8.: Représentation du rôle de l'optimisation multi objective

Le critère de notre optimisation multi-objective a été formulée en se basant sur l'équation sous dessous :

$$H(\mathbf{p}_{gi}) = (\mathbf{1}-\mathbf{h}) * \mathbf{C}(\mathbf{p}_{gi}) + \mathbf{h} * \mathbf{G}(\mathbf{p}_{gi}) \quad 3.17$$

Avec h est une valeur appartient à l'intervalle [1:0.1:1], les courbes de Pareto [77-78] sont bien expliquées dans le cinquième chapitre.

Notre optimisation multi objectives envisagée dans le cadre de cette thèse qui minimise simultanément et dynamiquement le coût et l'émission et qui tient en compte toutes les contraintes pratiques et de sécurités expliquées dans le premier chapitre peut être représentée par la figure (3.8).

3.2.4 Formulation du Problème de l'engagement des turbines :

3.2.4.1 Coût de démarrage et de l'arrêt :

Additionnement aux contraintes su-citées dans l'étude du problème de dispatching économique dynamique, le problème de l'engagement des turbines s'intéresse au coût spécifique de démarrage et de l'arrêt qui se diffèrent d'une machine à une autre, pour le coût de démarrage ce dernier correspond au temps d'arrêt de l'unité, il prend une valeur maximale lorsque l'unité est démarrée à froid et inversement une valeur minimale quand l'unité est démarrée à chaud (récemment mise en arrêt), le coût de production sera reformulé et est donné par une nouvelle équation suivante :

$$TC = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T ((F_i(P_{it}) + ST_i(1 - X_{i(t-1)}))X_{it} + SD_i(1 - X_{it})X_{i(t-1)}) \quad 3.18$$

3.2.4.2 Contrainte de la demande :

La contrainte de la demande est formulée comme suit :

$$\sum_{i=1}^n P_{it} X_{it} = D_t \quad t = 1:T \quad 3.19$$

3.2.4.3 Les Contraintes de réserve :

$$\sum_{i=1}^n P_{imax} X_{it} = D_t + SR_t \quad t = 1:T \quad 3.20$$

3.2.4.4 Contrainte de limites de puissances actives de générateurs :

$$P_{imin} \leq P_{it} \leq P_{imax} \quad t = 1:T \quad 3.21$$

3.2.4.5 Contrainte de temps :

$$T_{it}^{on} > MUT_i \quad 3.22$$

$$T_{it}^{off} > MDT_i \quad 3.23$$

Ou les variables sont les suivantes :

TC : Le coût total de production. n : Nombre de générateurs. T :le nombre total de période. F_i : La fonction du coût de générateur i . P_{it} : Puissance produite par le générateur i à l'instant t . ST_i : Coût de redémarrage de générateur i . SD_i : Coût d'arrêt de générateur i . X_{it} : Etat de générateur i à l'instant t **1** en marche **0** à l'arrêt. D_t : Puissance demandée à l'instant t . SR_t : La réserve programmée à l'instant t . P_{imax}, P_{imin} : Les limites de production inferieure et supérieure de générateur i . T_{it}^{on} : La période de temps de fonctionnement de générateur i . T_{it}^{off} : La période de temps d'arrêt de générateur i . MUT_i : Le minimum de temps de fonctionnement de générateur i . MDT_i : Le minimum de temps d'arrêt de générateur i

3.3 Conclusion :

Dans ce troisième chapitre on a expliqué dans sa première partie le rôle des gaz à effet de serre et leurs contribution aux changements climatiques bien ressentis ces dernières décennies tels que l'élévation de la température moyenne de la planète et les niveaux de mers, on a essayé de représenter la contribution de la production électrique au total de dégagement de ces gaz néfastes et le rôle important accorder à l'optimisation multi objectives de la production de l'électricité, tandis que dans la deuxième partie on a abordé l'étude et la modélisation de toutes les contraintes liées au problème de la répartition optimale de production électrique.

Chapitre 4 : Méthodes d'Optimisation Métha-heuristiques

4.1 Introduction :

Les méthodes d'optimisation globales occupent aujourd'hui une place importante dans la résolution des problèmes d'optimisation difficiles, la complexité des processus industriels vis-à-vis du nombre importants des paramètres de contrôle d'une part et les contraintes à satisfaire imposées par le client d'autre part complique la solution des tels problèmes, en outre l'aspect économique des entreprises reflète aussi son ombre, la mondialisation exige que les entreprises se trouvent dans un marché concurrentiel et féroce ce qui leur obligent de maximiser leurs marges de bénéfice, minimiser le temps de fabrication et les déchets de production et en même temps maximiser la disponibilité des machines de production, imaginant maintenant le nombre des contraintes à satisfaire afin de parvenir à optimiser certains critères qu'on les appelle fonctions objectives, la solution se complique encore lorsqu'on cherche à optimiser plusieurs critères à la fois.

Dans le domaine de systèmes énergétiques on s'intéresse à optimiser plusieurs critères ou fonctions objectives à savoir la minimisation de circulation de l'énergie réactive dans le réseau par la recherche des emplacements optimaux des dispositifs FACTS, l'écoulement de puissance optimal visant de minimiser la circulation de l'énergie réactive peut être appliqué par la recherche des points appropriés pour intégrer des sources d'énergie renouvelables, parfois nous nous intéressons de minimiser les pertes de transmission, dans le domaine de protection on s'intéresse de minimiser le temps de déclenchement des relais de protection pour mieux protéger le réseau de transport caractérisant par un réseau bouclé très compliqué en matière de protection et de sélectivité par rapport un réseau radial fréquenté largement dans

les sites industriels et ce par le biais d'une meilleure coordination entre les relais à maximum de courant directionnels et de fréquence.

Dans le domaine de la planification de l'énergie électrique on est contraint d'obéir à une demande fluctuante sans cesse dans le temps avec un faible coût possible en répondant aux multitude de contraintes pratiques liées aux conception des unités de production et plusieurs contraintes de sécurité liées au bon fonctionnement de notre système de transport vis-à-vis la perte d'une ou plusieurs unités de production, déclenchement d'une ou de plusieurs lignes de transmission et ce par déploiement des méthodes d'optimisation méta heuristiques, on outre cette planification doit obéir aux nouvelles restrictions liées à l'environnement en matière de diminution de taux d'émission des gaz à effet de serre ce qui représente l'objectif de cette thèse.

Dans cette optique plusieurs méthodes conventionnelles sont utilisées dans la littérature pour traiter le problème de répartition optimale de puissance, cependant ces dernières restent inaptes de résoudre les problèmes multi contraintes ou l'espace de recherche devient très étroit et l'optimum global s'avère très difficile à localiser. Les méthodes méta heuristiques représentent une alternative, il sont toutefois capables de dépasser les optimums locaux en quête de la solution optimale guidées par un processus de recherche aléatoire probabiliste inspiré de la théorie de l'éthologie et les caractéristiques de société de groupe.

Parmi ces méthodes on trouve les algorithmes génétiques qui sont les premiers qui ont été développés et appliqués au monde d'optimisation, les réseaux de neurones, la méthodes seaker (SOA), la méthode à évolution différentielle (DE) qui sont tous prouvés leur qualité de convergence en répondant aux problèmes largement difficiles et multi objectifs, ces méthodes partagent les mêmes avantages suivants:

- ✓ Raisonnement par analogie avec les systèmes réels physique, biologie, éthologie...etc.
- ✓ Stochastiques.

mais démembrant aussi les mêmes inconvénients :

- ✓ Difficulté de réglage des paramètres de l'algorithme.
- ✓ temps de calcul plus important par rapport certaines méthodes conventionnelles inutile de les appliqués pour résoudre des problèmes en temps réel.

Dans ce chapitre on met la lumière sur la définition mathématique de l'optimisation, ensuite on traite la classification des méthodes d'optimisation et la définition de la notion de

l'optimisation multi objectives puis en entame l'étude de quelques méthodes méta heuristiques utilisées pour la résolution de notre problème d'optimisation..

4.2 Définition de l'Optimisation :

L'optimisation est une partie de la mathématique qui s'intéresse à déterminer la solution globale parmi un ensemble de solutions candidates qui forment l'espace de recherche d'un problème envisagé, cette optimum minimise ou maximise une fonction qui s'appelle fonction objective ou bien fonction de coût. Une optimisation peut se trouver avec et sans contraintes.

Les premières méthodes d'optimisation étaient originellement inspirées à partir les travaux de Lagrange et Hamilton plusieurs méthodes algorithmiques itératives ont été étudiées à cette époque par Newton et Gauss, Selon la nature de la fonction objective linéaire ou non linaire, il peut exister une ou plusieurs solutions pour un sous espace restreint de l'espace de recherche nommé voisinage, ces solutions sont locales est non globales qui sont schématisées par la figure sous dessous.

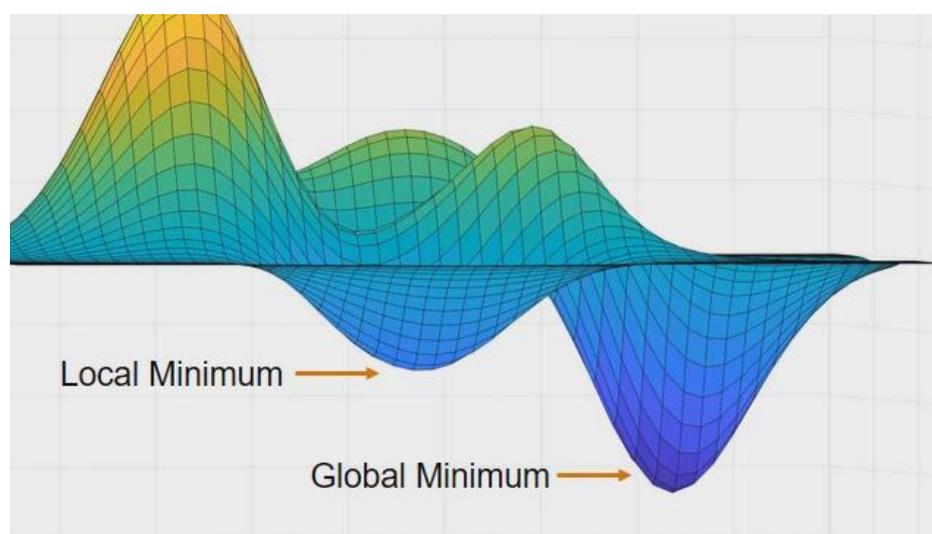


Figure 4.1: Optimum global d'une fonction non linaire

4.3 Classification des problèmes d'optimisation :

On peut conclure que la difficulté d'un problème d'optimisation peut s'avère plus ou moins compliquée selon la nature des éléments suivants :

- ✓ la nature des variables (discrètes ou continus),
- ✓ la nature des contraintes (linéaires ou non-linéaires),
- ✓ la nature de la fonction de coût (linéaire, quadratique, convexe, etc...),

- ✓ le nombre de fonctions objectives à optimiser (mono objective, multi objectives).

En fonction de la nature du problème, on distingue deux types d'optimisation [79]:

1. L'optimisation statique pour laquelle la fonction objective ne dépend que des valeurs des variables à un instant donné.
2. L'optimisation dynamique pour laquelle la fonction objective dépend des décisions prises antérieurement aussi bien que de l'état actuel du système électrique et qui est à réaliser sur un intervalle de temps donné.

En revanche des méthodes conventionnelles, les Meta-heuristiques ne besoin pas des informations mathématiques de la fonction traitée, elles sont encore capable de résoudre les problèmes non linaires ou encore les problèmes dénommés difficiles, les méthodes classiques restent incapables de traiter les problèmes discontinus et certains problèmes non convexes, elles s'adaptent uniquement pour les problèmes linaires et continus convexes qui se caractérisent par un seul optimum local et qui est global, contrairement au problèmes non convexes ces derniers se trouvent piéger dans un des minimums locaux, on peut regrouper les méthodes conventionnelles dans 04 sous groupes principaux suivants et qui dépendent de la nature des contraintes et des objectifs à optimiser[79] :

- ✓ La programmation linéaire (Linear Programming) qui traite une fonction objective linéaire et des contraintes linéaires.
- ✓ La programmation linéaire en nombres entiers mixtes (Mixed-Integer Programming) pour laquelle toutes les variables prennent des valeurs entières.
- ✓ La programmation quadratique (Quadratic Programming) dont la fonction objective comporte des termes quadratiques, et les contraintes restant linéaires.
- ✓ La programmation non linéaire (Non-linear Programming) qui considère des termes non-linéaires dans l'objectif ou les contraintes.

Cependant les méthodes globales sont basées sur un aspect de recherche stochastique aléatoire commençant par une population de solution de taille fixe aux cours des générations en quête de la solution optimale globale et qui ne donne pas importance ni à la nature de la fonction à optimisée ni à ses contraintes à respecter, on peut palper maintenant clairement l'avantage qu'elles nous offrent en matière d'optimisation des problèmes marquant par une difficulté grandissante.

L'organigramme suivant explique la classification des méthodes d'optimisation.

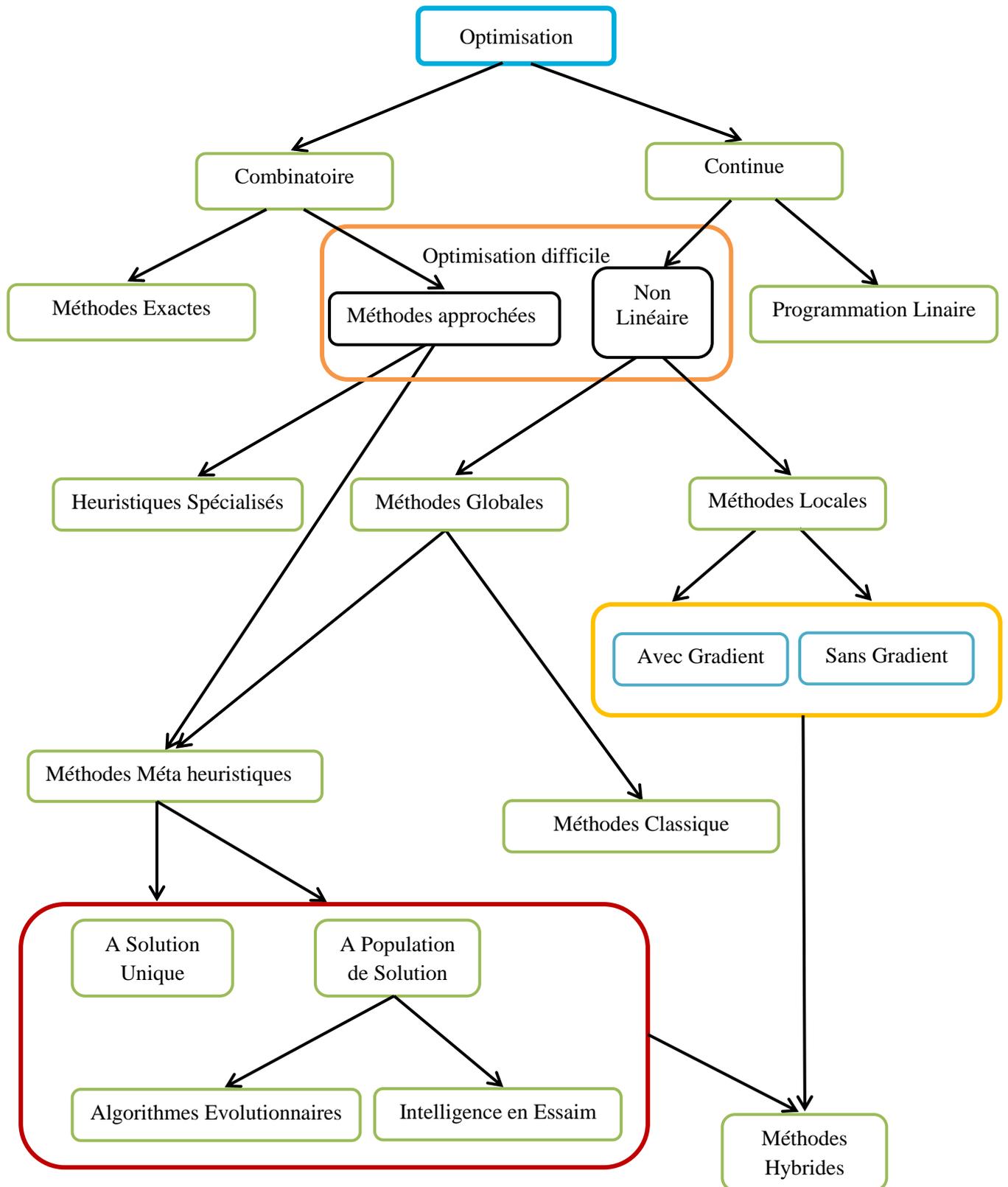


Figure 4.2: Taxonomie des différentes méthodes d'optimisation [80]

4.4 L'optimisation multi objectives :

Les problèmes envisagés actuellement deviennent très complexes et les chercheurs visent dans la plupart des cas d'optimiser plusieurs critères simultanément ce qui donne au problème traité un aspect multi objectifs et non mono objectif, l'optimisation multi objectives trouve ses origines au cours du XIXème siècle dans les travaux en économie d'Edgeworth et de Pareto [81].

Le nombre des objectifs à optimiser compliquent largement la solution d'un tel problème, on peut citer à titre d'exemple quelques problèmes très fréquents dans l'industrie à savoir la maximisation du rendement d'une entreprise et la minimisation des heures de présence des employés, maximisation de la qualité d'un produit et la minimisation en parallèle de son coût de revient, dans cette thèse on s'intéresse à minimiser le coût de génération de l'énergie électrique dans un parc de centrale thermique et la minimisation de taux des émissions des gaz à effet de serre simultanément, ces deux objectifs sont contradictoires et la localisation de la solution optimale s'avère difficile à réaliser.

Un problème d'optimisation multi objectifs peut se formuler par les équations suivantes :

$$\begin{cases} \min F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)) \\ x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \end{cases} \quad 4.1$$

$k \geq 2$: représente le nombre des fonctions objectives à optimiser. x : représente le vecteur de variables de décision.

Dans les paragraphes suivants on entame l'étude des deux nouvelles techniques récemment apparues à savoir l'algorithme de luciole (FA) et la méthode de biogéographie (BBO), l'algorithmes d'abeilles artificielle (ABC), l'algorithme d'abeille (BA), l'algorithme d'essaim de particules (PSO) et sa version modifiée, l'algorithme d'essaim de particules à coefficient d'accélération variable (PSOTVAC) qui sont employés pour résoudre ladite optimisation.

Dans cette thèse qui traite le problème de répartition optimale de puissances actives visant à la fois de minimiser le coût et de l'émission comme déjà mentionné plus haut , on trouve que la fonction objective à minimiser et fortement non linéaire et non convexe pour les raisons suivantes :

- La fonction de coût est non convexe et ce dû à l'effet de l'ouverture des vannes.

- La fonction de coût est discontinue et ce par la présence des zones de fonctionnement prohibées.
- La fonction de coût est non linéaire vu la présence des contraintes Rampes.
- La fonction de l'émission est une fonction fortement non linéaire.

Voyant maintenant pourquoi les méthodes conventionnelles restent incapables de solutionner ce type de problème difficile et qui doit en parallèle satisfaire aux multitudes de contraintes d'égalité et d'inégalité expliquées aux chapitres (1) et (3) dont l'optimum global souhaité ne peut localiser que par l'application des algorithmes d'optimisation globales et leurs algorithmes hybrides développés en cours de l'élaboration de cette thèse et qui sont bien expliqués par la suite.

4.5 Méthodes Méta heuristiques :

4.5.1 Algorithme de Luciole (FA) :

4.5.1.1 Définition du Luciole :

Les lucioles (en anglais firefly) sont des insectes ailés issus de la famille des abeilles et qui sont capables de produire une lumière chimique clignotante générée à partir de l'abdomen inférieur du corps de ces dernières avec une couleur qui peut être jaune, verte ou rouge pâle, d'une longueur d'onde qui situe entre 510 à 670 nanomètres.

Le clignotement des lucioles est un spectacle étonnant dans le ciel de l'été dans les régions tropicales et tempérées. Il y a environ deux mille espèces de lucioles, et la plupart des lucioles produisent des clignotements courts et rythmés. La lumière du clignotement est produite par un processus de bioluminescence qui peut servir d'attirer les couples, ou d'attirer des proies ou encore pour alerter et signaler un danger.



Figure 4.3:Luciole Naturelle

4.5.1.2 Principe de l'Algorithme (FA):

L'algorithme Firefly est une méta heuristique, introduite pour la première fois par Dr Xin-She Yan de l'université de Cambridge en 2007, l'algorithme est basé sur le principe d'attraction entre les lucioles et simule le comportement d'un essaim de lucioles dans la nature, ce qui lui donne beaucoup de similarités avec d'autres méta heuristiques basées sur l'intelligence collective du groupe et qui s'articule sur les trois points suivants[82]:

- ✓ Toutes les lucioles sont unisexe, ce qui fait l'attraction entre celles-ci n'est pas en fonction de leur sexe.
- ✓ L'attraction est proportionnelle à leurs luminosités, donc pour deux lucioles, la moins lumineuse se déplacera vers la plus lumineuse, si aucune luciole n'est lumineuse qu'une luciole particulière, cette dernière se déplacera aléatoirement.
- ✓ La luminosité des lucioles est déterminée en fonction d'une fonction objective (à optimiser).

4.5.1.3 Etape de l'algorithme:

L'organigramme suivant explique le mécanisme de recherche de l'algorithme (FA) :

Définir une fonction objective $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)$

Générer une population de lucioles x_i ($i = 1, 2, \dots, n$)

Définir l'intensité de lumière I à un point x_i par la fonction objective $f(x_i)$

Déterminer le coefficient d'absorption γ

Tant que ($t < \text{Max Génération}$)

Pour $i = 1$ jusqu'à n

Pour $j = 1$ jusqu'à n

Si ($I_i < I_j$) Déplacer la luciole j vers la luciole i

Fin Si Varier l'attraction en fonction de la distance r via $\exp[-\gamma r]$

Evaluation des nouvelles solutions et mettre à jour l'intensité de lumière

Fin Pour j

Fin Pour i Classer les lucioles et trouver la meilleure solution

Fin Tant que

Visualiser les résultats

L'algorithme Firefly s'articule sur deux principes qui sont la variation de l'intensité de la lumière et la formulation de l'attraction. Commencant par l'attraction des lucioles qui est déterminée en fonction de la luminosité, où cette dernière est déterminée avec une fonction objective à optimiser dans notre cas c'est la fonction du coût. La luminosité I d'une luciole à une position x peut être définie comme $I(x) = \alpha f(x) - 1$, cependant l'attraction β est relative à la position des autres lucioles, par conséquent elle varie en fonction de la distance r_{ij} entre la luciole i et la luciole j d'un autre côté, l'intensité de la lumière diminue avec la croissance de la distance par rapport à la source [83] ce qui fait que l'attraction peut varier selon le degré d'absorption. Pour simplifier, l'intensité de la lumière $I(r)$ varie en fonction de la loi $I(r) = I_s / r^2$ où I_s est l'intensité à la source. Pour une valeur constante de γ , l'intensité varie en fonction de la distance r , ce qui donne $I = I_0 e^{-\gamma r}$, où I_0 est l'intensité de la lumière de la source, la combinaison des deux effets de la loi carrée inverse et l'absorption peut être approximer avec la formule Gaussienne suivante [83]:

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad 4.5.1.2$$

Dans certains cas il est impératif d'employer une fonction mono tonique décroissante. On se basant sur l'approximation suivante :

$$I(r) = \frac{I_0}{1 + \gamma r^2} \quad 4.5.1.3$$

Sachant que l'attraction d'une luciole est proportionnelle à l'intensité des lucioles adjacentes, La formule de cette attractivité β d'une luciole peut être définie comme suit :

$$B(r) = B_0 e^{-\gamma r^2} \quad 4.4$$

Où β_0 est l'attraction à $r = 0$, le calcul de $\beta(r)$ est défini par :

$$B(r) = B_0 e^{-\gamma r^m} \quad (m \geq 1) \quad 4.5$$

D'autre part, la distance entre deux lucioles i et j à des positions x_i et x_j est définie par la distance cartésienne suivante :

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad 4.6$$

Où $x_{i,k}$ représente le k ème composante spatiale de la coordonnée x_i de la luciole i . Dans un repaire à deux dimensions, la formule r_{ij} devient :

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad 4.8$$

Le mouvement d'une luciole i attirée par une autre lucioles j (plus lumineuse que i) est exprimé par l'équation sous dessous :

$$x_i = x_i + B_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha (rand - \frac{1}{2}) \quad 4.9$$

L'attraction est représenté par la deuxième partie de l'équation, tant dis que la troisième partie rajoute de l'aléatoire à cette dernière où α est aléatoire, *rand* est une fonction de génération de nombre aléatoire uniforme dans l'intervalle [0, 1]. Le paramètre γ caractérise la variation de l'attractivité, sa valeur est importante dans la détermination de la vitesse de convergence et le comportement de l'algorithme.

4.5.2 L'algorithme à base de biogéographie (Biogeography Based Optimization BBO) :

4.5.2.1 Définition :

La biogéographie est une jeune méthode basée sur l'étude de la répartition spatiale des espèces vivantes végétales et animales et des causes de cette dernière. Elle traite de la façon dont la richesse en espèces (nombre d'espèces) est maintenue dans un système d'île qui sont sujettes à l'immigration et sur lesquelles des espèces s'éteignent [84]. Dans la science de la biogéographie, une île est définie comme la zone écologique habitée par des plantes particulières ou d'espèces animales et géographiquement isolée d'autres habitats. Chaque île a ses caractéristiques telles que la disponibilité alimentaire, les précipitations, la température, la diversité des espèces, la sécurité, etc..., la qualité d'une île est mesurée par son indice d'adéquation (Suitability Index), les îles avec un indice élevé sont plus adaptées à la vie et ont donc une grande population [82].

4.5.2.2 Mécanisme de recherche de l'Algorithme BBO:

L'algorithme BBO est constitué d'une population d'individus appelés îles (ou habitats). Chaque île représente une solution candidate au problème traité. La « fitness » de chaque île est calculée par son HSI (Habitat Suitability Index), et chaque île est représentée par des SIV (Suitability Index Variables). Une bonne solution au problème d'optimisation est une île avec un grand nombre d'espèces, ce qui correspond à une île avec un faible HSI [84], L'algorithme BBO s'articule dans son processus de recherche sur les trois opérateurs connus pour les

algorithmes évolutionnaires, quand verrons les expliqués en détail dans les paragraphes qui suivent à savoir :

- *La sélection*
- *La migration*
- *La mutation*

Tableau 4.1: Terminologie de la BBO

La Biogéographie	Algorithme BBO
Habitat ou île	Solution du problème
HSI	Qualité de la solution (fonction coût)
SIV	Les Variables du problème d'optimisation

4.5.2.3 Variable d'indice d'adéquation

Une variable d'indice d'adéquation (*SIV: Suitability Index Variable*) est une variable entière, réelle ou booléenne qui caractérise l'habitabilité d'une île [85].

4.5.2.4 Habitat

Un habitat H est une solution du problème représentée généralement par un vecteur initialisé aléatoirement par des variable d'indice d'adéquation. Il est noté :

$$H = [SIV1, SIV2, \dots, SIVK] \quad 4.10$$

4.5.2.5 Population

Une population est un ensemble de n habitats .

$$Pop = [H1, H2, \dots, Hn] \quad 4.11$$

4.5.2.6 Indice d'adéquation de l'habitat

Un indice d'adéquation de l'habitat (*HSI*) équivalant au fitness, associe une valeur pour chaque individu. Cette valeur a pour but d'évaluer le degré d'adaptation d'un individu à son environnement [82].

$$HSI = f(H) = f(SIV1, SIV2, \dots, SIVK) \quad 4.12$$

4.5.2.7 Taux d'immigration

Le taux d'immigration $\lambda(Hi)$ est le taux d'entrée des variables (SIV) à un habitat.

4.5.2.8 Taux d'émigration

Le taux d'émigration $\mu(H_i)$ est le taux de sortie des variables (SIV) d'un habitat.

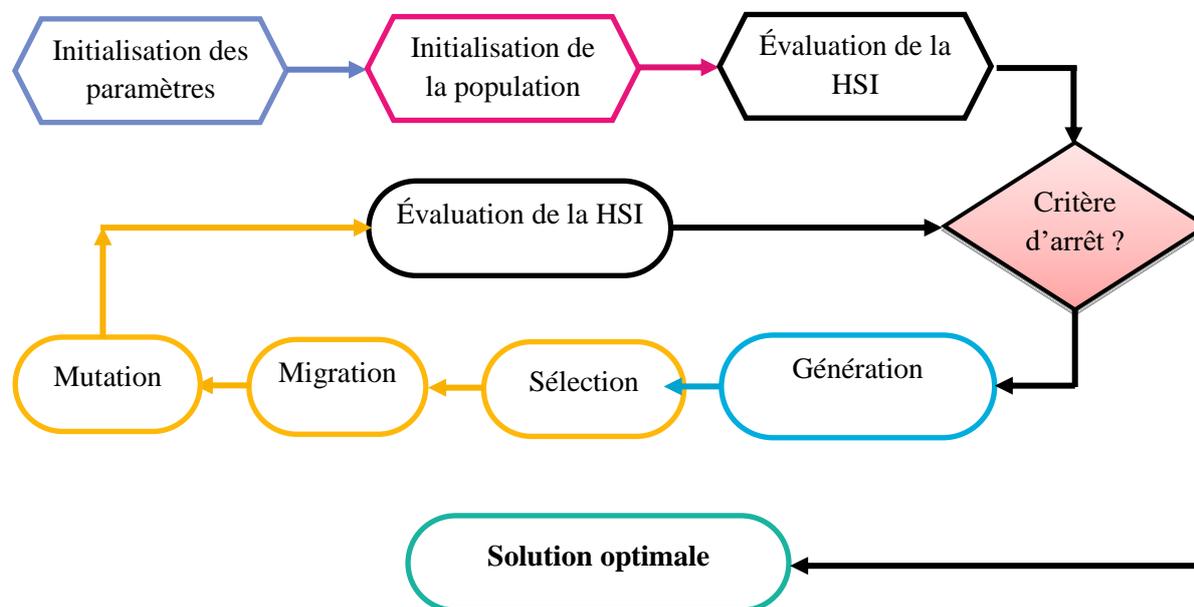


Figure 4.4: Organigramme Fonctionnel de l'algorithme BBO

4.5.2.9 Étapes de l'optimisation de l'algorithme

L'organigramme présenté par la Figure 4.4, explique le mécanisme général de recherche chez l'algorithme (BBO). L'algorithme commence par une initialisation des paramètres et la population initiale, la population sera modifiée par des opérateurs spécifiques en construisant chaque fois de nouvelles populations jusqu'à l'obtention d'une qualité (HSI) meilleure qu'une valeur préfixée ou atteindre un nombre maximal de génération.

4.5.2.9.1 Initialisation des paramètres :

Dans cette étape, on fixe les paramètres de contrôle tel que indiqué dans le tableau suivant, on commençant le processus par une génération aléatoire d'une population initiale de n habitats dont la taille est inchangeable pendant tout le processus algorithmique.

Tableau 4.2: Paramètres de l'algorithme BBO

Paramètres	Notation	Valeur
Taille de la population	NP	100
Probabilité de mutation	pm	0,01
Taille de la mémoire élite	n_{elit}	2

Taux d'immigration maximal	I	1
Taux d'émigration maximal	E	1
Nombre maximum de générations	g_{max}	1000/200 Selon le Problème

4.5.2.9.2 La Sélection

Cette opération consiste de sélectionner les habitats ou individus candidats, cette dernière est fondée sur la qualité des habitats estimée à l'aide de la fonction fitness. Comme les algorithmes évolutionnaires il existe plusieurs méthodes de sélection telles que : sélection par roulette, sélection par rang et sélection par tournoi.

Dans la sélection par roulette. La population est représentée comme une roue de roulette, où chaque habitat est représenté par une portion qui correspond proportionnellement à sa valeur de HSI (fitness) [82]. La sélection d'un individu se fait en tournant la roue. L'un des inconvénients de ce type de sélection est de choisir presque toujours le même habitat s'il en existe un bien meilleur que tous les autres, ce qui cause une perte de diversité dans la population. [82]

4.5.2.9.3 Opérateur de migration

La migration est un opérateur probabiliste utilisé pour modifier chaque solution H_i en partageant des caractéristiques parmi les différentes solutions. L'idée de l'opérateur de migration est basée sur la migration en biogéographie, qui représente le mouvement des espèces entre les différents habitats [82]. La probabilité qu'une solution est sélectionnée pour immigrer ou émigrer est lié de son taux d'immigration λ_i ou le taux d'émigration μ_j . Le processus de migration est défini par la relation :

$$H_i(SIVk) \leftarrow H_j(SIVk) \quad 4.2$$

chaque solution H_i a son propre taux d'immigration λ_i et aussi son taux d'émigration μ_i . Ces deux facteurs sont calculés par l'équation (4.13) et l'équation (4.14) respectivement.

$$\lambda_i = I \left(1 - \frac{k_i}{n}\right) \quad 4.3$$

$$\mu_i = E \left(\frac{k_i}{n}\right) \quad 4.4$$

I et E représentent les taux maximaux possibles d'immigration et d'émigration respectivement. K_i représente le rang du ime habitat après le tri de tous les habitats en

fonction de leur HSI. N représente la taille de la population. La Figure (4.5) illustre deux solutions candidates S_1 et S_2 à un problème en utilisant des courbes d'immigration et d'émigration symétriques ($E = I$) [82].

S_1 représente une mauvaise solution tandis que S_2 représente une meilleure solution. La probabilité d'immigration pour S_1 sera donc plus élevée que celle de S_2 alors que la probabilité d'émigration pour S_1 sera inférieure à la probabilité d'émigration pour S_2 [85].

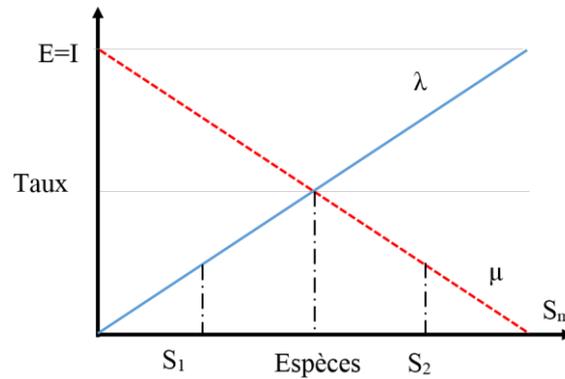


Figure 4.5: Illustration de deux solutions candidates S_1 et S_2

4.5.2.9.4 Opérateur de mutation

La mutation est un opérateur probabiliste utilisé pour modifier un ou plusieurs SIV d'une solution sélectionnée aléatoirement en se basant sur sa probabilité d'existence P_{ig} pour la génération g . Cet opérateur aide à introduire de nouvelles caractéristiques et augmente la diversité dans la population, la probabilité de mutation m_i est fixée en fonction de la probabilité de la solution donnée par l'équation (4.15).

$$m_i = m_{\max} \left(1 - \frac{P_{ig}}{P_{\max}}\right) \quad 4.5$$

Où : : m_i : Le taux de mutation pour l'habitat i . m_{\max} : Le taux maximum de mutation. P_{\max} : La probabilité maximale d'existence.

Avant d'appliquer l'opérateur de la mutation, nous devons calculer P_{ig} , la probabilité d'existence de l'habitat i dans la génération actuelle g . Ce paramètre est calculé à partir de sa valeur dans la génération précédente par l'équation (4.16) [82].

$$P_{ig} = P_{ig-1} + P'_{ig} \quad 4.6$$

Les valeurs de P_i avant le début de l'algorithme sont initialisées à $1/n$ pour chaque habitat P_i est le changement de probabilité d'existence de l'habitat i , il est donné par l'équation (4.17) [82] :

$$P_i = \begin{cases} -(\lambda_i + \mu_i)P_i + \mu_{i+1}P_{i+1} & i = 1 \\ -(\lambda_i + \mu_i)P_i + \lambda_{i-1}P_{i-1} + \mu_{i+1}P_{i+1} & 2 \leq i \leq n \\ -(\lambda_i + \mu_i)P_i + \lambda_{i-1}P_{i-1} & i = n \end{cases} \quad 4.7$$

4.5.3 L'algorithme d'abeilles (Bees Algorithm BA) :

4.5.3.1 Définition :

L'algorithme d'abeilles (Bee Algorithm ou BA) a été introduit par Pham et al. en 2005 [86] cet algorithme a le pouvoir de simuler le comportement alimentaire des abeilles par le biais d'une recherche de voisinage combinée avec une recherche aléatoire en se basant sur une population initiale d'abeilles qui est divisée en deux groupes: les scouts qui sont responsables de l'exploration de l'espace de recherche alors que les recrues sont chargés d'exploiter cet espace pour localiser des solutions via une recherche locale.

4.5.3.2 Algorithme (BA) :

On peut définir les étapes de recherche de cet algorithme comme suit :

-
- ✓ Placer chaque abeille sur une position aléatoire dans l'espace de recherche ;
 - ✓ Évaluer la fitness de la population ;
 - ✓ **Tant que** le critère d'arrêt n'est pas satisfait **faire**
-

Choisir des solutions pour une recherche locale (exploitation) ;

Affecter les abeilles pour commettre la recherche locale sur les solutions choisies et la fitness évaluée ;

Pour chaque solution, sélectionner la meilleure amélioration ;

Remplacer les solutions restantes avec des solutions aléatoires (scouts) ;

Fin Tant que

4.5.4 L'algorithme de colonies des abeilles artificielles :

L'algorithme de colonies des abeilles artificielles proposé par Karaboga en 2005[87] inspire son mécanisme de recherche à partir du comportement des essaims des abeilles dans la nature pour la recherche de leur nourriture. Les abeilles visent à découvrir des endroits contenant des sources de nourriture (régions de l'espace de recherche) en exerçant des déplacements très efficaces en utilisant un ensemble de danses frétilantes comme moyen de communication entre elles ces danses permettent aux abeilles de partager des informations

sur la direction, la distance et la quantité du nectar avec ses congénères (une bonne fitness) [88]. Il existe trois types d'abeilles: les abeilles scouts qui volent au hasard dans l'espace de recherche sans orientation; les abeilles employées qui exploitent le voisinage de leur emplacement en sélectionnant une solution aléatoire et les abeilles spectatrices qui utilisent la fitness de la population pour choisir, de manière probabiliste, une solution de guidage pour exploiter leur voisinage [89];. Si la quantité de nectar d'une nouvelle source est supérieure à celle de la précédente dans la mémoire, ils mettent à jour la nouvelle position et oublient la précédente (greedy selection) si une solution n'est pas améliorée par un nombre prédéterminé d'essais contrôlé par le paramètre de la limite, alors la source de nourriture est abandonnée par l'abeille employée correspondante et celle-ci devient une abeille scout.[89]. Le processus de recherche de l'algorithme (ABC) s'articule sur les points suivants :

Placer chaque abeille employée sur une position aléatoire dans l'espace de recherche.

Tant que le critère d'arrêt n'est pas atteint **faire**

Pour toutes les abeilles employées **faire**

Si le nbr d'étapes sur la même position = la limite **alors**

 Choisir une position aléatoire dans l'espace de recherche ;

Si non tenter d'améliorer la position ;

Si la meilleure position est trouvée, **alors**

 changer la position ;

 Réinitialisation le nbr d'étapes sur la même position ;

Fin Si ;

Fin Si ;

Fin Pour ;

Pour toutes les abeilles spectateurs **faire**

 Choisir la position d'abeille employée ;

 tenter d'améliorer la position ;

Fin pour ;

Fin tant que

4.5.5 Optimisation par essais de particules

L'Optimisation par Essaim de Particule (PSO) a été proposée pour la première fois par Kennedy et Eberhart en 1995 [34] et est inspirée du comportement social des animaux

évoluant en essaim tels que les oiseaux , les poissons et les groups d'insectes de telle sorte l'algorithme (PSO) inspire son stratégie de la cohésion chez ces groupes, en effet l'expérience de l'individu s'ajoute à l'expérience de groupe afin d'arriver à la source de nourriture. On peut observer que chaque particule de l'essaim a une intelligence limitée et une connaissance seulement locale de sa situation dans l'essaim en plus chaque particule n'a pour connaissance que la position et la vitesse de ses plus proches voisins.

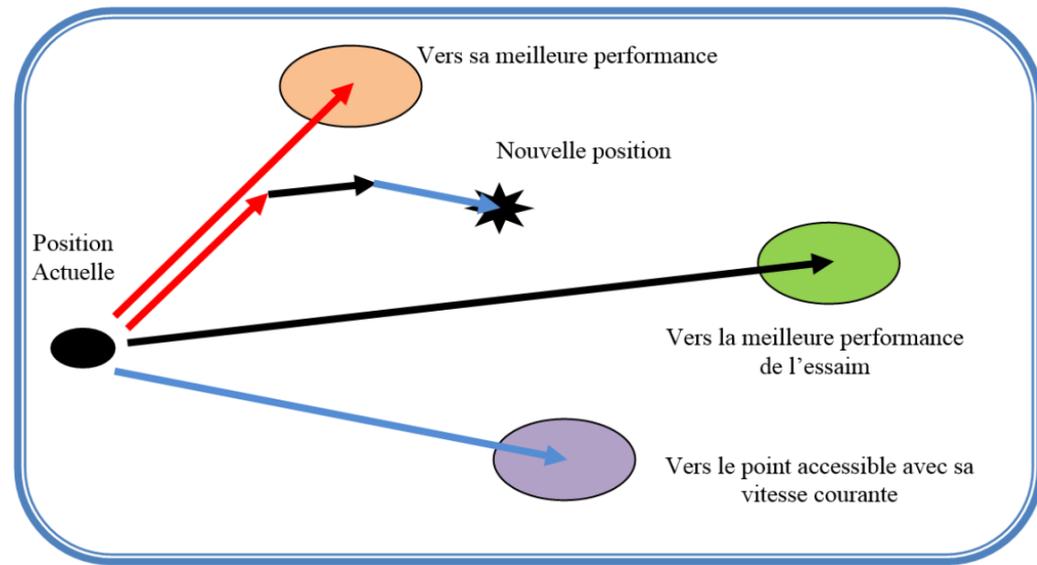


Figure 4.6: Déplacement d'une particule

Chaque individu utilise donc, non seulement, sa propre mémoire, mais aussi l'information locale sur ses plus proches voisins pour décider de son propre déplacement, des règles simples telles que aller à la même vitesse que les autres, se déplacer dans la même direction ou encore rester proche de ses voisins sont des exemples de comportements qui suffisent à maintenir la cohésion de l'essaim et qui permettent la mise en œuvre de comportements collectifs complexes et adaptatifs [82]. l'interaction entre les différentes particules conduit le processus algorithmique d'aboutir à la solution finale qui est globale.

Le déplacement d'une particule est dirigé par les trois composantes suivantes :

- ✓ Une composante physique : la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement ;
- ✓ Une composante cognitive : la particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée ;
- ✓ Une composante sociale : la particule tend à se référer à l'expérience de ses congénères et se diriger vers le meilleur site déjà atteint par ses voisins.

On peut simuler le comportement de la stratégie de déplacement d'une particule par la figure (4.6) :

La position de chaque particule de l'essaim est déterminée par le système d'équation suivant :

$$\begin{aligned}
 V(t+1) &= w * V(t) + C1 * rand_1 * (Pbest(t) - X(t)) + \\
 &\quad C2 * rand_2 * (Gbest(t) - X(t)) \\
 x(t+1) &= x(t) + V(t+1)
 \end{aligned}
 \tag{4.8}$$

Tel que : $X(t)$: Position de la particule $P(t)$. $V(t)$: Vitesse de la particule $P(t)$. $Pbest(t)$: Meilleure fitness obtenue pour la particule $P(t)$. $Gbest(t)$: Position de la particule $P(t)$ pour la meilleure fitness.

où w est en général une constante appelée, coefficient d'inertie, $C1$ et $C2$ sont deux constantes, appelées coefficients d'accélération, $rand_1, rand_2$ sont deux nombres aléatoires tirés uniformément de l'intervalle $[0,1]$ à chaque itération et pour chaque dimension.

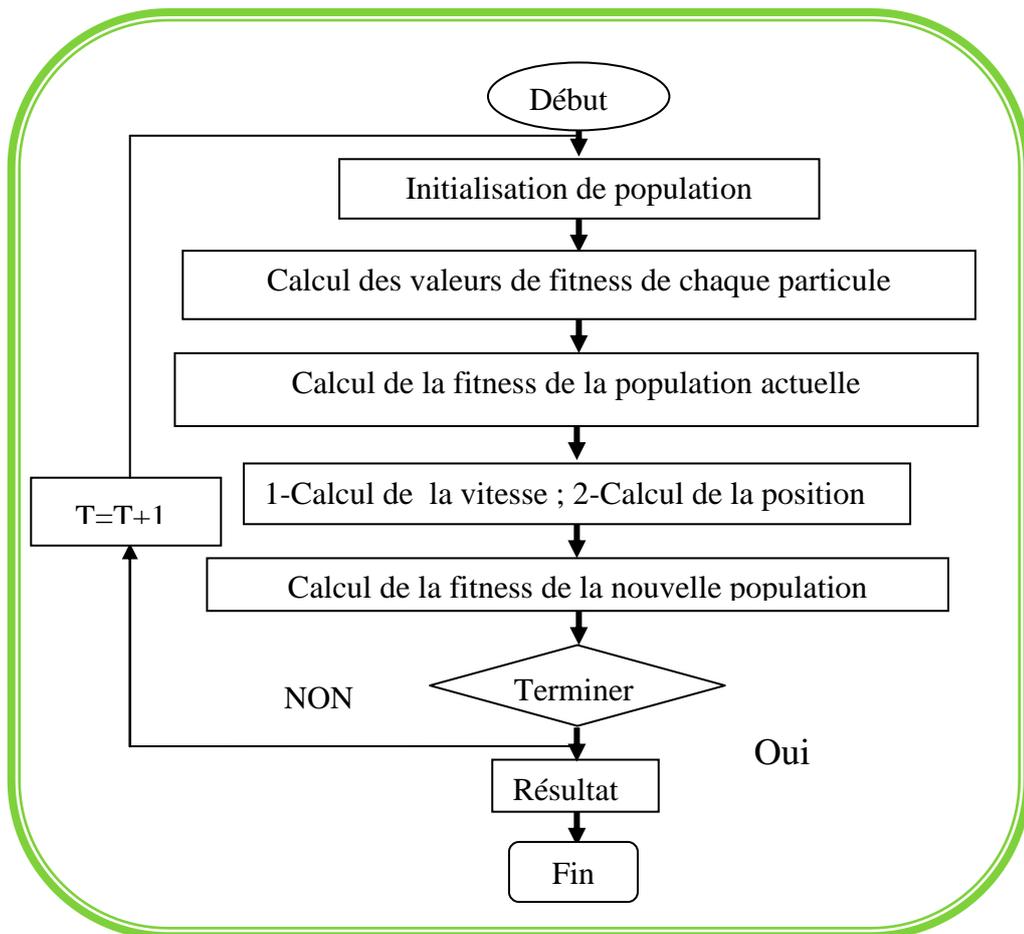


Figure 4.7: Organigramme d'un (PSO)

4.5.6 Algorithme d'optimisation par essaim de particule avec coefficient d'accélération variable (PSO-TVAC)

Cette fois ci les coefficients : cognitif et social (C_1) (C_2) décrits par les équations (4.19) et (4.20) ne sont plus constants mais variables en fonction de génération, autrement dit dans le temps dont le but est de guider l'exploration tantôt vers la direction de l'expérience de l'individu (coefficient cognitif dominant) tantôt vers la direction de l'expérience de groupe (coefficient social dominant). Enfin l'interaction de ces deux facteurs dirige l'exploration vers la solution voulue. La Fig. (4.8) illustre l'interaction de ces deux facteurs en fonction de génération .

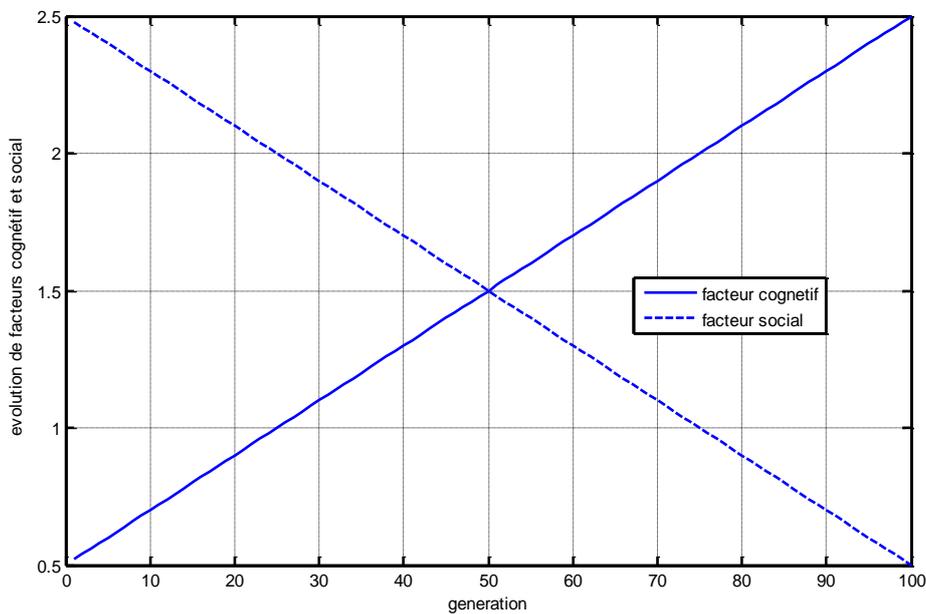


Figure 4.8: Interaction entre facteur social et cognitif

Le modèle mathématique de ce nouvel algorithme est basé sur le système d'équations suivant [35] :

$$\begin{cases} V(t+1) = w*V(t) + C_1 * rand_1 * (Pbest_i - X(t)) + C_2 * rand_2 * (Gbest_i - X(t)) \\ X(t+1) = X(t) + V(t+1) \end{cases} \quad 4.9$$

Tel que :

$$\begin{cases} C_1 = (C_{1f} - C_{1i}) \frac{iter}{iter_{max}} + C_{1i} \\ C_2 = (C_{2f} - C_{2i}) \frac{iter}{iter_{max}} + C_{2i} \end{cases} \quad 4.210$$

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

4.2211

Avec : $0.4 \leq w \leq 0.9$. Ou : C_1, C_2, w sont respectivement facteur cognitif, facteur social, coefficient d'inertie. $c_{1i}, c_{2i}, c_{1f}, c_{2f}$: Sont respectivement les valeurs initiales et finales de deux coefficients cognitif et social [35].

4.6 Conclusion :

Dans ce chapitre on a expliqué le rôle de l'optimisation pour traiter certains problèmes complexes, la notion multi objective a été aussi abordée, puis nous avons entamé l'étude de quelques méta heuristiques à savoir le (FA), le (BBO), le (PSO), (PSOTVAC), l'algorithme (BA) et (BAC) tout en expliquant leur processus de recherche, leur modèle mathématique et leurs algorithmes de fonctionnement, le futur chapitre représente la solution de notre problème par ces méthodes.

Chapitre 5 : Eudes de cas : Résultats et analyses

5.1 Cas d'Etude N°1 : Solution du problème de dispatching économique statique sans pertes

5.1.1 Introduction :

Ce premier test est dédié à la résolution du problème de dispatching économique statique sans pertes, la fonction de coût traitée est une fonction non linéaire, dans ce test on a appliqué trois algorithmes méta-heuristiques à savoir l'algorithme PSOTVAC, l'algorithme biogéographie BBO et l'algorithme de luciole FA dans le but de traiter le problème en question, en effet ces algorithmes sont appliqués sur le réseau test 13 unités pour une demande égale 1800 MW d'une part, et sur le grand réseau test 40 unités pour une demande égale 10500 MW d'autre part et ce afin de confirmer la robustesse des approches proposées. Les résultats ainsi obtenus sont sujet d'une mure comparaison.

5.1.2 Test N° 01 Réseau test 13 Unités :

Le premier test consiste à étudier l'application de trois algorithmes FA, BBO et le PSO-TVAC sur le système 13 unités, la base de donnée est celle trouvée dans [66].

Tableau 5.1: Solution de système 13 unités

Pg	FA	BBO	PSOTVAC	Pg	FA	BBO	PSOTVAC
Pg1	358.0949	450.9629	528.3898	Pg8	157.2829	83.7301	60.7253
Pg2	299.2081	360.0000	166.3555	Pg9	108.7980	159.0337	116.7703
Pg3	144.6904	74.7505	227.2383	Pg10	77.1032	79.3839	81.3671
Pg4	60.0000	109.7677	103.1879	Pg11	116.3344	74.1707	57.4312
Pg5	109.8275	77.5165	115.0450	Pg12	94.6092	119.5568	99.1763
Pg6	109.5198	60.0013	123.3118	Pg13	55.1021	78.9087	60.0144
Pg7	109.4377	72.2201	60.9814	-	-	-	-
Coût(\$)					18179	18825	18799

Tableau 5.2:Tableau de comparaison des solutions 13 unités

	FA	BBO	PSOTVAC
Population	20	20	20
Iter-max	100	100	100
Coût Minimal(\$)	18179	18825	18799
Coût Maximal(\$)	18832	19521	19401
Valeur Moyenne	326.3622	347.8597	300.6369
Temps (sec)	13.9408	2.4829	0.0668
Violation de Pd	0.0082	0.0028	-0.0059

5.1.3 Interprétation des résultats :

La meilleure solution obtenue est celle calculée par l’algorithme **FA 18179\$** comparativement avec les autres solutions trouvées par le **BBO** et le **PSOTVAC** respectivement **19521\$**, **19401\$**, pour fin des comparaisons le nombre de génération et la taille de population sont fixés à 20 et 100 respectivement, le tableau **5.1** aborde le détail de cette solution.

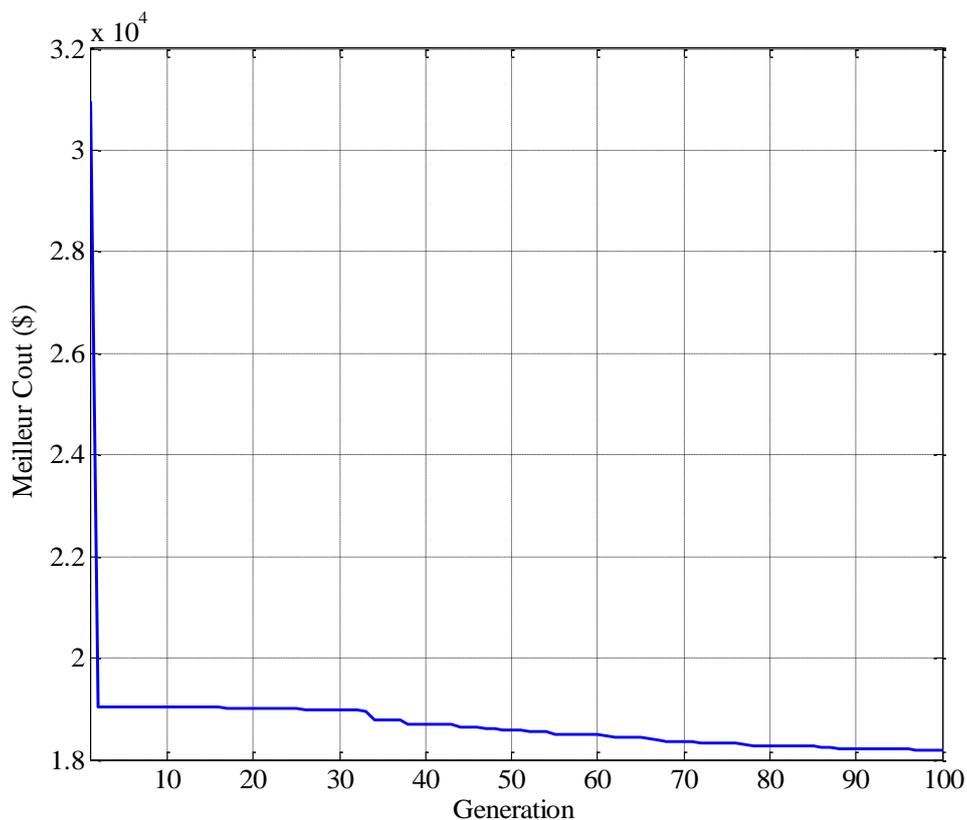


Figure 5.1: Caractéristique de convergence de FA

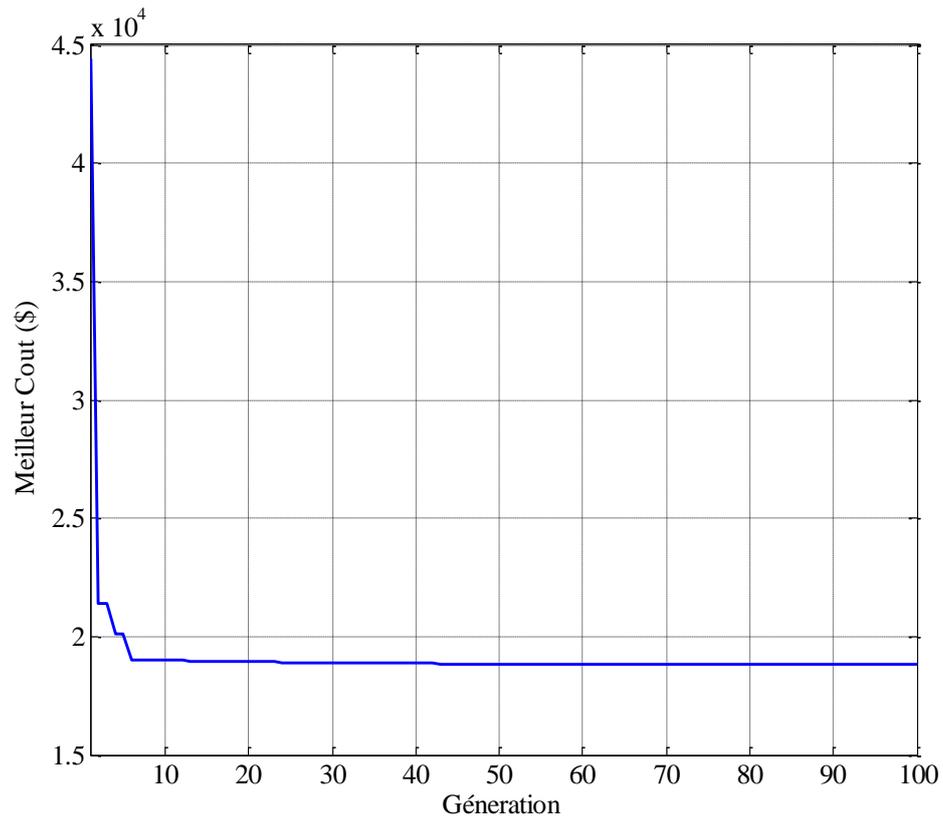


Figure 5.2: Caractéristique de convergence de BBO

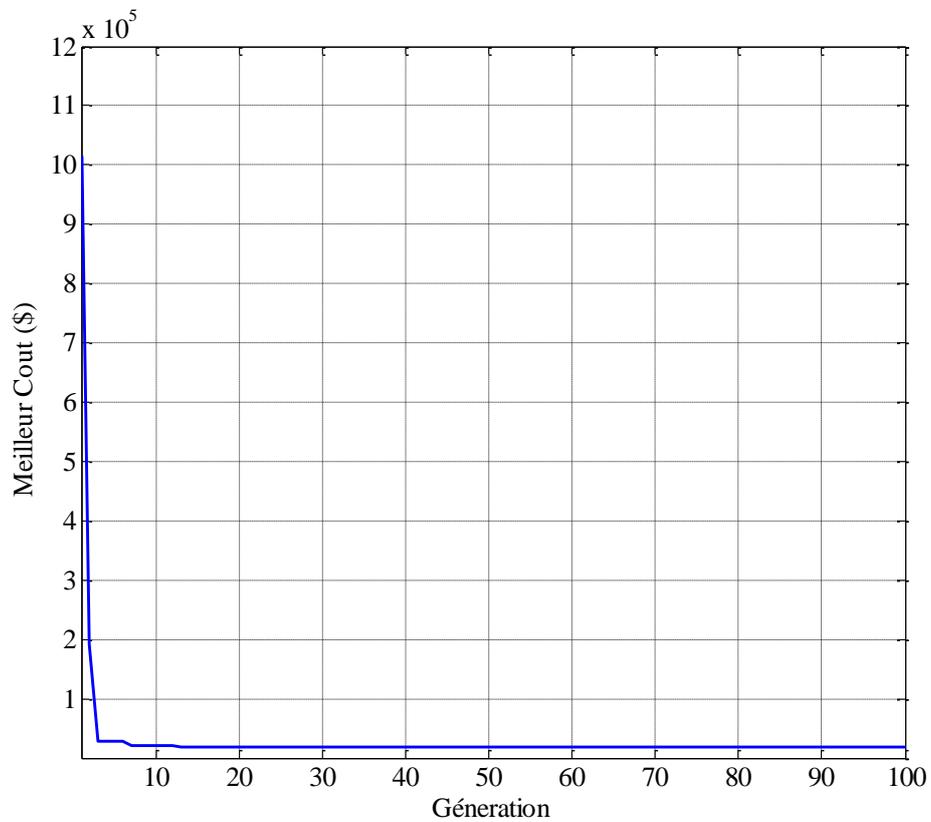


Figure 5.3: Caractéristique de convergence de PSOTVAC

La figure 5.1 indique la caractéristique de convergence de l’algorithme FA cette dernière présente clairement le pouvoir de recherche chez l’approche proposée qui coïncide pratiquement à l’itération 97 comparativement aux caractéristiques de convergences de BBO et PSOTVAC présentées par les deux figures sus-dessus 5.2 et 5.3, cependant l’algorithme PSOTVAC reste le plus rapide en matière de convergence par rapport le FA et le BBO avec un temps de calcul égal **0.0668 S** la contrainte d’égalité est toujours respectée elle est de l’ordre de 10^{-3} .

5.1.4 Test N°2 Réseau test 40 Unités :

La base de donnée du système 40 unité est mentionnée dans [90]

Tableau 5.3: Solution de système 40 unités

Pg	FA	BBO	PSOTVAC	Pg	FA	BBO	PSOTVAC
Pg1	114.0000	78.2002	67.5825	Pg21	544.1573	519.6548	451.9670
Pg2	106.9911	95.3513	114.0000	Pg22	529.1660	508.4606	542.5183
Pg3	74.4012	94.5048	71.6737	Pg23	524.4323	502.4958	550.0000
Pg4	175.1467	175.2057	181.9120	Pg24	542.3662	521.4342	513.3147
Pg5	97.0000	88.6251	74.6915	Pg25	533.7634	453.3827	550.0000
Pg6	94.8733	130.2966	127.2969	Pg26	537.1794	419.2868	320.9929
Pg7	273.4083	264.4900	290.8931	Pg27	12.5727	41.3475	33.3961
Pg8	299.7697	197.3946	152.6780	Pg28	10.1991	47.8463	10.0000
Pg9	282.5222	285.3914	298.7738	Pg29	10.0000	42.4455	10.0000
Pg10	130.0000	201.5087	207.9608	Pg30	87.5384	83.1575	69.1395
Pg11	179.7138	342.4865	237.5743	Pg31	167.6497	117.4014	190.0000
Pg12	94.0000	340.2653	139.1932	Pg32	187.1200	154.1970	190.0000
Pg13	125.9010	397.4715	499.9923	Pg33	190.0000	176.0412	190.0000
Pg14	490.2947	388.9451	308.5887	Pg34	189.2900	182.9699	191.4894
Pg15	219.7840	445.9026	500.0000	Pg35	200.0000	154.9535	200.0000
Pg16	489.6236	386.6778	201.7917	Pg36	173.3261	162.8738	193.0435
Pg17	480.8391	462.3187	500.0000	Pg37	93.3104	109.7614	107.3912
Pg18	491.1017	459.6051	499.8155	Pg38	85.7700	34.2602	79.8663
Pg19	514.4313	472.6507	550.0000	Pg39	96.0078	106.3453	100.6289
Pg20	527.1635	406.8497	550.0000	Pg40	525.2204	447.8068	431.8292
Coût (\$)					123920	131390	128750

Tableau 5.4: tableau de comparaison solution 40 unités

	FA	BBO	PSOTVAC	SOA [91]
Pop	50	50	50	-
Iter-max	100	100	100	-
Meilleure solution(\$)	123920	131390	128750	121416.44
Mauvaise solution(\$)	127800	146950	156880	-
Valeur Moyenne	1939.2	7775.6	1406.5	-
Temps(s)	11.5771	4.5763	0.21	-
Violation Pd	0.0344	0.2634	-0.0053	-

5.1.5 Interprétation des résultats :

Ce test est pour vérifier la robustesse de notre approche proposée, en effet la taille de population est augmentée à 50 contrairement au test précédent et ce pour dépasser les violations de contraintes relative à la taille important du système envisagé, les variables de contrôle sont mentionnées dans le tableau 5.3, le meilleur optimum global reflétant le coût de production le plus minime est celui trouvé par l’algorithme FA **123920\$** qui est nettement inférieur par rapport ceux calculés par le BBO **131390\$** et le PSOTVAC **128750\$**, les figures 5.4, 5.5 et 5.6 représentent les caractéristiques de convergence des trois approches étudiées le FA, le BBO et le PSOTVAC respectivement pour 100 générations.

Le temps nécessaire qui conduit à la convergence de l’algorithme FA est **11.5771 Sec**, le PSOTVAC prouve toujours sa rapidité de convergence estimée de **0.21Sec**, finalement la solution optimale aboutie ne présente aucune violation de contraintes tel qu’il est indiqué dans le tableau 5.4.

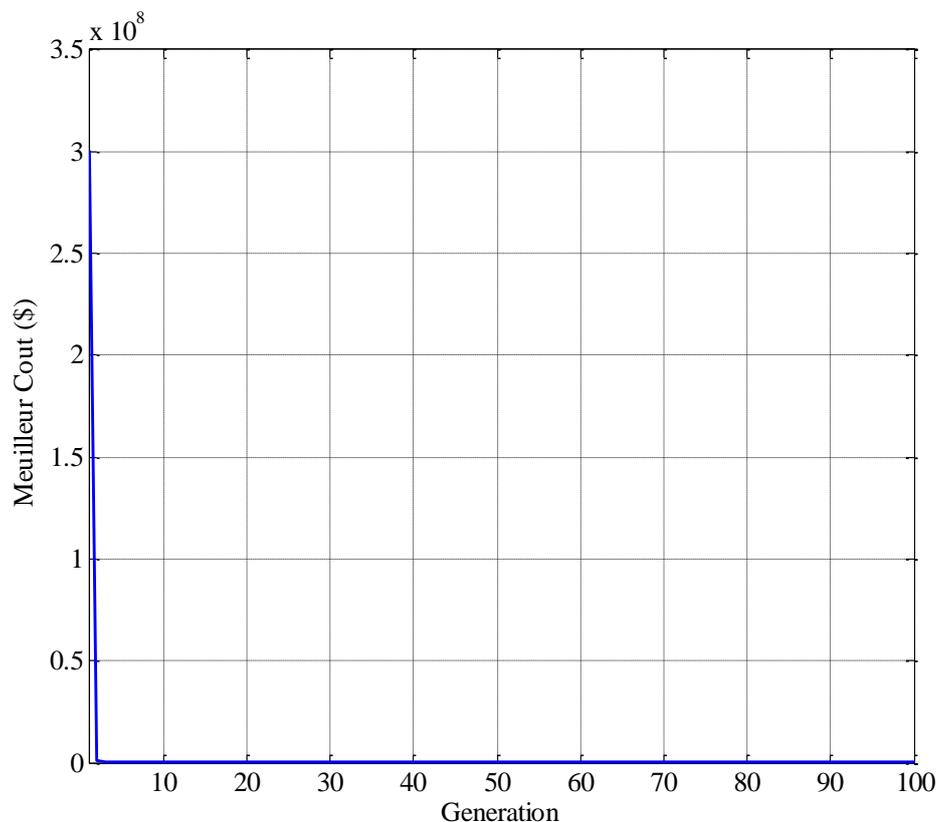


Figure 5.4: Caractéristique de convergence de FA

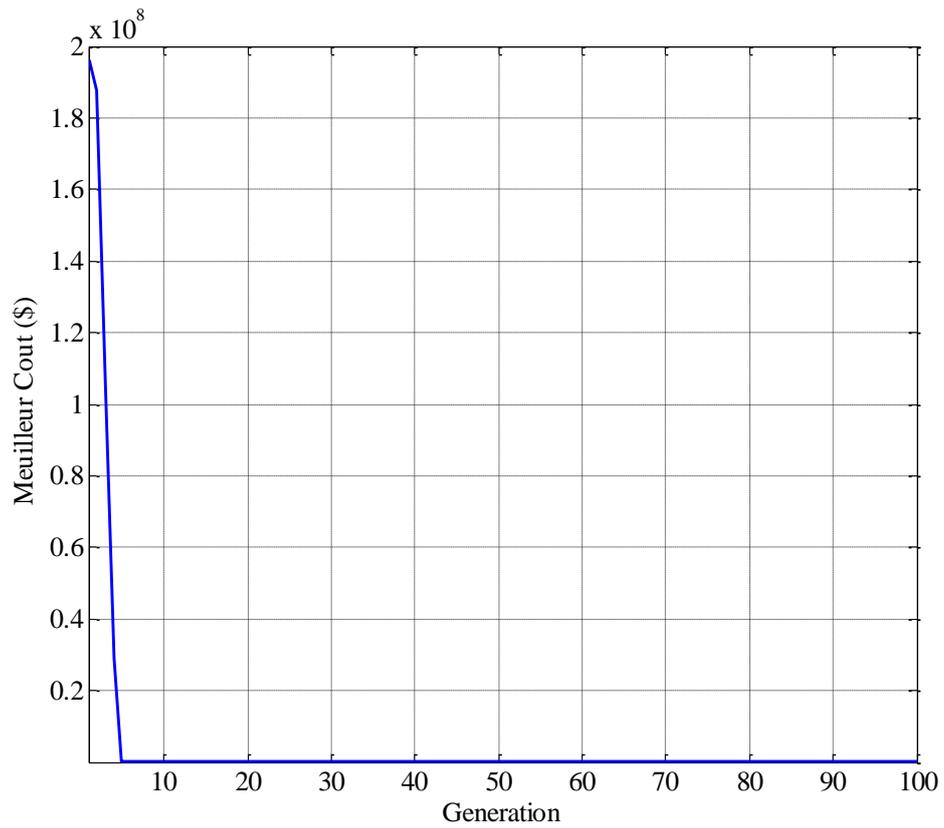


Figure 5.5: Caractéristique de convergence de BBO

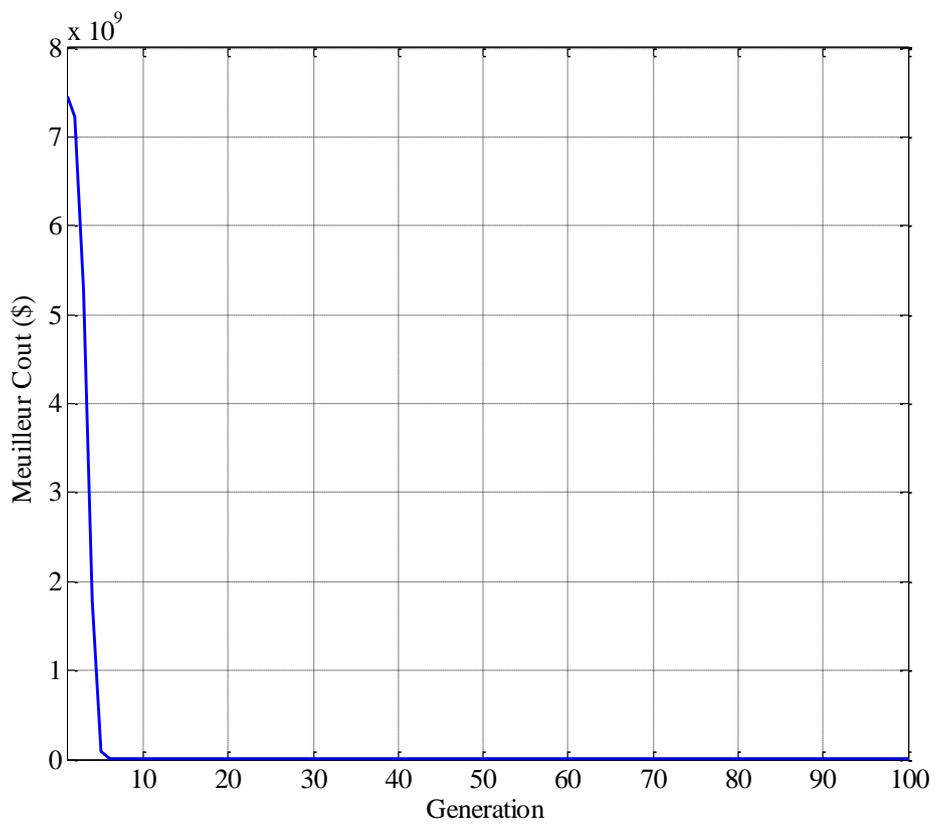


Figure 5.6: Caractéristique de convergence de PSOTVAC

5.2 Ca d'Etude N°2 : Solution du problème de dispatching économique statique avec pertes avec zones de fonctionnement prohibées.

5.2.1 Introduction :

Pour donner un aspect plus général dudit problème, ce cas d'étude vient d'introduire une nouvelle contrainte pratique liée essentiellement à la stabilité des unités de production à savoir les zones de fonctionnement interdites, dans ce test la solution du problème de dispatching économique statiques (SED) tient en compte une fonction non linéaire, en considérant les pertes de transmission, nos trois algorithmes le FA, BBO et le PSOTVAC élaborés dans le cadre de cette thèse sont appliqués pour résoudre le problème en question.

La solution présentée sous dessous correspond à la meilleure calculée pendant 50 répétitions de chaque algorithme, les résultats de système 10 et 30 unités sont indiqués dans les tableaux 5.5 et 5.7 respectivement.

5.2.2 Test N°1 Système 10 Unité :

Le résultat du système 10 unités correspond à une demande égale 1036 MW, la base de donnée du système est tirée à partir de [35], la matrice Beta est celle donnée par l'auteur [91], les zones de fonctionnement prohibées de système 10 unités est donnée par l'auteur [30], le résultat de ce système est donnée par le tableau suivant :

Tableau 5.5: Résultat système 10 unités pour Pd=1036

PG	FA	PSOTVAC	BBO	PG	FA	PSOTVAC	BBO
<i>Pg 1</i>	226.4846	150.0000	230.7916	<i>Pg 6</i>	57.0000	115.2990	58.6987
<i>Pg 2</i>	135.0000	135.2939	135.4660	<i>Pg 7</i>	129.6275	91.7283	93.1590
<i>Pg 3</i>	185.1125	289.4451	118.6774	<i>Pg 8</i>	47.1132	58.2909	82.9520
<i>Pg 4</i>	118.9243	60.0000	87.7919	<i>Pg 9</i>	20.0000	20.0596	52.5828
<i>Pg 5</i>	73.0000	73.0000	132.2886	<i>Pg 10</i>	55.0000	55.0000	55.0000
Coût (\$)					28828	29069	30166

Tableau 5.6: Tableau de comparaison réseau test 10 unités Pd=1036 MW

	FA	BBO	PSOTVAC
<i>Iter-max</i>	50	50	50
<i>Pop</i>	50	50	50
<i>Coût (\$)</i>	28828	29069	30166
<i>Pertes (MW)</i>	11.2413	12.1064	11.6348
<i>Coût Maximal(\$)</i>	30284	31522	93154
<i>Valeur Moyenne</i>	728.2601	1226,6	31494
<i>Temps (s)</i>	1.6845	0.0712	0.4670
<i>Viol Pd</i>	0.0207	0.0104	-0.2267

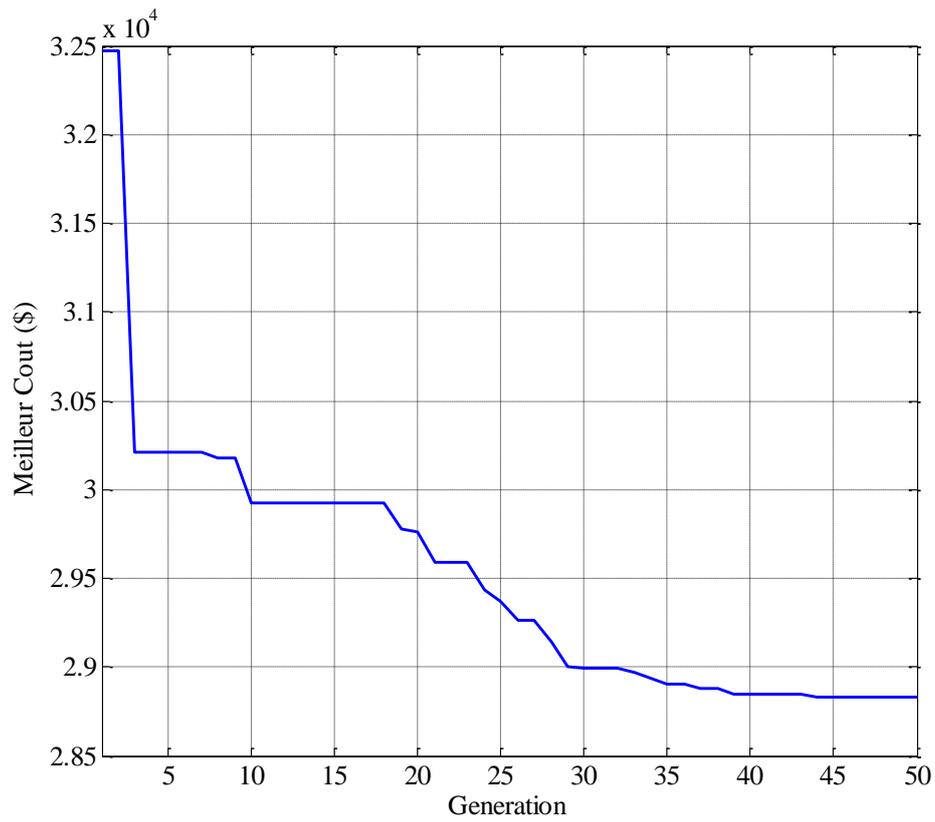


Figure 5.7: Caractéristique de convergence de FA

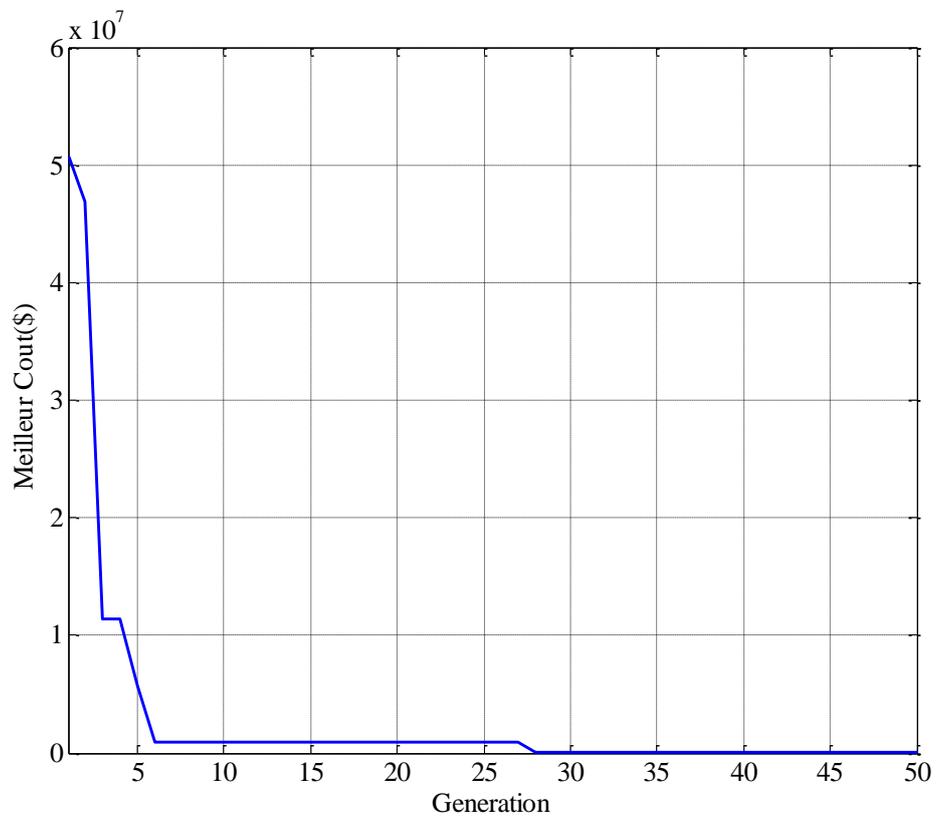


Figure 5.8: Caractéristique de convergence de BBO

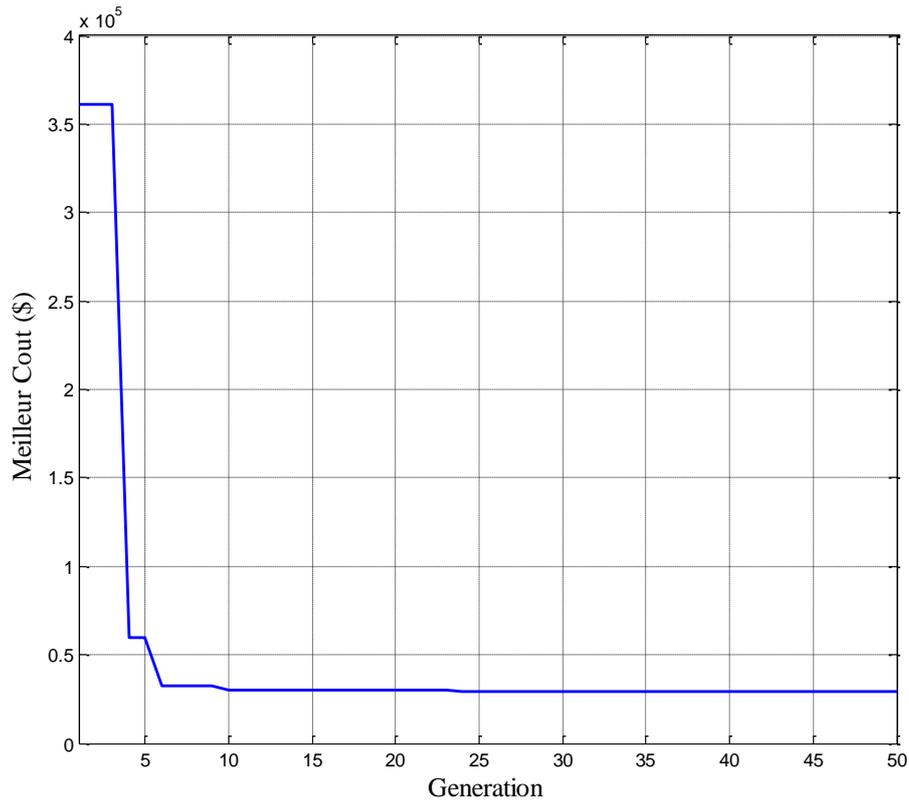


Figure 5.9: Caractéristique de convergence de PSOTVAC

5.2.3 Interprétation des Résultats test N°1 : Réseau Test 10 Unité :

La figure 5.7 nous montre la caractéristique de convergence de l'algorithme FA, ce dernier exploite efficacement l'espace de recherche en quête de la solution globale, cet optimum recherché n'est trouvé pratiquement qu'après le 45^{ème} itération, l'algorithme FA offrant ainsi une caractéristique de recherche qui excède celles de l'algorithme BBO arrivant à la solution optimale lors de 25 générations et le PSOTVAC au 27^{ème} itération, le tableau 5.5 aborde la solution complète de variables de contrôle, le coût minimal de génération trouvé par le FA est de **28828 \$** qui est nettement inférieur à ceux calculés par le BBO et PSOTVAC respectivement **29069 \$**, **30166 \$**, la valeur moyenne donnée par le FA est de **728.2601 \$** elle est aussi inférieure à celles calculées par le BBO **1226,6 \$** et le PSOTVAC **31494 \$**, concernant les pertes de transport accompagnées le faible coût calculé par le FA est égale **11.2413 MW** est inférieure aux valeurs générées par le BBO et le PSOTVAC comme il est mentionné dans le tableau 5.6.

5.2.4 Test N° 2 Réseau Test 30 Unités :

Le résultat du système 30 unités correspond à une demande égale 3108 MW est indiqué dans le tableau sou-dessous, la base de donnée du système 30 unité correspond à [21].

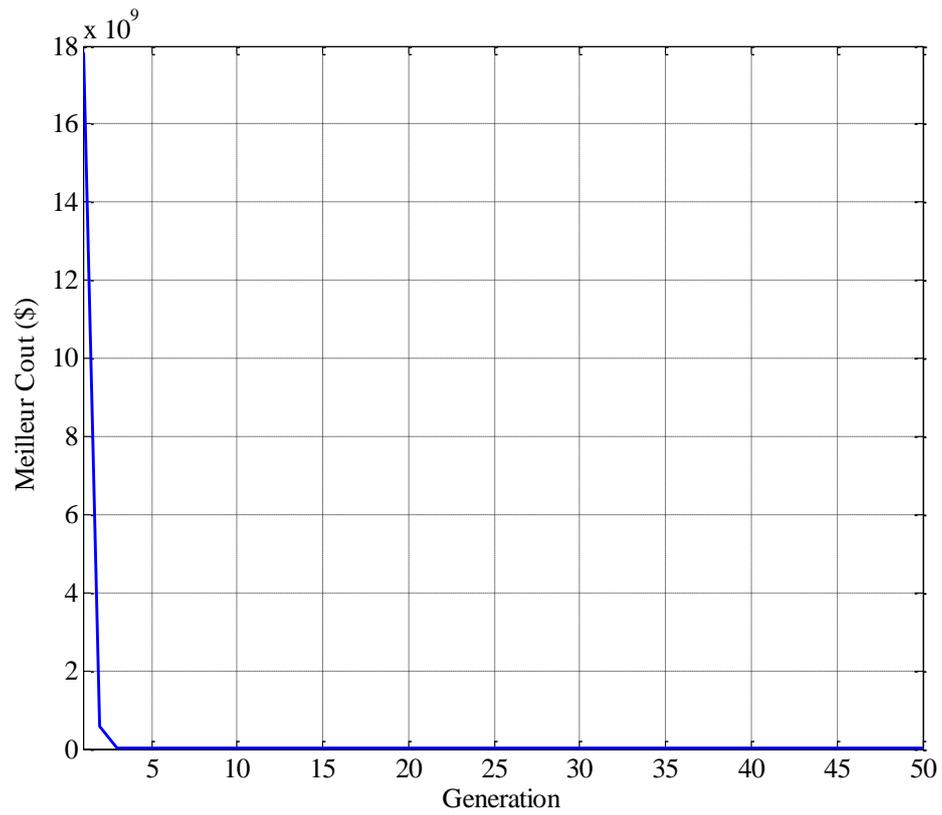


Figure 5.10: Caractéristique de convergence de FA

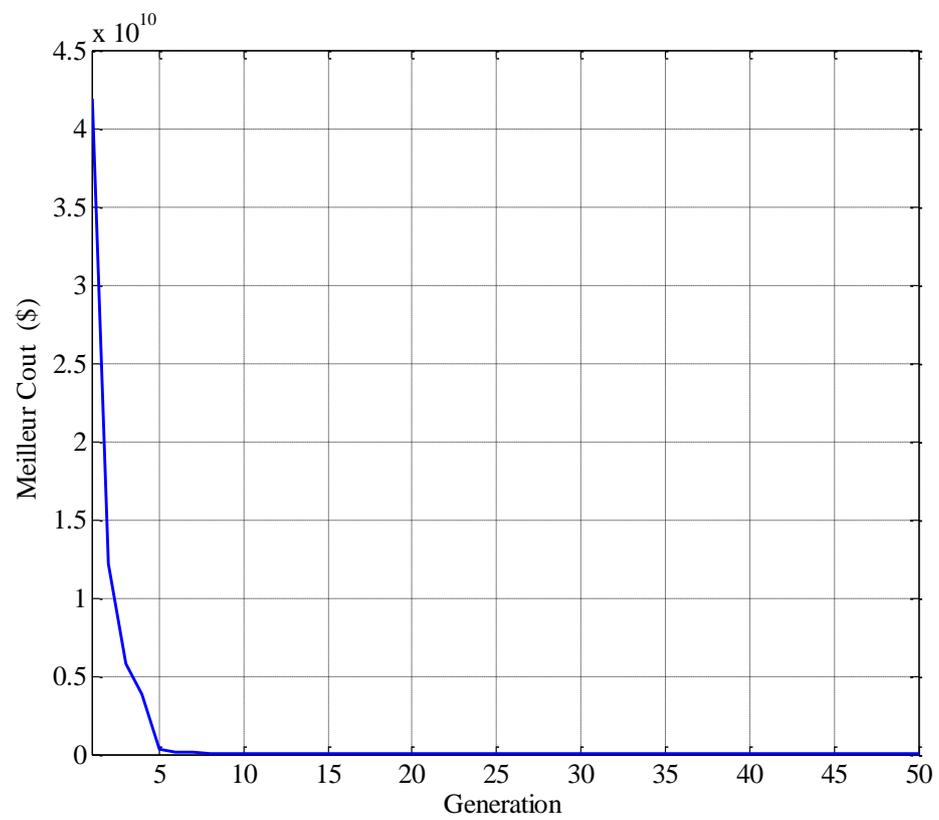


Figure 5.11: Caractéristique de convergence de BBO

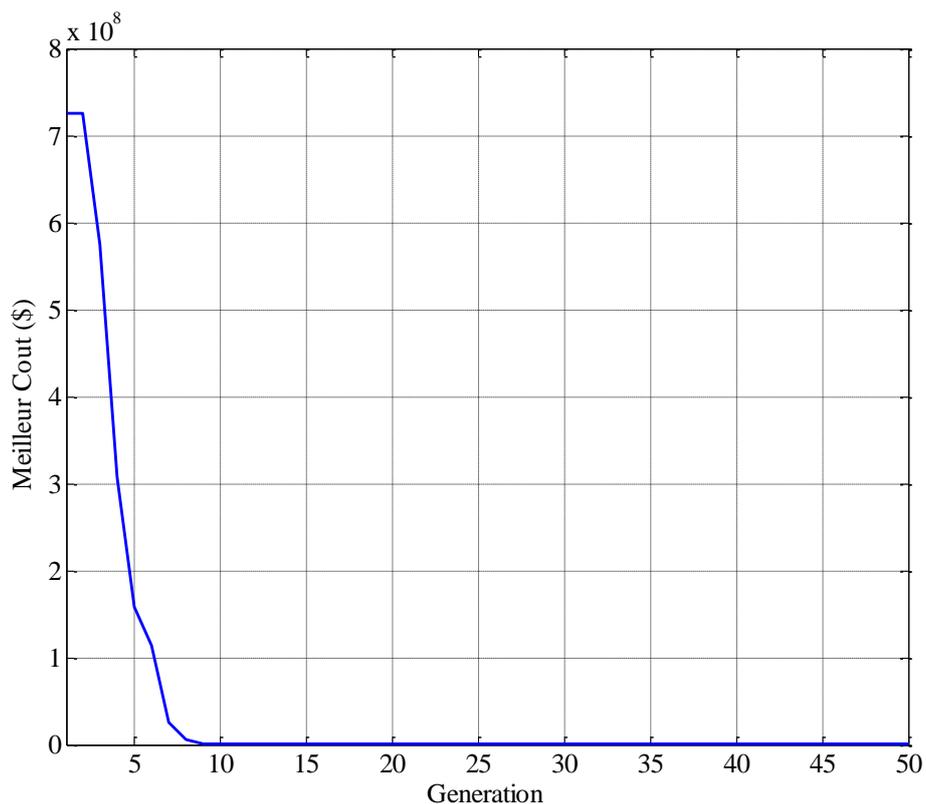

Figure 5.12: Caractéristique de convergence de PSOTVAC

Tableau 5.7: Résultat Système 30 Unités pour Pd=3108 MW

Pg	FA	BBO	PSOTVAC	Pg	FA	BBO	PSOTVAC
<i>Pg 1</i>	151.0465	222.4314	304.6740	<i>Pg 16</i>	149.3728	81.6045	57.1339
<i>Pg 2</i>	138.7785	143.8343	135.0000	<i>Pg 17</i>	85.7646	94.7463	93.6175
<i>Pg 3</i>	76.9789	77.8906	335.4321	<i>Pg 18</i>	75.3142	63.7996	47.0000
<i>Pg 4</i>	61.8939	112.3970	60.8705	<i>Pg 19</i>	32.1625	24.4167	20.0000
<i>Pg 5</i>	73.7823	153.8428	228.4212	<i>Pg 20</i>	55.0000	55.0000	55.0000
<i>Pg 6</i>	117.9598	84.6428	140.1445	<i>Pg 21</i>	154.1232	176.4910	150.0000
<i>Pg 7</i>	130.0000	65.8816	127.7702	<i>Pg 22</i>	135.1970	202.2359	135.0000
<i>Pg 8</i>	47.0000	54.7212	47.0000	<i>Pg 23</i>	107.3362	112.5448	73.0000
<i>Pg 9</i>	27.0143	25.5337	76.2215	<i>Pg 24</i>	162.7720	109.9120	60.0000
<i>Pg 10</i>	55.0000	55.0000	55.0000	<i>Pg 25</i>	217.8988	141.9297	73.0000
<i>Pg 11</i>	246.4132	232.4531	150.0000	<i>Pg 26</i>	85.5170	130.9706	136.4666
<i>Pg 12</i>	135.0000	141.2105	135.0000	<i>Pg 27</i>	97.6802	91.4419	92.7391
<i>Pg 13</i>	167.3349	117.1370	73.0000	<i>Pg 28</i>	73.9683	66.7131	116.4967
<i>Pg 14</i>	84.8467	169.8790	60.0000	<i>Pg 29</i>	28.1690	31.0728	47.3100
<i>Pg 15</i>	190.5540	131.8125	73.0000	<i>Pg 30</i>	55.0000	55.0000	55.0000
<i>Coût (\$)</i>					91948	94175	89555
<i>Pertes (MW)</i>					110.4170	118.7907	105.3126

Tableau 5.8: Tableau de Comparaison Réseau Test 30 Unités Pd=3108 MW

	FA	BBO	PSOTVAC
<i>Coût (\$)</i>	91948	94175	89555
<i>Iter-max</i>	50	50	50
<i>Pop</i>	50	50	50
<i>Pertes (MW)</i>	110.4170	118.7907	105.3126
<i>Coût Maximal</i>	94878	3695900	93887
<i>Valeur Moyenne</i>	1464.8	1800900	2166.5
<i>Temps (s)</i>	12.8464	2.0225	0.2516
<i>Viol Pd</i>	0.4620	-0.2444	-0.0148

5.2.5 Interprétation des Résultats Test N° 2 Réseau Test 30 Unités :

Dans ce test une étude comparative est élaborée entre les caractéristiques de convergence de nos trois approches, pour fin des comparaisons le nombre de génération et la taille de population sont fixés à **50**, le tableau **5.7** donne les valeurs de puissances générées pour une demande égale **3108 MW** les figures **5.10**, **5.11** et **5.12** représentent les caractéristiques de trois algorithmes FA, BBO et le PSOTVAC, l'algorithme PSOTVAC génère un faible coût **89555 \$** inférieur à ceux trouvés par le FA (**91948 \$**) et le BBO (**94175 \$**) avec une violation de contrainte acceptable de **-0.0148**, cependant les solutions des algorithmes FA et BBO présentent des violations de contrainte d'égalité estimée de **0.4620 MW** et **-0.2444 MW** respectivement, il est bel est bien de noter que malgré la mauvaise solution de FA ce dernier garde une valeur moyenne **1464.8\$** inférieure de beaucoup par rapport celles trouvées par le BBO **1800900 \$** et le PSOTVAC **2166.5 \$** ce qui explique la robustesse de l'algorithme FA.

Les paramètres de convergence de trois approches sont mentionnés dans le tableau **5.8**, les pertes de puissance trouvées par le PSOTVAC égale **105.3126 MW** inférieure à celles calculées par le FA **110.4170 MW** et le BBO **118.7907 MW**.

5.3 Cas d'Etude N°3 :Solution du problème de dispatching économique dynamique en présence des zones de fonctionnement prohibées

5.3.1 Introduction :

Dans ce cas d'étude on procède à la solution du problème de dispatching économique dynamique traitant à la fois la fonction du coût non linéaire et les zones de fonctionnement prohibées en considérant les pertes de transport, à cet effet une comparaison a été faite entre mes solutions trouvées par application de trois approches à savoir l'algorithme PSOTVAC, le FA et l'algorithme BBO et celle indiquée dans l'article de l'auteur R.ARUL[30] présentée dans le Cas 3 utilisant la méthode CSADHS. Il est à noter que :

1. La base de données utilisée dans ce test est celle utilisée par l'auteur R.ARUL dans son travail [30].
2. Après plusieurs tests le nombre d'itération est fixé à **1500** pour PSOTVAC, **100** pour FA, et **200** itérations pour l'algorithme BBO ces valeurs correspondent à la convergence de chaque algorithme.
3. Le nombre de population est choisi **50** individus. Le coefficient de poids utilisé pour vérifier l'égalité entre la demande et les pertes d'une part et la puissance générée d'autre part et fixé à **1000** pour les trois programmes déjà-mentionnés.

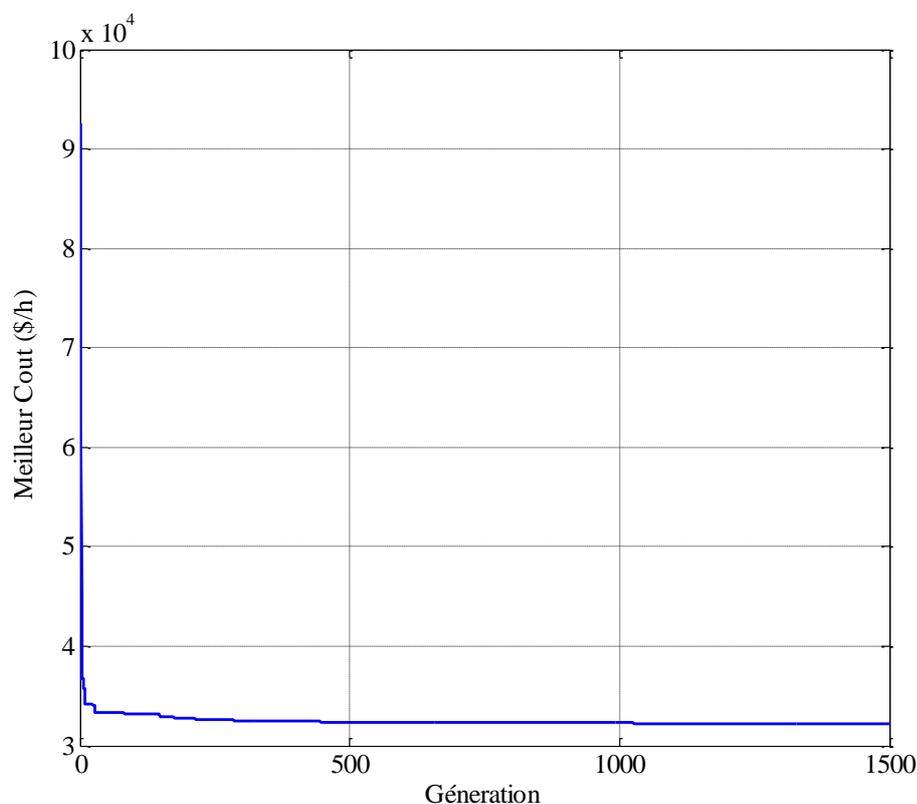


Figure 5.13 : Convergence de PSOTVAC

Tableau 5.9: Solution de PSOTVAC pour 10 Unités avec Zones de Fonctionnement Prohibées avec Pertes

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	150.0000	135.0000	305.2168	120.4304	73.0406	122.4502	20.0001	47.0015	20.0000	55	12.1406	29087
2	379.8726	135.0000	185.9975	60.0000	73.0000	57.3771	40.0000	85.3121	52.0571	55	13.6174	31345
3	226.6242	135.0000	329.6456	60.0000	73.0419	160.0000	129.5904	85.3121	20.0007	55	16.2159	33736
4	306.8167	135.0000	304.4961	121.7184	172.7657	133.1745	129.7843	47.0622	20.4641	55	20.2816	36998
5	460.4272	135.0000	317.6313	60.1046	73.0000	129.8378	129.6951	120.0000	20.0000	55	20.6955	38803
6	150.0000	396.7994	305.9839	180.3983	222.6003	159.4426	130.0000	47.0000	20.0200	55	39.2436	42261
7	456.4969	222.2665	325.5057	60.0000	240.7760	124.4336	129.5905	100.0993	20.0000	55	32.1680	44197
8	456.4957	309.5326	339.5096	127.7162	173.9418	125.8630	130.0000	47.0038	49.7894	55	38.8512	45795
9	455.8420	396.8715	183.1652	300.0000	229.5911	120.0466	129.6133	85.2712	20.0023	55	51.4041	49432
10	466.5513	460.0000	340.0000	300.0000	73.0000	126.9869	130.0000	120.0000	52.0573	55	51.5962	53679
11	470.0000	396.7994	340.0000	300.0000	223.6302	160.0000	129.8153	47.0000	80.0000	55	56.2459	55323
12	456.4969	460.0000	340.0000	300.0000	236.8670	160.0000	129.5904	120.0000	20.0000	55	57.9553	57012
13	462.8430	397.0482	329.4137	299.9972	222.9723	160.0000	130.0000	47.0143	20.0009	55	52.2906	52832
14	303.2484	396.7994	339.8685	300.0000	222.6004	154.9967	129.9819	47.0002	20.0000	55	45.4965	49375
15	379.8102	309.5248	326.3165	165.9523	222.5994	156.6906	129.8200	47.3468	20.3665	55	37.4280	45797
16	303.2482	396.7994	297.3263	60.0090	73.0042	131.0560	129.5903	119.9992	20.0007	55	32.0331	40315
17	380.0710	396.8022	186.0893	60.7946	73.0016	127.8910	129.9089	85.3127	20.0067	55	34.8781	38675
18	456.4967	309.5331	297.3090	60.4721	73.0000	137.7685	129.5892	120.0000	20.0000	55	31.1696	42021
19	300.7599	396.7797	297.2214	240.0068	172.3695	157.7020	129.5911	47.0000	20.0000	55	40.4299	45645
20	456.4968	396.7994	298.4117	300.0000	222.6424	122.4500	129.5904	120.0000	20.0000	55	49.3918	52516
21	456.4968	396.7994	336.0833	120.4152	222.5997	148.1706	129.5904	85.3121	20.0000	55	46.4685	49031
22	456.4990	135.0000	336.1942	180.8305	172.7331	122.4538	129.6861	47.0000	20.0000	55	27.3977	42132
23	150.0000	135.0000	297.7872	244.2622	73.0000	122.7099	129.5912	120.0000	20.0000	55	15.3503	35601
24	150.7419	135.0000	319.0456	61.2804	123.5805	159.9997	129.9990	47.0010	20.0372	55	17.6857	32071
	Coût Total (\$)										840.435	1043700

Tableau 5.10: Solution de FA pour 10 unités avec zones prohibées avec pertes

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	150.0000	222.3537	79.9910	60.0000	122.8622	125.8190	129.5961	85.3279	20.0000	55	14.9986	28722
2	226.6697	135.0000	191.4376	60.0000	172.8238	122.5634	93.0362	47.0121	20.0000	55	13.5734	30307
3	226.6450	222.2385	195.6254	60.0000	122.9726	122.5670	129.7898	120.0000	20.0000	55	16.8385	33679
4	303.1944	309.5132	185.1406	60.0000	172.7626	152.0917	129.5482	47.0059	20.0000	55	28.2452	36968
5	303.0696	222.2591	288.5647	60.0000	222.5144	122.4982	93.0743	85.3501	52.0557	55	24.4014	38779
6	379.8432	135.0014	322.1820	180.8520	222.6658	122.4512	129.5837	85.3161	20.0000	55	24.9226	42083
7	379.8461	396.7313	297.3258	120.0885	172.7870	159.0361	93.0324	47.0000	20.0208	55	38.8171	43830
8	303.3337	396.7671	319.8622	180.8594	242.7297	122.5179	129.6182	47.0817	20.0000	55	41.8412	45743
9	456.3955	460.0000	312.0183	120.4652	222.6570	122.5221	129.6424	47.0205	52.0562	55	53.7959	49409
10	456.5384	396.7876	333.2986	300.0000	222.6290	122.5949	129.5637	85.3322	20.0000	55	49.7393	52581
11	457.1320	396.8096	340.0000	300.0000	223.2611	160.0000	129.6067	85.4310	52.0711	55	53.3062	54658
12	456.5716	460.0000	323.1066	300.0000	222.5233	160.0000	129.5863	120.0000	52.0652	55	58.8490	56920
13	456.4978	396.8480	309.5314	300.0000	172.7374	159.9900	129.7925	120.0000	20.0000	55	48.3768	52743
14	456.4588	309.6223	312.6085	300.0000	172.7725	122.6159	129.5391	85.2875	20.0000	55	39.9698	49039
15	380.0290	396.8801	309.5576	60.0275	222.6587	122.5846	129.6318	119.9969	20.0140	55	40.3995	45366
16	379.8826	222.2689	311.2920	120.4683	172.7602	122.7000	129.6972	47.0000	20.0352	55	27.1132	40177
17	303.3210	222.1640	202.5997	180.9817	222.5592	122.5940	129.5403	47.0000	20.0000	55	25.7513	38790
18	379.9503	222.1708	203.4931	181.0383	222.7000	122.4786	129.5929	120.0000	20.0000	55	28.4493	42351
19	379.8992	309.4518	323.3604	180.9682	172.8362	122.3799	129.6017	85.2997	52.0473	55	34.9184	45634
20	456.4782	460.0000	340.0000	180.8753	222.6835	140.1340	129.6261	120.0000	20.0000	55	52.8365	53148
21	456.4890	396.8100	328.4441	300.0000	73.0000	122.7070	129.6107	85.3287	20.0813	55	43.4634	49190
22	303.2616	396.6937	164.7009	180.7846	172.4543	122.3967	129.5830	119.9690	20.0000	55	36.8660	42507
23	303.2363	222.0698	184.9220	60.0120	172.7397	160.0000	129.5764	47.0000	20.0000	55	22.6131	35236
24	150.0000	222.2517	273.7097	60.0000	122.8317	122.2529	129.6155	47.0000	20.0000	55.	18.6991	31885
Coût Total (\$)											838.784	1039700

Tableau 5.11: Solution BBO pour 10 unités

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	150.0070	135.0000	191.9442	65.6439	122.9638	127.1431	93.4591	85.3067	20.0000	55	10.4215	28855
2	226.7784	135.0010	76.4768	120.5515	123.2867	123.6758	129.9606	85.2468	48.1147	55	14.0603	30710
3	170.6654	222.2731	190.9512	180.7139	122.8814	124.8625	129.5897	59.2533	20.0000	55	18.0306	34354
4	304.0481	222.3656	186.4096	162.1251	172.8588	123.5072	93.5713	85.2479	22.6953	55	21.3940	37517
5	227.4769	310.1300	182.8269	180.5367	222.5853	133.9814	129.9985	47.0722	20.0154	55	29.5862	38885
6	324.2536	322.4411	298.2574	111.0141	222.8792	124.6399	93.0927	85.7867	21.9314	55	31.5404	42796
7	379.6228	309.5189	283.6559	180.8785	172.7032	122.5353	93.0923	85.3045	52.0514	55	32.7173	44079
8	369.4017	396.8747	326.7844	121.7500	192.1396	122.5880	93.0410	85.5237	52.1294	55	39.0122	46235
9	456.5300	396.5866	296.8530	241.2123	168.7953	124.5611	129.6187	50.1764	51.9806	55	47.3673	49204
10	456.6775	396.8101	321.3469	243.4531	222.9537	159.9716	129.6579	85.2965	52.0692	55	51.3803	52767
11	456.5867	396.0638	310.2309	294.8008	222.7191	159.9987	130.0000	119.9689	53.0276	55	52.4110	54753
12	456.5903	460.0000	325.4215	299.9832	223.6673	155.7620	129.8217	119.9977	52.5038	55	58.5394	56995
13	456.5419	396.8283	299.5768	247.8584	222.5829	141.9629	129.6349	120.0000	52.0211	55	49.6622	52835
14	379.7767	396.8738	303.1936	241.2281	222.6097	123.3210	93.1795	100.1324	52.0596	55	43.4276	49560
15	456.6610	309.5867	310.8702	180.8592	172.6155	122.5027	60.6579	119.9982	20.0084	55	32.7621	45956
16	303.0638	271.1712	297.7287	179.3152	122.2426	122.5347	129.5392	79.0383	20.0000	55	25.4882	40993
17	303.2213	222.2683	297.1764	109.8583	222.2466	95.7998	60.0871	85.3118	51.9099	55	22.8567	39565
18	379.7199	309.5213	288.3478	61.9341	222.8083	124.9527	93.4644	85.3546	39.2475	55	32.3918	42377
19	456.6400	309.6836	324.8127	152.9067	122.8383	131.3079	93.1468	85.3961	80.0000	55	35.7426	46581
20	456.5356	397.3294	308.7149	247.7689	222.7507	131.6683	129.7566	119.9970	52.1189	55	49.6571	52841
21	379.8662	396.7952	309.8882	241.2335	172.7152	140.8938	129.5913	120.0000	20.0017	55	42.0329	49204
22	306.5673	396.7759	272.8789	60.0000	219.5734	123.2596	93.1932	85.3734	52.0134	55	36.6157	42468
23	226.5932	309.5768	105.4683	111.3840	172.6785	132.1904	93.2026	100.6150	50.3842	55	25.0720	36572
24	226.5474	135.0000	249.0757	60.0000	122.8384	122.4569	129.6630	47.0132	52.0698	55	15.6436	32177
Coût Total (\$)											817.8130	1048279

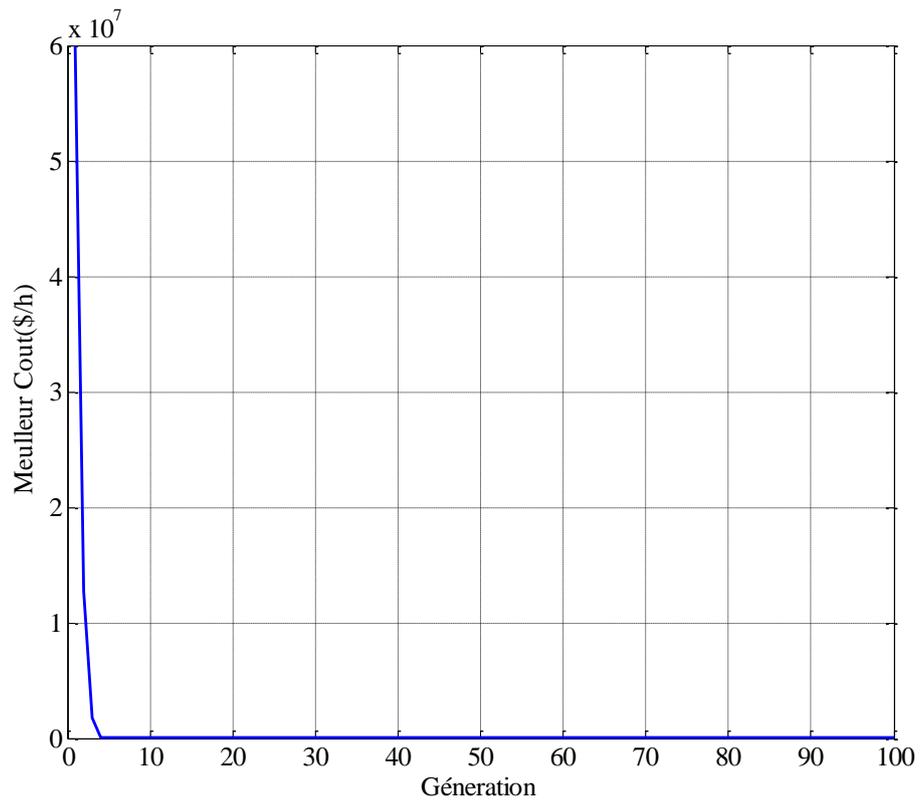


Figure 5.14: Convergence de FA

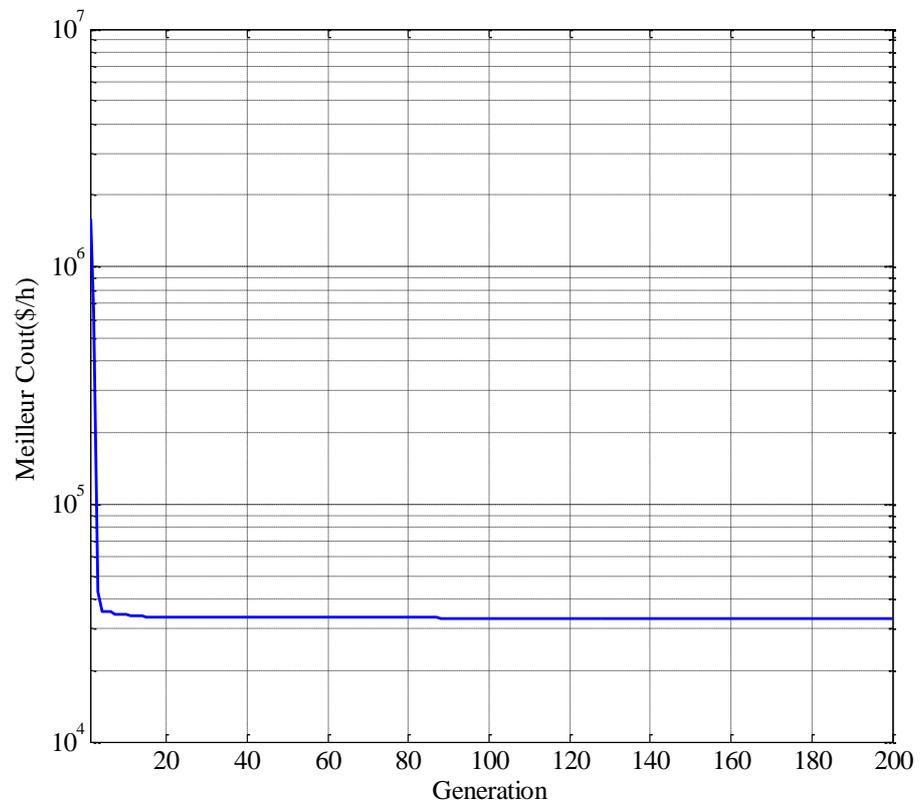


Figure 5.15: Convergence BBO

Tableau 5.12: Tableau de comparaison entre solutions

Méthode	Pop	Itération Max	Meilleur Solution	Mauvaise Solution	Valeur Moyenne	Min-Max Violation de demande	Perte	Temps (min)
FA	50	100	1039700	1044300	1042000	0.0510-0.0740	838.7849	9.2037
BBO	50	200	1048279	1055100	1051700	0.4348-0.3546	817.8130	4.4047
PSOTVAC	50	1500	1043700	1070900	1361500	0.00741-0.001	840.435	1.1711
CSADHS[30]	40	5000	1035403.419	1035532.730	1035466.141	-	654.2053	2.79
DHS[30]	40	5000	1042535.865	1042721.941	1042632.416	-	-	3.36
CDHS[30]	40	5000	1038856.152	1038939.853	1039012.518	-	-	3.03

5.3.2 Interprétation des résultats :

Le problème de dispatching économique dynamique a été solutionné dans ce cas en tenant compte les pertes de transmission et les zones de fonctionnement prohibées, à cet effet une étude comparative d'une part entre nos trois algorithmes développés à savoir le PSOTVAC, le BBO et l'algorithme FA, et d'autre part entre la solution de l'auteur **R.ARUL** dans son article mentionné sus-dessus appliquant la méthode **CSADHS**. D'après le tableau **5.12** l'algorithme FA nous offre une meilleure solution **1039700 \$** comparativement avec les deux solutions trouvées par le BBO et le PSOTVAC **1048279 \$**, **1043700 \$** respectivement, notant que la meilleure solution trouvée par le FA ne nécessite qu'un nombre d'itération égal à **100** inférieur par rapport le BBO **200** itérations et le PSOTVAC qui besoin un nombre d'itération plus grand **1500** afin d'acheminer à la meilleure solution sans violation des contraintes imposées, remarquant aussi que l'algorithme FA présente une faible valeur moyenne **1042000 \$** en la comparant avec celles de BBO **1051700 \$** et le PSOTVAC **1361500 \$**, les tableaux **5.9**, **5.10** et **5.11** abordent les solutions complètes du problème envisagé par les trois approches PSOTVAC, FA et le BBO. La contrainte d'égalité est toujours vérifiée pour les trois algorithmes comme indique le tableau **5.12**, les figures **5.13**, **5.14**, **5.15** illustres les caractéristiques de convergence des algorithmes proposés PSOTVAC, FA et le BBO respectivement pour la dernière heure (24) qui correspond à une demande égale **1184 MW**, cependant l'algorithme PSOTVAC présente un temps de convergence le plus faible **1.1711 min** en le comparant par le FA (**9.2037min**) et le BBO (**4.4047min**), les pertes de transmission calculées par l'algorithme FA sont **838.7849MW**. Le tableau **5.12** nous indique que notre solution offerte par le FA reste plus faible par rapport celle trouvée dans la littérature et calculée par la méthode **DHS 1042535.865 \$**, en plus le nombre de génération qui conduit au convergence de notre approche sans aucune violation remarquée est inférieur de beaucoup (**100 itérations**) par rapport celui nécessaire de convergence de **DHS (5000 itérations)**, cependant les méthodes appliquées par le même auteurs **CSADHS** et **CDHS** donnent une valeur de convergence moins faible que notre solution **1035403.419\$** et **1038856.152\$** respectivement.

5.4 Cas d'étude N°4 : Dispatching Economique Dynamique avec pertes avec contraintes rampes et zones de fonctionnement prohibées.

5.4.1 Introduction :

Dans ce quatrième cas d'étude on a procédé à résoudre le problème (DED) en considérant cette fois ci les contraintes rampes, les zones de fonctionnement interdites et les pertes de transmission, en effet deux tests sont effectués s'agissant de système **6 unités** avec considération de l'effet de l'ouverture des valves et **15 unités** avec une fonction quadratique car la base de donnée de ce système ne contient pas les coefficients de la fonction non linéaire, en effet la résolution dudit problème est réalisé par l'application de deux algorithmes élaborés dans le cadre de ce cas d'étude qui sont l'algorithme standard **PSO** et sa version modifiée à coefficient d'accélération variable **PSOTVAC**, ainsi nos résultats obtenus sont sujet de comparaison avec ceux trouvés dans la littérature.

5.4.2 Test N° 1 Test 6 unités :

Le système contient 6 unités de production, 26 jeux de barres et 46 lignes de transmission [45]. La base de donnée Data 6 unités, la demande et les zones de fonctionnement interdites sont celles données par l'article de l'auteur Mahesh Kumar Sharma [92].

5.4.2.1 Solution de PSO :

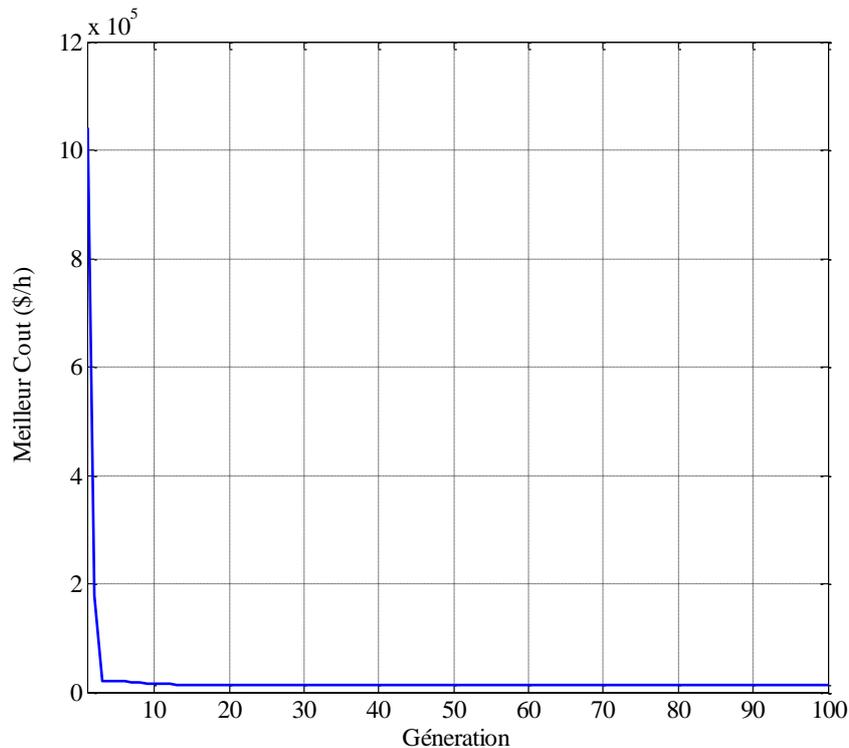


Figure 5.16: Caractéristique de convergence de PSO

Tableau 5.13: Solution de PSO pour système 6 Unités

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Perte(MW)	Coût(\$/h)
1	336.7957	50.0000	270.1967	150.0000	50.0000	105.3213	7.3181	11688
2	345.1430	50.0000	293.3482	150.0000	50.0000	60.6609	7.1628	11572
3	337.5610	50.0000	300.0000	150.0000	50.0000	54.5735	7.1333	11401
4	404.5809	50.0000	254.4759	128.0584	50.0000	50.0000	7.1227	11311
5	443.7097	50.0000	300.0000	50.0000	50.0000	50.0000	8.7077	11394
6	500.0000	50.0000	266.0706	50.0000	50.0000	56.0380	9.1136	11807
7	500.0000	50.0000	298.8376	50.0000	50.0000	50.0000	9.8385	12124
8	500.0000	50.0000	300.0000	78.3587	50.0000	54.5683	9.9285	12558
9	500.0000	87.8357	300.0000	100.7289	50.0000	98.7883	11.3621	13927
10	500.0000	116.2534	300.0000	76.1523	50.0000	120.0000	12.4294	14390
11	500.0000	135.9269	300.0000	107.9382	50.0000	120.0000	12.8647	14800
12	500.0000	175.0694	300.0000	103.6154	50.0000	120.0000	13.6830	15269
13	452.0321	200.0000	300.0000	150.0000	50.0000	50.0000	12.0329	14621
14	500.0000	200.0000	300.0000	150.0000	50.0000	64.3113	13.3125	1.5473
15	500.0000	200.0000	300.0000	150.0000	76.2140	50.0000	13.2148	15578
16	500.0000	200.0000	300.0000	150.0000	56.9674	56.2586	13.2255	15435
17	500.0000	200.0000	283.7514	150.0000	50.0000	50.0000	12.7497	15069
18	500.0000	164.3974	300.0000	150.0000	50.0000	50.0000	12.4047	14871
19	500.0000	117.5445	300.0000	150.0000	52.8765	50.0000	11.4207	14236
20	418.5821	136.4954	260.5918	150.0000	50.0000	85.8618	9.5187	13403
21	431.7392	50.0000	300.0000	150.0000	50.0000	50.0000	8.7392	12497
22	500.0000	50.0000	241.0472	101.5280	50.0000	50.0000	8.5724	12018
23	500.0000	50.0000	284.4857	50.0000	50.0000	50.0000	9.4876	11946
24	500.0000	50.0000	269.1292	50.0000	50.0000	50.0000	9.1262	11749
Total (\$)							250.4693	319137

5.4.2.2 Solution de PSOTVAC

Tableau 5.14: Solution de PSOTVAC 6 Unités

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Perte(MW)	Coût(\$/h)
1	301.14	187.68	91.911	126.72	150	105	7.4584	11718
2	380	176.59	115.49	68.119	155.16	54.541	7.9048	11394
3	380.22	163.33	125.07	63.895	135.05	75	7.565	11292
4	413.61	87.517	147.18	66.75	150	72.663	7.7236	11198
5	419.1	55.805	180.97	63.023	126.75	97.085	7.7316	11278
6	331.31	79.845	245.94	101.21	138.14	74.13	7.5711	11620
7	380	90	240	78.837	154.41	54.275	8.5271	11885
8	398.75	85.471	270.13	120	90	66.945	8.2982	12348
9	464.3	82.942	240.35	147.41	86.636	114.22	9.8528	13742
10	500	83.494	300	120	82.507	75	11.002	14094
11	492.96	129.22	293.14	121.68	61.268	115.02	12.289	14762
12	499.79	160	274.95	140.69	67.006	105	12.445	15186
13	500	200	240.9	74.485	76.312	110.83	12.538	14609
14	500	199.94	260.64	69.422	114.66	120	13.661	15390
15	500	190.05	258.86	80	150.95	96.706	13.569	15503
16	495.45	164.39	273.52	70.18	150	110.04	13.582	15338
17	442.69	177.1	299.2	71.928	151	91.953	12.876	14931
18	500	200	300	50.353	90	75	13.354	14789
19	432.92	164.5	286.02	66.948	112.96	107.34	11.687	14133
20	386.18	161.81	288.91	64.317	87.181	114.21	10.61	13280
21	435.33	116.62	240	50	117.82	72.505	9.2845	12328
22	474.28	89.987	181.27	77.741	55.23	114.22	8.7301	11960
23	410.02	88.401	196.07	105.52	86.55	96.011	7.5723	11751
24	479.08	89.918	172.53	123.2	50	52.852	7.5897	11633
Coût total (\$)							243.42	316159

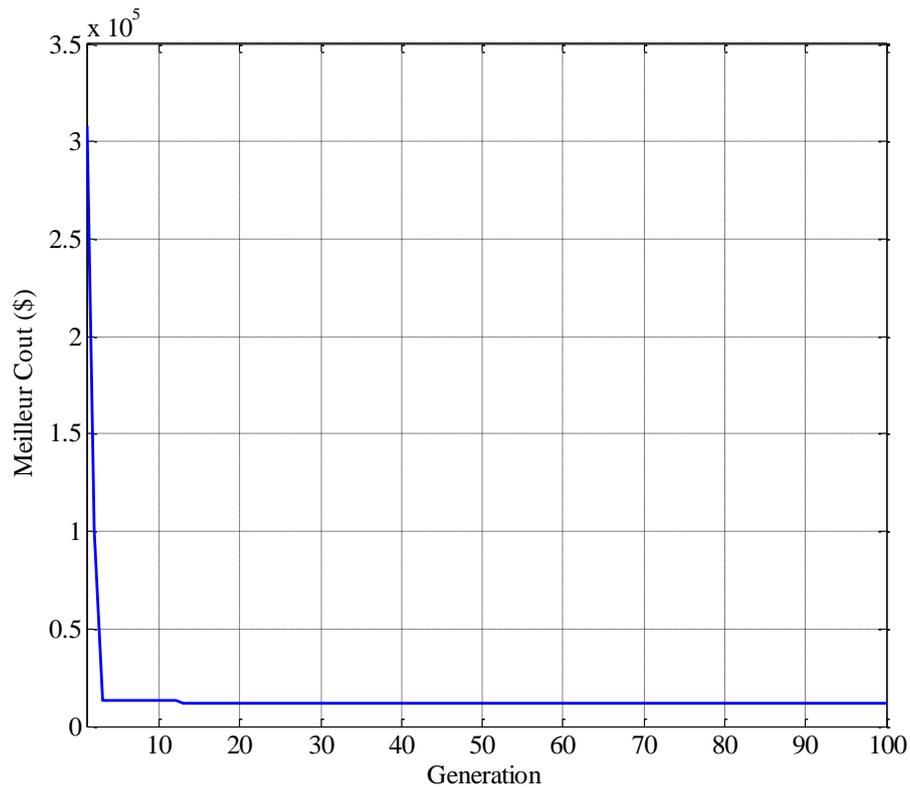


Figure 5.17: Convergence de PSOTVAC système 6 Unités

Tableau 5.15: Comparaison entre solutions

Méthode	Pop	Itération Max	Meilleure Solution	Mauvaise Solution	Valeur Moyenne	Min-max Violation de Demande	Perte (MW)	Temps (min)
PSOTVAC	50	100	316159	322590	319370	0.0012 -0.0029	243.42	0.122
PSO	400	100	319137	327710	323420	0.0124 -0.0237	250.4693	1.028
GA [92]	180	100	314803	315229	314933	-	-	-
PSO [92]	180	100	313911	314134	313993	-	-	-
IBA [92]	180	100	313472	313515	313496	-	228.04	-
BA [92]	180	100	313790	314130	313990	-	-	-
PSO[45]	100	100	314782	-	-	-	242.42	2.27
IFEP[45]	100	100	315993	-	-	-	-	546.06
FEP[45]	100	100	315634	-	-	-	-	357.58

5.4.3 Discussion des résultats :

Dans ce test on a augmenté la taille de population pour l’algorithme PSO à **400** au lieu de **50** pour (PSOTVAC) et ce afin de dépasser les violations des contraintes affectant à la fois la contraintes rampe et la contrainte d’égalité, le nombre d’itération est fixé à **100** pour les deux algorithmes, la solution complète de variable de contrôles sont celles représentées dans les tableaux **5.13** et **5.14**, l’algorithme PSOTVAC aboutie au faible coût **316159 \$** dans un temps record **0.122 min**, les pertes ainsi calculées est de **243.42 MW**, la violation de la contrainte d’égalité reste de l’ordre de **10⁻³**, les deux figures **5.16** **5.17** indiquent les caractéristiques de convergences de deux algorithmes PSO et PSOTVAC pour une demande égale **960 MW**, les différents critères de comparaison entre les deux algorithmes et les algorithmes appliqués par les auteurs pour solutionner le même problème sont ceux mentionnés dans le tableau **5.15**.

Tableau 5.16: Matrice de Violation de Contraintes de zone prohibées pour la Solution de Système Test 6 unités [SFEP] de [45]

h/Pg	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	h/Pg	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6
1	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	23	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0

En matière de comparaison nos résultats respectent toutes les contraintes su-citées sans aucune violation, cependant le résultat de l’article Zwe-Lee Gaing [45] pour la solution donnée par le cas 1 dudit article étudiant le système 6 unités avec pertes et contraintes rampes et contraintes de zones interdites, cette solution (SFEP) présentée par le tableau 9 présente une violation de contraintes de zone interdites selon la matrice sous dessus (Tableau 1.16) indiquant les valeurs de puissances générées qui présentent un dépassement et qui sont données comme suit:

- ❖ Unité de production **3** à l'heure **7** la puissance générée est de **235 MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre **210 MW-240 MW**
- ❖ Unité de production **1** à l'heure **3** la puissance générée est de **353.90 MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre **350MW-380MW**.

Notre solution obtenue avec les deux approches étudiées ne présente aucune violation de contraintes, rappelant que les unités de production ne doivent pas générées des puissances dans ces zones afin d'éviter des vibrations importantes au niveau des paliers (voir chapitre 1).

5.4.4 Test N° 2 Test 15 unités :

La base de donnée de ce système data 15 unités, coefficient de la matrice B, la demande et les zones interdites sont données par l'auteur Zwe-Lee Gaing [32]

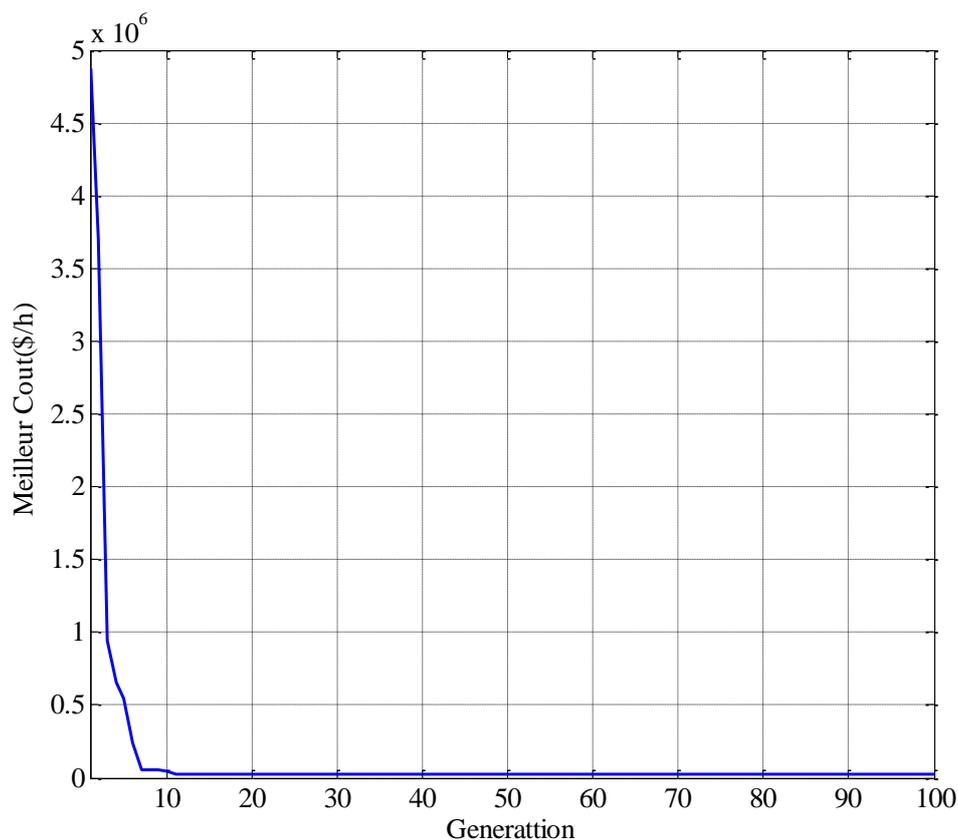


Figure 5.18: Convergence de PSOTVAC 15 Unités

5.4.4.1 Solution de PSOTVAC

Tableau 5.17: Solution PSOTVAC pour 15 unités

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Pg15	Perte	Coût(\$/h)
1	433.4331	355.2331	123.7825	93.5326	160.3096	430.0000	135.0000	120.0971	88.1133	111.8998	31.6472	77.3672	34.1718	15.0000	52.0914	25.6778	28881
2	455.0000	346.1536	51.9623	121.9181	159.9298	422.0252	164.2597	113.1506	66.6388	78.3634	40.3626	78.6767	85.0000	36.1631	17.3934	21.9983	28717
3	455.0000	335.0000	52.4276	116.3607	174.2519	430.0000	233.7474	114.0830	106.3147	30.8141	53.4220	22.1037	25.5743	49.5672	52.2931	24.9593	28799
4	455.0000	358.4771	74.6985	71.0124	217.1298	398.9975	229.6527	75.6457	135.9804	85.0922	31.3141	24.0529	43.7745	35.3892	25.2691	25.4830	28952
5	422.6357	342.6566	125.8978	122.5483	226.8232	395.0000	212.8365	60.0000	131.2887	82.1089	31.5687	26.6035	52.6138	49.6648	42.0701	26.3145	29533
6	450.6340	375.8744	129.8063	20.0000	180.0000	460.0000	171.3831	112.6620	150.5814	55.0645	20.0000	42.3199	84.4882	35.7719	54.7480	27.3274	30069
7	412.9796	335.5442	105.2621	130.0000	219.4629	421.2526	229.1994	126.8543	79.6590	25.0000	59.7966	65.0000	85.0000	18.3887	42.3103	24.7130	29901
8	419.9979	399.5948	94.8160	93.7752	288.7818	460.0000	243.4451	107.9387	81.9292	40.5188	80.0000	65.0000	25.0000	55.0000	15.0000	27.7975	30963
9	455.0000	418.5765	91.2718	53.0140	335.0000	460.0000	293.1697	70.1034	132.8067	77.2740	79.3225	80.0000	53.3645	42.0593	43.4009	33.3639	33388
10	454.9362	420.0000	110.9826	124.7694	390.0000	426.7565	329.6395	60.0000	143.6546	97.4384	43.4480	20.0000	84.6239	44.0933	16.7898	39.1331	34148
11	434.1637	455.0000	130.0000	128.3813	470.0000	460.0000	286.6962	98.4087	62.2937	128.1365	20.0000	20.0000	84.7995	34.5422	15.2007	44.6227	34724
12	409.6321	455.0000	20.0000	130.0000	470.0000	460.0000	328.8758	84.0050	120.3071	63.7212	30.9105	74.0873	85.0000	50.0451	46.4620	43.0472	34980
13	405.6159	420.0000	82.7940	98.5866	470.0000	430.0000	402.5300	60.0000	160.5248	117.5047	61.6553	20.0000	27.3543	55.0000	15.0000	46.5647	34725
14	455.0000	392.6625	130.0000	113.9191	390.0000	460.0000	321.5618	60.0000	162.0000	155.4063	31.9595	80.0000	85.0000	15.0000	21.0648	43.5739	35260
15	455.0000	455.0000	103.7064	130.0000	470.0000	460.0000	280.8036	65.1941	162.0000	134.6323	80.0000	80.0000	85.0000	25.1315	15.0000	48.4685	36636
16	455.0000	420.0000	75.9849	121.9657	470.0000	460.0000	341.4199	70.7738	121.2110	159.7100	64.9124	78.5495	84.9870	20.2023	55.0000	49.7175	36704
17	455.0000	455.0000	104.3683	77.8535	470.0000	460.0000	369.7313	70.7559	25.0000	133.4327	78.9418	65.0000	79.2812	46.8681	55.0000	44.2332	36088
18	455.0000	455.0000	130.0000	98.3700	470.0000	430.0000	336.9661	84.4742	48.5881	95.8777	20.0000	75.8359	80.3250	15.0000	49.4968	41.9348	34918
19	444.3040	335.7530	105.5651	129.3161	367.8719	395.3478	388.7985	61.7270	62.8447	127.9451	78.9938	71.0542	67.9395	31.8813	15.0010	33.3426	33149
20	455.0000	335.0000	56.4449	20.0090	390.0000	430.0000	461.2156	62.2151	34.1230	42.3949	80.0000	80.0000	85.0000	31.6670	55.0000	34.0695	32744
21	428.2695	335.0000	20.0000	129.5864	335.0000	460.0000	465.0000	66.4308	29.5715	25.0000	77.9391	20.0000	32.0558	19.0778	17.4203	28.3413	30825
22	412.2678	340.7220	129.8048	31.4467	340.7885	425.7825	360.7125	64.1480	30.1869	29.2124	44.1483	20.5856	46.3950	15.0000	48.0350	27.2505	29718
23	299.6176	279.5289	128.9886	129.9867	335.0000	395.0000	325.7720	60.0000	40.3504	27.0505	69.5979	20.0000	78.8880	55.0000	41.5164	25.2982	29078
24	319.0676	168.7362	130.0000	119.4032	337.4571	410.7022	388.1503	60.0000	87.1258	57.0408	43.8983	25.4184	51.6627	33.3176	48.6135	26.5927	28960
H	Coût total (\$)															813.8253	771859

Tableau 5.17: Comparaison de solution 15 unités avec pertes avec contraintes rampe et contraintes de zones fonctionnement prohibées

Méthode	Pop Size	Itération Max	Meilleure Solution	Mauvaise Solution	Valeur Moyenne	Min-Max Violation de Demande	Perte (MW)	Temps (Sec)
PSOTVAC	50	100	771859	1458400	1115100	0.0098-0.0145	813.8253	7.776
PSO	400	-	-	-	-	-	-	-
CSADHS[30]	MAT	5000	759689.220	759845.736	759766.233	-	708.33	201.6
méthode de Brent [13]	MAT	-	760249.557	-	-	-	-	0.412
PSO [45]	100	100	774131.000	-	-	-	1007	3.31
SFEP[32]	100	100	783411.000	-	-	-	1759	-
FEP[32]	100	100	797084	-	-	-	-	-
IFEP[32]	100	100	798403	-	-	-	-	-

5.4.5 Interprétation des résultats :

Dans ce test on a constaté que l'algorithme PSO est incapable de solutionner notre problème (DED) avec contraintes rampe et zone de fonctionnement interdites, des violations importantes touchent à la fois les contraintes rampe et l'égalité entre la demande et les puissances générées et ce malgré le changement de la taille de population et le nombre d'itération maximale, on peut conclure que le PSO est incapable de résoudre le problème proposé vu la taille du test envisagé et le nombre important des contraintes imposés.

L'algorithme PSOTVAC arrive à calculer le faible coût de génération **771859 \$** dans un temps de **7.776 Sec**, ce coût reste inférieur à ceux cités dans la littérature à savoir le coût calculé par la méthode **PSO[45] 774131.000 \$** et le coût calculé par la méthode **SFEP [32] 783411.000 \$**, notant que notre solution est obtenue pour un nombre de population 50 inférieur à celui de **PSO[45]** et **SFEP [32]** nécessitant tout les deux un nombre de population plus grand 1500 individus, la solution complète de l'approche proposée est indiqué dans le tableau **5.17**, le tableau de comparaison **5.18** donne le détail de chaque algorithme en matière de la taille de population, le nombre d'itération et le temps de calcul, la violation de contrainte d'égalité reste toujours de l'ordre de 10^{-3} , la figure **5.18** schématise la caractéristique de convergence de l'algorithme proposé pour une demande qui corresponde à la dernière heure 2254MW, les pertes actives de transport est de **813.8253 MW**.

En matière de comparaison la méthode **CSADHS** offre un coût inférieur **759689.220\$** par rapport notre approche **PSOTVAC** néanmoins cette dernière nécessite un nombre important

d'itération **5000** comparativement avec celui nécessaire pour le **PSOTVAC** d'une part, d'autre part les puissances générées fournies par cette technique (**cas 04** tableau de solution N°8 de l'article [30]) donnent des pertes de transmission égales à **729.33 MW** contrairement à **708.33 MW** donnée par l'auteur, concernant le temps de convergence de notre approche est de **7.776(Sec)** est très inférieur par rapport à celui de **CSADHS** qui nécessite **3.36 min** pour conduire à sa convergence.

La solution générée par la méthode SFEP[32] (**tableau N°XI**) présente une violation des contraintes des zones interdites contrairement à ce qui a été expliqué par l'auteur (respect de toutes les contraintes), ces violations sont indiquées par la matrice ci-dessous les puissances générées prennent la valeur **1** présentent une violation de cette contrainte.

Les violations sont les suivantes :

- ✓ **Unité 2 à l'heure 3**, la puissance générée est **327.46MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre **305MW -335 MW**.
- ✓ **Unité 6 à l'heure 6**, la puissance générée est **255MW** se trouve dans la zone interdite N°1 entre **230MW-255MW**.
- ✓ **Unité 5 à l'heure 7**, la puissance générée est **331.86MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre **305MW-335MW**.
- ✓ **Unité 5 à l'heure 19**, la puissance générée est **418MW** se trouve dans la zone interdite N°3 entre **390MW-420MW**.
- ✓ **Unité 5 à l'heure 23** la puissance générée est **324.83MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre **305MW-335MW**.
- ✓ **Unité 2 à l'heure 24** la puissance générée est **315.94MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre **305MW-335MW**.
- ✓ **Unité 6 à l'heure 24** la puissance générée est **378.74MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre **365MW-395MW**.

Notant que notre approche ne présente aucune violation des contraintes rampes ni des contraintes de zones interdites en plus les pertes calculées par notre algorithme restent inférieures de beaucoup **813.8253 MW** par rapport à celles calculées par cette méthode **1759 MW**.

Tableau 5.19: Matrice de Violation de Contraintes de zone prohibées pour la Solution [SFEP]de Système Test 15 unités de [32]

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Pg15
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Comparaison avec les résultats de Zwe-Lee Gaing [45] après la vérification du résultat de système 15 unités solution générée par PSO et conformément au cas 2 (tableau N°11) de l'auteur on a constaté que les contraintes des zones de fonctionnement interdites ne sont pas respectées comme explique l'auteur, des violations touchent les puissances générées comme indique la matrice de vérification sous dessous les valeurs en 1 sont sujet de violation, les violations sont structurées comme suit :

- ❖ **Unité 5 à l'heure 1 :** la puissance générée est **306.35MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre 305MW-335MW.

- ❖ **Unité 6 à l'heure 2** : la puissance générée est **367.10MW** se trouve dans la zone interdite N°2 entre **365MW-395MW**.
- ❖ **Unité 2 à l'heure 12** : la puissance générée est **431.86MW** se trouve dans la zone interdite N°3 entre **420MW-450MW**.
- ❖ **Unité 6 à l'heure 15** : la puissance générée est **438.10MW** se trouve dans la zone interdite N°3 entre **430MW-455MW**.
- ❖ D'autre part les pertes estimées par la méthode PSO [45] utilisée par l'hauteur sont de **1007MW** qui sont supérieures à nos pertes calculées par notre approche proposée PSOTVAC.

Tableau 5.18:Matrice de Violation de Contraintes de zones prohibées pour la Solution PSO du système Test 15 Unité de [45]

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Pg15
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.5 Cas d'étude N°05: Dispatching Economique Dynamique avec pertes avec contraintes rampes et zones de fonctionnement prohibées par application des méthodes hybrides

5.5.1 Introduction:

Ce test est consacré à l'application de cinq algorithmes sachant de l'algorithme **FA**, **BBO** et le **PSOTVAC** d'une part et deux méthodes hybrides développés dans le cadre de ce test à savoir l'algorithme hybride entre le **FA** et le **PSOTVAC** dénommé **FA-PSOTVAC**, et l'algorithme hybride entre le **BBO** et le **PSOTVAC** dénommé **BBO-PSOTVAC** afin de solutionner le problème de dispatching économique dynamique 10 unités, l'optimisation des puissances générées durant 24 h est achevée en présence de l'effet de d'ouverture des valves, les contraintes rampes et les zones de fonctionnement interdites en considération des pertes de transmission, la base de données de ce système est donnée par [35] le système beta-coefficient est celle donnée par [91], les zones de fonctionnement interdite est données par [30].

Pour faire une solide comparaison entre les solutions obtenues on a fixé la taille de population égale 50 pour les cinq approches, le tableau 5.21 présente la solution complète calculée par l'algorithme **FA**, tandis que le tableau 5.22 représente la meilleure solution trouvée par l'approche proposée **FA-PSOTVAC**,

Dans ce test les performances des algorithmes standards à savoir le **FA** et le **BBO** d'une part et le **BBO** et le **PSOTVAC** d'autre part sont exploitées par création d'une balance flexible de diversification et d'intensification durant le processus de recherche algorithmique, les performances d'hybridation sont abordées dans le tableau 5.23. Les caractéristiques de convergence représentées sous dessous coïncident avec une demande de **1184 MW**.

L'organigramme de fonctionnement de l'algorithme hybride **FA-PSOTVAC** est illustré par la figure suivante :

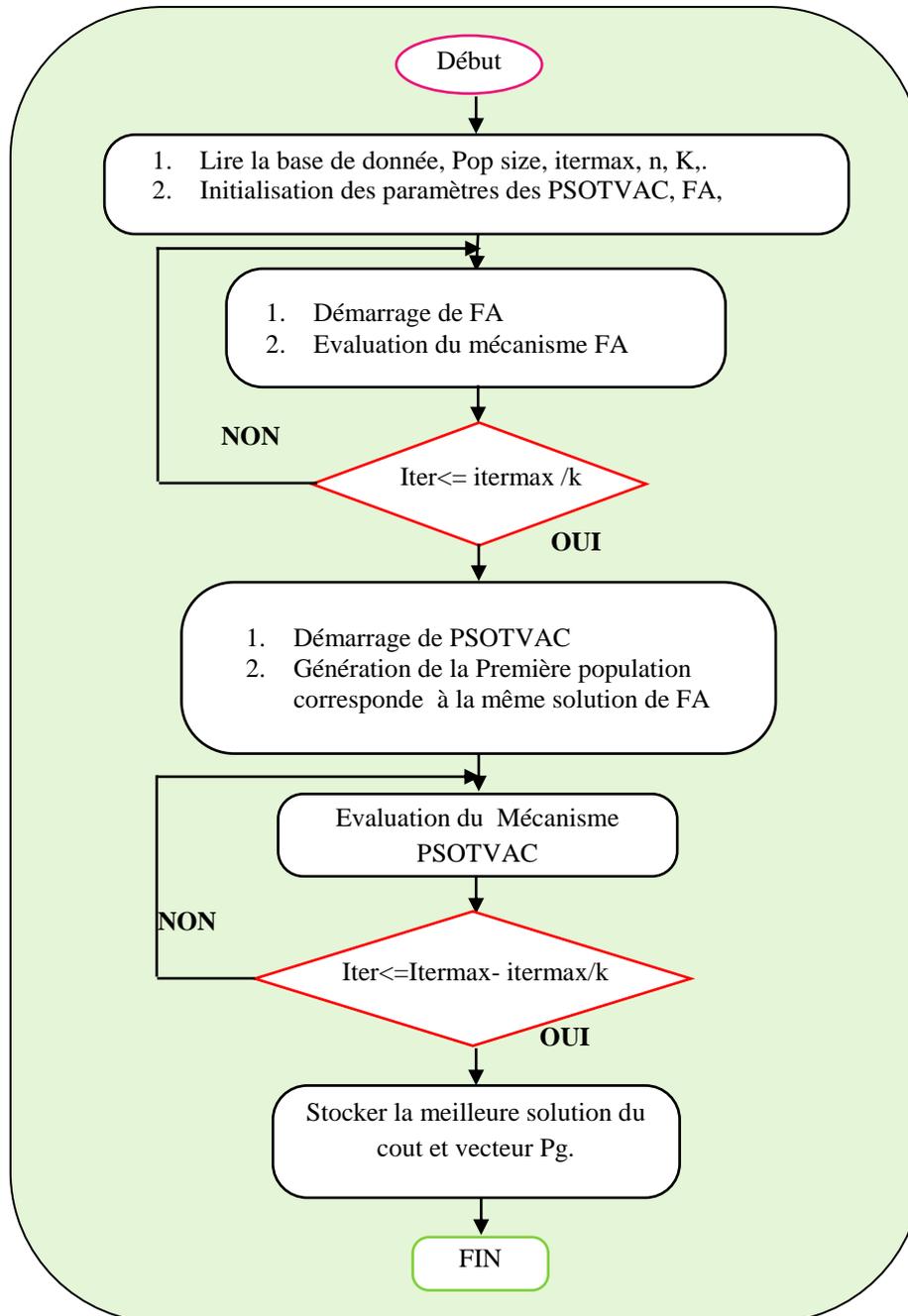


Figure 5.19: Organigramme de l’algorithme hybride FA-PSOTVAC

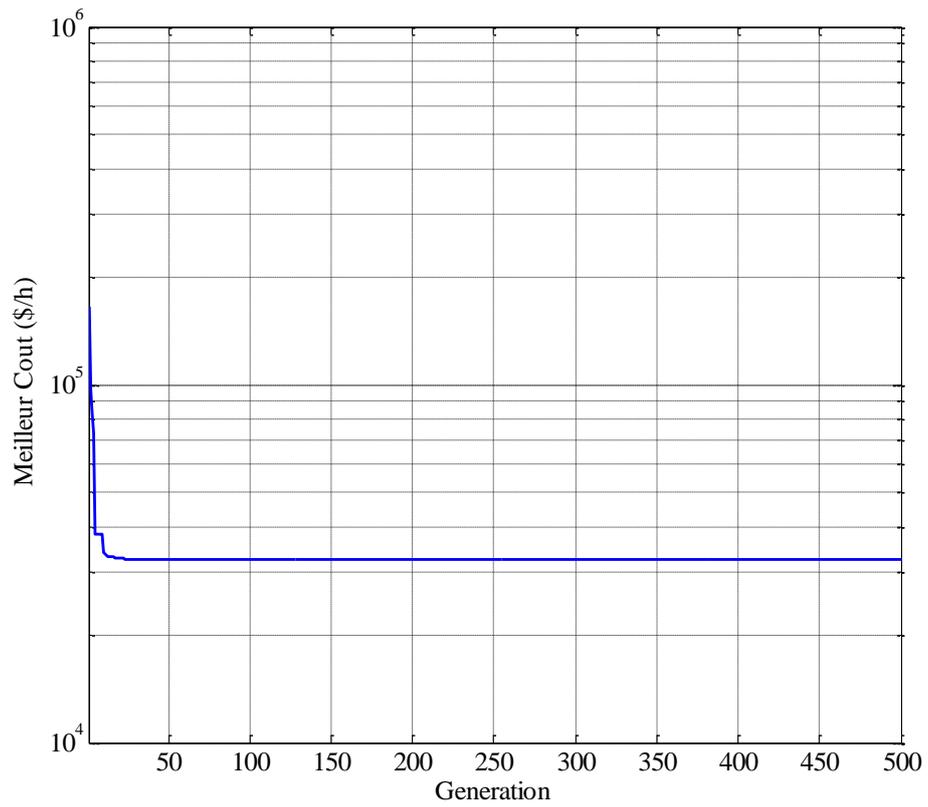


Figure 5.20: Convergence de FA

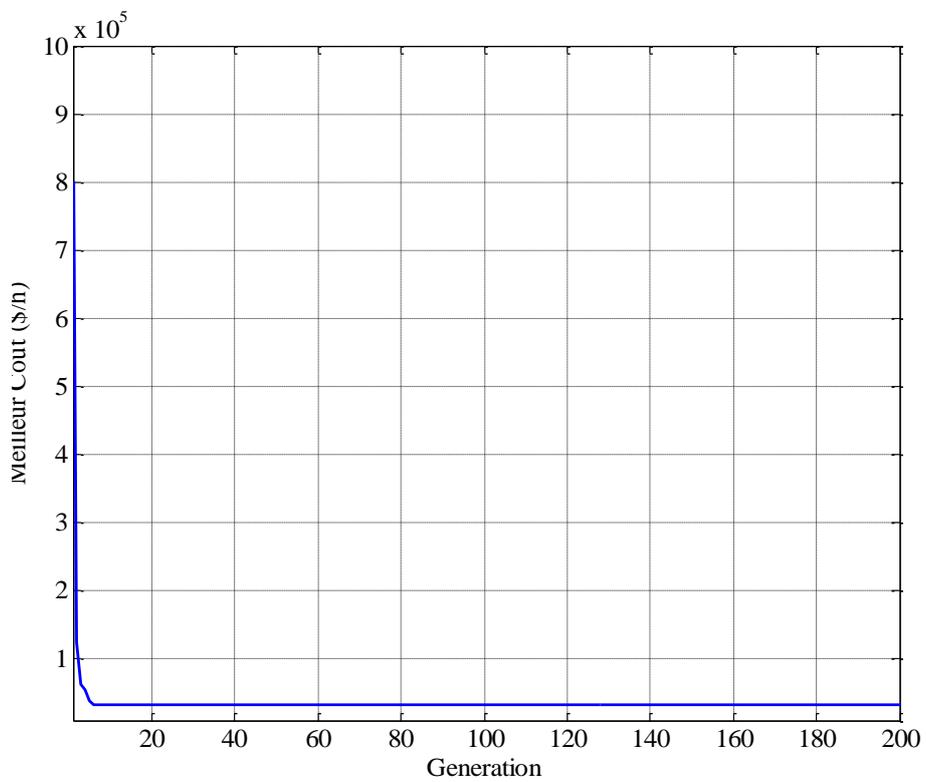


Figure 5.21: Convergence de FA-PSOTVAC

Tableau 5.19: Solution de FA

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Coût (\$/h)
1	150.0000	309.5755	73.0000	60.0000	122.8639	122.4782	76.0961	47.0000	20.0000	55	28745
2	150.0000	309.5507	73.0999	60.0000	122.8885	149.3127	93.1691	47.0000	49.9658	55	30391
3	226.5853	309.6643	153.0568	60.0000	123.0489	140.4734	123.1521	47.0000	20.0000	55	33563
4	226.5508	309.5670	185.0731	100.5493	172.7406	159.9138	129.5695	47.0000	20.0159	55	36629
5	226.6134	309.5774	238.8934	120.4456	172.8045	159.9993	129.6077	47.0000	20.0537	55	38338
6	303.2963	309.6235	297.3994	120.4101	222.6227	122.9657	129.6770	47.0000	20.0000	55	41054
7	379.7484	309.5613	296.1865	120.2595	222.2314	122.4294	129.5911	47.0000	20.0000	55	42688
8	379.9163	309.5878	331.9346	120.3543	222.5364	160.0000	129.5783	47.0463	20.0414	55	44682
9	456.5803	309.5402	340.0000	170.3125	235.8224	160.0000	129.6444	47.0412	20.0000	55	48408
10	457.0786	389.4996	339.9167	220.2939	223.6654	159.9001	129.7003	47.0000	49.9592	55	52014
11	456.4682	460.0000	323.9527	241.3500	222.6343	160.0000	129.6314	76.9459	20.0000	55	53694
12	456.5319	460.0000	339.6460	291.1819	222.5952	160.0000	129.6202	85.3100	20.0792	55	55437
13	456.6231	459.9778	297.3991	241.2082	172.7557	154.0301	129.6521	85.3238	20.0016	55	51712
14	456.4936	396.7729	294.7512	191.2087	172.4486	122.5401	129.6818	85.1015	20.0000	55	47899
15	379.8663	396.7837	233.4647	180.8780	172.5976	122.5602	129.5828	85.2840	20.0000	55	44832
16	302.8660	316.7899	185.2285	130.9164	172.7174	155.4687	129.5770	85.4114	20.0461	55	40103
17	226.7340	309.5333	200.4338	120.5870	172.8071	160.0000	129.6007	85.2751	20.0000	55	38265
18	303.2308	309.5587	229.6569	120.5972	222.5535	122.5015	129.5881	115.2475	20.0000	55	41774
19	379.9181	309.4884	297.1465	119.7770	222.6016	122.4900	129.5685	120.0000	20.0000	55	44552
20	456.3717	389.4182	319.4344	169.7228	222.5600	159.8888	129.5937	120.0000	49.9539	55	51945
21	456.7414	309.6307	306.0718	181.1537	222.7390	122.9915	129.6789	120.0000	20.0000	55	48011
22	379.8686	229.6340	267.7906	131.2140	172.7559	122.2274	129.6219	119.8901	20.0000	55	41927
23	302.1687	222.1867	187.9891	81.3181	122.8433	120.9311	99.6632	119.8957	20.0000	55	35496
24	226.0974	222.2598	178.4508	60.0000	122.5708	80.0712	129.5932	89.9053	20.0000	55	32081
Coût Total(\$)											1024240

Tableau 5.20: Solution de FA-PSOTVAC

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Coût (\$/h)
1	150.0000	222.2651	73.0000	60.0000	122.8656	156.2802	129.5886	47.0001	20.0000	55	28403
2	150.0000	222.2977	119.9927	60.0000	172.7551	133.2690	129.6194	47.0684	20.0000	55	30220
3	226.6829	222.2649	199.8623	60.0000	172.7874	124.6362	129.7631	47.0000	20.0000	55	33106
4	303.2261	222.1884	273.8517	60.0000	172.7244	122.4197	129.5903	47.0000	20.0000	55	36316
5	379.9085	222.2685	297.4001	60.0000	122.8779	145.7868	129.7293	47.0000	20.0276	55	37912
6	379.9504	302.2682	300.9859	60.2773	172.7347	160.0000	129.6819	47.0126	20.0874	55	41268
7	379.9384	309.6140	317.8722	110.1765	172.7422	160.0000	129.6391	47.0000	20.0155	55	43089
8	379.7673	309.5442	339.5965	120.4278	222.6159	122.4767	129.6386	47.0000	49.9280	55	44764
9	456.4904	309.5325	297.2723	170.0277	222.2960	154.8207	129.5225	76.9843	52.0546	55	48421
10	468.5611	309.5358	340.0000	220.0197	223.7258	160.0000	129.8466	85.3120	80.0000	55	52581
11	456.5008	389.5146	339.9296	241.2453	236.7129	160.0000	129.7207	85.3177	52.0588	55	53679
12	456.5777	460.0000	340.0000	258.8141	222.6798	159.9631	129.5956	85.3123	52.0564	55	55608
13	456.4978	396.7024	297.2402	284.6130	222.5896	122.3767	129.6034	85.3192	22.0572	55	51452
14	456.5069	316.7464	300.2911	241.3478	222.6032	126.4383	129.7427	55.3223	20.0000	55	48255
15	456.4983	309.2706	251.9156	191.4026	222.5805	122.5846	99.7451	47.0000	20.0000	55	45245
16	379.8921	309.5309	182.2315	172.1561	172.6454	122.4838	93.0579	47.0000	20.0000	55	39961
17	303.2201	309.5034	180.3546	176.7481	172.6892	122.4267	93.0445	47.0000	20.0100	55	38312
18	03.2842	309.9226	260.3178	181.1381	172.7265	125.5862	123.0291	47.0000	49.9962	55	41938
19	379.8756	309.5352	328.4486	181.1280	172.7430	122.6920	129.5852	76.9929	20.0000	55	44915
20	456.5191	389.5333	328.8065	224.6494	222.5961	160.0000	129.5758	85.3189	20.0000	55	51778
21	379.9298	460.0000	317.9828	180.9005	172.7697	122.4799	129.6152	85.3121	20.0090	55	48296
22	303.2117	396.7645	297.3459	130.9016	122.8333	87.0071	129.6583	85.2567	20.0201	55	41694
23	226.6244	316.7646	251.9903	81.1457	73.1616	122.4624	129.5912	55.2591	20.0000	55	35449
24	150.0000	309.5334	185.1918	60.0000	73.0000	154.6855	129.5901	47.0000	20.0000	55	31501
Coût Total (\$)											1024163

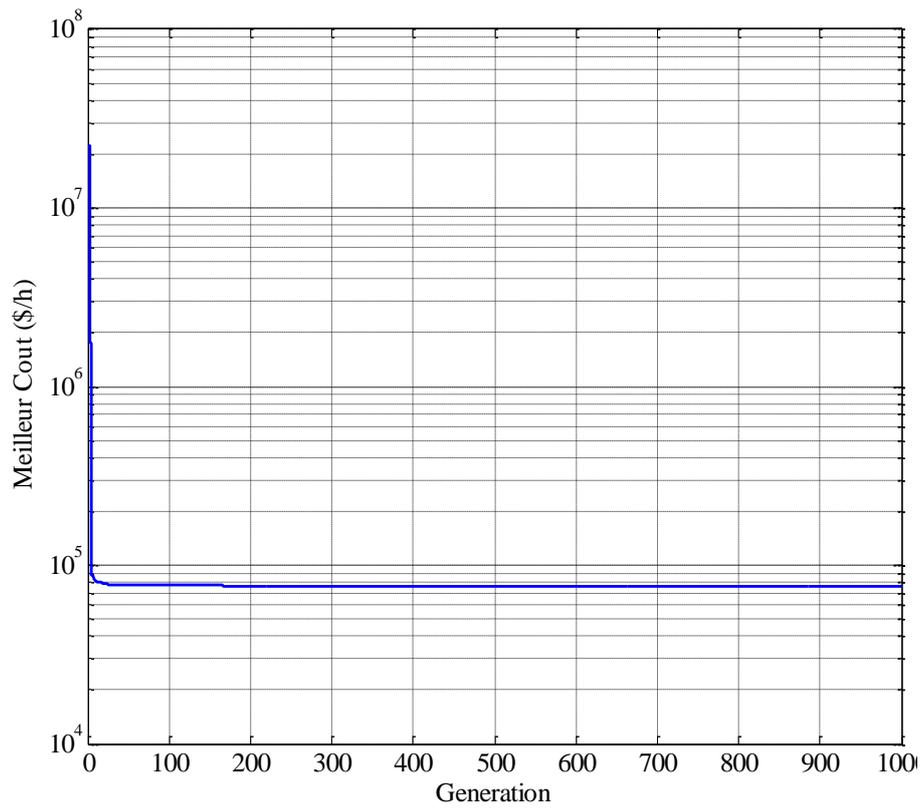


Figure 5.22: Convergence de BBO

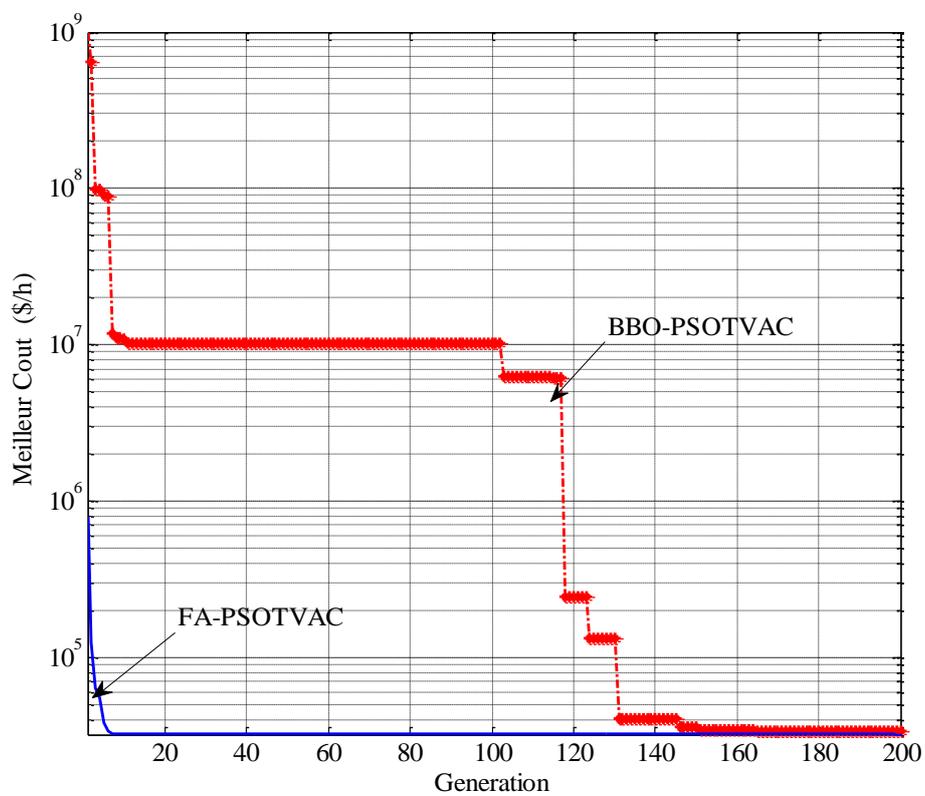


Figure 5.23: Convergence de BBO-PSOTVAC et FA-PSOTVAC

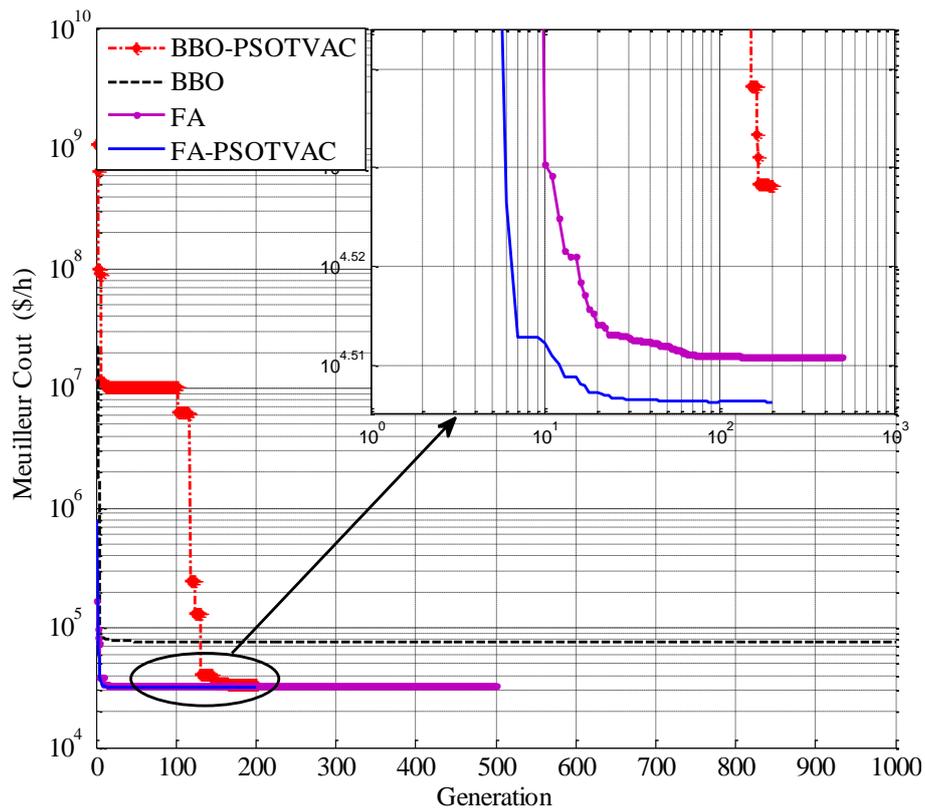


Figure 5.24: Convergence de quatre algorithmes

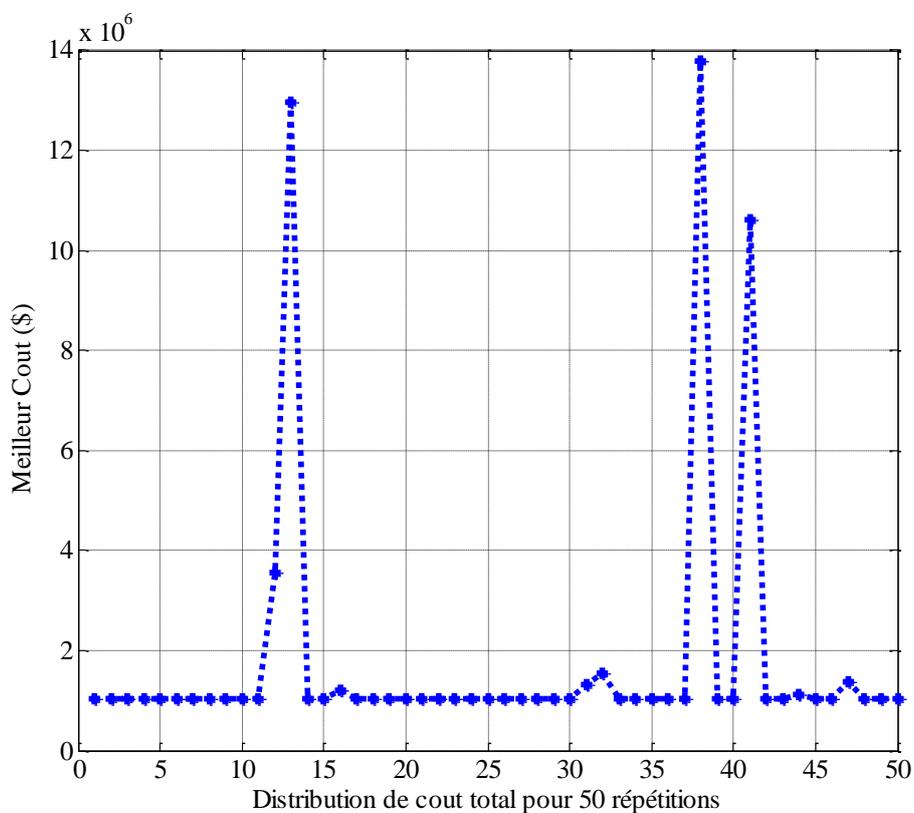


Figure 5.25: Distribution de coût pour 50 répétitions de l'algorithme FA-PSOTVAC

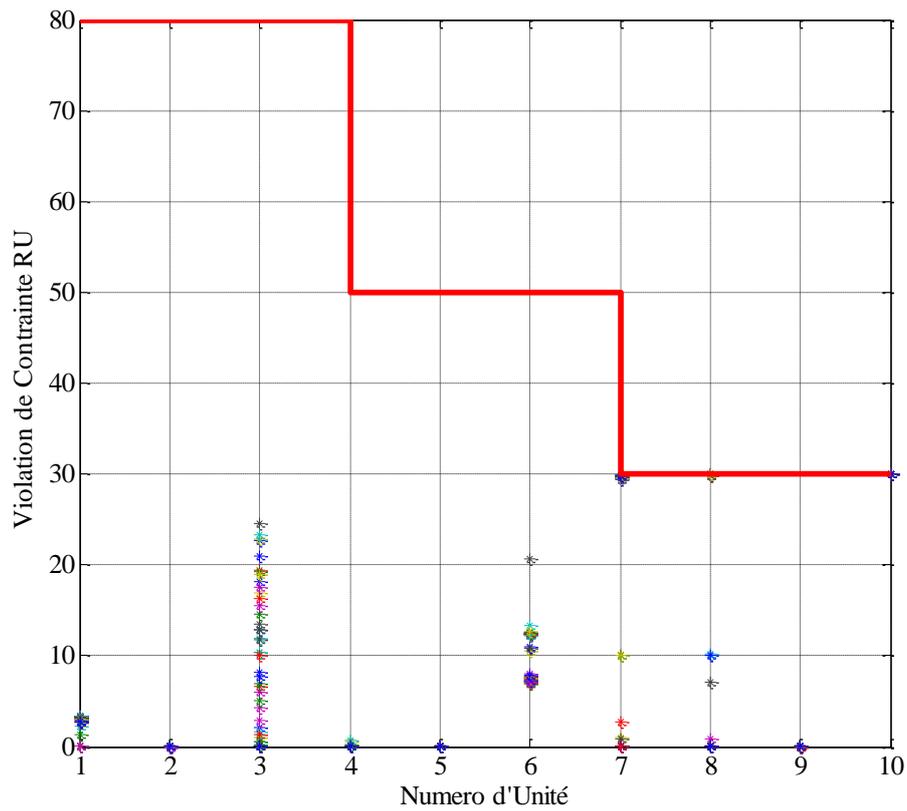


Figure 5.26: Violation de RU pour FA-PSOTVAC

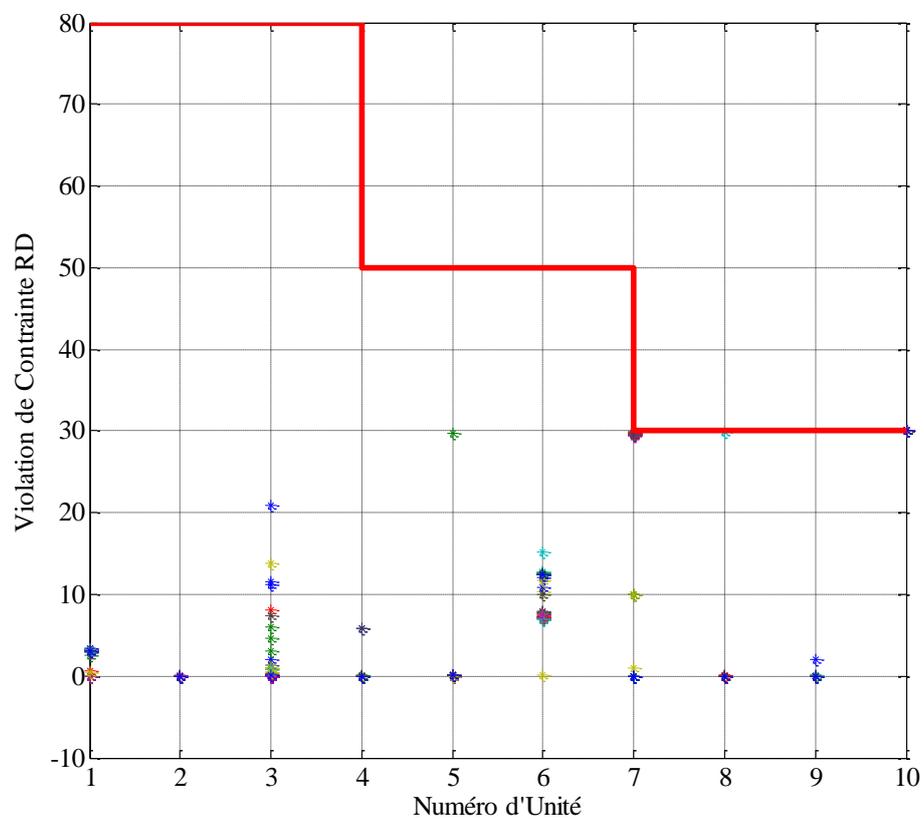


Figure 5.27: Violation de contrainte RD pour FA-PSOTVAC

Tableau 5.21: Comparaison entre solutions FA, BBO, FA-PSOTVAC, BBO-PSOTVAC

Méthode	Pop	Itération	Meilleure Solution	Mauvaise Solution	Valeur Moyenne	Min-Max Violation Demande	Temps (min)
FA	50	500	1024240	8161000	1254900	0.0213-0.0658	41.8955
BBO	50	1000	1044000	53566000	4909400	0.0198-0.0162	7.1236
PSOTVAC	50	1000	-	-	-	Violation	-
FA-PSOTVAC	50	200	1024163	13793000	1794400	0.0023-0.0049	8.4934
BBO-PSOTVAC	50	200	1055000	1065600	1060000	0.0222-0.0150	0.9350

5.5.2 Interprétation des résultats :

Dans ce cas d'étude N°5 une étude comparative a été élaborée afin de résoudre le problème de dispatching économiques dynamique (DED) en considération de plusieurs contraintes pratiques fortement non linéaires, en effet 05 algorithmes sont appliqués pour solutionner dudit problème à savoir le **FA**, **BBO**, **PSOTVAC**, **FA-PSOTVAC** et le **BBO-PSOTVAC**, le système 10 unités est investigué afin de valider la robustesse des approches proposées en particulier l'approche **FA-PSOTVAC**, l'optimisation des puissances générées durant 24 heures est achevée en tenant compte l'effet de l'ouverture des valves, contraintes rampes, zones de fonctionnement interdites et les pertes de transport, il est important de noter que ce test avec ces contraintes n'a été jamais envisagé dans la littérature, le tableau 5.21 indique la solution complète du problème en question par application de l'algorithme **FA**, en effet le **FA** achève au faible coût **1024240\$** pendant **500** itérations avec un temps d'exécution **41.8955** min la caractéristique de convergence de ce dernier est présentée par la figure 5.20, le **BBO** (figure 5.22) arrive au faible coût total **1044000\$** qui est supérieur par rapport celui calculé par le **FA**, aussi il est à noter que le **BBO** nécessite **1000** itérations pour calculé ce coût consommant ainsi un temps de calcul relativement faible (**7.1236** min) par rapport celui de **FA**, le tableau 5.23 aborde les détails de performances des solutions calculées en terme des valeurs faible, moyenne et maximale, la figure 5.24 aborde les caractéristiques de convergences de toutes les approches proposées.

Il est clair d'après la figure 5.23 que d'une part l'algorithme **BBO-PSOTVAC** calcule le faible coût **1055000\$** dans un temps compétitif **0.9350** min d'autre part l'algorithme proposé sujet d'une hybridation entre le **FA** et le **PSOTVAC** génère un coût total le plus faible **1024163 \$** et ce dans un temps raisonnable **8.4934** min, il est important de remarquer aussi que nôtres approches proposées ne présentent aucune violation de contraintes, le degré de

violation de la contrainte d'égalité de l'approche proposée est de l'ordre 10^{-3} tel qu'il est indiqué dans le tableau 5.23, les figures 5.26 et 5.27 expliquent la vérification des contraintes rampes supérieures (RU) et inférieures (RD) respectivement pour ladite approche. La figure 5.25 représente la distribution du meilleur coût total pour FA-PSOTVAC pendant 50 répétitions ou la robustesse de ladite approche est nettement palpable.

5.6 Cas d'étude N°06 : Dispatching Economique Dynamique avec contraintes rampes

5.6.1 Introduction :

Ce cas d'étude est dédié à l'étude du problème de dispatching économique dynamique avec contraintes rampes toujours en traitant une fonction de coût non linéaire, en effet deux systèmes test sont envisagés 10 unités avec et sans pertes de transmission, et le grand système test 30 unités qui a été traité sans pertes pour qu'on puisse comparer nos résultats avec ceux trouvés dans la littérature.

5.6.2 Test 10 unités avec contraintes rampes sans pertes :

5.6.2.1 Solution de PSOTVAC, FA et BBO

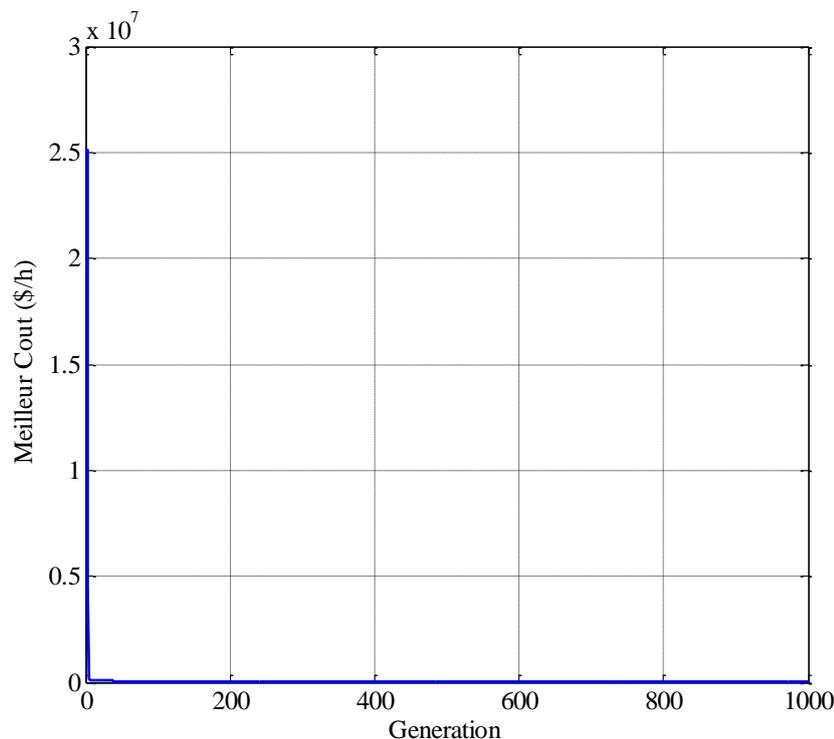


Figure 5.28: Convergence de PSOTVAC

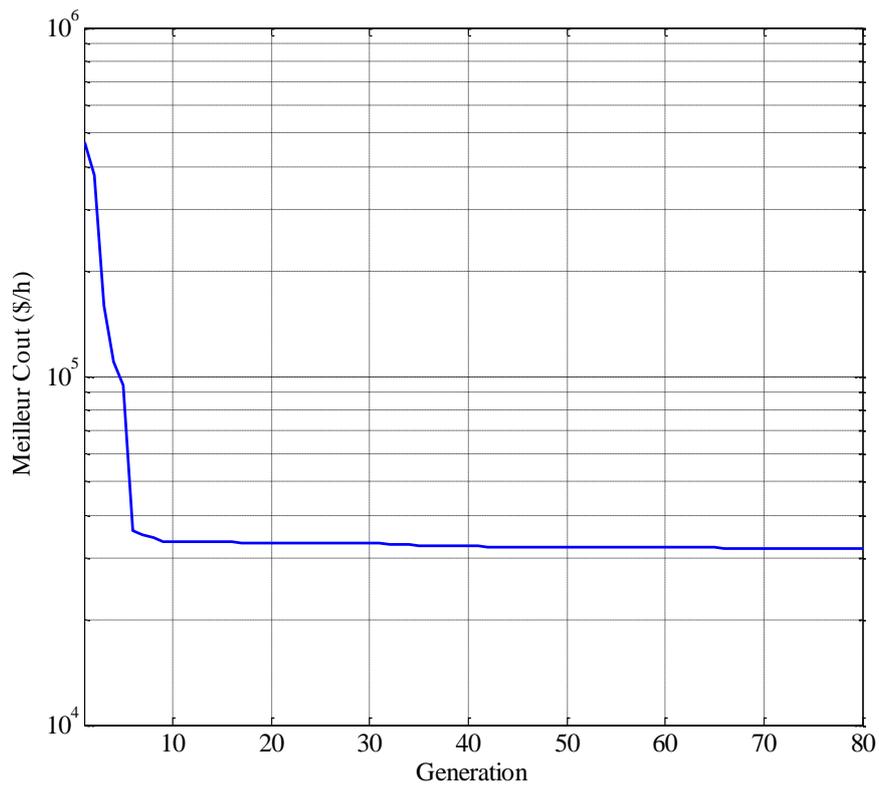


Figure 5.29: Convergence de FA

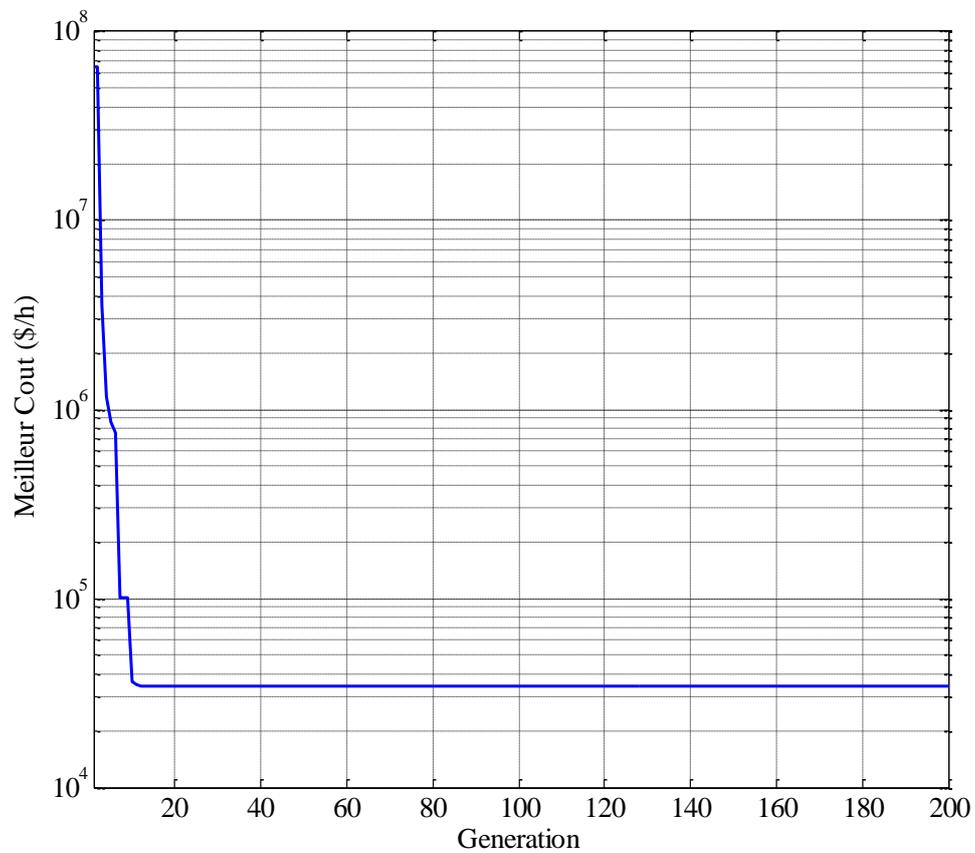


Figure 5.30: Convergence de BBO

5Tableau 5.22: Solution de PSOTVAC

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Coût (\$/h)
1	226.6242	222.2665	132.1724	60.0000	122.8666	57.0000	93.0603	47.0000	20.0000	55	28910
2	226.6242	302.2665	76.3010	60.0000	172.7331	57.0000	93.0603	47.0000	20.0000	55	30409
3	303.2484	309.5329	90.4109	60.0000	172.7331	107.0000	93.0603	47.0000	20.0000	55	33604
4	379.8726	309.5329	146.3428	60.0000	172.7331	122.4498	93.0603	47.0000	20.0000	55	36653
5	456.4968	309.5329	93.7134	110.0000	172.7331	122.4499	93.0603	47.0000	20.0000	55	38463
6	456.4968	389.5329	173.7134	60.0000	173.1768	160.0000	93.0603	47.0000	20.0000	55	41597
7	456.4968	396.7994	228.5819	60.0000	222.5997	122.4498	93.0603	47.0000	20.0000	55	43045
8	470.0000	396.7994	221.5278	60.0000	222.5997	160.0000	123.0603	47.0000	20.0000	55	45050
9	456.4968	460.0000	301.5278	60.0000	234.3674	160.0000	129.5904	47.0000	20.0000	55	48184
10	470.0000	460.0000	340.0000	110.0000	243.0000	160.0000	130.0000	53.9764	50.0000	55	52630
11	470.0000	460.0000	340.0000	152.3646	243.0000	160.0000	129.5904	83.9764	52.0571	55	54337
12	470.0000	460.0000	340.0000	197.0809	243.0000	160.0000	129.5904	85.3121	80.0000	55	56403
13	470.0000	460.0000	303.7451	180.8305	243.0000	122.4498	129.5904	55.3121	52.0571	55	52274
14	456.4968	396.7994	303.6112	130.8305	222.5997	160.0000	129.5904	47.0000	22.0571	55	47917
15	379.8726	396.7994	297.3995	105.2813	222.5997	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	44401
16	303.2484	316.7994	277.3055	60.0000	222.5997	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	39635
17	226.6242	309.5329	337.0569	60.0000	172.7331	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	37931
18	303.2484	309.5329	321.0145	60.0000	222.5997	160.0000	129.5904	47.0000	20.0000	55	41248
19	379.8726	389.5329	340.0000	60.0000	222.5997	132.3887	129.5904	47.0000	20.0000	55	44644
20	456.4968	460.0000	340.0000	110.0000	233.4853	160.0000	130.0000	77.0000	50.0000	55	52375
21	456.4968	396.7994	340.0000	75.6871	243.0000	160.0000	130.0000	47.0000	20.0000	55	48286
22	379.8726	316.7994	274.6811	60.0000	222.5997	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	41276
23	303.2484	236.7994	194.6811	60.0000	172.7331	112.9452	129.5904	47.0000	20.0000	55	35118
24	226.6242	222.2665	128.3254	60.0000	172.7331	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	31717
Coût Total (\$)											1026107

Tableau 5.23: Solution de FA

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Coût (\$/h)
1	226.7950	135.0072	76.0412	60.0000	122.8715	125.1901	129.7652	85.3110	20.0000	55	28405
2	226.6678	135.0000	73.2404	90.4092	172.5867	122.2675	129.5420	85.2481	20.0309	55	30299
3	303.2667	135.0000	114.2541	120.0816	172.8699	122.4148	129.5451	85.3824	20.1833	55	33593
4	379.8299	135.0000	185.2296	120.3556	172.9664	122.4169	129.7996	85.2859	20.0856	55	36470
5	379.5471	214.5495	180.7444	120.3007	172.6457	122.3617	129.6097	85.3003	20.0000	55	38251
6	456.5214	222.4361	185.4363	120.3091	222.5365	131.0241	129.5405	85.2174	20.0000	55	41373
7	379.3136	302.3342	265.3920	120.3343	222.5610	122.0163	129.6548	85.3567	20.0000	55	43197
8	303.3763	309.7922	325.4161	164.7576	222.5375	160.0000	129.6377	85.4528	20.0000	55	45024
9	303.3963	389.5767	332.3690	181.1449	237.1414	160.0000	129.7321	85.6177	49.9876	55	48706
10	379.7452	460.0000	340.0000	231.0958	243.0000	128.0991	129.8615	85.2437	20.0000	55	52230
11	401.8230	460.0000	340.0000	241.4281	222.6707	160.0000	129.8523	115.1788	20.0643	55	54206
12	456.6980	459.9927	304.5624	291.2703	222.8434	160.0000	129.6575	120.0000	20.0000	55	55419
13	457.4153	397.958	297.5045	241.519	222.146	130.4602	129.9247	119.9652	20.0927	55	51414
14	379.4631	318.1087	327.1203	192.1366	222.5262	159.7663	129.8192	120.0000	20.0280	55	48647
15	303.2883	396.9622	308.3072	182.2840	175.0263	143.9764	100.1645	90.6998	20.2797	55	45275
16	291.8891	317.5299	293.2928	132.5444	125.0691	122.0500	129.4651	67.1374	20.0000	55	40440
17	226.5217	309.8727	297.3393	120.0070	122.3051	122.5215	129.6545	47.0898	49.7392	55	38060
18	303.2509	309.3319	297.3558	153.6975	122.8849	160.0000	129.3768	77.0522	20.0263	55	41814
19	378.8009	388.6597	296.3053	178.2801	122.4235	121.8192	129.6782	84.9318	20.0000	55	44733
20	456.8116	460.0000	304.2191	228.2344	172.3022	160.0000	129.9110	85.2921	20.2342	55	51891
21	456.6508	396.0215	297.0753	238.4678	122.5940	130.1887	129.2333	78.8379	20.0000	55	48160
22	380.1483	316.2843	257.7248	188.5953	73.1052	122.1001	129.7243	85.3655	20.0000	55	41863
23	302.2486	236.3024	179.6469	138.9354	73.0000	111.8278	129.6559	85.2733	20.0881	55	35597
24	226.7202	222.0864	159.9004	120.1781	73.0000	121.9646	129.7693	55.3653	20.0244	55	31964
Coût Total (\$)											1027000

Tableau 5.24: Solution de BBO

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Coût (\$/h)
1	224.9537	184.3134	121.2615	119.3855	100.9260	64.0288	56.8599	84.4180	24.8340	55	30477
2	191.0366	223.0238	174.5431	80.7280	116.5504	85.9428	77.8168	85.3425	20.0000	55	31749
3	208.3762	272.8360	219.3138	68.4487	157.2233	66.3118	90.8591	85.2906	34.3398	55	35410
4	238.3407	309.5027	291.5240	68.0678	117.7355	98.0819	119.3493	56.5854	51.8014	55	37640
5	270.1593	309.0986	270.8204	106.4921	122.7451	122.3425	93.0718	78.2114	52.0617	55	39246
6	285.2132	383.5726	297.5603	77.5845	155.6470	133.7749	93.1226	102.4285	44.0843	55	43003
7	329.5523	389.1475	305.7797	103.2819	163.9834	122.3342	92.4739	89.1100	51.3138	55	44152
8	382.4040	420.0120	240.4291	128.9472	202.1653	123.6943	110.3140	75.0526	37.9845	55	46552
9	418.5974	397.4800	307.8892	170.6915	220.3922	141.9803	94.2142	93.6174	24.1414	55	49123
10	459.7350	453.6321	298.1128	180.9106	207.5580	155.8669	123.6960	85.3571	52.0677	55	52327
11	456.6304	459.9746	329.8031	229.8143	208.6272	135.8472	104.8526	105.5321	59.9075	55	55041
12	456.1300	401.0000	332.2470	278.0776	222.5755	151.2354	129.4822	118.4746	75.7667	55	56052
13	455.5519	392.7636	304.5784	242.4860	221.0933	122.4038	124.1596	104.8723	49.1089	55	52072
14	392.0605	396.7518	262.2764	236.8029	223.1392	140.6552	97.9679	83.2043	36.1468	55	49242
15	379.5363	365.8249	186.6258	221.1851	205.8646	145.5388	92.9842	80.0954	43.3450	55	46497
16	321.8370	310.0074	185.0023	181.8187	220.3195	103.3788	63.6673	85.1875	27.7390	55	41161
17	273.3565	354.4721	189.1722	133.1186	184.1165	123.2410	60.9073	86.5824	20.0431	55	39887
18	302.8731	396.9732	200.7259	180.6434	219.8854	105.1309	57.0981	85.3160	24.3547	55	42295
19	359.8431	396.2037	238.6594	177.0406	220.5301	136.0703	55.0131	87.3956	50.2323	55	46070
20	421.8738	446.3736	312.2467	220.5501	222.5586	146.1564	81.1498	116.6286	49.4812	55	53563
21	405.3411	400.3018	305.5118	205.8580	215.5527	133.1392	57.8771	87.1321	58.2241	55	49642
22	334.1439	369.6829	255.3860	166.5018	196.8496	83.8964	56.1484	58.2661	52.1430	55	44134
23	294.2364	297.1404	182.9454	120.4894	147.2877	114.0716	34.5627	62.3311	23.9616	55	36782
24	226.6401	309.5752	128.0874	117.2560	123.3832	68.5982	56.6908	71.1816	27.5844	55	33154
Coût Total (\$)											1055271

5.6.2.2 Solution de FA-BBO et BBO-PSOTVAC

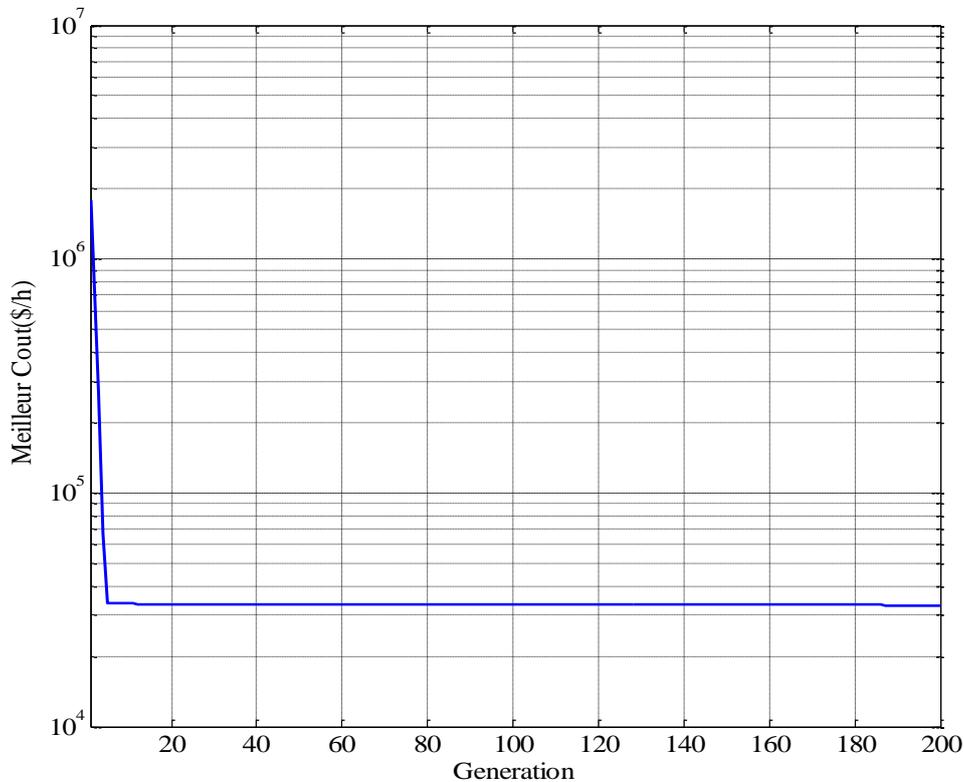


Figure 5.31: Convergence de FA-BBO

Tableau 5.25: Solution de FA-BBO

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg 10	Coût (\$/h)
1	150.0001	135.0000	92.4624	60.0000	222.6002	124.3266	129.5938	47.0000	20.0000	55	28445
2	226.6290	135.0000	103.4510	60.0000	173.3173	159.9998	129.5915	47.0000	20.0000	55	30263
3	303.2475	214.8688	182.3717	60.0000	123.4624	122.4498	129.5929	47.0000	20.0000	55	33160
4	303.5115	294.8301	198.4342	60.0000	172.7926	124.6978	129.6879	47.0000	20.0003	55	36600
5	379.8732	309.5312	183.4155	60.0133	172.6967	122.8481	129.6035	47.0001	20.0005	55	37796
6	379.8835	309.4589	245.7145	60.0001	222.1660	159.1790	129.5889	47.0004	20.0000	55	41449
7	456.4820	309.5249	279.8209	60.0000	222.3863	122.2141	129.5815	47.0000	20.0009	55	42716
8	456.5224	309.5527	315.6817	60.0101	222.6095	160.0000	129.5980	47.0000	20.0056	55	44460
9	456.4986	389.4657	334.0045	109.8186	222.6059	160.0000	129.5901	47.0000	20.0000	55	48166
10	457.5651	460.0000	340.0000	159.7873	243.0000	160.0000	129.6261	47.0000	20.0000	55	52200
11	456.4971	460.0000	340.0000	204.9759	242.9989	160.0000	129.5904	76.9276	20.0000	55	54192
12	456.5082	460.0000	340.0000	241.2526	242.3347	160.0000	129.5874	85.3129	49.9847	55	55661
13	456.5171	396.8030	340.0000	241.5625	222.6398	124.4766	129.6661	85.3155	20.0000	55	51375
14	456.3182	396.7976	294.4386	191.6268	172.7324	122.2175	129.5827	85.2833	20.0000	55	47903
15	379.8558	396.8232	296.5062	168.9650	122.8780	121.1281	129.5930	85.2554	20.0013	55	44619
16	303.2438	316.8946	303.3470	120.4093	73.0000	147.1552	129.6036	85.3291	20.0002	55	39900
17	303.3426	309.6631	304.8249	73.0863	73.0000	126.1678	129.6128	85.3026	20.0000	55	38053
18	380.0401	309.5358	340.0000	60.0027	122.8486	125.6367	129.6176	85.3132	20.0000	55	41291
19	379.8633	389.4479	324.4117	60.0026	172.5632	159.8138	129.5909	85.3074	20.0000	55	44712
20	457.4791	460.0000	340.0000	109.8144	222.4611	159.9998	129.9709	87.2537	49.9982	55	52081
21	456.6631	396.7985	308.9171	121.8777	226.8630	122.9300	129.6145	85.3160	20.0000	55	47768
22	379.9788	317.1854	298.5963	72.1452	176.9629	122.9045	129.6588	55.5568	20.0000	55	41579
23	303.3241	237.3199	229.7054	60.0021	127.6370	122.4156	129.5923	47.0003	20.0000	55	35227
24	226.4144	222.2653	178.4702	60.0000	122.8099	122.4476	129.5900	47.0000	20.0000	55	31415
Coût Total (\$)											1021031

Tableau 5.26: Solution de BBO-PSOTVAC

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg 10	Coût (\$/h)
1	150.0000	135.0000	73.0000	60.0000	205.6409	122.4498	129.5904	85.3121	20.0000	55	28598
2	150.0000	135.0000	130.0376	60.0000	222.5997	122.4498	129.5904	85.3121	20.0000	55	30236
3	226.6242	135.0000	196.9600	60.0000	222.5997	126.8985	129.5905	85.3121	20.0000	55	33235
4	226.6242	215.0000	268.8734	110.0000	172.7331	122.4498	130.0000	85.3121	20.0000	55	36840
5	303.2484	222.2665	309.3849	60.0000	172.7331	122.4498	129.5904	85.3121	20.0000	55	37888
6	379.8726	222.2665	330.4861	60.0000	222.5997	122.4498	130.0000	85.3121	20.0000	55	41271
7	379.8726	302.2665	297.3995	60.0000	222.5997	149.9484	129.5904	85.3121	20.0000	55	42963
8	379.8726	309.5329	324.0784	60.0000	222.5997	160.0000	129.5904	115.3121	20.0000	55	44865
9	456.4968	389.5329	297.3995	110.0000	222.5997	158.0606	129.5904	85.3121	20.0000	55	48009
10	456.4968	460.0000	340.0000	160.0000	243.0000	122.5842	129.5904	85.3121	20.0000	55	52099
11	456.4968	460.0000	340.0000	186.9825	222.5997	160.0000	129.5904	115.3121	20.0000	55	53800
12	456.4968	460.0000	340.0000	236.9825	241.9162	160.0000	129.5904	120.0000	20.0000	55	55672
13	456.4968	396.7994	307.8033	241.2457	222.5997	122.4498	129.5904	120.0000	20.0000	55	51347
14	456.4968	316.7994	289.8120	191.2457	222.5997	122.4498	129.5904	120.0000	20.0000	55	48302
15	379.8726	309.5329	297.4825	141.9068	222.5997	160.0000	99.5904	90.0000	20.0000	55	45242
16	303.2484	309.5329	264.2186	91.9068	172.7331	122.4498	129.5904	85.3121	20.0000	55	39980
17	226.6242	309.5329	311.0591	60.0000	122.8666	160.0000	129.5904	85.3121	20.0000	55	38020
18	303.2484	309.5329	302.5680	60.0000	172.7331	160.0000	129.5904	85.3121	50.0000	55	41401
19	379.8726	389.5329	297.3995	60.0000	222.5997	136.6780	129.5904	85.3121	20.0000	55	44494
20	456.4968	460.0000	340.0000	110.0000	225.5810	160.0000	129.5904	115.3121	20.0000	55	52114
21	456.4968	396.7994	338.1889	60.0003	222.5997	160.0000	129.5904	85.3121	20.0000	55	47855
22	379.8726	316.7994	315.8185	60.0000	172.7331	122.4498	130.0000	55.3121	20.0000	55	41445
23	302.6077	236.7994	235.8185	60.0000	122.7331	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	35155
24	226.6242	222.2665	190.5040	60.0000	73.0000	160.0000	129.5904	47.0000	20.0000	55	31549
Coût Total (\$)											1022380

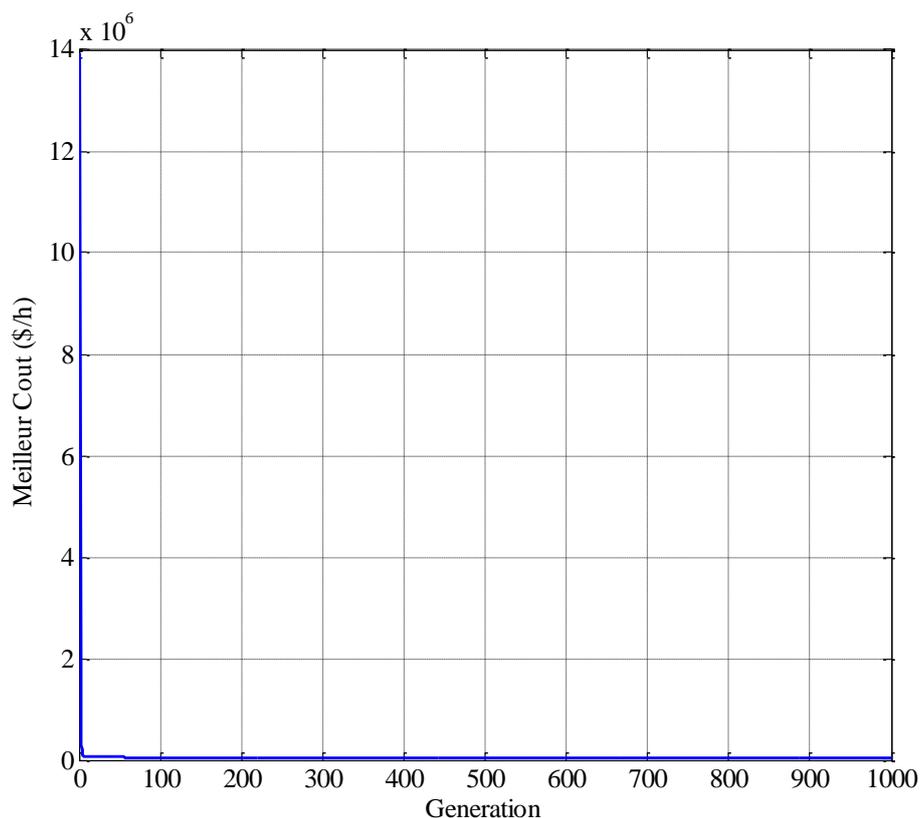


Figure 5.32: Convergence de BBO-PSOTVAC

Tableau 5.29: Tableau de Comparaison entre Solution

Méthode	Pop	Itération	Meilleure Solution	Mauvaise Solution	Valeur Moyenne	Min-Max Violation de Demande	Temps (Sec)
PSO-TVAC	50	1000	1026107	12268000	6647100	0.0023-0.0236	92.0629
FA	50	80	1027000	4178500	6647100	0.0694 -0.1011	103.3813
BBO	50	200	1055271	1067500	1055271	0.0263-0.0638	100.2
FA-BBO	50	200	1021031	4375700	1677300	0.0106-0.0456	212.49
BBO-PSOTVAC	50	1000	1022380	2369000	1695700	0.0010-0.0197	131.689
CSO[21]	30	1000	1017660	1019286	1018120	-	57.66
MILP-MDSD[28]	-	--	1016600	1016600	1016600	-	43.8
TSMILP[31]	-	-	1016543	1016543	1016543	-	66.6
PSO[93]	-	--	1027679	1034340	1031716	-	-
DE[94]	-	600	1036756	1452558	1040586	-	12
HS[95]	100	2000	1046726	NA	NA	-	NA

5.6.3 Interprétation des résultats :

Dans ce test la taille de population est fixée **50** pour tous les algorithmes, les tableaux 5.24, 5.25, 5.26, 5.27, 5.28 abordent les solutions complètes des algorithmes proposés **PSOTVAC**, **FA**, **BBO**, **FA-BBO**, **BBO-PSOTVAC** et ce sans aucune violation des contraintes imposées, le tableau 5.29 expose les solutions trouvées avec leurs valeurs moyenne, maximale et le temps de convergence de chaque algorithme. Ce tableau nous indique que l'algorithme **PSOTVAC** nécessite **1000** itérations pour conduire à la solution **1026107 \$**, l'algorithme

BBO qui offre un coût élevé (**1055271\$**) par rapport nos approches étudiées pendant **200** itérations d'une part , d'autre part l'algorithme **FA** demande un nombre de génération moins faible **80** générations pour nous fournir un coût de **1027000 \$**, l'hybridation entre l'algorithme **FA** et l'algorithme **BBO** dénommée **FA-BBO** parvient à solutionner notre problème avec le plus faible coût enregistré **1021031\$** pour un nombre de génération plus faible (**200** itérations) comparativement avec tous les algorithmes envisagé dans ce test, la figure **5.31** schématise la caractéristique de convergence de l'approche proposée, la solution obtenue satisfait toutes les contraintes du problème, le tableau **5.29** présente l'ordre de violation de contrainte d'égalité (**0.0106-0.0456**) qui reste de l'ordre de 10^{-2} avec un temps de calcul **212.49 Sec** , notant que notre solution est meilleure par rapport celles trouvées dans la littérature tel que **[93]** utilisant l'algorithme **PSO**, **[94]** employant la méthode de différence évolutionnaire (**DE**) et **[95]** utilisant la méthode (**HS**), cependant il reste élevée par rapport la solution **[31]** utilisant la technique **TSMILP**, la solution **[21]** **1017660 \$** calculée par la méthode **CSO**, et la solution **[28]** **1016600\$** trouvé par la technique hybride **MILP-MDSD** ces deux dernières techniques nécessitant un nombre de générations **1000** pour arriver aux solutions indiquées et qui reste plus élevé par rapport le nombre de générations de **FA-BBO** qui ne nécessite que **200** itérations pour calculer notre faible coût.

5.6.4 Test 10 unités avec contraintes rampes avec pertes :

5.6.4.1 Solution de PSOTVAC, BBO et FA

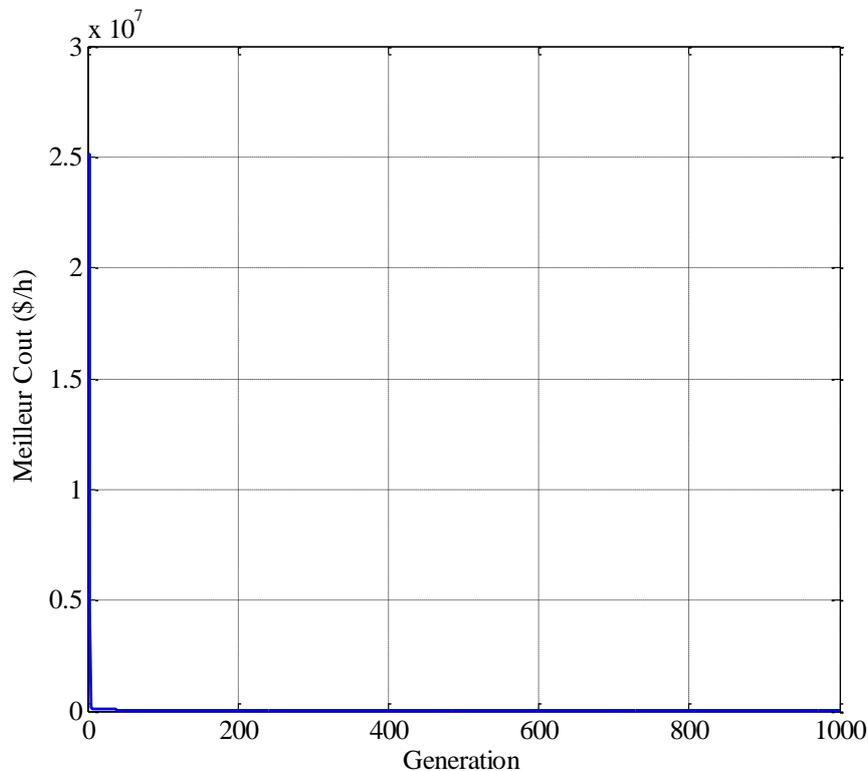


Figure 5.33: Convergence de PSOTVAC

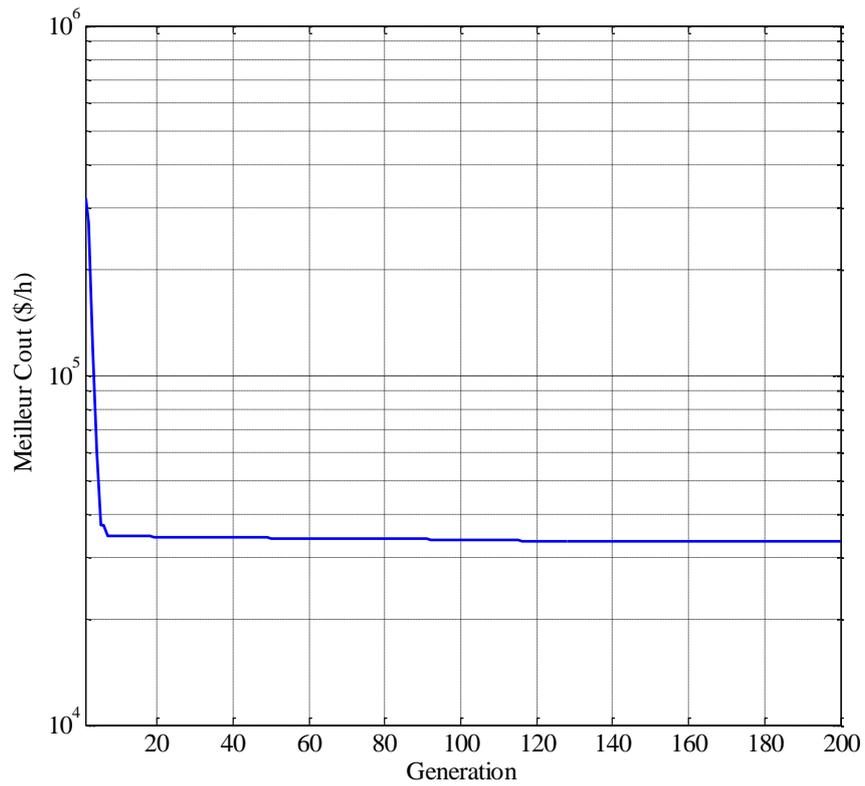


Figure 5.34: Convergence de BBO

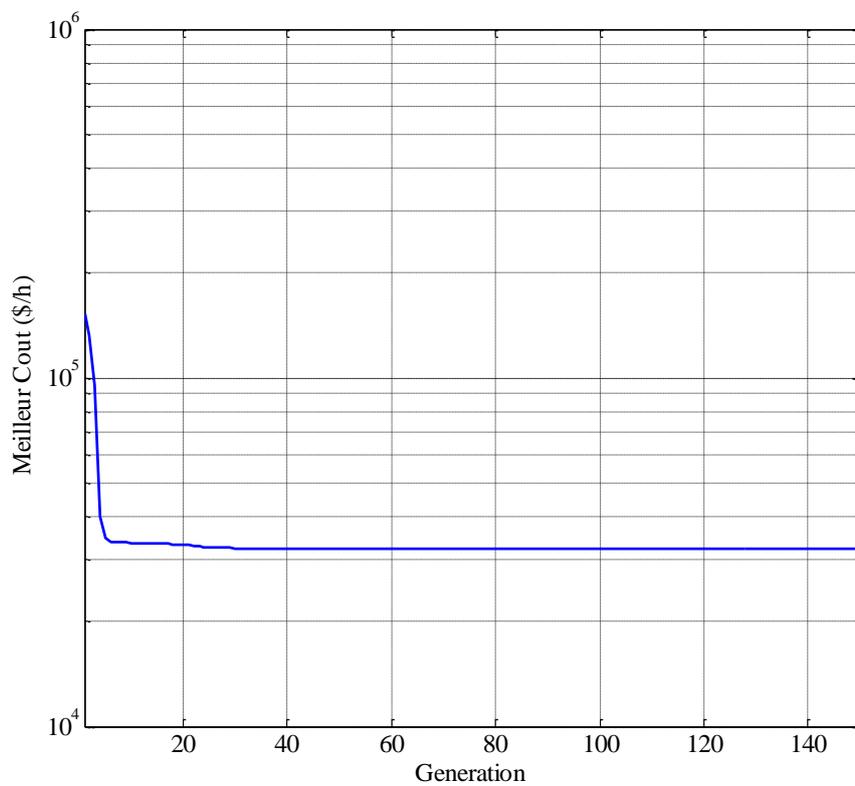


Figure 5.35: Convergence de FA

Tableau 5.27: Solution de PSOTVAC

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg 10	Perte MW	Coût (\$/h)
1	226.6243	135.0000	73.0000	120.4153	172.7331	70.8046	129.5905	47.0004	20.0000	55	14.1839	29098
2	150.0000	215.0000	73.0000	95.4810	222.5997	120.8046	129.5904	47.0000	20.0000	55	18.4861	30764
3	226.6242	222.2665	153.0000	60.0000	222.5997	142.8121	130.0000	47.0000	20.0000	55	21.3159	33899
4	226.6242	302.2665	185.1997	60.0000	222.5997	156.3897	129.5904	47.0000	50.0000	55	28.6790	37338
5	226.6242	309.5329	197.5494	110.0000	222.5997	160.0000	130.0000	47.0000	52.0571	55	30.3782	39125
6	226.6242	389.5329	232.3916	120.4152	222.5997	160.0000	130.0000	77.0000	52.0571	55	37.6325	42978
7	226.6242	396.7994	312.3916	120.4152	233.1904	160.0000	129.5904	85.3121	22.0571	55	39.3994	44080
8	226.6242	460.0000	340.0000	122.0940	222.5997	160.0000	130.0000	85.3121	20.0000	55	45.6490	46221
9	306.6242	460.0000	340.0000	172.0940	243.0000	160.0000	130.0000	86.4161	20.0000	55	49.1599	50101
10	379.8726	460.0000	340.0000	220.4400	243.0000	160.0000	129.5904	116.4161	20.0000	55	52.3284	53793
11	456.4968	460.0000	336.2319	241.2457	222.5997	160.0000	129.5904	120.0000	20.0000	55	55.1773	54937
12	470.0000	460.0000	340.0000	291.2457	231.8344	160.0000	130.0000	120.0000	20.0000	55	58.0996	57286
13	456.4968	460.0000	340.0000	241.2457	210.2644	122.4498	130.0000	90.0000	20.0000	55	53.4618	53295
14	470.0000	396.7994	277.1493	241.2457	172.7331	122.4499	129.5904	85.3121	20.0000	55	46.2866	49282
15	456.4968	316.7994	215.5401	241.2457	172.7331	122.4498	129.5904	85.3121	20.0000	55	39.1808	45958
16	379.8726	309.5329	199.5005	191.2457	122.8665	122.4499	129.5904	55.3121	20.0000	55	31.3851	40844
17	303.2484	309.5329	185.1997	180.8305	122.8666	155.4768	129.5904	47.0000	20.0000	55	28.7546	38850
18	379.8726	389.5329	185.1997	180.8305	157.6874	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	39.1695	42484
19	456.4968	396.7994	203.5238	180.8305	172.7331	160.0000	129.5904	47.0000	20.0000	55	45.9883	45790
20	470.0000	460.0000	283.5238	221.2154	222.5997	160.0000	130.0000	77.0000	50.0000	55	57.3478	53901
21	456.4968	396.7994	309.9076	180.8305	222.5997	122.4498	129.5904	47.0000	52.0571	55	48.7462	48973
22	379.8726	316.7994	284.9082	130.8305	172.7331	122.4498	129.5904	47.0000	22.0571	55	33.2474	42257
23	303.2484	236.7994	204.9082	80.8305	172.7331	104.0362	130.0000	47.0000	20.0000	55	22.5601	36106
24	226.6242	222.2665	195.8754	60.0000	122.8666	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	17.6879	31816
Coût total (\$)											914.305	1049176

Tableau 5.28: Solution de BBO

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg 10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	225.7376	135.0002	108.5864	120.5989	122.6717	112.5192	56.3127	85.1765	25.6035	55	11.2802	29685
2	226.5233	135.0004	166.3078	98.8231	122.8526	123.2757	56.6745	85.3457	52.0134	55	11.8473	31167
3	303.3267	166.6481	207.0055	120.4867	123.1549	122.6196	56.5873	85.3455	33.2780	55	15.4672	34927
4	304.4411	222.2945	213.3052	115.4664	172.7605	130.3358	56.5817	104.4117	51.9264	55	20.4865	38143
5	352.3292	222.2010	274.2914	128.6123	122.9173	122.8105	86.3817	85.9403	51.9024	55	22.4071	39741
6	384.7539	222.1967	285.8617	176.3794	149.7021	151.0351	92.9540	85.3166	51.9214	55	27.1314	42977
7	380.5930	301.8331	289.7686	180.8850	173.1937	122.4545	93.0061	85.3052	51.9510	55	31.6516	44198
8	379.0555	356.5310	317.8527	179.0095	172.9386	123.2699	93.1355	83.6070	52.0565	55	36.3180	46476
9	456.5060	410.5729	331.6562	181.4139	172.7665	130.6373	93.0983	85.3111	52.0680	55	44.9082	49658
10	456.4980	444.4538	305.9855	220.7048	221.7723	131.5222	122.9165	114.2897	51.9147	55	53.0822	53862
11	456.4537	460.0000	313.3677	262.1355	222.6427	130.8318	129.7553	120.0000	52.0856	55	56.1031	55231
12	456.5097	440.2967	333.0471	300.0000	222.5406	153.5376	129.6006	119.9910	66.8556	55	57.7166	57544
13	453.4416	415.3228	299.9906	284.0369	222.1823	122.5654	129.6132	90.2213	51.9573	55	52.3331	53311
14	379.6870	395.6076	294.2025	241.3631	220.0110	141.3098	105.7541	84.4754	51.2864	55	44.5365	49693
15	366.6577	316.6014	298.0364	241.2897	178.8107	123.3724	92.9863	85.3989	52.2145	55	34.5431	46251
16	312.7010	308.9597	275.8861	193.2838	129.7025	134.2749	93.0874	56.2477	22.7589	55	27.7989	41488
17	302.9513	309.1801	198.6168	180.1395	123.0470	135.1598	92.9866	85.3245	23.9899	55	26.4165	39244
18	380.8348	309.3058	274.1151	181.5829	122.8751	133.3999	92.7997	85.3418	22.3374	55	29.7418	42519
19	456.8292	309.7534	319.7012	187.2146	123.9730	129.3606	122.5788	86.3827	20.1138	55	34.8967	45874
20	469.6505	389.6685	340.0000	237.0043	172.7513	159.9998	129.6506	116.3751	50.1054	55	48.2138	53465
21	409.1608	397.2876	304.0202	241.0867	172.9409	160.0000	99.8674	86.4535	42.1483	55	44.0405	50116
22	379.9787	317.7965	238.3557	191.6365	125.5743	122.6268	92.7603	85.1772	50.3091	55	31.2572	43094
23	303.2498	268.4774	177.2818	141.8847	75.9329	109.0352	93.0613	78.7713	51.0222	55	21.6038	37021
24	226.8948	222.4110	127.5184	120.2000	122.8615	124.5423	63.6879	85.3249	52.2069	55	16.5233	33010
Coût total (\$)											800.3046	1058695

Tableau 5.29: Solution de FA

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	150.0000	222.2779	171.3511	60.0000	73.0000	122.4377	129.5898	47.0000	20.0000	55	14.6398	28575
2	150.0000	222.2693	197.1005	60.0000	122.8894	122.5142	129.6052	47.0000	20.0000	55	16.3860	30188
3	226.6569	222.2462	234.1733	60.0000	122.8708	159.9955	129.5890	47.0000	20.0000	55	19.5491	33819
4	303.2547	222.2697	309.4328	60.0000	122.9049	160.0000	129.6031	47.0000	20.0000	55	23.4568	36866
5	379.8746	222.2623	309.2867	60.0545	122.9099	160.0000	129.5837	47.0000	20.0000	55	25.9956	38542
6	456.5046	302.2475	340.0000	60.0000	122.8744	129.0570	129.6161	47.0085	20.0000	55	34.3270	42165
7	456.4962	309.5180	297.4507	91.4800	172.7394	160.0000	129.5839	47.0000	20.0000	55	37.2989	43839
8	456.5392	389.4972	300.7239	60.0032	172.7245	160.0000	129.5979	47.0000	49.9657	55	45.0528	45667
9	456.5041	460.0000	316.4921	109.9861	222.6014	160.0000	129.6012	47.0076	20.0121	55	53.2360	49515
10	456.5177	460.0000	340.0000	159.9745	240.3889	160.0000	129.6085	76.9985	50.0115	55	56.4828	53886
11	456.5388	460.0000	340.0000	195.4525	243.0000	160.0000	129.6156	85.3195	80.0000	55	58.9424	55818
12	456.4895	460.0000	340.0000	241.2428	242.0184	159.9889	129.6288	115.3145	80.0000	55	59.7017	57658
13	456.4986	396.8010	324.8272	241.2243	222.6035	122.5130	129.5892	119.9813	52.0602	55	49.1218	52719
14	456.5067	396.8096	301.1725	191.3157	172.7326	122.5293	129.6347	119.9996	22.0900	55	43.7845	49092
15	456.3807	316.8119	296.4855	170.8892	122.8657	122.4090	129.5828	119.9898	20.0000	55	34.4033	45703
16	379.9245	236.8120	319.3170	120.9517	73.0000	122.5040	129.6118	119.9868	20.0004	55	23.1379	40704
17	303.2290	222.2814	284.9302	120.2963	122.8711	122.4162	129.5940	119.9932	20.0000	55	20.6258	38678
18	303.2457	222.2623	299.8295	170.2897	172.7644	160.0000	129.6045	120.0000	20.0105	55	25.0043	42313
19	379.9092	302.2602	325.3638	180.8425	172.7043	122.4734	129.5584	120.0000	20.0000	55	32.1381	45738
20	456.4873	382.2547	340.0000	230.8105	222.5971	133.2020	129.6040	120.0000	49.9539	55	47.9218	53316
21	379.8932	396.8053	302.7534	180.8574	222.6135	160.0000	129.5914	120.0000	20.0000	55	43.5753	49035
22	303.1977	396.7966	243.0434	130.9248	172.7554	122.4279	129.5887	90.0095	20.0000	55	35.7757	42531
23	226.6210	316.8037	185.1964	92.0218	122.9442	122.4865	129.5757	85.2955	20.0000	55	23.9831	35622
24	150.0000	309.5460	199.5909	60.0000	73.0000	122.5701	129.5879	85.3102	20.0000	55	20.6122	31956
Coût total(\$)											845.1527	1043945

5.6.4.2 Solution de BBO-PSOTVAC et FA-BBO:

Tableau 5.30: Solution de BBO-PSOTVAC

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	150.0000	135.0000	185.1997	60.0000	122.8666	143.5041	129.5904	47.0000	20.0000	55	12.1742	28615
2	150.0000	135.0000	232.7131	60.0000	172.7331	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	14.4984	30370
3	226.6242	135.0000	297.3995	60.0000	122.8666	150.5937	129.5904	77.0000	20.0000	55	16.0855	33736
4	303.2481	135.0000	297.3995	109.3761	172.7331	157.3185	129.5904	47.0002	20.0051	55	20.6850	37024
5	303.2484	135.0000	310.5756	120.4152	222.5997	160.0000	129.5904	47.0000	20.0000	55	23.4446	38676
6	379.8726	214.9996	340.0000	120.4153	222.5997	128.2872	129.5905	47.0000	20.0017	55	29.7835	42224
7	456.4968	222.2665	339.6504	120.4152	222.5997	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	33.4813	43707
8	456.4968	302.2665	297.3995	162.0608	222.5997	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	38.8719	45606
9	456.4968	309.5329	340.0000	197.4103	222.5997	160.0000	129.5904	47.0000	50.0000	55	43.6470	49486
10	456.5048	389.5329	340.0000	244.8227	222.5997	160.0000	129.5905	47.0000	80.0000	55	53.0709	53424
11	456.4968	460.0000	340.0000	294.8227	222.5997	147.4904	129.5904	47.0000	52.0571	55	59.0694	55209
12	456.4968	460.0000	340.0000	300.0000	222.9782	160.0000	129.5904	77.0000	80.0000	55	61.0864	57505
13	456.4968	396.7994	297.3995	268.2220	222.5997	160.0000	130.0000	85.3121	52.0571	55	51.9003	52883
14	456.4967	396.7994	276.5386	235.8002	222.5930	122.0190	129.5900	55.3125	22.0571	55	48.2161	49374
15	379.8726	396.7994	259.7169	185.8002	222.5997	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	42.8375	45710
16	303.2484	316.7994	188.7897	180.8305	222.5997	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	32.3229	40546
17	303.2484	309.5329	170.4467	130.8305	222.5994	122.4498	129.5905	47.0000	20.0000	55	30.7046	38875
18	379.8726	309.5329	196.0534	180.8305	222.5997	122.4498	130.0000	47.0000	20.0000	55	35.3537	42146
19	456.4968	389.5329	246.2589	180.8305	172.7331	122.4498	129.5904	47.0000	20.0000	55	43.9024	45867
20	456.4968	460.0000	297.3995	230.8305	222.5997	149.4653	129.5904	77.0000	50.0000	55	56.3937	53470
21	379.8726	396.7994	295.6450	229.9816	222.5996	122.4498	129.5904	85.3121	52.0570	55	45.3145	49143
22	303.2484	396.7994	215.6450	180.8299	172.7331	103.0412	129.5904	85.3121	22.0570	55	36.2612	42707
23	226.6242	316.7994	177.1870	130.8299	122.8665	122.4498	129.5904	55.3121	20.0000	55	24.6656	35826
24	150.0000	309.5329	168.1172	80.8299	122.8666	122.4498	130.0000	47.0000	20.0000	55	21.8030	32233
Coût total (\$)											875.573	1044362

Tableau 5.31: Solution de FA-BBO

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	154.2734	148.2473	195.4812	60.0000	73.4751	125.4707	129.6143	85.3496	20.0308	55	10.9392	28959
2	215.2653	135.0000	189.2893	60.1028	97.2088	133.0812	129.8713	86.9729	20.0000	55	11.8172	30809
3	292.7189	135.0000	223.8080	61.0393	123.1606	149.1345	129.5790	84.0620	20.0016	55	15.4355	34112
4	303.0976	214.7067	267.5316	60.0021	131.9008	160.0000	129.5882	85.5788	20.0000	55	21.2540	37432
5	379.8492	135.0000	336.2310	60.0003	172.8688	130.2963	128.8465	83.7651	20.0000	55	21.7618	38733
6	454.7456	135.0004	330.7031	105.6733	209.9647	129.6288	129.5119	84.6413	20.0249	55	26.6801	42518
7	464.3157	135.0056	321.7422	133.5162	226.1640	160.0000	129.8159	85.8977	20.0000	55	29.3090	44246
8	457.6625	214.0086	340.0000	141.1671	222.5999	143.6212	129.6728	85.2436	20.0000	55	32.9196	46058
9	459.6878	293.3500	339.8500	180.8331	242.0360	159.1465	129.4930	85.2930	20.0754	55	40.7860	49723
10	456.3727	368.4915	336.8067	226.7707	222.4544	159.5521	129.5919	115.0060	49.6850	55	47.6831	53719
11	458.2792	397.2528	339.9998	248.7630	236.9010	160.0000	129.6905	119.9984	52.0837	55	51.9915	55001
12	456.4597	459.9996	332.1967	291.0278	222.5272	159.8071	129.5891	119.9992	51.9524	55	58.5313	57054
13	456.3481	397.6414	312.8472	269.9871	223.2444	126.8785	129.2004	119.9426	30.0348	55	48.9293	53146
14	380.7977	398.3609	290.8222	246.6696	176.4582	159.9729	129.9721	106.6077	22.8494	55	43.5093	49682
15	382.3640	396.7521	234.4528	215.4052	172.7222	126.1668	129.6224	84.5826	20.0000	55	41.0728	46168
16	303.1540	394.4794	191.9928	180.8790	123.6249	123.9312	128.0068	67.5406	20.0021	55	34.6200	40943
17	304.1393	317.1575	187.2924	168.8626	123.6758	122.7142	129.6731	79.4109	20.0000	55	27.8078	39206
18	368.2577	393.3234	189.5567	180.8468	121.3103	122.6558	129.0832	85.2908	20.0000	55	37.2985	42500
19	378.1373	398.3916	259.5133	174.1427	164.6119	147.2826	129.6610	89.5350	20.0121	55	40.2333	46246
20	455.4009	458.9607	338.1038	217.9136	171.8723	158.1328	129.5581	118.7566	20.0116	55	51.7640	53529
21	461.6421	396.8785	300.3361	180.7373	171.0863	132.6972	129.6071	120.0000	20.0000	55	43.9591	49103
22	383.1082	317.5813	240.4847	132.0675	165.7357	124.8225	129.9969	91.3405	20.0000	55	32.1580	42920
23	303.9255	286.7018	172.0163	84.8981	122.8698	95.2039	129.5446	85.3964	20.0000	55	23.6038	36429
24	303.4900	222.2279	179.3854	60.0000	73.0000	72.5406	129.8077	85.9011	20.0003	55	17.0574	32292
Coût total(\$)											811.1216	1050528

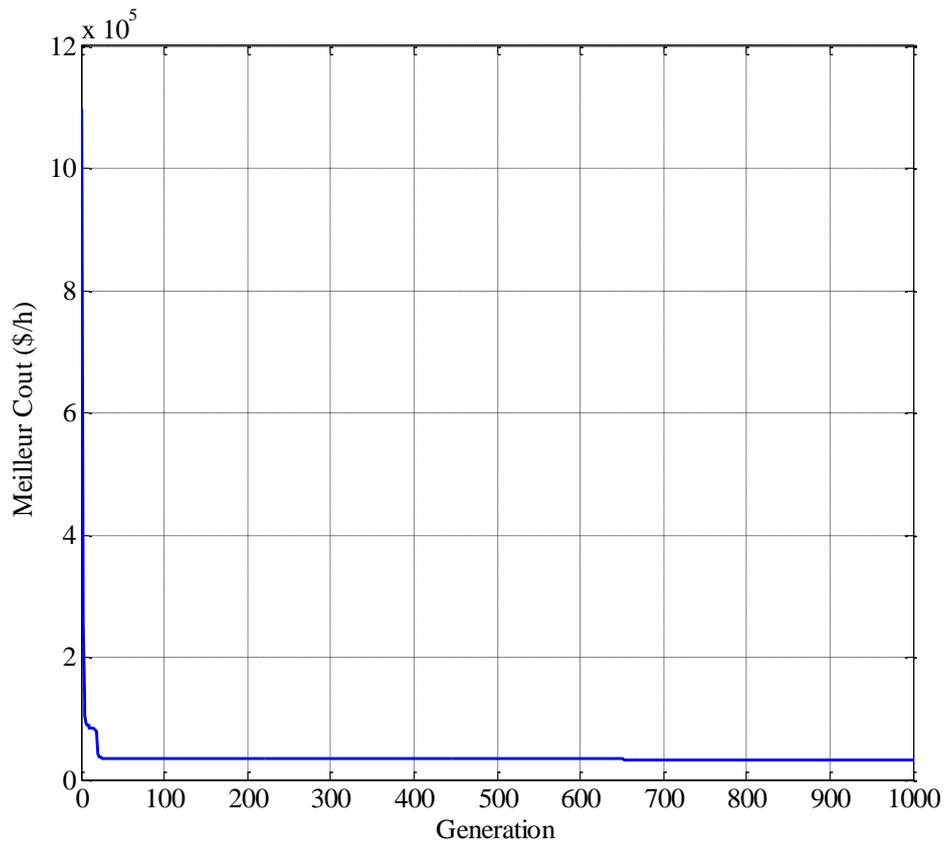


Figure 5.36: Convergence de BBO-PSOTVAC

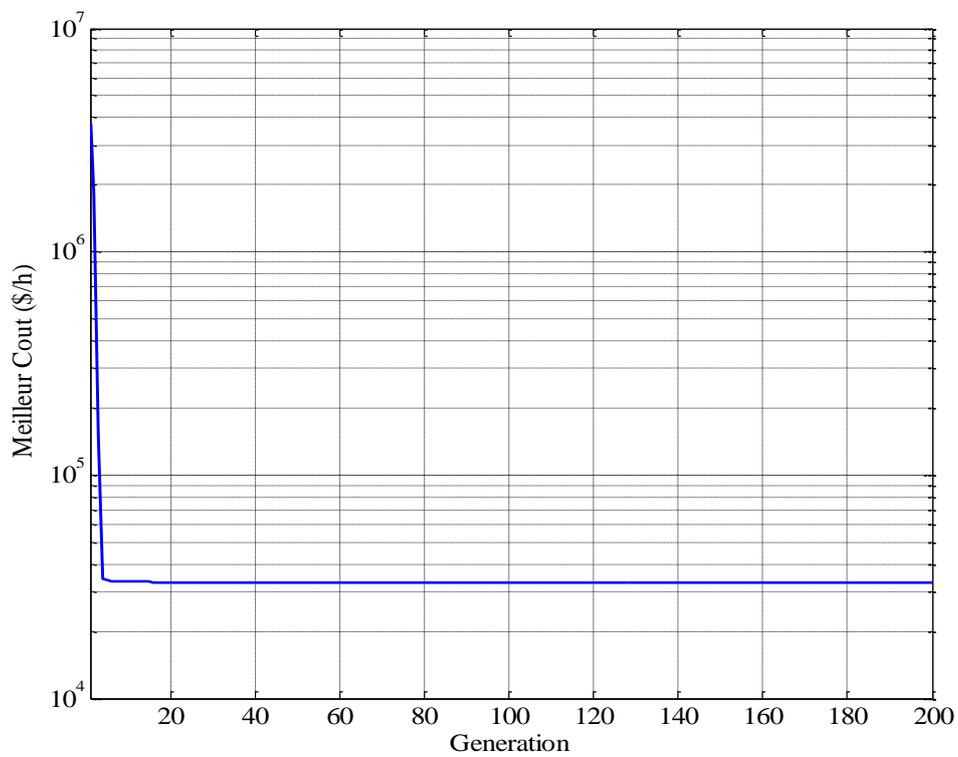


Figure 5.37: Convergence de FA-BBO

Tableau 5.32: Tableau de comparaison entre solution

Méthode	Pop	Itération Max	Meilleure Solution	Mauvaise Solution	Valeur Moyenne	Min-Max Violation de Demande	Percent	Pertes(MW)	Temps (min)
PSOTVAC	50	1000	1049176	28619000	14834000	-0.0044-0.0256	98.9653	914.3054	1.8445
BBO	50	200	1058695	1144100	1101397.5	0.3386-0.3378	98.0755	800.3046	3.9890
FA	50	150	1043945	7744910	4394400	0.0168-0.0611	99.4613	845.1527	33.690
BBO-PSOTVAC	50	1000	1044362	3078100	2061250	-0.0047-0.0209	99.4216	875.5736	2.1919
FA-BBO	50	200	1050528	8228500	15406000	0.2958-0.0536	98.8381	811.1215	7.9124
CSO[21]	30	1000	1,038,320	1,042,518	1,039,374	-	-	802.62	1.481
GA[93]	-	-	1,052,251	1,062,511	1,058,041	-	-	NA	3.444
PSO[93]	-	-	1,048,410	1,057,170	1,052,092	-	-	NA	4.093
ECE[96]	-	-	1,043,989	NA	1,044,470	-	-	NA	0.644
AIS[97]	-	-	1,045,715	1,048,431	1,047,050	-	-	835.62	30.973

5.6.5 Interprétation des résultats :

Ce test solutionne le système **10** unités avec contraintes rampes avec pertes traitant une fonction de coût non linéaire, en effet 05 approches sont appliquées pour résoudre dudit problème à savoir le PSOTVAC, l'algorithme FA, l'algorithme BBO et les deux approches hybrides FA-BBO et BBO-PSOTVAC, dans cette optimisation le meilleur coût calculé est celui correspond à l'approche FA qui génère un coût de **1043945\$** cette valeur reste faible par rapport celles trouvées respectivement par PSOTVAC (**1049176\$**), BBO (**1058695\$**), BBO-PSOTVAC (**1044362\$**) et finalement FA-BBO (**1050528\$**), la solution complète de l'algorithme FA est présentée par le tableau **5.32**, le tableau **5.35** rassemble les caractéristiques de convergence et le temps d'exécution des approches envisagées. La caractéristique de convergence de FA indiquée par la figure **5.35** nous montre que ce dernier aboutit au faible coût pendant seulement **150** générations qui reste plus faible par rapport les autres algorithmes tel qu'il est indiqué dans le tableau **5.35** d'autre part ce coût est supérieur à celui calculé dans le test précédant (**1021031 \$**) et ce suite à l'introduction des pertes de transmission.

En matière de comparaison avec les solutions du même problème qui sont indexées dans la littérature on peut conclure que notre solution est nettement meilleure par rapport celles abordées dans les tableaux **5.35** et calculées respectivement par l'algorithme génétique [93] **1052251 \$**, le PSO [93] **1048410 \$**, la méthode (ECE) appliquée par l'auteur [96] donnant un coût de **1043989 \$** et la méthode (AIS) appliquée par l'auteur [97] générant une solution de **1045715 \$**, cependant la solution calculée par la technique (CSO) [21] offrant un coût de **1038320 \$** reste faible par rapport notre coût néanmoins cette technique nécessite un nombre de génération plus élevée **1000** pour aboutir à cette solution contrairement à notre approche qui converge lors de **150^{ième}** itération.

5.6.6 Système 30 unités avec contraintes rampes sans perte :

5.6.6.1 Solution de BBO

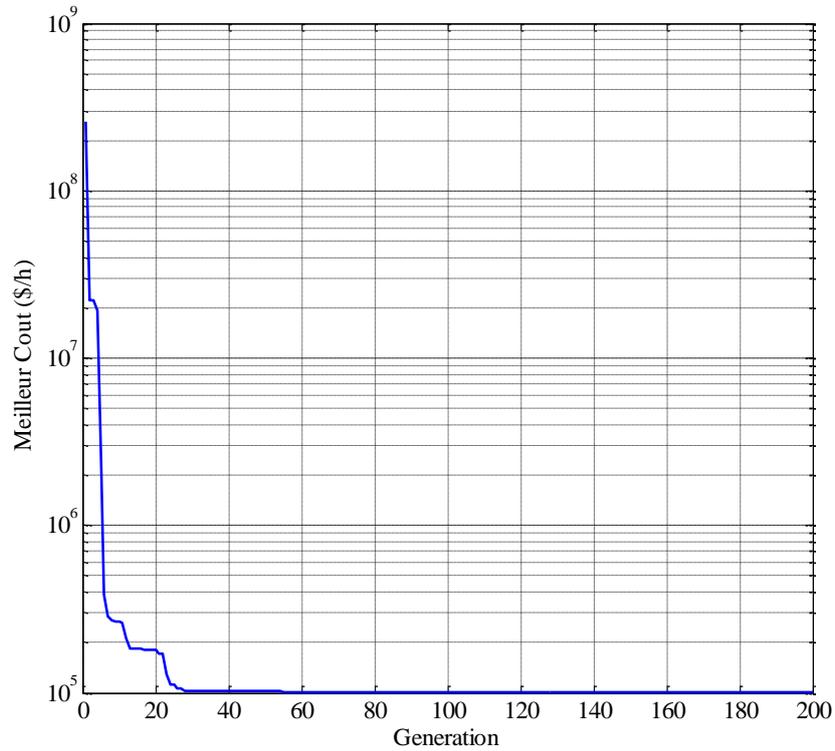


Figure 5.38: Convergence de BBO

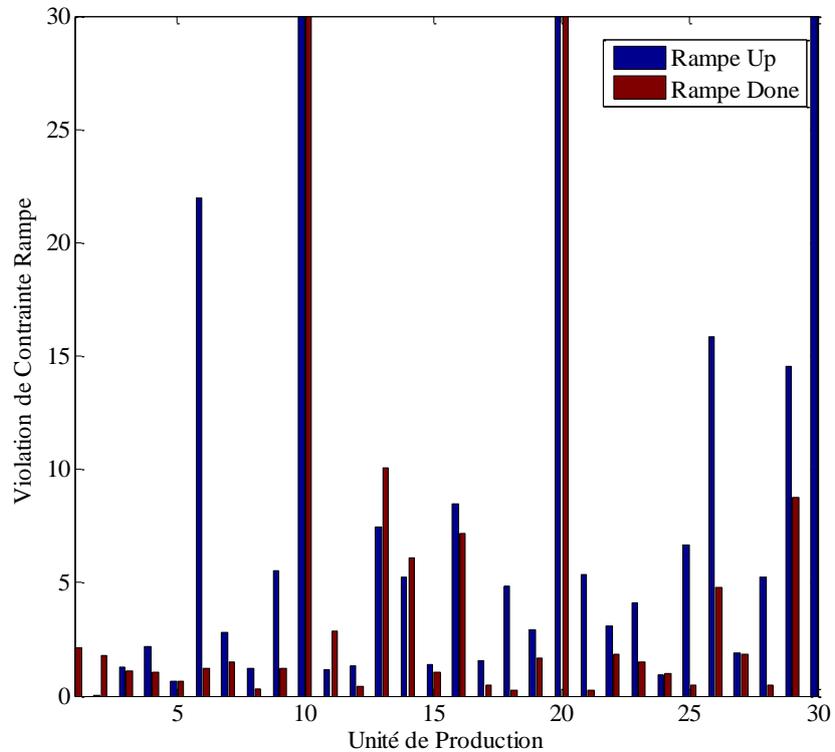


Figure 5.39: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution BBO

Tableau 5.33: Solution de BBO :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Pg15	Pg16
1	223.59	135.00	98.72	117.07	91.25	127.08	92.69	89.04	38.11	55	211.28	221.39	83.43	100.45	111.27	57.00
2	212.52	140.71	177.45	131.71	119.76	138.72	97.45	71.58	48.15	55	228.07	223.77	144.81	16.33	97.11	79.32
3	247.49	218.76	189.50	116.24	136.87	148.81	92.62	84.31	64.76	55	303.13	221.61	138.39	119.49	123.60	94.06
4	303.42	298.75	230.89	119.69	125.12	124.83	92.44	89.01	40.91	55	340.29	221.14	188.40	121.36	129.56	122.62
5	365.68	302.49	296.89	118.06	169.15	108.83	93.35	116.54	39.50	55	303.68	222.45	224.05	130.51	114.54	79.78
6	428.19	304.61	337.93	155.53	181.11	127.50	110.06	86.86	29.98	55	306.38	219.80	296.26	123.12	89.34	121.27
7	367.23	309.70	317.35	184.92	222.22	121.93	92.50	85.89	51.26	55	303.96	221.39	330.63	130.86	137.96	122.92
8	438.31	313.97	278.06	219.79	172.90	123.50	99.97	114.67	32.89	55	301.70	285.53	297.55	145.47	175.13	131.90
9	456.74	389.12	298.39	240.98	219.18	132.29	126.76	98.62	48.40	55	375.83	350.90	300.32	179.81	187.09	144.37
10	450.96	394.51	315.79	245.92	222.76	140.54	129.51	112.26	52.88	55	449.22	394.28	316.20	220.04	224.44	139.98
11	390.40	459.53	305.41	293.75	221.39	147.81	101.01	119.81	58.65	55	454.65	397.80	310.96	244.13	225.16	145.91
12	454.50	459.61	294.19	298.97	222.78	145.13	93.39	112.33	63.22	55	456.17	460.00	331.63	235.87	222.57	147.66
13	424.93	438.30	291.39	254.75	220.96	145.58	93.22	88.56	37.95	55	379.82	396.82	302.63	262.16	222.83	140.53
14	368.34	396.47	230.34	241.00	220.02	119.00	93.01	83.85	38.49	55	380.12	395.94	304.88	219.68	222.87	124.19
15	378.87	387.63	164.86	199.36	174.36	122.56	65.87	85.52	62.95	55	390.54	359.75	259.33	181.11	173.90	118.84
16	314.42	312.52	91.94	150.58	161.03	73.76	55.85	83.65	41.63	55	335.10	311.60	224.21	155.01	174.05	125.13
17	298.75	390.41	93.85	115.00	167.77	101.77	56.26	76.320	53.15	55	289.26	289.22	184.31	181.10	173.00	139.84
18	374.70	398.88	115.88	119.91	170.66	117.22	28.63	73.28	59.41	55	301.57	310.23	206.24	168.92	172.12	135.48
19	427.86	407.82	183.72	161.19	172.08	134.10	55.80	92.67	58.48	55	378.12	388.91	174.80	182.58	170.79	123.60
20	457.09	460.00	256.65	203.03	221.43	135.89	75.21	104.35	66.02	55	456.98	456.15	247.32	227.34	218.59	124.69
21	454.03	397.52	264.88	199.45	222.37	97.48	55.68	78.71	37.33	55	422.76	397.09	274.23	218.31	195.05	133.60
22	377.15	369.78	288.86	150.49	175.86	65.90	58.00	77.75	59.13	55	346.25	317.51	250.06	175.34	146.61	92.91
23	299.28	307.54	209.94	104.52	138.18	86.93	38.11	83.43	30.34	55	269.10	287.95	185.82	131.42	140.19	115.77
24	297.40	229.35	218.39	117.99	122.86	63.73	56.56	81.62	51.72	55	218.82	214.08	115.90	92.92	99.76	102.17

Tableau 5.34: Suite du Tableau 5.36 : Solution de BBO

H	Pg17	Pg18	Pg19	Pg20	Pg21	Pg22	Pg23	Pg24	Pg25	Pg26	Pg27	Pg28	Pg29	Pg30	Coût(\$/h)
1	54.30	56.72	49.70	55	225.19	218.30	109.22	98.15	114.77	69.95	42.28	58.60	48.33	55	90610
2	38.19	81.88	50.66	55	226.62	148.45	161.00	64.03	121.90	80.65	55.31	81.12	27.64	55	95320
3	58.08	88.57	35.61	55	231.07	223.28	195.87	113.11	121.11	99.11	54.25	53.59	35.42	55	104380
4	86.15	66.44	61.64	55	226.74	295.52	209.10	120.82	149.31	133.25	57.37	59.05	39.00	55	113970
5	81.84	81.76	68.01	55	226.02	309.83	207.85	143.76	168.82	128.43	56.78	67.51	48.66	55	119110
6	94.11	85.74	65.44	55	297.93	309.45	283.74	172.49	174.78	126.55	55.42	83.08	52.30	55	127820
7	109.51	67.00	51.59	55	372.58	358.68	296.76	129.78	173.68	152.44	77.79	85.65	64.90	55	133020
8	112.28	85.97	51.33	55	406.60	396.97	287.57	168.61	174.33	107.24	89.62	105.70	45.24	55	138550
9	93.14	108.76	28.69	55	433.91	393.53	252.89	190.76	178.41	119.28	93.20	109.08	56.20	55	148150
10	118.02	95.93	50.74	55	455.27	404.39	296.82	236.06	221.75	124.21	99.36	85.67	53.25	55	156650
11	115.07	102.96	69.27	55	455.36	401.24	325.57	275.52	228.74	138.03	117.23	105.53	62.07	55	164110
12	106.79	109.61	75.30	55	455.23	458.88	335.76	297.19	222.59	129.32	129.82	117.55	58.81	55	168880
13	98.54	107.24	52.01	55	444.81	413.52	294.47	299.84	226.33	149.32	42.28	88.02	73.16	55	158790
14	91.11	109.95	34.94	55	412.17	393.84	300.61	252.59	186.96	125.17	55.31	71.96	63.33	55	147850
15	70.47	80.52	45.80	55	410.54	394.38	305.25	226.79	144.46	141.17	54.25	64.01	42.07	55	139690
16	56.85	79.91	60.90	55	330.79	317.83	300.73	177.79	180.34	142.09	57.36	85.09	49.97	55	124640
17	49.45	85.78	32.86	55	379.95	240.47	238.22	142.36	132.06	124.28	56.78	85.28	61.12	55	119330
18	68.39	85.49	46.64	55	443.26	309.69	293.10	177.53	173.17	122.67	55.42	91.35	51.54	55	128180
19	94.12	96.56	70.70	55	456.91	308.81	297.40	183.94	205.90	121.25	77.79	64.67	55.91	55	138250
20	120.17	117.79	65.91	55	455.53	385.72	310.30	228.18	227.43	146.07	89.62	89.42	71.34	55	159790
21	112.61	88.06	37.56	55	394.34	425.58	291.49	223.35	181.89	147.22	93.20	96.84	65.06	55	149760
22	83.10	90.63	42.57	55	317.41	351.92	212.97	205.93	132.36	118.91	99.36	86.29	50.42	55	131070
23	55.24	62.51	23.51	55	241.67	273.79	196.77	157.44	117.02	86.88	117.27	85.00	31.72	55	111330
24	83.70	84.22	50.60	55	162.60	216.48	250.44	120.33	79.86	74.27	129.86	81.46	43.36	55	100220
Coût total (\$)															3169470

5.6.6.2 Solution de FA :

Tableau 5.5.35: Solution de FA :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Pg15	Pg16
1	150.09	222.27	73.00	60.06	122.94	159.99	129.60	47.02	20.00	55	150.05	135.06	73.01	60.00	122.94	57.01
2	150.09	222.32	73.97	60.02	172.70	122.52	129.63	47.03	20.00	55	226.63	135.00	73.50	60.00	122.85	107.00
3	150.00	222.24	112.15	60.00	222.56	122.68	129.58	47.06	20.00	55	303.20	214.98	153.47	60.00	122.81	122.47
4	226.62	302.24	185.45	60.07	222.66	122.65	129.56	77.02	20.00	55	303.29	294.91	212.44	60.16	122.85	122.48
5	226.75	309.56	188.73	60.06	222.70	160.00	129.70	85.33	49.96	55	303.27	309.60	292.42	110.08	122.88	122.56
6	226.62	389.52	268.71	60.02	222.57	159.91	129.60	85.32	52.06	55	379.88	309.44	337.30	120.42	122.86	122.46
7	303.24	396.77	297.16	109.46	222.51	160.00	129.56	115.31	52.02	55	456.47	309.54	297.28	70.43	122.88	159.90
8	303.24	396.90	297.96	120.47	222.76	160.00	129.58	119.99	52.06	55	456.50	309.55	339.86	60.00	172.77	160.00
9	379.89	460.00	316.79	170.43	222.61	122.46	129.64	120.00	52.05	55	456.52	389.53	314.44	60.03	222.61	159.99
10	456.49	460.00	333.57	180.82	222.60	159.99	129.60	119.98	52.07	55	456.48	396.91	334.35	60.00	222.60	160.00
11	456.49	459.99	339.94	230.80	222.60	159.94	129.59	120.00	79.99	55	456.51	459.99	340.00	109.91	222.58	122.50
12	456.51	459.99	307.48	241.27	222.60	159.99	129.65	120.00	80.00	55	456.47	460.00	339.99	159.91	222.61	159.95
13	456.55	396.82	301.44	241.24	222.63	122.71	129.59	90.05	52.04	55	456.56	396.83	340.00	180.89	222.60	128.84
14	379.83	396.84	297.79	191.38	172.93	122.70	99.72	85.31	22.10	55	456.52	316.90	299.95	180.83	222.66	123.00
15	302.77	396.81	293.82	180.56	172.66	122.49	92.88	55.33	20.00	55	379.63	236.99	285.24	180.11	172.78	122.42
16	226.62	316.81	297.36	180.75	122.87	158.81	93.06	47.00	20.00	55	303.11	222.26	297.17	130.17	122.87	122.54
17	150.00	309.50	297.35	218.64	73.01	159.90	93.08	47.01	20.00	55	303.24	142.30	297.38	120.47	122.86	122.45
18	226.60	309.53	298.69	241.26	122.86	122.68	93.08	47.01	20.00	55	379.95	222.29	298.90	120.45	122.91	159.98
19	303.35	309.53	339.75	241.43	122.94	160.00	123.08	47.00	49.96	55	456.53	302.18	298.41	120.47	122.94	160.00
20	379.89	389.45	339.78	291.37	172.73	160.00	129.59	76.96	79.84	55	456.55	382.14	338.96	170.36	172.74	159.90
21	379.83	396.75	301.18	241.41	172.72	160.00	129.73	85.31	52.05	55	379.82	396.85	300.11	120.65	172.73	144.43
22	303.29	316.78	221.78	241.14	122.87	122.40	100.28	85.39	52.06	55	303.32	396.76	221.12	120.39	122.81	122.54
23	226.74	236.84	188.19	191.38	73.13	123.24	129.64	85.33	22.15	55	226.64	316.79	194.27	70.67	73.05	122.79
24	226.64	156.94	120.05	141.78	73.02	122.50	129.57	85.31	20.00	55	226.61	236.88	185.30	60.01	73.00	122.56

Tableau 5.39: Suite du Tableau 5.38 : Solution de FA

H	Pg17	Pg18	Pg19	Pg20	Pg21	Pg22	Pg23	Pg24	Pg25	Pg26	Pg27	Pg28	Pg29	Pg30	Coût(\$/h)
1	129.60	120.00	20.00	55	150.00	135.00	326.11	120.48	73.00	57.00	129.61	47.02	52.05	55	86030
2	129.59	120.00	49.99	55	150.02	214.99	297.77	120.45	73.02	57.12	129.59	47.00	52.04	55	90860
3	129.63	90.04	20.03	55	226.66	222.28	297.65	120.49	122.79	57.47	129.61	76.95	52.07	55	100660
4	129.64	85.34	20.03	55	226.63	222.20	327.08	20.48	122.93	107.46	129.63	47.00	52.05	55	110230
5	129.65	85.34	20.00	55	226.66	222.22	302.39	120.49	123.01	122.64	129.79	47.00	52.05	55	114390
6	129.57	85.31	20.00	55	303.28	302.20	297.40	120.50	22.88	122.51	129.58	47.00	51.99	55	124470
7	129.57	85.30	49.89	55	303.18	309.49	297.02	120.02	122.85	122.40	129.63	47.00	21.99	55	129330
8	129.60	85.35	20.00	55	303.27	389.47	301.61	120.49	122.88	160.00	129.60	47.00	51.99	55	134290
9	129.68	85.33	49.96	55	303.28	460.00	299.85	170.42	172.76	159.98	129.63	47.00	21.99	55	145270
10	129.59	115.32	52.05	55	379.87	460.00	337.35	220.10	222.60	160.00	129.57	47.00	51.98	55	155900
11	129.60	119.97	52.07	55	456.55	460.00	328.83	241.25	222.61	122.52	129.60	47.00	52.06	55	161540
12	129.56	119.98	80.00	55	456.44	460.00	340.00	291.23	222.63	160.00	129.59	76.98	52.05	55	167640
13	129.70	90.02	52.02	55	456.52	460.00	301.19	241.33	222.60	159.99	129.60	47.01	22.07	55	154730
14	129.66	85.35	52.08	55	456.50	396.81	297.43	241.36	222.63	160.00	129.59	47.01	20.01	55	144270
15	129.57	85.23	22.10	55	456.37	396.77	296.69	240.95	172.67	121.66	129.58	76.77	20.03	55	134700
16	129.54	85.31	20.00	55	379.88	316.83	271.13	190.97	122.80	122.44	129.55	47.02	20.00	55	119860
17	129.56	85.30	49.95	55	303.22	309.53	297.39	180.81	122.85	122.46	129.61	47.00	20.00	55	114910
18	129.59	85.31	20.01	55	379.88	309.50	298.08	180.93	172.80	159.96	129.60	47.01	20.00	55	124200
19	129.58	85.31	20.02	55	456.56	309.51	331.45	180.87	172.70	122.58	129.65	47.03	20.00	55	134700
20	129.56	115.30	50.00	55	456.48	389.46	339.93	230.76	222.64	159.97	129.59	77.00	49.93	55	157190
21	129.61	85.33	52.05	55	379.98	460.00	300.87	241.23	172.81	122.71	129.62	47.02	52.06	55	144580
22	129.54	85.31	52.02	55	303.15	396.76	233.75	191.31	122.96	122.42	129.65	47.02	52.03	55	125850
23	129.67	85.31	22.06	55	226.63	316.87	194.14	180.96	73.00	122.53	129.66	47.01	22.18	55	105650
24	129.59	85.27	20.00	55	226.60	236.94	185.22	130.99	73.01	122.48	129.59	47.00	20.00	55	96330
Coût total (\$)															3077620

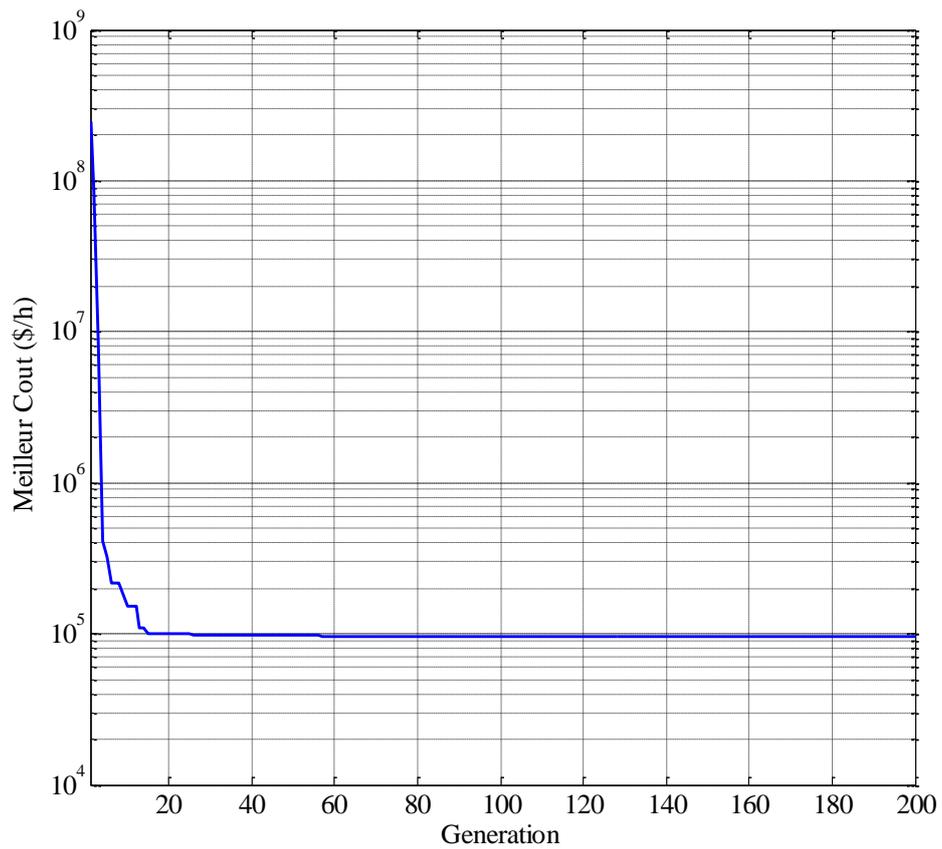


Figure 5.40: Convergence de FA

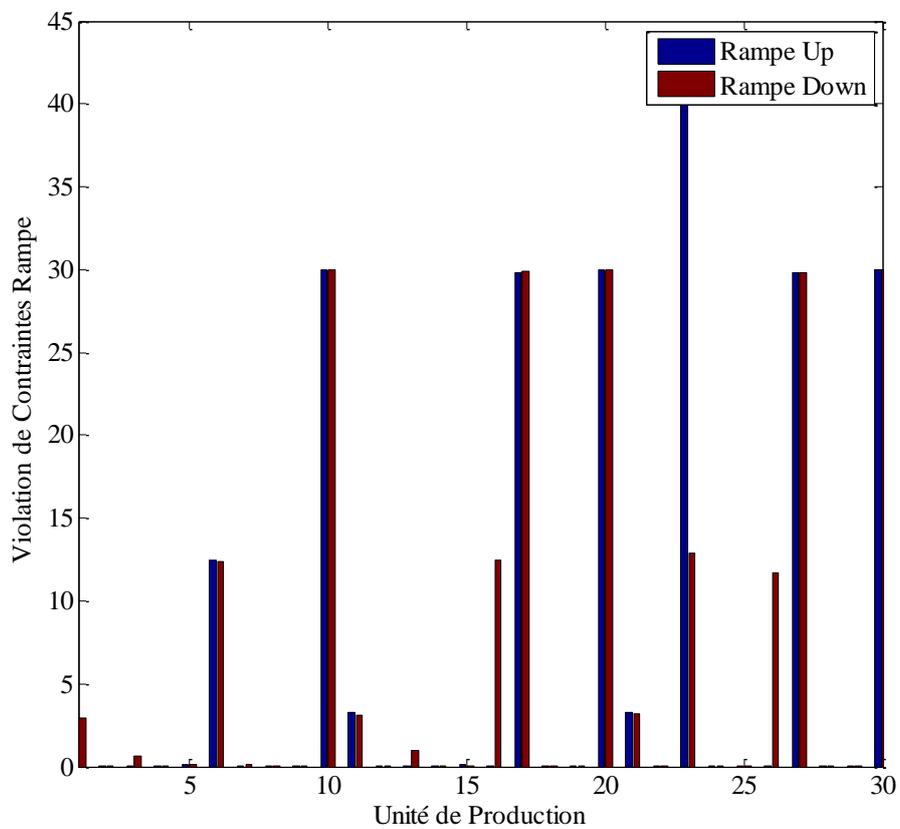


Figure 5.41: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution FA

5.6.6.3 Solution de BBO-PSOTVAC :

Tableau 5.36: Solution de BBO-PSOTVAC :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Pg15	Pg16
1	150.00	135.47	130.86	60.00	172.73	122.44	129.89	86.35	20.00	55	150.00	135.00	197.78	60.00	172.69	71.85
2	150.00	135.00	73.00	60.00	172.72	122.45	129.58	116.35	20.00	55	226.62	135.00	185.01	61.34	159.47	57.00
3	150.00	155.00	149.88	60.00	172.89	131.34	129.51	86.35	49.97	55	303.25	158.13	190.87	106.37	173.02	107.00
4	221.99	138.63	193.71	105.56	172.73	123.52	129.59	85.31	20.00	55	380.36	223.68	187.16	120.43	173.06	152.56
5	295.43	218.63	186.56	120.56	172.73	122.44	129.82	85.30	20.00	55	378.65	222.24	235.60	120.41	123.10	160.00
6	303.40	298.61	225.21	135.40	222.62	147.90	129.59	85.30	40.86	55	379.88	222.29	295.42	120.54	122.80	122.35
7	302.63	378.57	296.35	180.73	220.51	122.60	129.42	85.67	20.00	55	385.10	302.26	294.24	120.44	123.47	122.43
8	379.85	396.99	325.00	143.36	222.58	154.76	99.53	85.31	20.00	55	456.47	222.29	321.22	74.01	172.66	127.68
9	379.91	396.80	296.29	180.59	222.52	119.98	129.48	85.27	49.99	55	456.20	302.17	297.35	118.22	222.40	146.60
10	456.49	404.36	299.48	230.59	227.77	130.05	129.59	85.40	52.05	55	458.24	382.17	313.08	124.62	222.60	159.96
11	456.50	460.00	311.68	187.41	241.27	159.63	129.59	85.31	52.05	55	456.49	460.00	339.74	120.43	222.60	159.97
12	469.01	460.00	339.12	237.41	242.99	160.00	129.59	85.31	52.05	55	456.49	460.00	325.72	170.32	222.59	160.00
13	456.10	396.81	321.79	240.53	222.59	122.62	130.00	85.37	52.06	55	456.53	396.80	298.14	180.83	222.57	122.95
14	379.87	396.79	293.12	218.54	222.72	122.41	106.26	111.44	22.07	55	379.87	396.79	297.32	130.83	222.59	122.46
15	303.23	379.89	294.17	237.99	172.72	121.93	93.07	87.55	50.44	55	379.86	316.81	297.55	119.99	222.25	122.47
16	245.95	396.10	270.93	241.27	140.19	71.94	123.02	61.37	63.95	55	379.91	236.88	221.88	75.73	172.94	112.01
17	226.58	316.16	214.48	291.22	172.79	67.21	129.48	47.00	52.43	55	307.47	222.24	186.67	112.82	123.03	159.98
18	226.68	396.05	294.48	300.00	222.66	63.22	129.80	47.00	46.86	55	303.27	221.40	233.45	120.82	132.55	122.40
19	302.92	316.14	260.82	250.12	216.40	113.22	130.00	47.00	68.15	55	379.87	292.30	297.46	120.40	122.86	122.79
20	379.87	396.14	325.15	299.99	241.06	122.48	127.90	77.00	52.05	55	454.36	372.30	340.00	169.58	172.59	71.85
21	382.00	316.24	297.86	300.00	222.59	160.00	129.69	85.31	52.07	55	379.97	309.56	297.91	180.89	222.55	57.00
22	302.98	236.40	222.37	262.00	222.79	146.79	129.70	85.30	52.04	55	303.16	229.59	222.51	180.96	176.54	107.00
23	226.30	222.20	180.39	227.64	172.79	116.12	129.56	55.32	51.69	55	227.76	174.94	156.08	130.97	126.55	152.56
24	226.69	142.27	184.46	180.75	151.96	122.47	129.57	47.04	52.03	55	150.00	222.30	181.05	96.60	80.37	160.00

Tableau 5.37: Suite du Tableau 5.40 Solution de BBO-PSOTVAC

H	Pg17	Pg18	Pg19	Pg20	Pg21	Pg22	Pg23	Pg24	Pg25	Pg26	Pg27	Pg28	Pg29	Pg30	Coût(\$/h)
1	20.00	85.30	20.00	55	150.00	222.25	298.26	61.68	73.00	57.30	93.07	47.00	20.00	55	86450
2	49.91	85.31	45.21	55	226.63	222.26	295.83	60.00	118.07	81.16	93.04	47.00	36.91	55	92110
3	56.53	85.32	20.00	55	303.33	226.59	316.93	80.28	134.23	72.05	123.04	47.00	20.00	55	102750
4	50.74	85.27	20.00	55	380.00	306.58	338.55	62.01	122.92	61.86	129.62	47.03	20.00	55	110770
5	56.54	85.31	20.00	55	379.84	386.58	328.32	60.00	73.00	73.30	129.59	47.02	43.90	55	115910
6	86.54	85.31	20.00	55	398.99	424.87	297.39	84.50	122.89	115.85	129.49	48.79	52.06	55	126360
7	93.03	84.62	20.00	55	380.11	396.77	299.81	60.01	170.01	122.48	129.60	77.69	22.32	55	129420
8	93.04	85.32	49.99	55	379.62	396.92	298.72	109.99	220.01	122.48	99.76	85.30	20.00	55	135230
9	93.07	85.32	51.94	55	456.54	458.24	302.02	140.50	207.37	122.48	129.45	106.13	49.99	55	145500
10	123.07	115.32	80.0	55	457.22	459.97	340.00	181.40	222.55	127.64	129.90	85.33	52.01	55	156220
11	129.60	120.00	80.00	55	456.55	460.00	340.00	231.39	222.61	122.87	129.87	85.31	52.05	55	161600
12	129.91	120.00	80.00	55	456.49	460.00	340.00	267.57	242.95	160.00	130.00	85.34	52.05	55	167750
13	130.00	90.00	52.03	55	456.47	460.00	292.94	241.85	232.45	122.45	129.65	85.29	52.07	55	154670
14	129.99	81.29	66.23	55	456.49	396.79	297.36	241.24	182.45	122.44	99.65	57.45	52.40	55	145990
15	129.87	85.31	52.09	55	379.82	396.42	238.25	240.71	172.87	75.52	92.83	47.24	52.02	55	135890
16	103.73	55.31	52.08	55	303.27	316.96	185.28	198.82	122.92	122.59	122.80	47.00	52.04	55	123580
17	93.09	47.00	51.84	55	302.71	310.34	185.30	180.59	123.08	122.77	130.00	47.00	51.61	55	116250
18	117.29	76.99	52.05	55	382.65	309.67	242.64	190.45	122.89	134.42	129.41	47.74	52.05	55	126580
19	129.99	85.31	52.04	55	456.24	389.67	300.24	180.82	140.28	128.21	129.87	77.69	52.03	55	136280
20	20.00	85.30	20.00	55	150.00	222.25	298.26	61.68	73.00	57.30	93.07	47.00	20.00	55	157240
21	49.91	85.31	45.21	55	226.63	222.26	295.83	60.00	118.07	81.16	93.04	47.00	36.91	55	145650
22	56.53	85.32	20.00	55	303.33	226.59	316.93	80.28	134.23	72.05	123.04	47.00	20.00	55	128130
23	50.74	85.27	20.00	55	380.00	306.58	338.55	62.01	122.92	61.86	129.62	47.03	20.00	55	108280
24	56.54	85.31	20.00	55	379.84	386.58	328.32	60.00	73.00	73.30	129.59	47.02	43.90	55	97120
Coût total (\$)															3105730

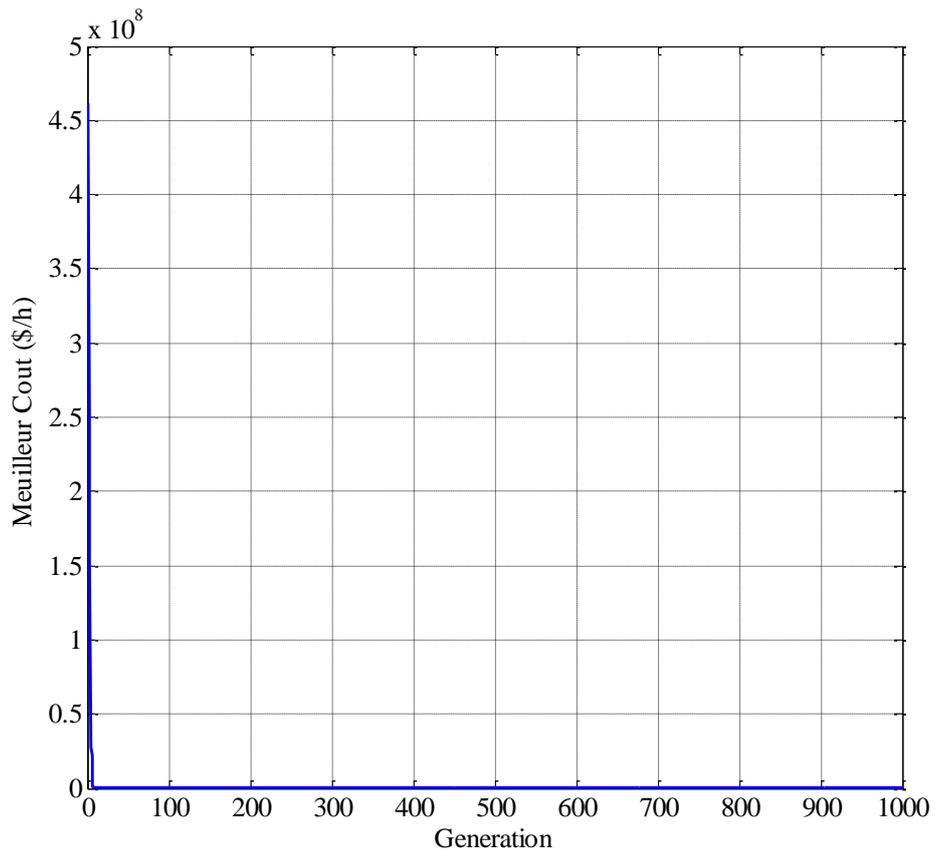


Figure 5.42: Caractéristique de Convergence de BBO-PSOTVAC

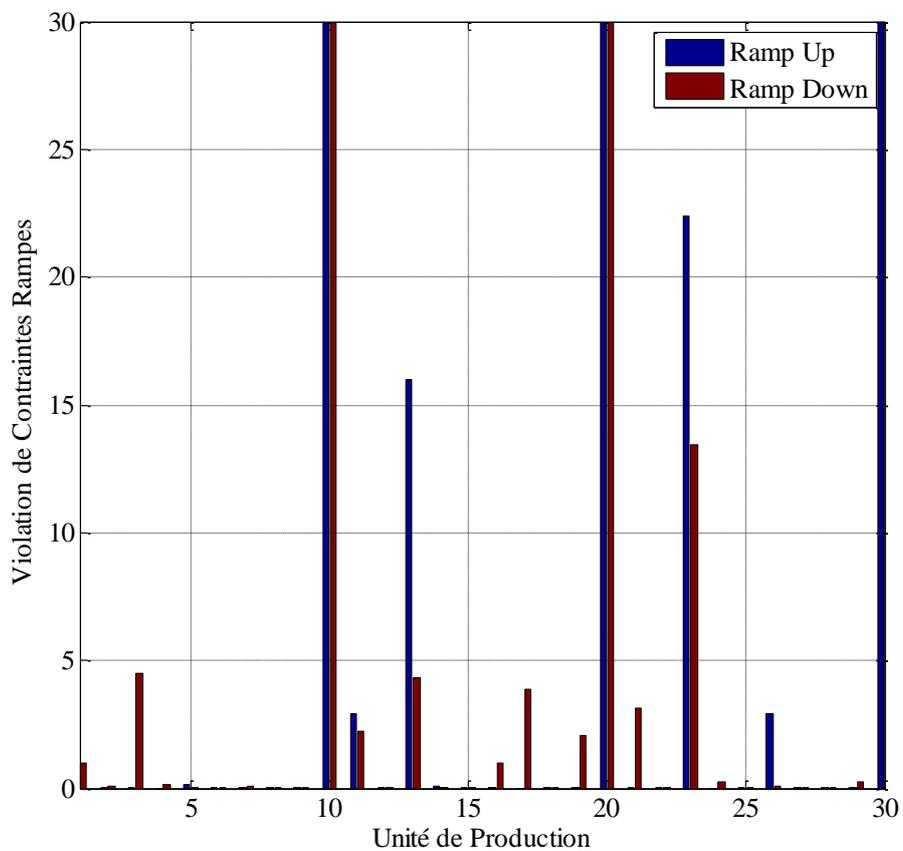


Figure 5.43: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution BBO-PSOTVAC

5.6.6.4 Solution de FA-BBO :

Tableau 5.38: Solution de FA-BBO :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Pg15	Pg16
1	227.10	136.04	78.97	75.28	118.26	126.25	129.78	119.84	20.61	55	150.61	240.89	76.35	61.55	122.99	127.28
2	226.92	136.49	142.78	60.02	73.00	122.58	129.74	90.48	20.00	55	225.57	223.47	154.52	60.00	172.16	159.37
3	303.33	135.79	188.74	61.79	73.00	158.79	130.00	119.98	20.20	55	222.66	222.53	226.20	109.91	172.90	159.65
4	376.11	135.00	194.45	60.38	73.18	122.80	130.00	118.78	22.05	55	225.27	299.22	291.39	132.43	220.73	121.88
5	453.72	135.04	256.51	76.22	73.03	121.25	129.07	119.30	20.87	55	225.04	307.52	298.35	130.30	224.42	160.00
6	451.25	135.09	297.77	120.31	107.40	124.69	129.76	119.67	20.14	55	296.83	309.14	339.73	123.95	222.08	157.52
7	457.52	135.00	275.59	116.71	73.06	148.05	129.97	119.73	22.04	55	376.52	387.76	292.95	159.92	214.10	125.94
8	462.95	135.36	295.01	128.60	92.61	145.13	130.00	119.78	47.92	55	379.32	459.46	311.28	184.87	222.15	126.23
9	456.67	214.15	310.19	176.58	123.93	159.89	129.87	119.70	20.02	55	380.40	460.00	309.75	234.55	223.46	159.81
10	455.97	291.95	339.99	223.61	173.68	159.50	130.00	119.99	49.19	55	456.05	460.00	340.00	277.49	228.11	151.90
11	457.70	367.66	317.45	264.56	222.79	145.48	129.79	119.87	52.05	55	463.81	459.95	339.23	300.00	225.57	159.99
12	456.65	395.76	319.87	299.84	223.58	159.40	129.34	119.56	54.11	55	456.02	460.00	323.10	298.40	222.75	158.50
13	454.33	399.18	294.73	279.33	223.42	126.05	129.26	94.05	55.01	55	455.81	397.29	339.93	299.51	222.50	125.29
14	380.01	395.51	296.76	232.33	188.11	116.19	113.00	86.18	45.11	55	455.36	390.37	296.97	291.55	173.28	120.58
15	306.14	397.83	292.56	185.51	172.90	123.12	94.15	77.83	20.22	55	381.37	398.75	273.24	241.67	154.08	123.36
16	380.21	321.78	287.46	181.60	123.78	84.00	93.47	48.69	20.09	55	304.48	319.92	198.45	206.39	123.74	79.45
17	380.62	309.96	299.17	180.22	77.28	67.15	65.18	47.36	20.60	55	380.62	309.88	212.56	178.92	122.41	58.81
18	380.52	382.95	325.23	179.46	122.61	114.87	57.12	47.00	20.86	55	455.51	388.89	205.18	180.20	169.04	84.05
19	382.23	398.18	336.56	183.04	124.73	123.23	58.25	53.72	20.21	55	456.72	456.71	282.33	183.21	167.75	123.78
20	455.73	459.91	316.63	230.90	172.11	157.92	87.25	82.34	49.75	55	458.61	459.36	337.38	230.18	217.14	160.00
21	457.62	395.04	270.31	239.12	171.64	153.00	96.48	83.76	21.24	55	383.62	399.05	285.66	185.53	175.12	126.10
22	379.84	391.58	198.69	193.87	130.01	114.55	92.77	83.81	20.15	55	309.58	321.63	218.13	164.28	171.72	121.51
23	302.28	311.80	129.37	149.15	121.69	106.17	66.26	85.21	20.38	55	231.25	310.15	184.60	119.39	123.75	76.70
24	303.21	295.44	74.09	116.63	120.86	57.53	56.27	64.17	20.00	55	225.26	231.41	111.66	121.37	123.19	59.18

Tableau 5.5.39: Suite du Tableau 5.42 Solution de FA-BBO

H	Pg17	Pg18	Pg19	Pg20	Pg21	Pg22	Pg23	Pg24	Pg25	Pg26	Pg27	Pg28	Pg29	Pg30	Coût(\$/h)
1	129.99	47.00	22.24	55	233.64	135.04	87.13	60.17	73.81	142.74	129.51	47.08	22.68	55	86530
2	130.00	47.04	48.26	55	227.89	137.44	77.53	60.01	73.00	121.61	128.93	72.21	43.80	55	91550
3	129.29	48.18	47.09	55	226.86	215.05	111.18	60.04	77.17	158.12	129.99	48.27	52.18	55	101490
4	129.99	47.17	53.34	55	302.85	291.39	173.39	61.19	120.33	121.21	129.90	47.00	51.41	55	110650
5	129.43	48.74	51.06	55	303.11	309.21	206.37	60.07	73.15	143.25	127.83	47.04	45.06	55	115700
6	129.91	47.53	51.46	55	378.19	310.38	283.62	60.57	115.08	159.44	129.83	47.00	50.61	55	125270
7	129.61	49.39	23.38	55	455.43	387.36	298.96	62.38	150.50	159.66	101.75	47.01	40.72	55	131060
8	127.86	48.25	20.54	55	461.35	396.11	318.76	105.80	122.17	122.23	129.97	47.14	22.01	55	135560
9	129.04	47.66	20.23	55	458.16	459.37	338.52	146.11	172.02	159.97	129.69	47.04	20.01	55	145800
10	129.26	76.97	43.21	55	456.32	396.37	338.72	180.49	220.34	155.94	128.72	47.01	20.01	55	156840
11	129.11	106.74	51.91	55	456.83	459.81	312.93	181.92	223.12	127.61	129.44	47.42	20.14	55	161910
12	130.00	120.00	51.82	55	458.25	460.00	338.79	229.85	242.81	159.18	129.96	77.39	20.02	55	166800
13	129.95	119.83	48.18	55	381.38	398.70	306.69	183.59	228.41	134.49	129.22	48.55	46.01	55	155760
14	129.61	92.03	20.18	55	379.62	393.79	291.92	181.60	220.20	120.58	129.04	47.00	20.03	55	145370
15	128.62	83.42	21.01	55	359.46	315.66	289.79	180.26	221.75	124.18	127.82	48.07	20.10	55	135400
16	101.11	83.26	20.11	55	380.05	238.72	289.20	130.78	173.18	115.58	100.85	47.22	43.35	55	122670
17	129.53	82.95	20.02	55	307.09	221.92	299.21	120.29	123.56	97.91	94.33	47.04	20.24	55	116230
18	130.00	83.17	23.11	55	303.94	244.51	297.98	121.18	170.76	68.70	92.18	48.86	20.98	55	126780
19	129.89	86.11	21.33	55	358.29	307.83	296.24	120.35	213.49	109.98	97.56	51.07	20.00	55	136130
20	129.75	85.26	20.43	55	436.07	386.91	334.86	166.20	227.85	132.36	126.35	80.23	49.43	55	157350
21	128.92	64.93	20.79	55	455.07	396.16	299.52	182.98	219.75	126.49	129.99	85.67	53.00	55	145330
22	122.79	47.02	26.81	55	376.46	320.51	247.11	139.44	176.30	117.35	125.22	55.94	51.67	55	127350
23	93.40	47.46	20.31	55	303.34	310.03	186.17	100.97	128.34	79.09	129.39	47.51	46.67	55	107480
24	120.66	47.65	20.00	55	301.10	232.01	147.45	109.33	171.24	59.32	127.82	47.00	22.76	55	98180
Coût total (\$)															3103190

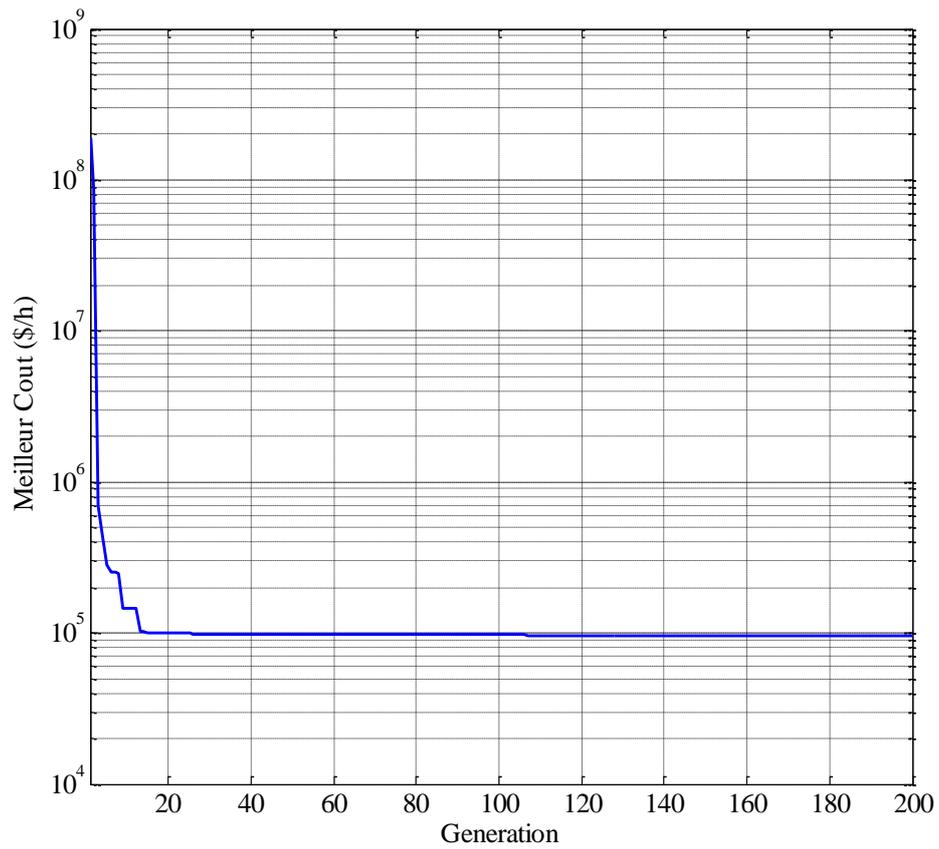


Figure 5.44: Caractéristique de Convergence de FA-BBO

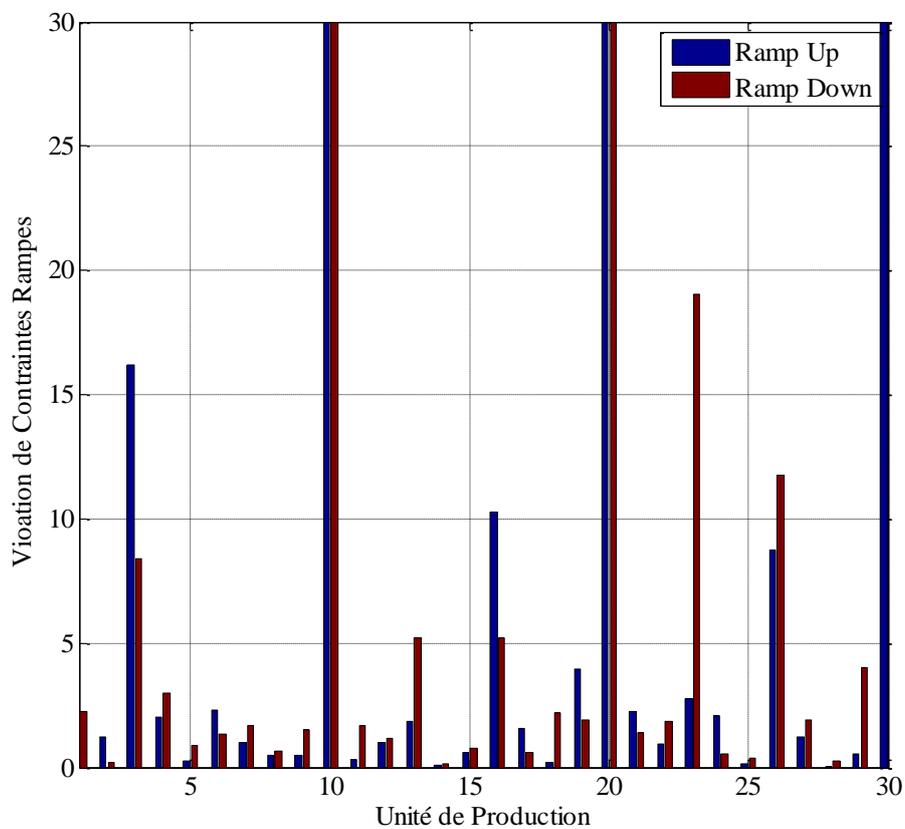


Figure 5.45: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution FA-BBO

5.6.6.5 Solution de FA-PSOTVAC :

Tableau 5.5.40: Solution de FA-PSOTVAC

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Pg15	Pg16
1	150	135.00	171.55	60.00	73.00	118.71	129.79	47.00	20.00	55	154.44	309.63	73.90	60	73.00	140.82
2	150.27	135.54	214.30	60.26	73.90	154.05	129.77	47.00	22.93	55	150.00	309.83	94.50	62.72	122.47	122.57
3	226.27	136.25	289.02	61.73	73.35	156.68	129.21	47.00	20.00	55	225.82	309.46	172.01	60.75	122.27	122.74
4	304.16	135.00	338.68	67.58	73.19	159.65	129.60	47.00	20.12	55	302.73	318.76	205.15	61.96	124.33	160.00
5	377.58	135.00	340.00	60.00	79.00	134.58	130.00	70.19	20.73	55	379.22	313.09	279.10	68.87	173.77	124.00
6	445.13	135.00	310.22	62.69	123.72	120.66	130.00	47.56	20.27	55	455.63	390.00	340.00	60.03	177.06	124.78
7	381.02	212.69	290.47	60.00	172.80	128.22	129.23	47.04	20.00	55	456.38	449.90	320.47	107.45	221.75	141.27
8	379.82	290.07	338.81	60.40	173.57	122.45	129.84	71.29	21.54	55	456.20	397.52	298.90	120.68	222.39	134.06
9	455.53	309.37	296.73	67.50	221.99	124.25	129.99	85.05	20.57	55	465.47	460.00	332.85	121.42	227.31	158.00
10	469.58	389.30	340.00	117.48	230.64	134.95	129.60	85.36	20.00	55	459.96	459.87	321.45	171.13	222.80	160.00
11	456.79	459.65	339.72	163.17	224.29	159.69	129.99	85.46	48.13	55	456.54	459.89	340.00	219.32	222.56	125.77
12	456.56	459.93	332.90	180.83	242.82	159.71	129.97	115.46	52.03	55	457.98	460.00	340.00	244.46	243.00	160.00
13	455.76	395.22	297.88	182.43	229.36	158.92	129.46	116.79	51.61	55	459.58	399.10	327.45	241.14	223.17	123.28
14	451.37	317.20	283.25	155.06	192.52	137.09	130.00	92.79	74.14	55	455.56	396.73	313.49	193.12	221.02	120.10
15	423.53	304.75	229.31	121.56	171.18	156.72	128.61	119.17	53.63	55	458.00	325.41	299.29	177.92	180.97	123.37
16	380.06	232.68	183.78	76.85	155.69	117.15	106.85	118.74	58.07	55	379.45	310.15	234.87	164.82	220.15	76.01
17	380.79	222.68	198.00	81.57	123.31	117.70	129.74	118.71	57.36	55	303.29	307.52	217.56	121.02	184.20	59.22
18	382.02	289.43	272.64	110.56	123.23	159.99	129.97	115.13	28.19	55	302.33	308.32	286.69	128.73	174.31	105.88
19	453.52	331.21	293.57	103.41	164.44	143.73	128.73	120.00	51.98	55	377.29	387.93	238.08	171.10	217.80	67.88
20	456.74	396.87	339.17	129.48	172.56	159.88	129.31	119.61	48.37	55	456.48	452.69	315.46	217.06	232.00	117.64
21	464.47	397.67	297.21	121.31	122.84	122.43	129.91	117.49	20.00	55	379.82	396.84	303.63	180.48	191.41	160.00
22	386.88	395.83	233.94	75.69	73.11	109.89	129.28	110.80	20.00	55	303.14	316.95	232.58	148.15	202.57	134.12
23	308.80	317.09	154.08	61.44	73.05	89.19	130.00	85.88	20.00	55	303.65	241.17	159.77	113.71	164.59	92.82
24	229.90	249.14	182.92	62.52	73.00	57.00	128.98	85.05	38.35	55	227.38	175.17	149.84	71.36	174.88	62.60

Tableau 5.41: Suite du Tableau 5.44 : Solution de FA-PSOTVAC

H	Pg17	Pg18	Pg19	Pg20	Pg21	Pg22	Pg23	Pg24	Pg25	Pg26	Pg27	Pg28	Pg29	Pg30	Coût(\$/h)
1	130.00	120.00	20.00	55	150.58	229.93	73.00	60.00	121.02	124.28	130.00	47.00	20.00	55	85620
2	127.89	119.93	20.00	55	150.00	222.27	128.17	60.00	128.25	153.85	129.62	47.11	27.68	55	91240
3	129.55	119.40	34.15	55	223.88	222.35	187.03	60.57	122.46	159.99	129.99	47.00	20.00	55	100150
4	129.32	116.16	52.19	55	227.25	222.27	256.56	68.69	171.60	160.00	129.66	51.20	20.12	55	110850
5	130.00	92.14	47.97	55	218.99	223.39	300.19	60.40	173.97	121.73	128.85	47.48	44.64	55	115620
6	129.93	120.00	51.96	55	226.71	301.45	316.07	100.53	172.74	132.07	130.00	52.69	42.05	55	125450
7	126.27	119.86	32.22	55	242.93	309.58	316.27	104.12	172.54	160.00	124.94	47.62	45.81	55	131130
8	129.87	120.00	38.34	55	309.06	388.59	310.15	65.29	220.35	133.97	129.83	47.69	52.10	55	135200
9	129.29	120.00	20.80	55	379.09	396.25	339.17	115.07	236.11	160.00	129.55	47.28	58.39	55	145200
10	129.89	120.00	50.25	55	457.14	460.00	339.98	151.07	241.57	160.00	129.74	47.00	52.08	55	156430
11	129.70	119.98	51.01	55	470.00	459.99	340.00	180.45	243.00	159.10	129.73	47.00	51.99	55	161940
12	129.60	119.89	79.82	55	456.74	460.00	340.00	230.31	225.98	159.83	130.00	47.29	79.75	55	168020
13	129.18	119.96	55.10	55	458.57	396.76	300.91	196.17	242.50	130.01	129.98	47.00	53.58	55	155390
14	129.90	91.17	25.18	55	382.40	409.26	282.93	176.46	221.55	123.62	100.45	70.39	60.09	55	147310
15	128.90	90.97	23.67	55	303.23	399.03	246.25	128.04	223.23	89.62	126.75	85.52	44.24	55	136970
16	129.63	119.91	21.38	55	303.96	322.62	185.28	97.25	174.45	122.59	128.72	55.55	20.23	55	122480
17	101.89	106.66	49.12	55	279.12	309.95	207.28	115.44	127.44	158.51	106.53	47.02	43.09	55	118130
18	93.17	85.19	56.87	55	335.38	317.97	282.41	141.39	143.68	149.61	128.58	47.37	20.00	55	127420
19	92.16	84.57	33.69	55	382.52	391.64	295.84	119.96	172.42	137.62	130.00	47.43	24.13	55	136660
20	122.08	85.30	52.03	55	457.37	458.82	338.10	163.27	220.76	152.44	129.46	77.11	50.82	55	156850
21	130.00	85.93	53.02	55	465.37	453.04	328.84	128.56	180.08	150.74	125.10	51.39	49.31	55	145730
22	104.77	79.43	23.22	55	389.93	396.79	260.62	104.01	172.54	125.73	119.74	47.31	21.83	55	127280
23	92.79	82.33	20.00	55	328.85	324.02	184.10	66.28	125.53	113.75	109.51	47.21	21.21	55	107890
24	93.14	85.94	21.43	55	379.69	309.90	108.34	60.75	108.95	65.07	92.37	48.90	44.22	55	98550
Coût total (\$)															3107510

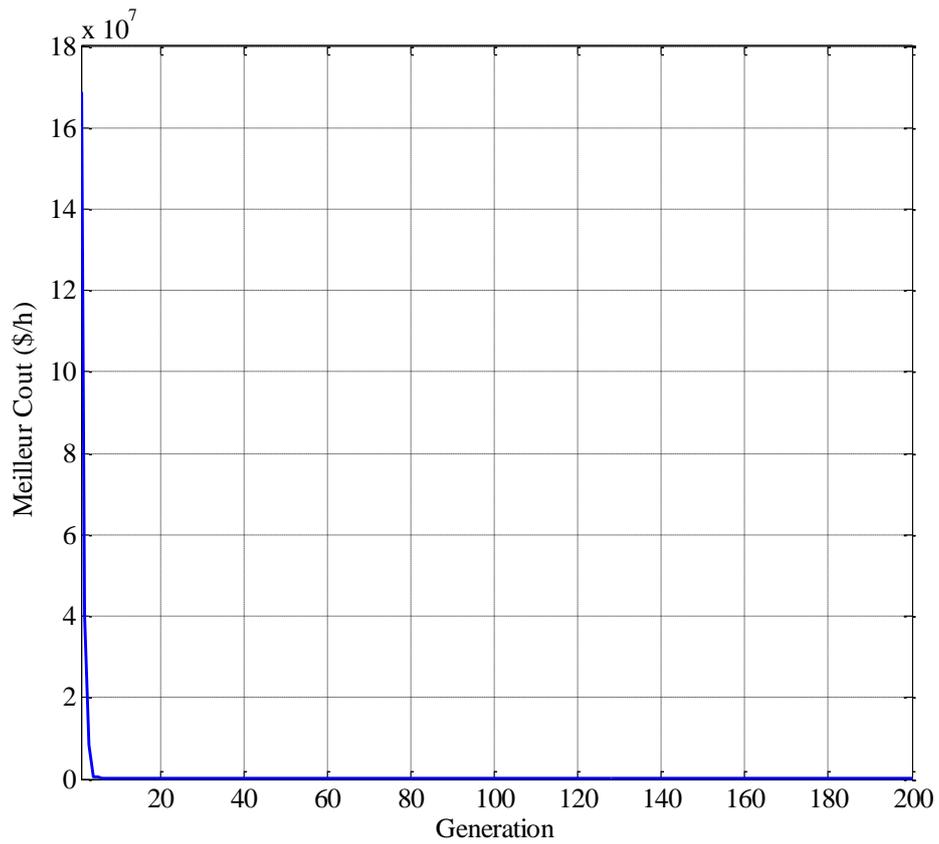


Figure 5.46: Caractéristique de Convergence de FA-PSOTVAC

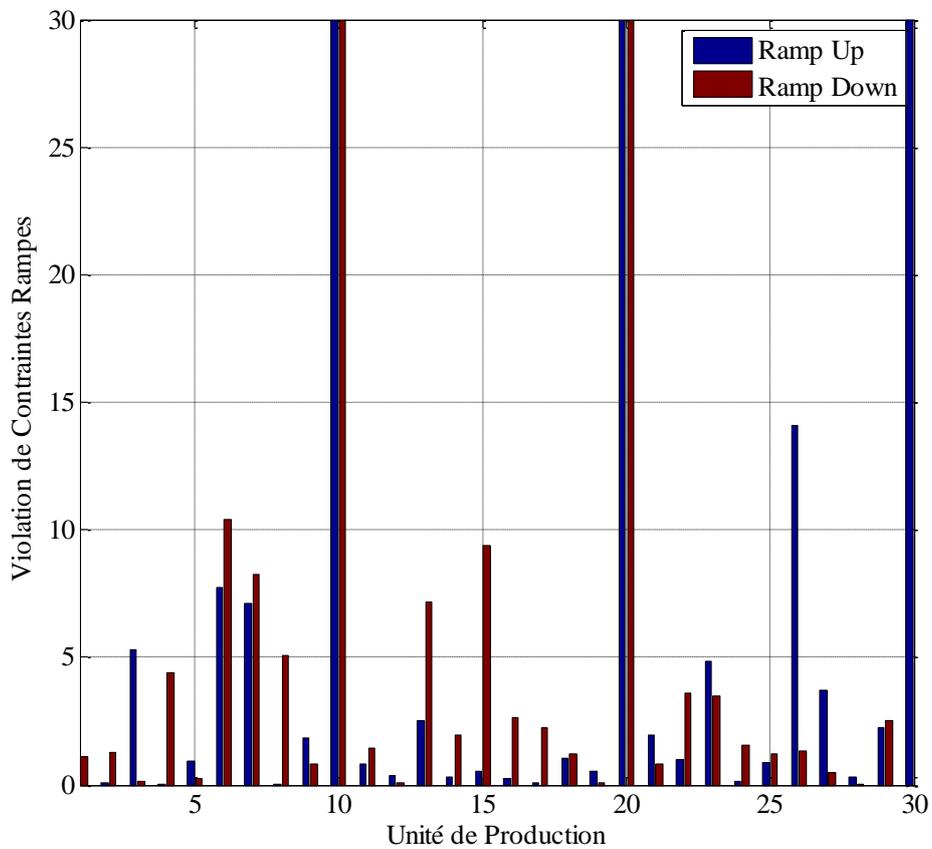


Figure 5.47: Respect de Contraintes Rampe pour la Solution FA-PSOTVAC

Tableau 5.42: Comparaison entre solutions

Méthode	Pop	Itération Max	Meilleure Solution	Mauvaise Solution	Valeur Moyenne	Min-Max Violation de Demande	Percent (%)	Temps (min)
BBO	50	200	3169470	3461300	3315400	0.2121-0.2522	96.27	3.0261
FA	50	200	3077620	5089000	4083300	0.0134-0.0466	99.1438	17.2767
BBO-PSOTVAC	50	1000	3105730	3122200	3113950	0.0313-0.0360	98.2463	3.4018
FA-BBO	50	200	3103190	3223800	3163495	0.1370-0.3059	98.3270	6.9699
FA-PSOTVAC	50	1000	3107510		3246505	0.1672-0.2927	98.1892	4.8861
PSOTVAC	50	1000	-	-	-	-	-	-
CSO [21]	30	1000	3051260	3054960	3053465	-	-	1.797
EP [98]	-	-	3164531	-	3200171	NA	-	NA
DE [94]	-	-	3163000	3173100	NA	NA	-	0.52
HS [95]	-	-	3143254	NA	NA	NA	-	NA
MHEP-SQP[91]	-	-	3151445	3157738	NA	NA	-	NA

V.6.7 Interpretation des Résultats:

Pour vérifier la robustesse de nos approches proposées on a les appliquées sur le grand réseau test 30 unités, la base de données de ce test est celle de 10 unités triplée conformément à celle utilisée par l'auteur [21] dans son article; la solution de l'algorithme PSOTVAC est accompagnée par de fortes violations des contraintes rampes et ce vu la taille du problème envisagé, l'hybridation entre cet algorithme par l'algorithme BBO d'une part et le FA d'autre part surclasse cet handicap et donnant une solution concurrentielle sans aucune violation des contraintes du système tel qu'il est indiqué dans le tableau 5.46 et les figures 5.43 et 5.47 respectivement, la meilleure solution est calculée par l'algorithme FA offrant un faible coût de **3077620\$** pendant **200** itérations, cette solution est nettement meilleure par rapport celles trouvées par [98] **3164531 \$** utilisant la méthode EP, [94] **3163000 \$** employant l'algorithme d'évolution différentielle DE, [95] **3143254\$** calculée par la technique HS, et finalement [91] **3151445\$** par la technique hybride MHEP-SQP, la solution de l'auteur [21] utilisant la technique (CSO) reste meilleure par rapport notre solution cependant cette technique nécessite un nombre de génération élevé tel qu'il est indiqué dans le tableau 5.46.

5.7 Cas d'Etude N°7 : Optimisation Multi-objective du Coût et de l'Emission

5.7.1 Introduction :

Dans ce présent cas d'étude nous nous intéressons de résoudre le problème d'optimisation multi-objective du coût et de l'émission afin d'arriver à produire une énergie électrique reflétant un coût concurrentiel d'une part et de se conformer d'autre part aux différentes obligations et réglementations nationales et internationales vis-à-vis la préservation de l'environnement et la lutte contre le changement climatique décrit précédemment dans le premier et le troisième chapitre.

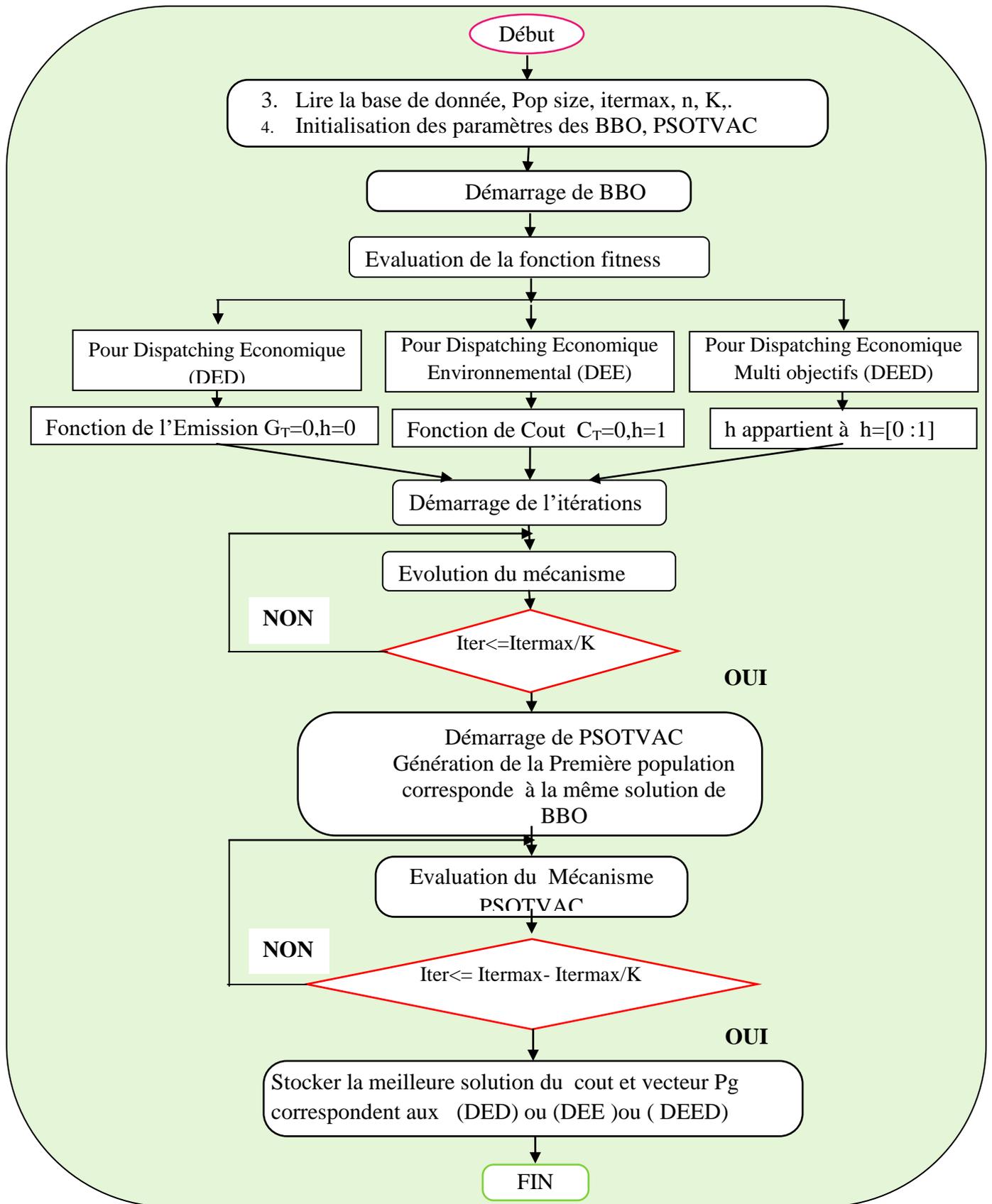


Figure 5.48: Organigramme de l'optimisation mono et multi objective par l'algorithme hybride BBO-PSOTVAC

Dans cette optique plusieurs tests ont été effectués dans ce cas d'étude tels que le test **10, 6,** et **14** unité (118 jeux de barres), traitant le problème de dispatching économique dynamique avec et sans pertes et avec contraintes rampes, on a essayé d'introduire même les zones prohibées afin de donner un aspect plus général englobant le cas réel de fonctionnement des unités de production mais cette contrainte n'est pas introduite dans les bases de données dédiées à l'optimisation multi-objective.

Afin de présenter le rôle et l'importance de l'optimisation multi-objective on a préféré de solutionner le tests susmentionnés comme suit :

1. Optimisation du coût seulement.
2. Optimisation de l'émission seulement.
3. Optimisation multi-objective de coût et émission.

Cette priorité s'inscrit dans le cadre de démontrer et expliquer l'avantage qu'elle nous offre cette optimisation en matière de gain obtenu après la réduction à la fois de coût de Mégawatheure produit et le taux de dégagement des gaz. L'organigramme traitant les optimisations suscitées est donné par la figure 5.48.

5.7.2 Optimisation de coût seulement système 10 unité:

5.7.2.1 Solution de PSOTVAC , BBO et BBO-TVAC

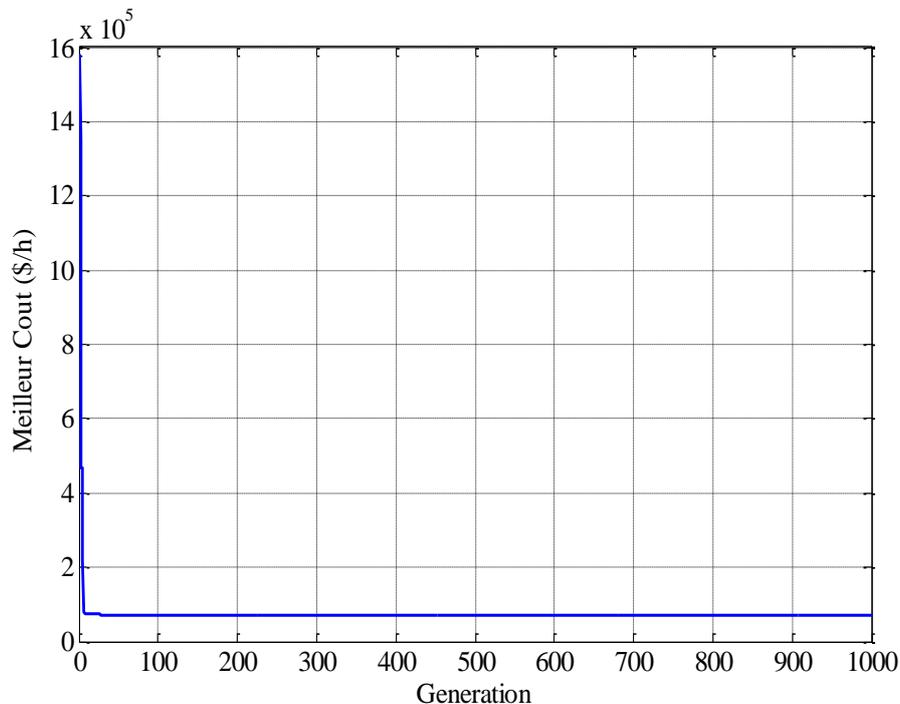


Figure 5.49: Caractéristique de convergence de PSOTVAC

Tableau 5. 47: Solution de PSOTVAC :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	150.0000	135.0000	180.0645	60.0000	73.0001	143.7530	129.5048	84.7604	44.8279	55	19.9106	62550
2	150.0054	135.1537	249.7323	60.0242	73.0000	127.9097	130.0000	86.7508	73.9929	46.5554	23.1246	66650
3	150.0000	139.9999	299.4018	88.8610	74.8046	160.0000	130.0000	109.6113	80.0000	54.8685	29.5464	74880
4	152.2879	169.3796	340.0000	135.9802	122.5413	160.0000	129.9977	119.7829	68.0664	44.6055	36.6424	83410
5	150.0004	135.0000	340.0000	178.6535	171.3178	160.0000	130.0000	120.0000	80.0000	55.0000	39.9727	85310
6	173.4553	177.6502	340.0000	222.6407	220.8758	159.9997	130.0000	117.1036	79.9307	55.0000	48.6570	96390
7	150.0002	213.3138	340.0000	265.9256	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	78.9477	54.0485	53.2368	100310
8	185.8720	221.4675	340.0000	300.0000	242.9453	159.1667	130.0000	120.0000	80.0000	54.9617	58.4129	106380
9	265.0790	301.4675	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	80.0000	55.0000	70.5475	123190
10	302.9988	370.5451	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	80.0000	55.0000	79.5448	135900
11	369.0568	396.8022	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	130.0000	119.9999	80.0000	55.0000	87.8599	148260
12	344.5296	470.0000	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	80.0000	55.0000	92.5306	155280
13	283.3400	446.8534	338.6564	299.9714	242.9998	160.0000	130.0000	119.9999	79.8611	54.9998	84.6823	143840
14	209.7380	470.0000	278.4456	299.6551	242.5145	123.7469	129.5985	119.9995	80.0000	43.6483	73.3472	132000
15	150.0000	391.9307	224.5353	300.0000	242.8188	159.4272	129.8063	112.9523	79.4839	45.5787	60.5340	114330
16	150.0000	311.9634	154.2309	294.7214	237.2535	121.8858	124.7147	108.1048	56.1166	40.8613	45.8534	96810
17	151.3601	233.0677	118.1851	286.5840	226.8300	159.9366	129.9997	119.9982	50.9672	43.5670	40.4958	88240
18	160.1472	231.6999	198.1102	299.7690	242.9536	160.0000	130.0000	120.0000	79.5338	54.5769	48.7914	96840
19	210.6644	258.7953	277.6727	300.0000	243.0000	159.9999	130.0000	119.7752	80.0000	54.9827	58.8904	109150
20	288.3274	330.5264	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	80.0000	55.0000	74.8547	129380
21	273.4934	293.0734	340.0000	299.9985	243.0000	159.9997	129.9992	120.0000	79.9978	54.9912	70.5539	123420
22	193.7014	215.4796	270.4079	292.8547	207.6173	149.1855	126.7091	119.9102	60.1355	40.9608	48.9631	98120
23	150.0000	135.6918	191.2314	249.8333	208.1045	137.5571	104.6085	118.0721	52.9026	15.9439	31.9456	77140
24	150.0000	135.0381	135.1962	227.8088	162.2211	108.7644	91.1426	118.6625	69.6737	10.9300	25.4382	70110
Coût total (\$)											1304.3362	2517890

Tableau 5.43: Solution de BBO:

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	161.9736	139.3758	185.1370	142.7272	146.5522	88.3352	52.3549	60.7269	50.9151	27.7604	20.0371	64710
2	161.1295	202.4927	189.3486	126.0231	192.2252	88.6751	61.7538	47.3254	49.2369	14.9672	23.3689	70210
3	153.1453	205.3825	251.9391	145.0515	182.8922	119.7259	57.2638	67.8650	65.3559	38.8944	29.4873	77710
4	197.7472	222.2223	298.2366	102.1870	198.3172	136.7926	83.7679	93.5442	61.0554	49.6849	37.5356	87670
5	196.3836	250.0331	306.5889	147.5299	209.8704	128.4068	91.1855	96.5620	51.6834	43.3588	41.6037	92540
6	226.3157	283.4705	280.6883	195.9202	222.4569	130.8825	120.1115	116.7428	64.2560	37.3640	50.1065	102900
7	227.7074	299.7060	299.7209	244.0666	227.3660	141.6497	117.0187	96.6184	73.3144	29.8490	54.7950	108310
8	245.8186	308.8070	333.6425	261.6761	223.7063	124.4154	112.3742	107.7876	73.1835	45.0935	60.1451	114400
9	290.1368	340.9864	323.1019	299.4899	233.5185	150.0482	128.9674	111.3961	73.8936	44.0356	71.3171	127560
10	317.7544	393.8006	339.8176	300.0000	243.0000	158.8249	122.9440	108.2755	73.1644	44.6363	80.0490	139190
11	372.2863	455.9402	316.6063	299.2741	238.2049	147.6482	118.6398	120.0000	74.0670	52.6151	88.9665	154310
12	419.5688	447.4458	338.7500	292.2171	232.6242	159.7546	123.0967	117.0876	68.7581	44.3526	94.0624	161470
13	392.2157	381.8967	331.7748	298.9385	229.3272	159.9941	127.9108	114.3943	78.6252	42.5225	85.4379	147970
14	372.9566	387.9362	285.4744	288.4512	221.5387	139.4705	110.9246	91.6758	63.4927	36.0483	74.5820	138460
15	296.1580	309.6410	244.7758	261.0066	224.5744	159.9285	126.7098	106.8282	64.4853	42.6092	60.2858	116910
16	225.7644	301.0773	196.1811	245.0393	216.7934	130.2416	100.7181	90.7714	70.6562	22.9468	46.1866	100060
17	197.5963	247.6120	238.1338	240.8931	189.1589	114.7147	98.5523	81.7849	73.0652	39.7523	41.2322	92870
18	207.6172	247.1105	300.8213	273.8903	216.8511	130.3620	107.1326	100.0688	51.6906	42.2449	49.6141	100860
19	239.7798	268.8728	311.2109	297.5007	235.3949	155.2249	114.1257	115.6177	54.0939	43.7394	59.2632	111640
20	314.3566	335.4021	336.3056	299.3915	241.9274	159.2952	129.4580	110.8259	77.3202	43.0805	75.2812	131770
21	326.0060	362.2812	308.5055	296.1064	217.2264	155.2431	121.5395	99.1636	66.9935	43.3439	72.8120	132480
22	247.0510	293.0301	288.4353	257.3196	173.0036	129.8143	112.5880	88.0851	47.6767	41.8249	50.8784	105410
23	173.1992	216.1810	230.1304	258.6027	127.8607	95.9998	92.3392	80.7411	47.3520	42.9165	33.3025	82710
24	185.8022	146.4074	189.8273	224.2761	128.1931	89.7759	94.0446	86.6807	40.8632	24.0763	26.0065	73100
Coût total (\$)											1326.35	2635220

Tableau 5.44: Solution de BBO-PSOTVAC:

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	150.0000	139.5525	73.0740	131.0255	204.2627	126.8249	93.0894	47.0000	80.0000	10.9359	19.7659	62520
2	161.5152	142.8350	95.1134	118.3986	224.6684	143.1485	95.6790	57.6231	80.0000	13.6825	22.6643	67160
3	163.5992	212.1315	159.0181	122.7353	194.2445	147.1761	123.8386	80.2112	57.9021	26.3831	29.2407	77140
4	188.1469	192.7127	228.3319	151.8870	218.9305	119.9506	121.5290	109.1849	74.9224	36.9773	36.5727	85540
5	179.0422	136.8707	278.5110	181.4050	241.2213	141.2544	128.3785	113.2481	70.7406	49.2616	39.9327	86460
6	211.9943	165.7043	339.6417	219.8353	223.7057	150.9380	130.0000	103.7337	79.5559	51.9625	49.0721	97940
7	202.7791	189.4784	336.4999	256.5146	232.7731	156.1435	129.1170	119.3345	80.0000	52.8905	53.5316	102150
8	208.4866	218.6321	339.9568	300.0000	243.0000	150.6844	129.0114	119.8373	71.1567	53.9210	58.6872	107430
9	270.5790	296.3758	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	80.0000	54.6011	70.5549	123350
10	317.6168	356.8022	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	129.9704	119.2352	79.9531	54.9760	79.5542	136500
11	367.8023	415.0903	340.0000	299.9955	243.0000	159.2593	129.6605	115.0855	79.5719	44.7229	88.1880	149890
12	362.3078	470.0000	340.0000	295.7381	232.4917	160.0000	129.9943	119.0331	79.5908	53.7349	92.8910	156830
13	305.9511	470.0000	339.9879	299.5080	234.3448	158.0070	106.5375	117.7520	77.1792	48.4767	85.7439	147690
14	238.6227	398.9071	336.7142	294.9884	231.8585	149.7740	130.0000	117.8746	75.6163	21.5447	71.9008	128100
15	208.4859	329.7805	320.6194	252.0241	218.1372	148.6859	126.8250	108.4618	80.0000	43.0805	60.1012	113210
16	154.6264	266.7171	290.5745	236.1258	230.2007	115.6982	103.5376	89.9037	70.0455	41.8826	45.3133	95330
17	153.8535	242.2775	224.2142	243.5138	223.3819	119.0364	130.0000	100.9003	60.2844	23.0760	40.5373	89450
18	203.7600	232.6865	256.9372	236.2882	229.0969	153.5412	129.9956	114.9859	79.9312	39.9123	49.1357	98820
19	256.9416	238.2333	315.6604	273.2579	224.8114	151.6603	129.7448	119.9464	71.9953	53.1293	59.3807	111040
20	307.4832	314.0404	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	130.0000	119.9834	80.0000	52.4027	74.9101	129280
21	277.2782	322.1074	339.4132	296.9813	241.4768	159.6524	130.0000	106.4580	77.6016	44.0835	71.0524	125470
22	202.7501	243.5972	301.5323	247.0153	200.5948	159.9988	112.3340	102.4950	79.9876	27.1210	49.4253	100820
23	150.0000	192.5035	235.6243	241.2448	174.2438	123.0432	89.8128	85.5112	58.4434	14.1505	32.5784	79860
24	157.4342	151.4843	164.1164	273.6590	164.0596	80.7117	77.1013	72.3365	52.3987	16.7302	26.0318	72730
Coût total (\$)											1306.7662	2544710

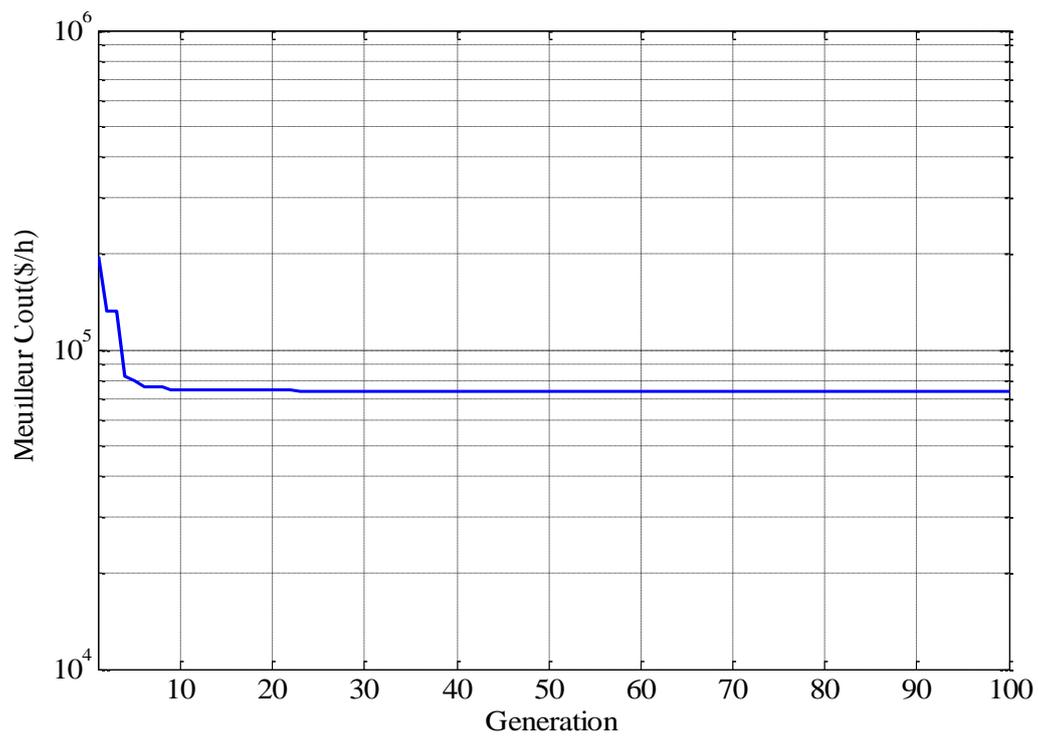


Figure 5.49: Caractéristique de convergence de BBO

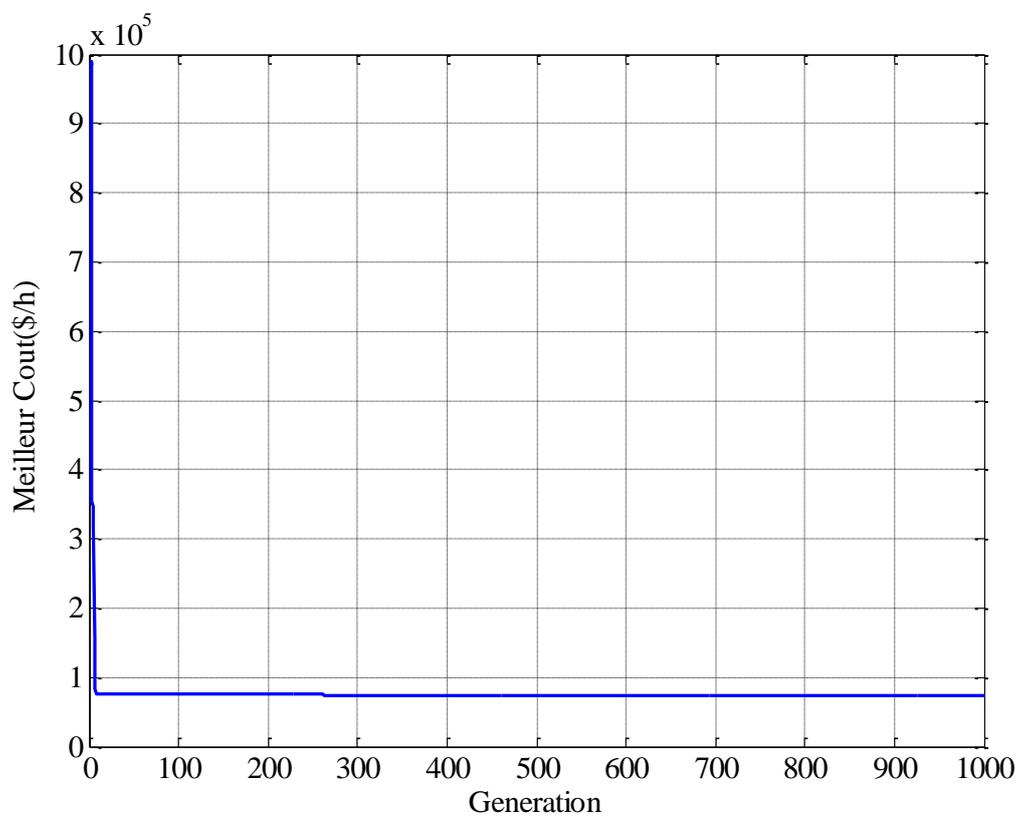


Figure 5.50: Caractéristique de convergence de BBO-PSOTVAC

5.7.3 Optimisation de l'émission seulement :

5.7.3.1 Solution de PSOTVAC, BBO et du programme hybride BBO-PSOTVAC :

Tableau 5.45: Solution de PSOTVAC :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (ton/h)
1	158.6958	135.0000	85.3964	88.5070	228.9009	64.9328	91.8117	92.2013	58.5837	52.1366	20.1665	4349
2	167.6560	135.1274	92.6072	101.0668	222.1460	109.1628	106.6292	70.3902	78.6518	49.4175	22.8560	4590
3	168.6135	171.6342	142.6057	115.9309	192.5513	140.9269	130.0000	97.4635	80.0000	47.3192	29.0453	5482
4	213.0122	218.2462	139.5652	117.5723	217.1640	160.0000	129.8947	118.6670	73.9514	55.0000	37.0722	6905
5	199.2145	283.3457	133.2291	126.1870	243.0000	159.9238	121.7583	119.9875	80.0000	55.0000	41.6462	8052
6	264.7418	281.3467	189.5335	164.4420	242.3761	154.3728	127.2314	120.0000	79.6866	54.9760	50.7068	10014
7	296.4769	305.7868	201.6778	184.6183	243.0000	155.6175	126.5526	111.0947	78.3063	54.9330	56.0633	11532
8	323.5473	305.7880	257.3576	175.4947	241.9203	149.6039	130.0000	119.9968	79.9922	53.7098	61.4112	13204
9	338.4540	334.5913	319.0831	223.9488	242.4092	159.9789	129.9838	119.8870	73.1438	54.8144	72.2955	17016
10	359.1494	357.4692	334.5492	267.2147	242.9272	160.0000	129.7111	119.9539	76.3811	54.9963	80.3528	20013
11	391.3327	375.3447	339.9708	299.8832	243.0000	159.9687	129.7832	120.0000	79.6654	54.9980	87.9466	23368
12	428.2185	388.3715	338.1910	300.0000	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	79.8495	54.9998	92.6312	26706
13	391.1783	337.8134	339.7719	300.0000	243.0000	159.9844	129.9377	119.9237	80.0000	55.0000	84.6102	21970
14	335.6167	284.5092	297.4232	300.0000	242.9569	158.9076	122.0430	119.7196	79.2650	54.9986	71.4407	16894
15	284.6236	250.2623	219.4344	298.3905	242.9992	159.2826	130.0000	116.9130	79.7698	54.1502	59.8267	13214
16	222.8974	193.0403	157.1955	260.9568	240.6977	158.9620	130.0000	113.6860	71.6011	49.7197	44.7574	9462
17	184.9070	199.0957	161.7487	228.2938	211.9351	156.2803	130.0000	120.0000	79.2179	48.7064	40.1859	8120
18	235.5085	250.4634	214.2173	202.9636	233.2686	160.0000	130.0000	117.9295	79.9999	53.3718	49.7235	9981
19	308.3650	301.2655	252.0882	206.2806	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	60.8534	54.9987	60.8518	13135
20	354.7578	339.7485	319.7636	247.3606	241.6234	160.0000	130.0000	119.9327	79.9999	55.0000	76.1837	18263
21	299.9928	304.4564	340.0000	272.4344	242.1800	159.8399	126.1091	116.8814	78.7092	54.5621	71.1662	17118
22	222.2672	255.8637	272.5286	230.0671	242.2698	123.3583	119.9244	101.7390	54.9512	54.9982	49.9674	11351
23	150.0000	195.1822	194.6336	188.5088	223.5387	85.7056	126.4662	80.8673	69.0470	50.8099	32.7584	7090
24	150.0000	154.1887	169.2921	140.2240	206.0242	57.2462	126.6392	96.2981	74.8957	35.0430	25.8519	5572
Emission Totale (ton)											1319.5174	303401

Tableau 5.46: Solution de BBO:

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (ton/h)
1	174.42	190.01	105.47	70.768	115.02	113.03	109.51	87.889	41.216	48.989	20.615	4183.7
2	213.74	203.43	145.42	109.79	94.857	115.53	80.284	92.052	42.198	36.32	23.649	5094.1
3	266.78	178.52	203.48	135.5	122.42	120.32	72.748	104.84	49.054	34.759	30.638	6855.3
4	309.42	251.83	211.3	152.98	142.21	120.57	88.672	78.637	69.199	20.133	39.06	8942.2
5	321.7	273.69	257.09	165.1	142.21	86.219	92.961	95.653	51.544	37.474	43.952	10633
6	322.07	340.5	295.08	122.03	179.28	131.56	108.36	81.844	64.413	36.003	52.95	13242
7	362.23	319.43	278.9	150.72	203.13	150.82	105.4	73.368	68.326	47.584	57.496	14065
8	346.8	362.84	289.72	192.85	223	108.06	111.29	96.238	73.372	34.977	62.553	15909
9	389.05	372.65	323.33	205.19	221.29	145.47	111.42	118.06	72.815	38.952	73.998	19693
10	440.27	404.51	314.6	242.66	228.15	141.57	115.59	90.235	77.041	50.783	83.387	26004
11	456.41	424.19	339.73	271.38	231.61	150.61	108.48	95.474	75.642	43.253	91.141	31533
12	453.42	429.9	340	284.73	243	142.2	120.71	109.55	67.401	53.449	94.38	32180
13	431.54	424.75	332.85	268.45	229.39	151.94	100.14	101.87	73.812	44.696	87.607	28014
14	414.4	366.28	285.87	265.13	201.26	135.32	119.84	108.79	70.246	31.388	74.616	21052
15	355.43	325.87	256.52	261.62	221.23	126.17	117.54	98.207	45.877	29.868	62.428	15591
16	293.42	308.3	207.65	232.9	177.54	115.25	100.08	94.531	54.053	17.565	47.385	11212
17	249.8	278.61	210.43	218.07	134.73	142.06	93.193	110.85	39.855	44.446	42.095	9452.8
18	306.93	309.97	214.86	253.28	165.82	134.94	100.5	96.59	54.498	42.482	51.738	12106
19	328.96	383.12	259.21	249.82	192.16	112.71	114.52	112.2	52.252	33.964	62.249	16322
20	379.51	430.58	287.75	287.52	214.44	145.48	111.49	101.4	48.147	44.207	78.589	23639
21	364.1	377.01	303.5	284.69	187.94	150.22	110.98	102.67	67.929	48.658	73.572	19400
22	332.08	330.22	241.04	251.91	161.2	128.47	82.179	74.777	38.725	40.237	52.683	13502
23	268.55	254.11	172.49	222.56	112.17	114.2	60.466	86.59	36.232	39.381	34.367	8335.2
24	223.07	237.52	145.09	208.27	93.673	93.655	78.451	69.35	44.887	17.246	27.122	6705.8
Emission totale(ton)											1368.27	373666.1

Tableau 5.5.47: Solution de BBO-PSOTVAC:

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût (ton/h)
1	193.8840	175.1421	91.3375	128.7184	162.7205	81.1272	97.6868	55.8997	49.0727	20.7970	20.3868	4551
2	187.9338	172.7929	135.9514	151.2107	163.9020	100.8164	82.8625	60.0332	47.9679	29.5508	23.0224	5025
3	237.1188	241.8207	95.2498	177.1280	159.7897	112.9518	93.4207	61.5680	76.5998	33.0365	30.6846	6512
4	283.4240	258.5658	159.6740	174.4540	163.2337	128.4601	89.7296	86.2156	61.0401	39.6945	38.4912	8169
5	269.0662	282.6746	155.7773	171.4419	168.1924	151.8293	81.3856	113.7182	75.1346	53.2417	42.4628	8574
6	292.6358	339.4714	218.4233	205.9960	168.7027	137.9943	101.6175	92.6797	79.9999	42.5845	52.1061	11775
7	331.8218	309.2730	285.7942	201.6645	174.2568	125.7458	124.3262	101.4826	61.8913	42.7442	57.0010	13539
8	297.8144	294.9336	267.6228	222.4386	216.5535	160.0000	125.2019	119.9478	78.8249	53.2683	60.6050	13107
9	344.6040	348.1426	324.7298	248.3682	232.5673	126.2371	123.8910	116.4783	79.1147	52.8068	72.9406	17945
10	363.1355	360.3751	326.1419	278.0908	240.6325	157.7882	129.2624	119.9951	73.0142	54.0234	80.4601	20182
11	379.1542	393.6463	339.9573	298.9902	243.0000	158.0993	129.1807	119.4906	80.0000	52.5101	88.0296	23627
12	412.6440	429.8873	340.0000	299.3251	242.6879	158.4272	123.0961	108.2264	73.9065	54.9707	93.1704	28318
13	394.2833	422.1496	328.3787	271.7036	231.7158	145.4141	121.0314	120.0000	80.0000	43.6781	86.3536	24962
14	339.7744	384.3456	272.6735	284.6648	220.9883	154.0041	94.3020	115.5823	75.9683	54.9813	73.2856	18425
15	287.7781	335.0757	273.0061	295.4243	217.4755	136.5249	97.2304	101.8397	54.5485	38.4542	61.3582	15295
16	218.7945	262.8305	199.9736	256.0648	215.0784	145.2711	113.8238	84.0482	57.2075	46.4153	45.5082	10088
17	185.6524	241.1237	167.2274	238.7493	215.8138	159.5823	111.4393	72.9991	78.9632	49.2390	40.7905	8621
18	245.6428	223.7916	222.8953	269.2818	221.6437	153.0169	121.4421	92.8219	73.9522	53.2011	49.6905	10893
19	300.6168	269.3013	252.9553	269.7054	238.4924	144.5801	128.0209	115.5478	70.4404	46.6808	60.3420	13526
20	368.6756	320.7340	322.6411	294.9158	226.1043	147.5143	123.5683	113.7312	77.5364	52.8972	76.3174	19182
21	324.6844	330.5683	284.5597	300.0000	240.3000	160.0000	114.8472	108.3178	78.3127	54.3509	71.9417	17112
22	269.8347	258.8600	207.4297	277.8166	206.9367	119.9596	119.7793	102.2797	71.0664	44.6810	50.6444	11372
23	228.3270	213.4900	133.5221	246.6153	185.8040	76.0642	95.2053	81.6244	80.0000	25.3046	33.9565	7795
24	150.0307	146.9456	126.3882	208.6344	195.1473	100.9189	99.9864	73.0437	53.5603	54.9857	25.6410	5648
Emission totale(ton)											1335.19	324243

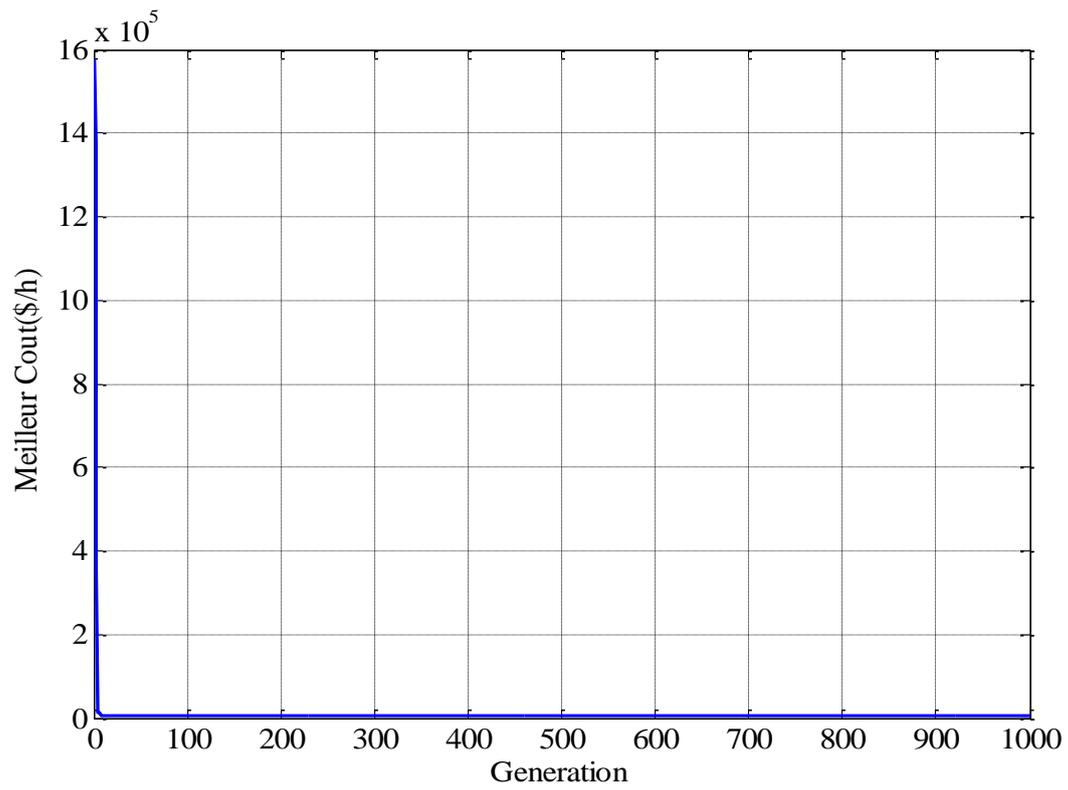


Figure 5.51: Caractéristique de convergence de PSOTVAC

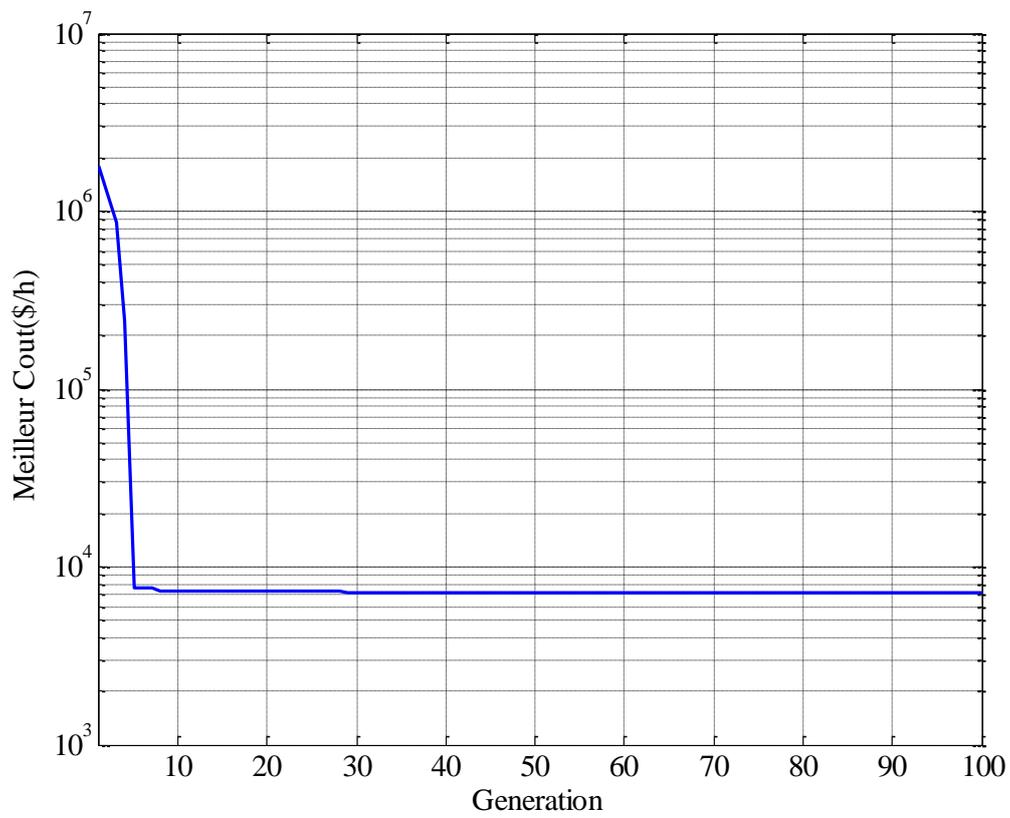


Figure 5.52: Caractéristique de convergence de BBO

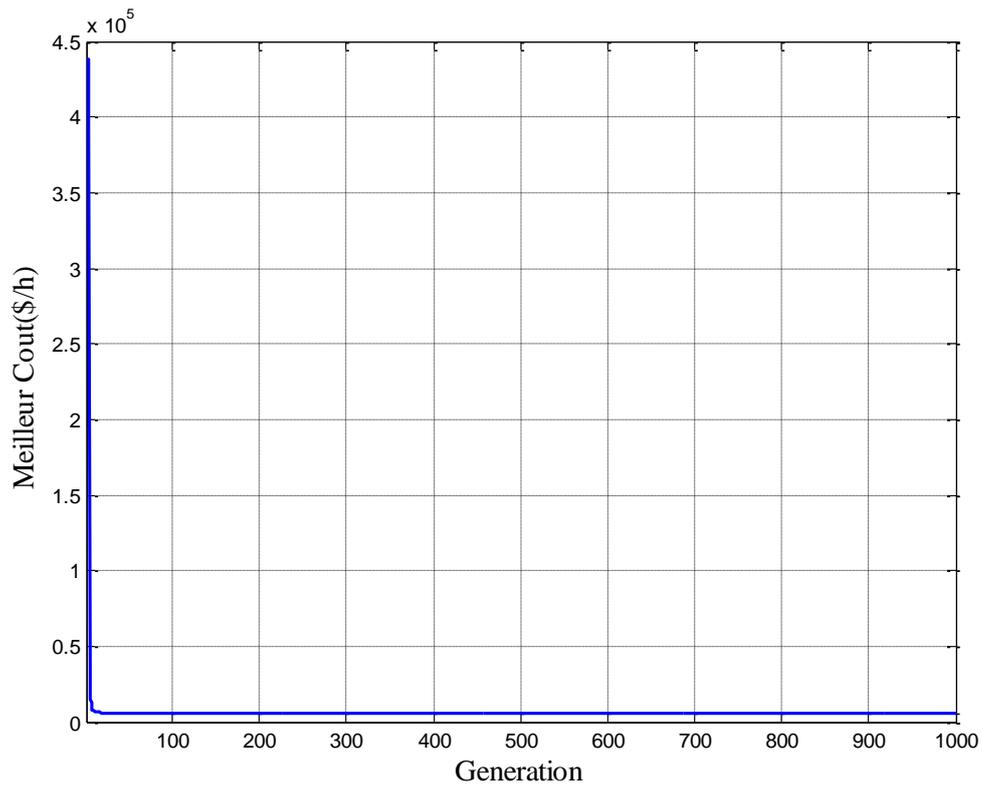


Figure 5.53: Caractéristique de convergence de BBO-PSOTVAC

5.7.4 Optimisation multi objective du coût et l'émission système 10 unités:

5.7.4.1 Solution de BB et BBO-TVAC :

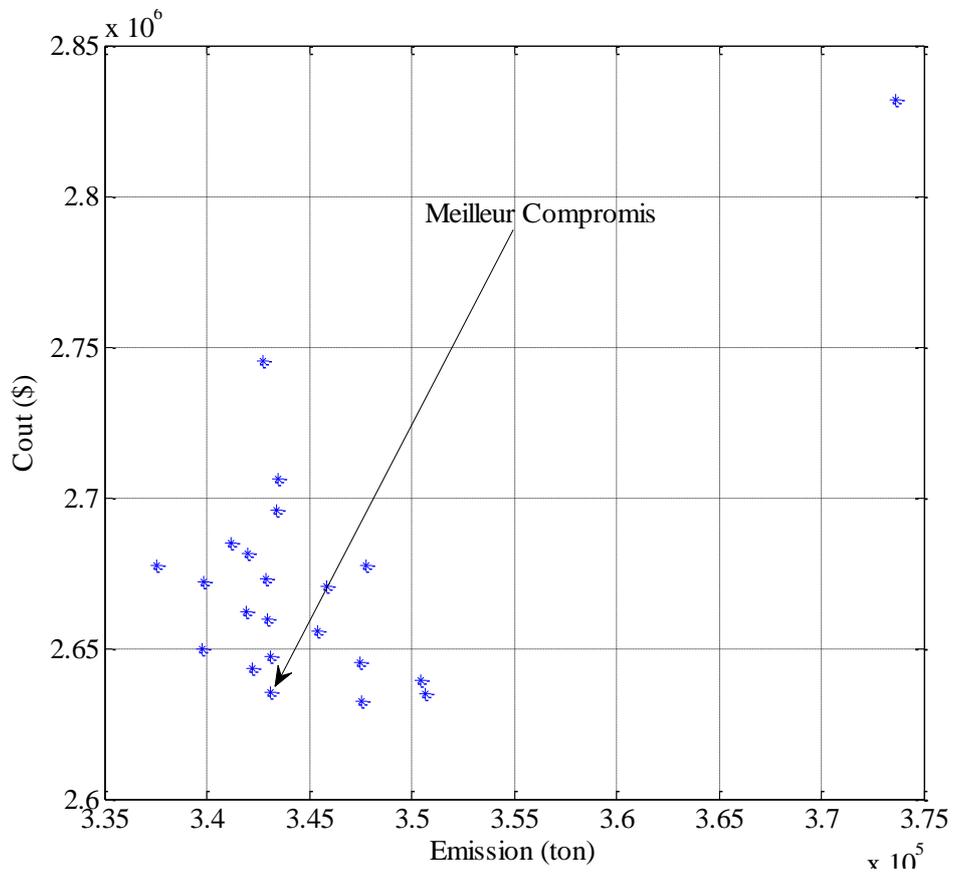


Figure 5.54: Distribution Pareto BBO

Tableau 5.48: Solution BBO :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût 10 ⁶ (\$/h)
1	163.1048	150.5873	127.6258	147.9756	125.0439	63.0541	112.8591	100.6675	30.6333	34.3345	19.8860	0.6480
2	162.0571	202.4740	158.6537	121.8037	102.3659	97.4527	104.3164	85.6436	52.1589	46.1542	23.0907	0.6987
3	150.1103	201.6904	219.9008	102.0294	146.3820	139.9404	99.6547	106.9928	70.3024	50.3100	29.3142	0.7707
4	193.1071	246.6609	257.3541	148.7813	180.4311	115.9547	104.8164	97.1873	60.2538	38.8289	37.3295	0.8871
5	248.1809	187.1956	283.7762	181.7949	224.5799	140.9022	80.8082	116.4143	35.2968	22.2510	41.2029	0.9283
6	304.0885	163.3777	296.4976	226.7904	224.0026	150.3313	105.7739	112.1070	51.7243	43.4652	50.2298	1.0303
7	265.0071	202.3364	330.8492	256.1995	226.6603	118.2373	129.5939	111.3863	67.2401	49.2060	54.7372	1.0641
8	305.9468	256.6510	330.9305	279.2635	211.0518	148.7114	103.9388	84.5837	72.5552	43.0497	60.6889	1.1648
9	359.7297	306.4863	312.3286	291.2574	227.8465	141.2674	128.8032	110.0256	68.9274	49.7446	72.3837	1.3114
10	413.4579	360.4599	319.9539	300.0000	228.7326	156.1675	113.0323	93.2230	67.3323	51.4188	81.7809	1.4710
11	435.1093	414.7463	336.1197	271.0213	228.1397	160.0000	124.8297	119.5426	56.5510	49.7308	89.7552	1.5744
12	441.2400	427.1272	332.9670	299.2065	228.9848	158.2004	115.0001	116.9867	78.7799	45.3675	93.8122	1.6206
13	407.8525	422.7674	325.3545	300.0000	234.6942	126.3663	108.6721	112.9029	78.3130	41.9196	86.9334	1.5369
14	331.6762	342.9708	330.3601	271.7703	234.0545	131.8309	128.1253	115.1879	63.1823	47.4192	72.4987	1.3147
15	299.5541	289.4531	304.4165	255.8191	241.9372	126.2031	106.5908	96.3228	75.0691	41.7013	60.9878	1.1696
16	223.7394	257.6781	249.7276	259.2426	225.6912	115.5976	102.2779	76.2864	54.7988	34.7047	45.7902	0.9849
17	171.6431	193.9776	291.8202	234.8034	193.4419	107.3335	119.3615	90.4449	68.9591	48.7994	40.5657	0.8942
18	213.7741	212.7171	279.8309	262.2372	243.0000	138.8226	117.3714	100.9345	61.5847	47.0316	49.3007	0.9942
19	269.7128	263.6042	304.2149	277.7323	225.0853	137.9765	129.3507	104.6030	76.6939	46.9968	59.9697	1.1349
20	337.9617	336.1938	336.8519	292.0570	228.8859	152.5107	126.5511	118.4277	70.0608	48.3896	75.8734	1.3424
21	310.8722	345.8895	327.1103	277.0687	239.0239	150.6130	109.6577	111.3878	79.9304	44.5995	72.1056	1.3008
22	256.0270	282.7665	263.6577	241.8141	198.4740	140.6737	99.0818	108.9614	55.2130	31.9320	50.6006	1.0583
23	182.0877	213.6427	220.9408	240.4972	163.6433	100.1610	85.2342	102.0854	29.8162	27.0571	33.1639	0.8317
24	185.3569	165.5185	170.0628	201.2533	154.4451	78.9812	85.3421	88.9565	51.9201	28.2513	26.0797	0.7404
Coût total (\$)											1328.08	2647249.31

Tableau 5.49: Solution de BBO-PSOTVAC :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Perte (MW)	Coût 10 ⁶ (\$/h)
1	150.0025	135.0000	160.4778	61.3937	102.2738	149.2565	130.0000	106.8316	50.4255	10.0252	19.6861	0.6234
2	158.1134	146.9187	211.8824	91.4373	124.8695	134.4443	110.2005	81.2233	48.7793	24.7663	22.6358	0.6773
3	156.1595	135.0000	259.9919	134.0055	161.6636	135.6041	123.3803	75.8736	70.7106	34.4658	28.8558	0.7465
4	161.5424	206.6581	302.4948	128.5793	208.0138	126.8929	122.9091	77.2509	64.7755	43.7624	36.8799	0.8475
5	155.7034	145.7072	303.6242	165.6123	242.9683	159.3956	121.0589	102.3663	77.8803	45.5560	39.8736	0.8606
6	220.8558	150.6344	339.4053	211.5129	215.9983	159.9998	126.8916	119.1195	77.6212	54.9896	49.0291	0.9749
7	216.6921	219.7257	338.9728	230.2232	242.9958	160.0000	130.0000	116.4962	55.1214	45.7176	53.9459	1.0299
8	215.0533	243.7695	334.5169	274.4803	242.2580	159.9996	129.5781	119.9994	69.0113	46.2123	58.8782	1.0878
9	284.9703	298.4112	340.0000	300.0000	243.0000	160.0000	129.5435	119.7900	75.4160	43.6381	70.7692	1.2408
10	356.2129	322.5531	339.7937	300.0000	243.0000	159.9779	128.2695	119.9975	80.0000	51.9288	79.7344	1.3743
11	383.0964	384.0449	339.9854	299.9852	242.9582	160.0000	129.9958	119.7785	80.0000	54.0726	87.9174	1.4883
12	424.0945	409.4306	337.5013	299.1502	240.2478	152.2059	129.6017	117.6394	80.0000	53.1419	93.0132	1.5833
13	387.3463	377.1948	334.7146	287.5152	243.0000	159.2315	129.9856	119.6044	67.3129	51.2421	85.1480	1.4711
14	314.6409	331.8932	324.7652	292.6095	221.7025	154.4223	127.7629	112.9287	73.7748	41.2984	71.7993	1.2876
15	251.0635	283.4824	281.1340	299.9708	242.6472	142.2179	129.5628	85.0778	74.2427	46.5698	59.9691	1.1307
16	178.0813	224.1492	237.8788	296.4859	223.2705	130.2015	124.0332	88.0461	57.0708	39.5734	44.7909	0.9373
17	172.7377	162.5919	211.6807	278.6580	227.0141	127.9423	129.8349	99.3585	66.9809	43.2100	40.0100	0.8753
18	205.0313	208.7328	250.3381	255.3285	242.1659	149.3181	127.8216	116.3670	78.2434	43.5980	48.9457	0.9815
19	259.0235	233.6943	313.7716	298.1311	234.3460	160.0000	121.0071	113.2668	51.4786	50.6305	59.3503	1.1106
20	306.7217	312.1708	340.0000	299.9898	243.0000	160.0000	130.0000	120.0000	79.9949	55.0000	74.8781	1.2911
21	269.7891	317.4736	339.9976	299.9074	229.3485	159.9983	130.0000	120.0000	79.9795	48.3538	70.8484	1.2422
22	201.3658	241.3634	325.1233	255.2740	213.8964	127.5238	109.1918	114.0163	50.7666	39.1794	49.7019	1.0034
23	153.9098	165.0662	249.1124	210.9872	207.0343	105.0571	92.9502	103.1182	41.4399	35.7949	32.4712	0.7982
24	150.3400	135.3105	180.6794	186.3794	168.8807	123.7238	96.3324	106.6036	40.9350	20.0675	25.2532	0.6963
Coût total(\$)											1304.384	2.53597576

Tableau 5.50: Tableau de Comparaison entre solutions

Option	Méthode	Pop	Itération Max	Meilleure Solution Coût *10 ⁶ (\$) Emission*10 ⁵ (ton)	Temps (min)	Pertes(MW)
Optimisation du coût						
Coût	BBO	50	100	2.6352	1.4376	1326.35
Emission (qui correspond)				3.43082		
Coût	PSOTVAC	50	1000	2.5179	1.98	1304.33
Emission (qui correspond)				3.43890		
Coût	BBO-PSOTVAC	50	1000	2.5447	2.484	1306.76
Emission (qui correspond)				3.38278		
Coût	MAMODE[99]	200	1000	2.492451	8.25	-
Emission (qui correspond)				3.15119		
Coût	RCGA[100]	20	100	2.5163	-	-
Emission (qui correspond)				3.1740		
Coût	IBFA [71]	-	1000	2.481733	0.0866	1295.25
Emission (qui correspond)				3.27501		
Optimisation de l'Emission						
Emission	PSOTVAC	50	1000	3.03401	2.0443	1319.5174
Coût(qui correspond)				2.603500		
Emission	BBO	50	100	3.736661	1.554	1368.27
Coût(qui correspond)				2.83208717		
Emission	BBO-PSOTVAC	50	1000	3.24243	2.47	1335.19
Coût(qui correspond)				2.68201839		
Emission	RCGA[100]	-	-	3.0412	-	-
Coût(qui correspond)				2.6563		
Emission	IBFA [71]	-	1000	2.95 8330308	-	1319.9481
Coût(qui correspond)				2.614 3415470		
Optimisation Multi-objectives						
Coût	BBO-PSOTVAC	50	100	2.53597576	-	1304.384
Emission				3.2638340		
Coût	BBO	50	100	2.64724931	-	1328.08
Emission				3.4310879		
Coût	MAMODE [99]	200	1000	2.514113	-	1297.62
Emission				3.02742		
Coût	NSGA-II[100]	20	100	2.5226	-	-
Emission				3.0994		
Coût	IBFA [71]	-	1000	2.517116	-	1299.87
Emission				2.99036		
Coût	RCGA[100]	-	-	2.5251	-	-
Emission				3.1246		

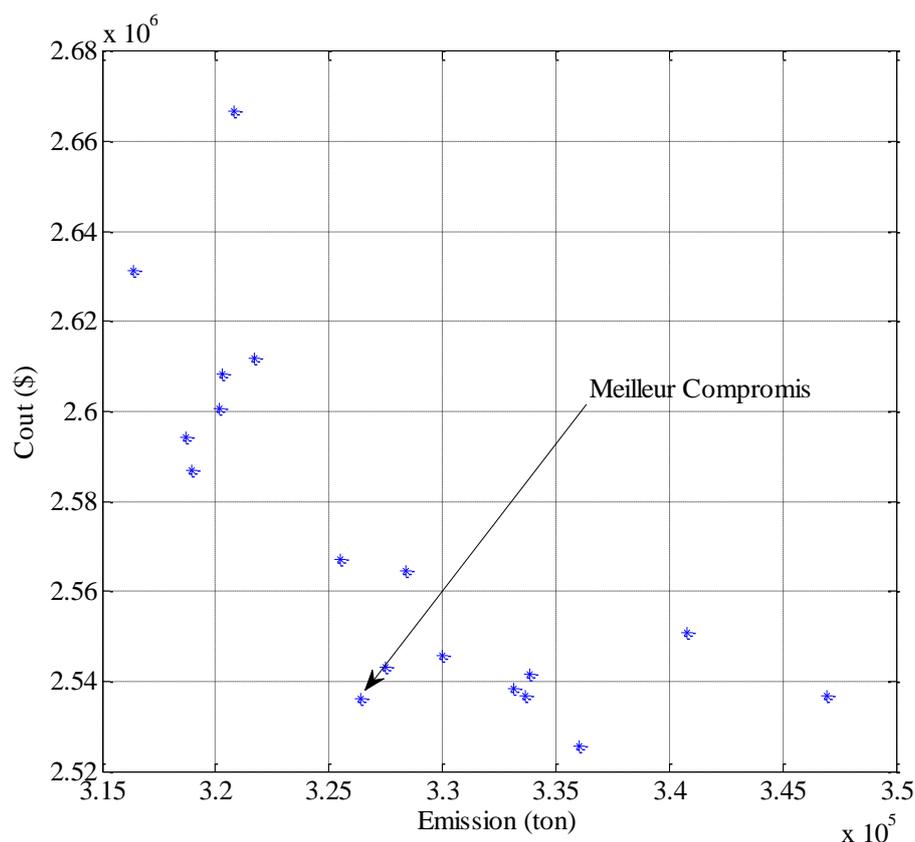


Figure 5.55: Distribution Pareto BBO-PSOTVAC

5.7.4.2 Interprétation des résultats :

5.7.4.2.1 Interprétation de l'optimisation Mono-Objective du coût :

D'après les résultats obtenus et qui sont abordés dans le tableau 5.54 sous dessus on constate que l'algorithme PSOTVAC donne une meilleure optimisation du coût **2517890 \$** et qui correspond à un dégagement de **3.43890×10^5** ton des gaz dans l'atmosphère, rappelons que notre solution calculée par différents algorithmes ne présente aucune violation de contrainte cependant cette dernière reste supérieure par rapport celle calculée par RCGA [100] **2.5163×10^6** \$ engendrant une émission de **3.1740×10^5** ton et supérieure aussi par rapport la solution calculée par IBFA dans le travail de N. Pandit [71] fournissant un coût de **2.481733×10^6** \$, néanmoins cette solution présente ce qui suit :

Violation des contraintes touchant la solution tableau 6 (Cas IV) optimisation de coût pour le système test 10 unit de l'article N. Pandit [71]:

1. Le coût est **2484676.31\$** n'est pas **2 481 733.2570\$** comme annonce l'auteur [71].
2. L'émission qui correspond à ce coût est **329247.31ton** n'est pas comme annonce l'auteur. **327 501.5653 ton**.
3. Les pertes sont **1298.6023MW** n'est pas comme donné par l'auteur **1295.2561MW**.

4. Violation de contrainte de demande pour **l'heure 10** avec **35.047 MW**.
5. Violation de contrainte de demande pour **l'heure 17** avec **8.2689MW**.
6. Violation des contrainte minimales et maximales de production dans **l'heure 10** pour le **générateur N°3 377.9288** qui ne doit pas dépasser **340 MW**.

Concernant l'optimisation Mono-Objective de l'émission nous remarquons que le **PSOTVAC** arrive à calculer l'émission minimale **$3.03401 \cdot 10^5$** dans un temps **2.0443 min** offrant un coût égal **$2.603500 \cdot 10^6$ \$**, cette solution reste meilleure comparativement par rapport les solutions trouvées par nos algorithmes respectivement le **BBO** et l'algorithme hybride **BBO-PSOTVAC** en matière de qualité de solution tel qu'il est représenté dans le **tableau 5.54**. Additivement à ce qui précède notre solution calculée par le **PSOTVAC** (**$3.03401 \cdot 10^5$ ton**) est nettement meilleure par rapport celle engendrée par **RCGA [100]** (**$3.0412 \cdot 10^5$ ton**) en matière de qualité de solution et temps de convergence. Nous tenons aussi à tirer l'attention du lecteur que notre solution reste médiocre par rapport celle obtenue par la méthode **IBFA [71]** qui aboutie à une faible émission de **$2.95\ 8330308 \cdot 10^5$ ton**, cependant cette solution donnée par le **tableau 7** dans l'article de N. Pandit [71] présente ce qui suit :

1. L'émission est **295596.01ton** n'est pas **295 833.0308 ton**.
2. Le coût est **2612620.19\$** n'est pas **2614 341.5470 \$** comme déjà expliqué dans l'article.
3. Les pertes **1318.97MW** ne sont pas **1319.9481MW**.
4. Violation de contrainte de demande pour la demande de **l'heure 16** avec **14.1818MW**.

Il est intéressant de noter que lors de notre comparaison entre nos résultats et ceux indiqués dans la littérature nous pouvons constaté que les pertes de transmission restent pratiquement inchangeables qui reste une remarque caractérise cette base de donnée (10 unités pour l'optimisation multi-objective).

5.7.4.2.2 *Interprétation de l'optimisation Multi-Objective du coût et l'émission:*

Concernant l'optimisation multi-objective nous voyons que l'algorithme hybride **BBO-PSOTVAC** nous fournit une solution de (**$2.53597576 \cdot 10^6$ \$ - $3.2638340 \cdot 10^5$ ton**) qui est nettement meilleure par rapport celle donnée par le **BBO** (**$2.64724931 \cdot 10^6$ \$ - $3.4310879 \cdot 10^5$ ton**), la solution complète de **BBO-PSOTVAC** est donné par le (tableau

5.53) la courbe de Pareto ainsi le meilleur compromis sont schématisés dans la figure (5.56), or notre solution reste supérieure par rapport celles trouvées dans la littérature et qui sont abordées dans le **tableau de comparaison 5.54** à savoir la solution de MAMODE [99], de NSGA-II [100] et finalement de l'IBFA [71].

5.7.5 Optimisation Multi-objectives système 6 unités:

5.7.5.1 Solution multi objective (Meilleur Pareto) calculée par FA :

Tableau 5.51: Solution de FA:

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Perte (MW)	Coût (\$/h)
1	15.642	33.385	68.048	107.27	63.324	40.269	2.9628	701.15
2	23.176	40.333	82.14	119.89	79.138	49.508	4.1139	859
3	18.122	36.265	73.619	112.49	69.326	43.563	3.3466	760.64
4	12.546	30.919	61.669	101.89	56.867	38.674	2.5221	643.17
5	15.419	33.759	71.369	109.2	66.26	42.071	3.1157	724.75
6	23.767	41.776	83.864	122.78	81.617	50.619	4.459	884.2
7	33.861	51.832	96.661	144.03	93.186	61.959	6.4964	1082.8
8	38.692	57.23	100.55	150	97.504	68.617	7.6124	1167.5
9	48.249	66.68	105.74	150	104.21	79.416	9.2472	1286.4
10	42.18	60.724	102.33	150	100.41	72.551	8.1514	1211.1
11	49.656	68.08	106.48	150	104.87	80.459	9.545	1301.9
12	55.072	76.452	109.52	150	107.95	86.81	10.883	1381.9
13	42.882	62.356	103.6	150	100.76	73.763	8.3499	1225.8
14	40.985	59.501	101.96	150	99.276	71.253	7.9159	1196.4
15	34.003	52.538	96.034	142.8	93.559	62.623	6.5622	1083
16	44.717	63.143	104.12	150	101.74	74.888	8.5749	1240.7
17	41.437	58.998	101.84	150	99.885	70.832	7.9758	1196.2
18	55.505	75.465	109.39	150	108.02	87.454	10.775	1381.9
19	43.2	62.605	103.11	149.97	100.87	73.646	8.3527	1226
20	43.657	61.516	103.06	150	101.66	73.517	8.4059	1225.7
21	30.881	48.517	93.712	137.08	91.2	59.491	5.9078	1028
22	26.834	45.097	89.35	130.12	85.003	53.623	5.0719	948.49
23	26.41	44.021	89.331	130.62	85.235	54.4	5.0342	948.47
24	23.819	41.597	84.127	123.47	80.966	50.441	4.4626	884.21
Coût total (\$)							159.84	25589

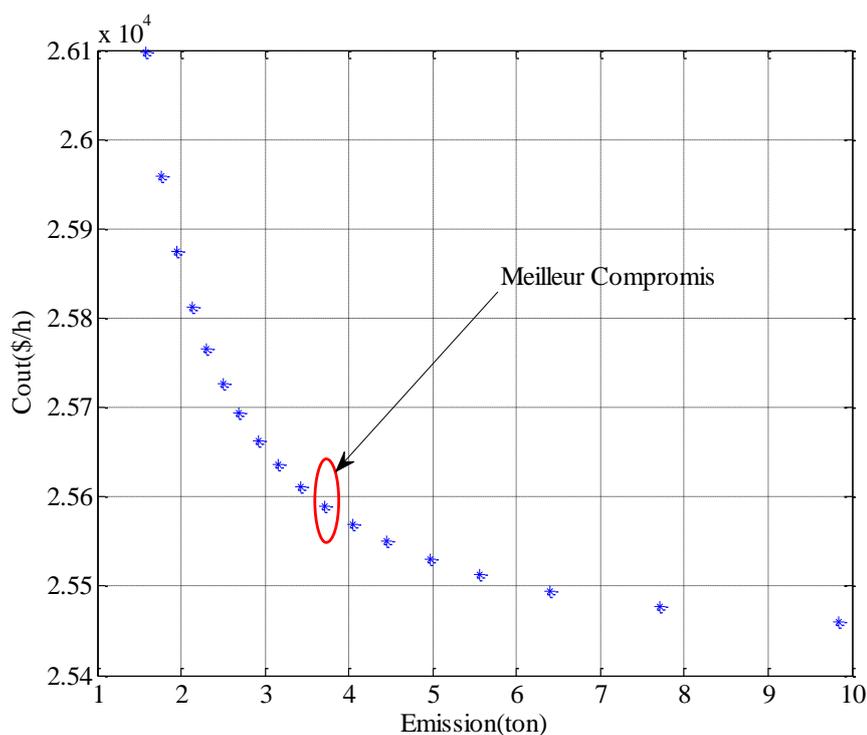


Figure 5.56: Distribution de Pareto pour FA

5.7.5.2 Solution multi objective (Meilleur Pareto) calculée par PSOTVAC :

Tableau 5.52: Solution de PSOTVAC :

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Perte(MW)	Coût(\$/h)
1	41.558	80.83	63.098	56.589	48.54	39.17	4.7916	756.23
2	33.307	51.885	102.52	77.879	78.876	49.643	4.1015	874.66
3	28.674	35.753	62.357	119.55	49.056	58.773	4.1671	768.27
4	47.189	26.393	48.383	96.466	43.501	42.608	4.5411	661.29
5	46.172	33.076	77.905	100.67	37.626	44.09	4.5394	741.35
6	37.86	64.302	81.976	121.19	62.386	37.562	5.2764	898.19
7	30.497	56.442	105.69	116.02	100.55	71.816	6.0119	1085.6
8	37.879	77.967	89.019	126.24	110.29	71.768	8.1673	1180.1
9	69.125	60.078	80.449	149.87	129	68.688	12.208	1303.8
10	46.177	63.826	103.83	144.14	99.987	70.358	8.3247	1212.1
11	54.755	86.491	145.91	130.42	68.239	73.779	9.592	1325.8
12	29.517	86.664	150	113.39	107.42	96.914	8.9068	1397.2
13	46.974	64.389	145.62	113.32	103.87	58.304	7.4678	1231.2
14	62.751	52.93	142.25	92.673	117.23	55.938	8.7683	1220.3
15	34.073	58.568	116.64	112.11	96.902	62.556	5.8566	1085.6
16	28.147	86.377	130.99	130.4	105.56	56.261	7.7374	1250.8
17	27.855	49.461	106.63	137.91	138.67	61.554	7.0639	1193.2
18	39.879	58.834	136.06	144.87	131.73	72.137	8.4944	1362
19	31.725	88.431	92.704	119.22	131.8	69.968	8.8469	1246.4
20	55.752	81.731	96.49	115.46	116.23	68.756	9.4461	1245.4
21	46.482	40.022	108.81	118.35	68.054	79.87	6.5945	1044.1
22	20.669	30.031	89.66	131.87	96.096	61.579	4.9006	951.43
23	32.039	39.324	104.9	100.77	105.11	47.425	4.5705	953.44
24	5	45.634	64.558	150	97.955	42.667	5.8152	898.47
Coût total(\$)							166.19	25887

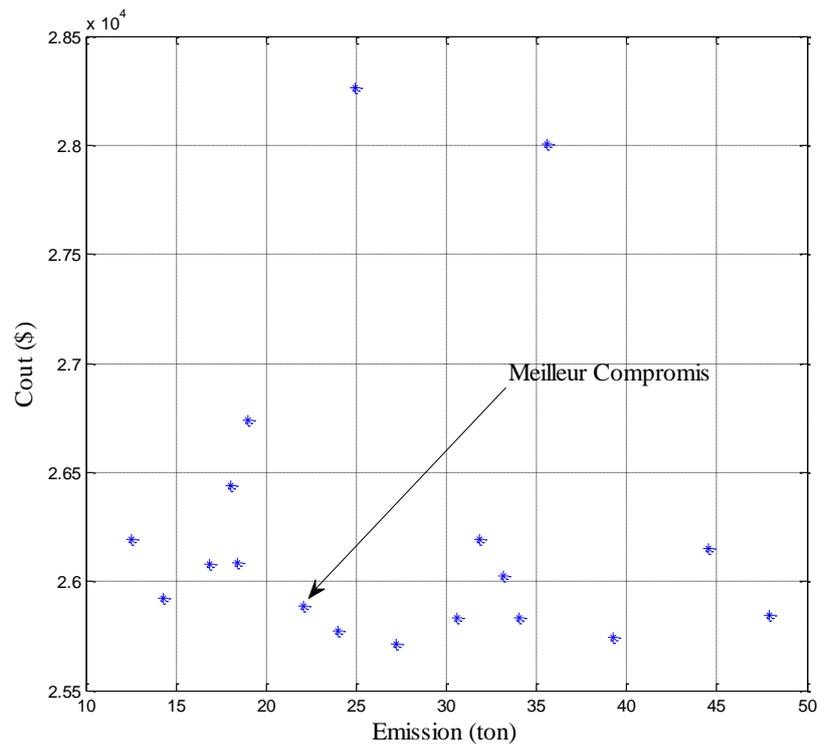


Figure 5.57: Distribution de Pareto pour PSOTVAC

5.7.5.3 Solution multi objective (Meilleur Pareto) calculée par BBO :

Tableau 5.5.53: Solution de BBO

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Perte(MW)	Coût(\$/h)
1	54.339	21.648	81.882	68.825	73.889	29.606	5.4083	735.77
2	33.682	63.632	89.438	89.081	56.96	61.926	4.7271	879.17
3	22.511	51.824	67.782	112.08	41.31	58.515	4.0276	771.09
4	14.508	39.237	33.265	103.35	62.746	50.509	3.5587	650.15
5	8.99	53.557	67.982	115.79	74.553	17.86	3.7009	737.03
6	37.914	71.411	56.731	119.19	64.197	56.82	6.2825	907.49
7	36.171	54.877	80.376	132.99	100.78	77.04	7.2303	1090.5
8	46.08	43.194	97.316	133.91	100.69	92.037	8.1017	1179.7
9	75.739	47.759	112.34	108.85	106.99	105.7	12.191	1329.2
10	47.474	68.7	101.48	119.97	97.79	93.145	8.7261	1228.1
11	67.305	88.907	95.209	142.59	95.959	71.769	11.723	1329.1
12	72.061	103.34	100.35	150	84.254	78.459	13.458	1424.4
13	72.091	73.513	87.408	131.69	87.279	84.766	11.759	1261.5
14	60.404	61.476	100.51	117.44	99.58	85.054	9.4569	1215.2
15	41.342	65.284	90.966	103.96	99.167	81.355	6.9007	1100.5
16	54.457	85.353	98.694	125.86	98.367	76.974	9.7018	1262
17	53.282	70.42	94.084	128.43	97.796	80.063	8.9818	1210.7
18	65.849	66.709	104.85	134.89	106.12	108.79	12.031	1402.9
19	64.434	54.173	100.73	117.79	99.328	98.964	10.562	1254.4
20	61.803	88.749	62.15	139.51	100.52	84.304	11.972	1272
21	50.311	54.304	84.109	140.25	65.272	68.284	7.6696	1044.3
22	54.057	41.207	89.66	128.11	59.046	59.84	6.924	965.46
23	40.317	36.049	91.481	128.17	65.964	68.79	5.7669	958.07
24	35.793	42.026	80.449	131.81	68.351	46.63	5.0502	888.79
Coût total (\$)							195.91	26097

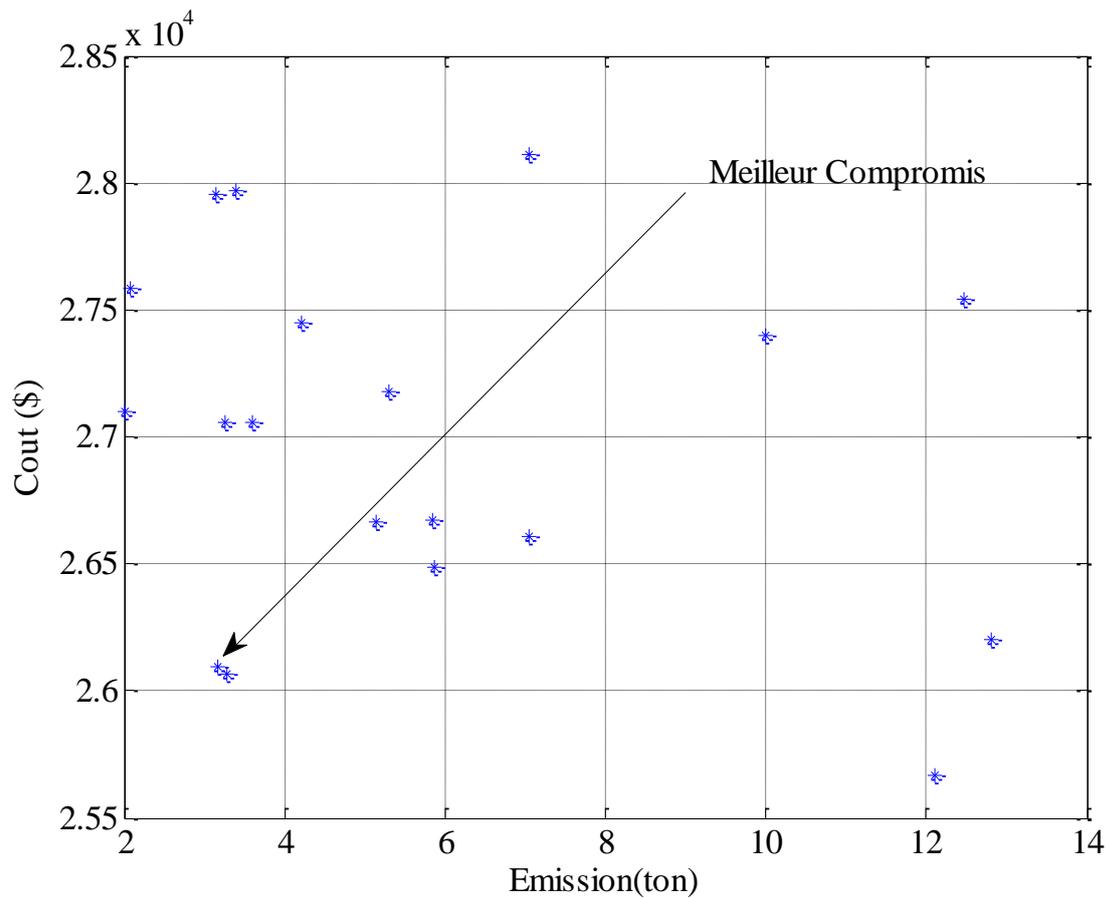


Figure 5.58: Distribution de Pareto pour BBO

Tableau 5.5.54: Comparaison entre solutions:

Méthode	Pop	Itération	Meilleure Coût(\$)	Meilleure Emission (ton)	Min-Max Violation Demande	Pertes(MW)	Temps (min)
FA	50	100	25589	3.7186	0.074956 - 0.077874	159.84	6.8982
BBO	50	100	26097	3.1748	0.19625 - 0.21934	195.91	0.6356
PSOTVAC	50	100	25887	22.04	0.00014711 - 0.0001707	166.19	0.12283
GSOMP [101]	300	200	25 493.0	5.6847	-	-	21.048
MOPSO [101]	300	200	25 633.2	5.6863	-	-	18.263
NSGA-II [101]	300	200	25 507.4	5.6881	-	-	72.355

5.7.6 Interprétation des résultats :

Le tableau de comparaison (**Tableau 5.58**) nous explique que l'algorithme FA arrive à localiser le meilleur compromis multi-objectif (**25589 \$ - 3.7186 ton**) dans un temps 6.8982 min qui est meilleur par rapport ceux donnés par le **BBO (260097 \$-3.1748 ton)** et le **PSOTVAC (25887 \$-22.04 ton)** et ce pour la même taille de population et nombre de génération **50-100** respectivement, on outre cette solution est totalement meilleure en matière de qualité de solution et temps de convergence si en la comparant par rapport le résultat de **MOPSO [101] (25633.2 \$- 5.6863 ton)** qui consomme un temps élevé (**18.263 min**) pour arriver à ladite solution su référenciée dans le **tableau 5.58**, cependant notre meilleur optimum calculé par FA reste supérieure (médiocre) en matière de qualité de solution comparativement par **GSOMP [101]** et **NSGA-II [101]** engendrant respectivement les solutions suivantes (**25493.0\$-5.6847 ton**), (**25507.4 \$-5.6881 ton**) cependant ces deux techniques nécessitant un temps de convergence très élevé (**21.048 min**) et (**72.355 min**) respectivement, nécessitant aussi une taille de population et un nombre de génération importants (300-200) respectivement comparativement par le FA qui ne besoin qu'une taille de population égale 50 et un nombre d'itération égal à 100, la courbe de Pareto de FA est celle indiquée par la figure (**5.57**) représentant le meilleur compromis (Coût-Emission).

Suite à ces comparaisons et après vérification du résultat calculé par (**GSOMP**) cas d'étude N°1 tableau de solution N°5 pour 6 unit de l'auteur **GUO** dans son travail [101] on a trouvé que le coût est **25924.4555694 \$** n'est pas **25493 \$** comme explique l'auteur.

5.7.7 Solution 118 Jeux de barres :

5.7.7.1 Optimisation sans perte du coût seulement

5.7.7.1.1 Solution PSOTVAC, FA et BBO :

Tableau 5.55: Solution de PSOTVAC

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Coût(\$/h)
1	50.146	50	50	91.474	53.156	76.549	51.483	50	50	50	50.0000	276.5263	50.0000	50.6651	3950.1
2	51.94	50	50	50	50.116	50	50	50	130.37	136.97	50.1561	299.1627	131.2934	50.0000	4455.7
3	50	50	50	50	50	75.616	50	50	139.25	56.266	117.4955	216.4206	86.4463	58.5087	4272.9
4	50	50	50	50	51.606	50	54.868	50	95.708	50	50.4101	296.9806	50.4267	50.0000	3891.9
5	50	50	50	50	52.074	50.515	50	50	68.192	50	99.2200	300.0000	50.0000	50.0000	3928
6	107.18	50	50	50.918	53.049	50	50	56.133	137.56	72.762	103.0519	300.0000	50.2743	69.0703	4373
7	128.15	90.088	60.117	82.147	86.846	50	64.284	106.94	73.177	130.14	50.2456	300.0000	60.9668	66.9065	4842.7
8	187.04	67.958	51.044	53.118	127.39	76.658	55.715	61.628	61.738	201.48	50.0000	300.0000	50.0000	66.2291	4904.9
9	262.33	50	50	50	52.296	50	50	84.075	66.634	210.99	131.1758	300.0000	82.4898	50.0000	5030.3
10	297.96	50	50	53.038	92.594	50.029	50	50	51.061	189.49	56.8120	288.2759	50.0000	50.7399	4721.7
11	300	79.863	71.554	50.775	50.748	52.384	55.874	50	124.48	209.32	61.3495	291.3240	50.2660	52.0595	5003.2
12	299.63	129.11	50	100.55	64.164	50	107.52	59.322	60.693	293.57	59.4431	272.5004	51.8126	51.6998	5454.6
13	293.7	50	50	129.73	67.554	82.704	50	50	52.543	271.37	78.2648	233.7322	50.4029	50.0000	5152.4
14	295.98	50	50	55.39	50	50.079	55.697	75.472	54.175	300	52.2305	233.0356	57.9463	50.0000	4924.8
15	299.54	50	50	50	50	54.883	50	50	50	283.9	61.7084	159.9606	50.0000	50.0000	4668.5
16	300	79.4	50	53.375	50	50	62.888	50	76.037	300	52.9405	235.3599	50.0000	50.0000	4952.7
17	300	50	50.538	50.655	50	50.001	51.125	61.094	112.73	298.45	50.7330	211.4559	50.2685	62.9445	4985.7
18	294.18	50	68.017	50.833	50	50	50	62.269	92.218	300	50.0000	269.6124	82.8695	50.0000	5127.4
19	275.91	50	53.35	96.382	50	52.744	50	50.667	50	280.73	70.4251	279.8781	50.0000	59.9156	4987.3
20	224.31	54.67	50.085	50	50	50	50	50	63.939	297.03	107.6847	300.0000	50.0000	52.2777	4889.6
21	163.59	50	50	50	50	53.044	50.694	50	101.5	242.21	79.3622	269.6034	50.0000	50.0000	4615.3
22	100.33	50	50	50	50.896	50.625	54.834	50.02	50	299.56	58.8593	294.8787	50.0000	50.0000	4506.1
23	50	50	50.037	50	99.821	50	50	50.519	50	300	56.4346	280.2460	62.9418	50.0000	4564.3
24	50.834	50	50	50	114.06	50	53.624	50	77.84	245.91	65.5008	242.2340	50.0000	50.0000	4480.7
Coût total(\$)															112683.8

5.7.7.1.2 Solution FA :

Tableau 5.56: Solution de FA

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Coût(\$/h)
1	50.0076	123.4377	55.5485	50.7549	71.1806	50.0000	51.6854	52.6577	60.6833	50.0000	63.3578	205.7933	54.6981	60.1555	3997.5
2	128.6829	79.0702	54.2314	53.7369	56.1683	102.3627	56.8507	50.0000	85.3567	51.9950	136.6880	213.1957	50.5697	81.0757	4485.5
3	145.9219	50.8983	50.0000	52.7618	105.0188	50.6799	50.0788	57.4399	51.0626	71.2672	90.5103	192.5987	61.6351	70.1205	4275.3
4	51.4660	53.7582	50.9751	65.9393	56.8752	52.0426	53.4584	50.0040	50.2680	118.7545	59.8234	235.2067	50.1374	51.2938	3974.6
5	59.0195	55.9751	50.0000	50.0000	53.9987	51.2969	51.6682	50.3470	66.2464	73.7797	57.4939	300.0000	50.1801	50.0000	3927.9
6	94.2566	143.0489	50.0646	85.1185	74.6872	50.2003	51.6340	50.0000	50.1466	70.9175	69.6143	297.4849	57.3920	55.4391	4364.6
7	97.5807	114.4639	50.0000	50.0000	113.9020	124.6946	52.9258	67.8579	112.1847	146.4974	51.2224	249.5964	69.0591	50.0000	4845.1
8	167.2044	158.9712	70.8615	50.0000	121.0837	52.8729	50.0000	102.3751	98.1232	102.1436	76.7267	199.1647	108.2636	52.1978	5067.5
9	260.9003	223.1493	112.5693	95.3691	84.4837	63.0678	61.3960	50.0000	50.0000	52.3297	94.2957	240.4635	51.9909	50.0000	5092.1
10	233.3587	149.7067	50.6706	51.8839	78.0386	81.9547	55.6006	109.7146	85.6283	54.7319	129.6815	192.6030	53.8049	52.6226	4885.9
11	155.1219	199.5496	60.1601	56.1658	98.9080	52.2495	50.0000	93.2782	111.0430	62.0640	209.1293	242.9128	55.0906	54.3069	5135.6
12	223.4481	163.0113	82.1990	52.6444	66.6676	51.5881	82.1901	75.4545	150.2136	75.8817	166.6348	299.8361	109.7759	50.4324	5486.9
13	179.0275	233.9559	104.1467	81.3144	114.7838	88.0200	57.2873	58.5374	56.1954	85.2216	139.0564	202.0391	55.3636	55.0536	5242.8
14	171.5963	169.7348	59.3422	105.4959	107.6707	51.3346	50.0000	51.2926	102.5072	58.8478	108.2001	293.9769	50.0000	50.0000	4904.1
15	121.0765	120.8696	66.2410	51.2489	68.6136	72.6511	50.0000	72.5981	167.0327	50.0000	57.9754	300.0000	50.5498	61.1302	4647.3
16	72.1767	182.3335	69.9811	56.3824	142.7513	50.0000	50.0000	50.0000	146.5505	138.8564	68.3984	300.0000	50.0000	82.6064	5068.3
17	122.5359	238.6323	51.2515	50.0139	52.4533	50.0000	58.0304	50.0000	225.2912	85.0375	55.0835	292.7090	50.7247	68.2364	4911
18	151.3230	299.4734	68.8938	56.2198	98.9357	64.9157	55.3596	60.8123	150.7755	94.8782	54.9277	258.9307	50.0000	54.5586	5121.4
19	206.6298	277.3839	60.6296	91.5252	50.0000	59.4316	50.1562	56.9658	159.6314	50.0000	54.3864	249.2443	53.2545	50.7375	4962.3
20	299.9000	192.3541	60.0010	50.0000	54.0609	53.2049	79.5606	94.1029	101.7033	54.5299	57.5327	243.9467	58.9738	50.0000	4946.6
21	205.4763	117.5150	50.0000	50.5055	50.2182	91.4257	50.0939	154.0342	50.1392	51.0077	85.6685	223.8098	80.0083	50.0980	4758.5
22	130.4713	160.8424	52.0337	55.9388	50.0000	118.7170	50.0000	57.3437	126.4145	54.2088	50.0000	233.9596	69.8292	50.2960	4556.8
23	75.9902	221.5818	50.0000	86.3512	50.4298	59.3128	74.5925	51.1998	51.1678	55.1654	70.7370	299.8762	50.0000	53.5970	4463.7
24	70.3846	162.3313	64.2627	52.0540	72.9924	54.0623	50.7109	54.2304	65.4431	85.6942	52.3966	298.9241	60.9608	55.5527	4368.5
Coût total (\$)															113489.91

5.7.7.1.3 Solution BBO :

Tableau 5.57: Solution de BBO

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Coût(\$/h)
1	50.6149	59.2991	50.8689	84.0025	57.6110	61.4995	105.2914	80.9187	53.8562	122.7146	60.1924	82.3422	50.0000	80.7883	4288.5
2	51.2712	66.8357	63.3843	68.8367	97.4455	50.5645	135.0871	97.9015	77.6903	93.0656	86.7971	113.7614	103.0329	94.3253	4880.4
3	98.3600	50.8447	88.9445	55.6372	71.6668	117.0013	70.7788	92.5654	90.1595	54.3549	56.0160	78.3812	111.5672	63.7144	4584
4	84.6646	55.5188	92.4443	82.6330	51.4621	79.4379	57.3831	72.4523	66.9673	55.7573	51.5609	140.7842	51.2285	57.7150	4169.9
5	54.6728	78.9382	75.4124	51.0726	70.0459	51.5762	54.7391	99.0971	107.3068	52.9505	85.5266	118.8195	66.3329	53.5110	4235.5
6	71.4617	123.9488	50.8132	97.4107	104.0042	114.3687	81.0586	85.5759	88.6295	110.2549	63.5995	71.6920	86.8657	50.3165	4777.9
7	111.8727	106.7806	75.9669	51.0557	151.0124	88.3519	53.4139	84.1383	110.1770	91.0620	64.0924	124.1020	108.2627	129.7156	5197
8	111.0681	135.6915	80.7431	92.7368	108.3525	144.0015	90.8126	73.8106	102.1946	64.2796	79.0989	137.2924	115.4544	74.4644	5292.4
9	96.0161	163.3164	113.2324	70.9130	136.6669	93.8950	70.3763	84.2948	140.0917	124.3134	76.2307	129.1297	112.8811	78.6417	5508
10	85.5222	97.4596	109.5215	97.6988	127.9921	74.0528	105.3959	50.0036	111.6068	108.6800	60.5462	179.9985	96.8089	74.7131	5198.5
11	75.4972	71.3581	104.7029	97.7394	102.0342	112.7622	103.1862	86.5817	75.6940	127.9581	98.8938	229.8072	109.7492	104.0367	5531.1
12	98.7398	166.0455	96.8216	72.7802	190.4759	89.4149	104.7032	76.0529	89.1550	137.0840	122.0387	231.9237	113.7786	60.9862	5793.7
13	90.3132	143.3485	74.9169	140.7274	132.1967	100.3187	91.8787	105.6418	73.7181	103.4358	66.2393	149.0764	85.9510	152.2380	5677.4
14	82.9612	158.3291	85.1944	79.6104	95.0239	114.6461	69.3543	60.8062	101.5947	95.4704	94.4181	110.8516	125.2860	156.4504	5450.5
15	50.0000	114.0434	122.6389	84.4183	52.3194	148.6676	148.9889	72.5001	64.8293	105.7591	51.9044	71.0038	70.0792	152.8485	5299.5
16	58.6504	68.1254	135.5270	115.0613	74.3891	106.3349	128.7824	94.8287	112.1191	90.5473	118.3360	157.0893	110.3636	89.8448	5565
17	139.5535	114.6469	83.4545	101.6263	94.3214	168.8297	81.0496	117.4346	83.8187	87.4363	85.1733	100.6414	95.9148	96.0969	5480.6
18	89.8465	55.2332	178.9905	118.0419	92.5296	80.2931	141.0991	119.1993	119.4909	57.8621	108.4237	122.2613	112.1073	124.6212	5881.9
19	59.6739	65.3015	106.9513	120.2136	97.9467	96.0277	127.7565	67.5276	155.6043	105.9764	55.8893	203.7634	74.5384	132.8260	5528.8
20	129.7603	77.5536	71.9803	136.5642	67.3769	78.1069	102.3213	88.4740	117.2771	90.4244	110.9187	113.2204	103.9193	162.1028	5547.8
21	110.2911	50.2638	58.4234	72.7300	66.1852	76.7232	79.6624	154.1948	104.3027	73.5606	90.5398	111.7804	108.4738	152.8695	5205
22	65.7878	66.7086	87.4668	160.5053	116.3771	56.8706	56.8464	80.9499	85.2156	86.4127	82.0909	141.1451	112.4449	61.1804	4960.1
23	107.0947	59.3611	86.2082	101.5691	99.5525	95.8296	52.0245	64.7256	61.4930	100.4783	120.2563	191.2257	60.0097	50.1718	4721.9
24	98.8457	89.2505	78.9782	61.1070	54.8851	115.9893	121.7946	70.6185	95.5874	111.3014	96.4085	103.5364	50.7354	50.9672	4709.3
Coût total(\$)															123484.7

Tableau 5.58: Comparaison entre solutions

Méthode	Pop	Iter-Max	Violation de la demande	Coût (\$)	Emission (ton)
FA	50	100	0.0550-0.1292	113489.91	100.5449
PSOTVAC	50	200	0.0024 -0.0013	112683.8	120.0695
BBO	50	100	0.0092-0.0081	123484.7	75.336

5.7.7.1.4 *Interprétation de résultats :*

Ce test est dédié à la résolution mono-objective du coût du système 118 Jeux de barres sans pertes le tableau 5.62 rassemble les solutions de nos trois approches à savoir le FA, le BBO et le PSOTVAC, la meilleure solution est celle fournie par le PSOTVAC **112683.8 \$** qui correspond un dégagement de **120.0695 ton** d'émission, la solution complète de puissance générée de cet algorithme vérifiant toutes les contraintes imposées par dudit système est donnée en détail par le **tableau 5.59**, il est à noter que nous n'avons pas trouvé des solutions citées dans la littérature pour faire des comparaisons car ce test n'est pas encore traité.

5.7.7.2 *Optimisation Multi-objective sans perte 118 Jeux de Barres :*

5.7.7.2.1 *Solution de PSOTVAC, FA et BBO :*

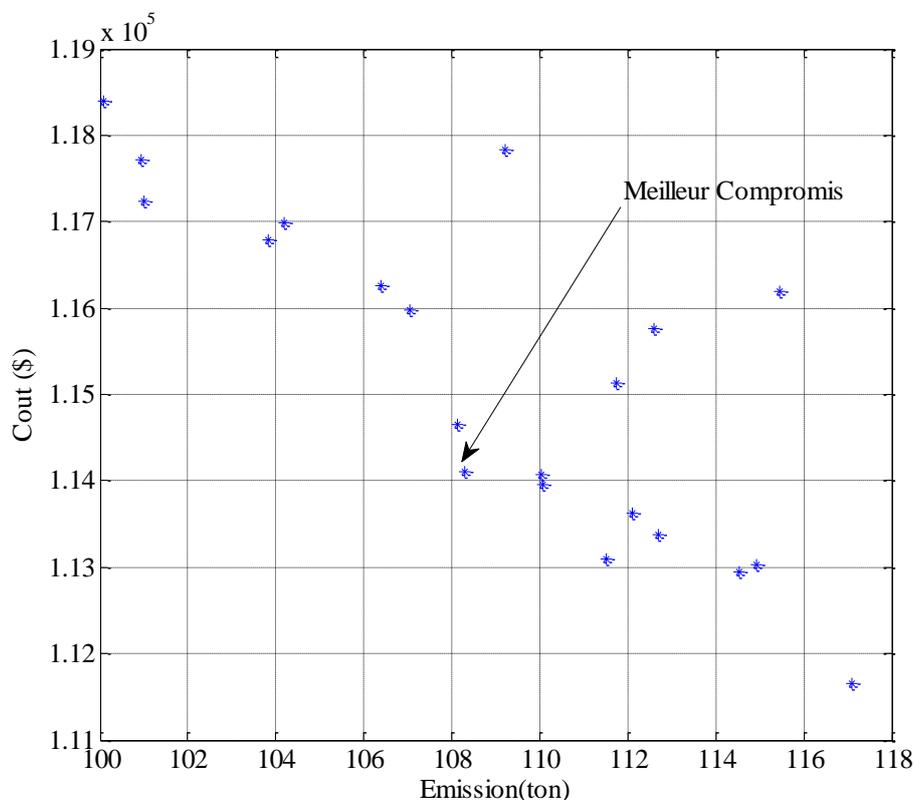


Figure 5.59: Solution de Pareto PSOTVAC

Tableau 5.59: Solution de PSOTVAC

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Coût(\$/h)
1	50.0000	153.1232	50.0000	50.0000	50.0000	51.3083	50.0000	50.0000	53.3573	70.4395	50.0000	221.7716	50.0000	50.0000	3925.4
2	135.5791	87.8131	119.7357	61.6470	50.0000	100.6518	136.5012	99.4217	50.7795	50.0000	50.0000	157.8701	50.0000	50.0000	4704.1
3	57.6832	110.2382	50.0000	50.0000	50.0000	54.3174	84.1906	101.3353	50.9363	50.0778	78.8009	205.8288	106.5905	50.0000	4344.5
4	77.2144	68.9266	50.0000	50.0000	50.3805	52.7419	50.0000	50.0000	50.0000	50.7361	50.0000	300.0000	50.0000	50.0000	3859.6
5	61.5289	68.7369	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	64.6142	103.5577	50.0000	50.0000	271.5614	50.0000	50.0000	3963.4
6	50.0000	55.6219	65.3793	50.0000	59.3560	50.0000	103.1154	135.2591	69.1899	74.6188	87.4597	300.0000	50.0000	50.0000	4528.2
7	50.4317	124.3107	50.0000	77.9767	50.0000	122.6908	50.0000	70.1035	102.3173	149.3793	124.8530	266.2125	61.7275	50.0000	4813.6
8	51.5429	209.1737	50.0000	50.0000	57.2535	165.8802	50.0000	71.5486	62.5997	108.6410	50.0000	300.0000	71.1965	112.1630	4990.9
9	69.3558	143.4180	71.2070	61.5559	112.3138	115.5121	107.7600	85.6748	78.8108	153.3594	67.4094	277.7374	95.8847	50.0000	5285
10	50.0000	68.8077	73.9399	50.0000	50.0000	168.3915	142.1241	50.0000	50.0000	157.4421	120.8951	289.5135	51.7300	57.1562	4979.2
11	101.1272	133.2861	84.9130	108.4665	52.0068	126.9083	111.7288	50.0000	50.0000	181.7350	142.0920	257.7357	50.0000	50.0000	5248.9
12	50.0000	165.7111	169.3292	50.1051	77.2168	51.7834	50.0000	99.5211	141.2782	258.4712	237.8499	186.0570	54.5625	58.1137	5750.9
13	50.0000	121.1415	176.1622	50.0000	50.0000	64.6035	50.1395	50.8230	50.0000	265.7499	230.1605	246.2498	53.7620	51.2103	5294
14	129.3377	68.7452	145.0847	50.0000	51.0757	50.0000	50.0000	50.1517	50.0000	226.2261	165.0569	294.3211	50.0000	50.0000	4983.8
15	164.1009	50.0000	53.5873	59.9788	50.0000	50.0000	50.0000	54.7769	78.4105	156.6927	202.4248	240.0277	50.0000	50.0000	4650.1
16	237.4972	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	104.7895	50.0000	78.4912	179.3854	203.9571	255.8794	50.0000	50.0000	5000.1
17	299.9320	99.6188	53.3589	53.1227	67.0848	50.0000	80.7755	50.0000	104.4141	97.9092	132.3880	212.5151	50.0000	98.8808	5036.9
18	299.9456	50.6813	50.0000	100.4321	142.2642	50.7470	116.4671	50.0000	123.3128	50.0000	90.1166	295.9924	50.0409	50.0000	5180.9
19	274.7215	63.6594	50.0000	163.0573	50.0000	50.0000	153.2283	50.0000	50.0486	50.0000	59.5696	300.0000	50.0000	105.7159	5170.1
20	296.0693	51.3502	50.0000	167.1732	77.7967	50.0000	67.0962	50.0000	54.7412	51.4401	56.4504	300.0000	50.0000	127.8817	5080.1
21	280.3858	50.0000	50.0000	106.9337	105.0455	52.9496	66.3199	50.0000	50.0000	50.0000	66.7717	277.7186	53.8722	50.0000	4634.7
22	300.0000	50.3947	50.8717	69.3920	50.0000	52.5263	50.0000	50.0000	60.6285	50.0000	50.0000	292.4836	83.7022	50.0000	4441.1
23	266.3982	50.0521	85.2269	82.2477	54.5050	50.0000	50.0000	57.7077	50.0000	59.4560	50.0000	293.4717	50.9338	50.0000	4455.5
24	193.0908	55.1382	51.1652	51.1847	56.9767	69.0337	50.0000	55.0908	92.1788	59.1920	50.0025	297.5889	50.3643	68.9924	4339.5
Coût total(\$)															114660.36

Tableau 5.60: Solution de FA

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Coût(\$/h)
1	192.2750	63.4954	51.6024	69.8552	58.2641	54.0863	57.9899	53.6497	50.0000	50.0000	57.9149	134.6310	50.0000	56.2578	4027
2	163.8634	91.7521	58.1885	161.3280	50.0000	96.8847	60.9220	122.3812	113.2446	65.3054	50.3598	59.6418	50.0000	56.1190	4759.4
3	78.3453	111.0203	62.8165	74.7334	75.8901	80.7004	50.0000	50.0000	57.5600	130.1678	61.1389	124.5070	83.9915	59.1176	4386.2
4	62.7517	89.5722	72.1643	52.6248	93.9814	72.1220	77.0870	52.2388	67.0455	50.1520	54.7407	148.8962	55.1992	51.4345	4123.5
5	133.3634	63.1505	93.8843	127.8518	53.6683	56.8087	61.0121	51.2013	62.9624	57.3433	50.1434	62.5439	83.3393	62.7280	4318.8
6	161.9343	73.6764	51.5753	56.4072	50.0000	100.4203	114.3008	70.1867	74.1303	141.6053	77.0608	127.8453	50.0000	50.8708	4601.7
7	104.7888	144.9126	50.0000	50.8855	53.9884	71.5467	158.5241	59.0615	70.8597	124.9957	78.5043	204.8640	92.0596	85.0099	4995
8	150.7587	151.1537	50.0000	108.5999	75.1021	59.1007	99.6134	54.8789	86.2709	118.7178	50.0000	299.1308	56.4136	50.2730	4909.9
9	134.4557	105.6660	66.1329	50.0000	63.2131	51.6685	66.9373	102.7602	154.8117	87.9736	114.9918	251.5711	129.9038	109.8920	5324.9
10	149.3219	50.9911	52.9365	83.9325	74.3115	99.7829	55.7602	53.0649	138.9350	85.4037	152.4357	277.3638	51.8109	53.9459	4849
11	227.4339	59.0357	65.2600	93.3926	102.3311	50.0000	58.0576	50.1143	135.8479	150.7389	103.1192	263.6722	78.1778	62.8298	5177.7
12	186.8759	146.6325	50.0000	120.2648	116.2824	50.0000	50.0847	86.7993	187.7713	158.0352	95.1927	239.2725	50.0000	112.8062	5642.4
13	157.7223	142.0230	50.0000	87.7190	58.0740	122.6625	79.2844	60.4893	247.5068	96.7306	143.6656	164.1221	50.0000	50.0000	5274.5
14	216.2683	207.8017	50.0220	84.1678	52.4905	50.0000	75.9435	59.3721	177.2731	134.8039	50.0000	154.6792	54.5787	62.6063	5026.3
15	191.8559	146.2697	90.7145	55.8576	77.6448	50.0000	63.4586	51.8675	155.2864	160.0117	67.0011	66.8184	67.9916	65.2329	4906
16	216.7666	144.4411	50.1543	50.0491	63.5678	66.2783	115.6142	99.9111	115.3726	172.3780	139.6754	86.7850	51.4632	87.5402	5297.7
17	158.4313	171.9206	72.9835	52.6753	80.3442	50.1014	53.5365	95.8986	138.3612	114.5454	157.8603	181.2534	55.9720	66.1148	5121.2
18	138.3466	228.6966	50.0000	50.0434	76.4690	50.0000	75.4274	88.2217	61.0698	137.6179	191.8184	190.4939	117.5416	64.2610	5311
19	74.9070	296.6956	72.2478	53.9147	57.0795	125.3106	73.3672	50.0000	50.0000	50.5590	220.4098	227.8643	59.5288	58.0979	5079
20	50.0000	267.3485	94.4423	127.6477	73.3869	61.4880	52.2063	50.5558	130.6743	57.5751	140.0509	202.9085	58.5716	83.1606	5171.9
21	50.6210	186.4753	75.1328	111.3578	69.2391	72.9654	50.0000	50.4387	138.0078	50.4922	133.4560	214.1098	53.3323	54.3642	4770.4
22	97.4671	194.2218	50.2347	51.4563	110.1549	50.7467	57.0677	50.3094	171.7285	54.9546	146.6894	120.7774	54.0008	50.1907	4675
23	77.3260	135.1446	142.7483	53.8809	102.5459	52.1700	50.1984	50.0000	112.0364	57.3558	135.5165	167.0082	58.2155	55.8510	4735.6
24	50.0000	52.0154	50.0000	80.5662	50.0000	104.7019	100.6892	66.7722	185.5261	72.7753	59.1150	145.4308	87.3114	95.0945	4756.3
Coût total(\$)															117240.4

Tableau 5.61: Solution de BBO

H	Pg1	Pg2	Pg3	Pg4	Pg5	Pg6	Pg7	Pg8	Pg9	Pg10	Pg11	Pg12	Pg13	Pg14	Coût(\$/h)
1	51.5709	99.6689	66.3540	57.7207	76.9093	55.5303	70.0988	65.0291	75.1884	94.6897	50.0000	93.1282	62.4452	81.6658	4228.4
2	66.7841	156.7813	79.0981	66.4559	97.0211	57.3882	62.6174	92.3373	73.2137	94.0959	79.6964	141.0860	75.1441	58.2746	4659.1
3	79.7810	58.9485	85.1104	119.2239	75.8820	73.2726	52.5715	59.5082	90.8437	54.4735	82.3918	74.0931	109.2388	84.6629	4591.1
4	100.6052	65.8693	65.7424	53.4738	74.4493	54.9919	50.6952	54.2246	86.1778	50.3373	55.4678	97.6789	136.7903	53.4860	4209.1
5	64.7767	80.9842	87.2234	63.8876	51.7699	78.1331	50.7702	55.7328	52.9186	62.7418	117.2885	81.0192	80.8547	91.9012	4308.4
6	92.1427	72.9672	75.2517	77.6052	58.6394	50.0027	103.4212	81.2990	101.5424	110.2529	98.0988	98.2582	76.1730	104.3414	4805.5
7	87.7561	98.3816	95.6402	129.2881	83.8284	79.5173	91.8576	123.3619	88.5125	109.0824	63.4435	123.3414	90.8787	85.1088	5239.3
8	69.5893	75.7770	61.3367	114.9567	115.1188	118.4649	68.7081	73.9047	183.3862	111.8033	80.3497	129.1265	98.7508	108.7276	5352.9
9	120.0007	127.2449	84.7525	79.3868	131.4405	114.3238	129.9448	118.7677	85.4772	72.0960	126.2678	146.4578	61.2488	92.5916	5527.6
10	71.6946	87.0734	90.4090	101.1300	118.4666	72.9003	89.2583	98.4200	68.7755	130.9975	143.7941	138.1943	74.0634	94.8234	5265.3
11	90.7848	110.2117	165.9112	147.1045	99.9656	84.5141	113.0726	78.4256	86.8663	101.5171	143.4168	130.6964	85.8408	61.6744	5620.3
12	184.8247	183.1643	136.5936	78.7908	83.0904	124.9449	148.2469	54.5955	98.9389	96.4210	145.1828	137.1346	96.1138	81.9591	5871.4
13	180.5839	103.4911	83.2323	137.1644	156.9872	81.6516	142.2092	88.5716	95.1456	59.9839	81.3038	131.3902	107.5835	60.7051	5602.5
14	110.8055	121.0906	107.4231	143.4023	113.6321	68.4944	85.5590	90.0981	104.3971	97.6693	99.2142	120.3192	97.1005	70.7957	5395.7
15	89.5430	101.7138	97.5590	107.5433	73.6518	63.6865	117.7355	62.0726	109.7735	101.0078	77.7435	126.6445	90.8578	90.4668	5081.3
16	79.8396	56.8634	108.8746	85.1081	115.5185	142.5049	139.3543	88.8400	71.5915	96.8948	135.8678	144.7217	93.7208	100.2985	5560.5
17	132.6355	79.8646	87.2737	87.6539	120.3707	140.3997	90.3338	104.8971	83.2623	109.2731	81.7583	89.4766	112.9560	129.8453	5574.8
18	107.9875	80.4181	97.2243	98.3963	70.6220	149.6946	64.9205	130.3282	125.5221	159.5140	136.3295	138.5137	91.0058	69.5208	5581.1
19	160.9684	82.9652	97.8609	82.7597	127.1188	123.3126	78.8867	126.4172	120.3438	90.9787	68.8576	131.9363	96.9375	80.6565	5489
20	119.5496	178.1082	55.0103	89.0099	94.2182	113.4487	77.3041	142.3326	101.9011	88.1827	58.4200	127.2679	124.7883	80.4631	5405.7
21	150.6131	82.8669	77.3781	131.5021	51.4330	76.3925	105.8150	142.7823	116.4455	56.8573	78.4901	64.1481	112.5337	62.7460	5164.8
22	79.4582	98.4760	108.3614	80.3969	62.9563	106.7553	84.9033	108.9805	134.2589	89.7637	88.8798	75.4659	84.8220	56.5238	4981.4
23	69.3198	59.9353	97.3976	130.0588	72.7121	54.9251	76.2142	93.5755	121.7054	115.3439	81.4952	107.6209	52.6690	117.0271	4987.8
24	67.0619	89.8848	52.9406	81.7391	56.4099	57.7856	117.5317	89.4533	158.0154	90.0600	98.8571	86.4248	55.5281	98.3082	4799.2
Coût total(\$)															123302.11

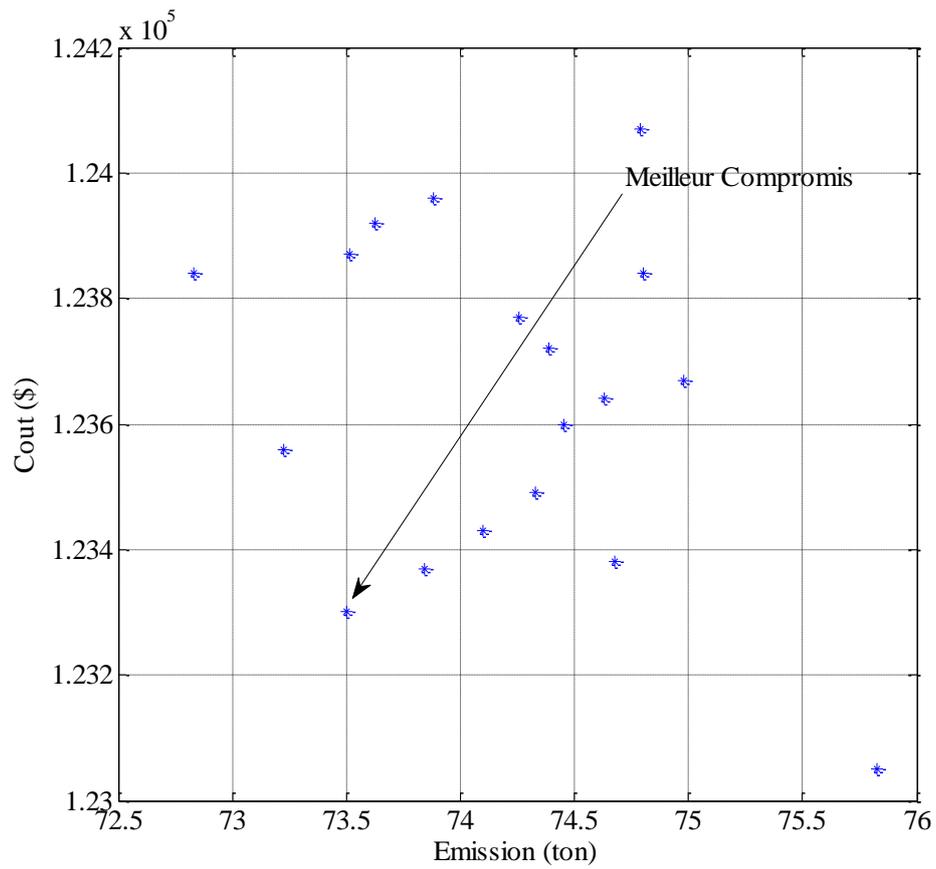


Figure 5.60: Distribution de Pareto FA

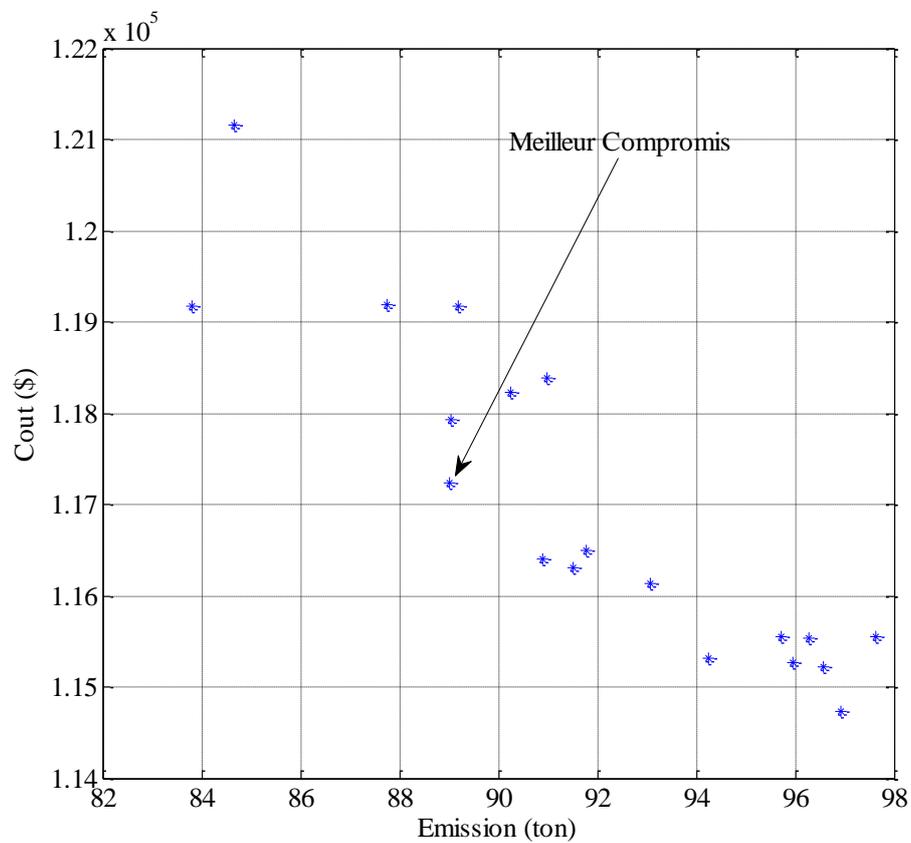


Figure 5.61: Distribution de Pareto BBO

Tableau 5.62: Comparaison entre solutions

Méthode	Pop	Iter	Violation de la demande	Coût (\$)	Emission (ton)
FA	50	100	0.0217-0.0223	117240.4	89
PSOTVAC	50	200	0.0030-0.0030	114660.36	108.12
BBO	50	100	-0.0102- 0.0047	123302.11	73.4997

5.7.7.2.2 Interprétation des résultats :

Dans cette section une optimisation multi-objective vise à minimiser simultanément le coût et l'émission dégagée pour le réseau test **118** jeux de barres avec une fonction non linéaire du coût et l'émission avec contraintes rampes et sans considérer les pertes de transmission, la base de donnée employée est la même utilisée par [101], les contraintes rampes sont donnée par [101], en effet l'approche PSOTVAC aboutit au meilleur compromis (Coût-Emission) (**114660.36\$-108.12 ton**) comparativement par le FA et le BBO sans aucune violation de contraintes la solution complète de cette dernière est abordée par le **Tableau 5.63** le Meilleur Compromis trouvé est indiqué par la **figure (5.60)** représentant la courbe de Pareto de cet algorithme.

5.8 Cas d'étude N°8 Ecoulement de Puissance pour la Solution Multi objective Système 6 unités

5.8.1 Introduction :

Ce test envisage le problème de l'écoulement de puissance de la solution multi objectives système 6 unités obtenue lors de l'étude du cas d'étude N°7, l'objectif de ce test est de vérifier les différents paramètres de l'écoulement de puissance accompagnant les puissances actives obtenues à savoir les valeurs minimales et maximale de tension de jeux de barres de contrôle et de charge, les puissances maximales et minimales de puissance réactive de générateurs de production et les puissances maximales apparentes des lignes de transmission, à cet effet on a choisi d'obtenir la solution de l'écoulement de puissance qui correspond le vecteur de puissance active générée de la première heure (système 6 unité multi objectif), cette étude se généralise pour les autres heures. La solution ainsi obtenu est comme suit :

Tableau 5.63: Solution de jeux de barre (bus data) :

N°J.B	Tension		Puissance générée		Charge	
	Amplitude(P.U)	Angle(deg)	P (MW)	Q (MVAr)	P (MW)	Q(MVAr)
1	1.000	0.000	19.65	5.03	0	0
2	1.000	-0.617	33.38	77.20	37.28	21.82
3	0.974	-0.012	0	0	4.12	2.06
4	0.969	0.075	0	0	13.06	2.75
5	0.968	-1.344	0	0	0	0
6	0.958	-0.143	0	0	0	0
7	0.945	-1.591	0	0	39.17	18.72
8	0.935	-0.853	0	0	51.53	51.53
9	0.960	2.669	0	0	0	0
10	0.963	4.134	0	0	9.96	3.44
11	0.960	2.669	0	0	0	0
12	0.965	4.760	0	0	19.24	12.88
13	1.000	10.424	68.05	28.19	0	0
14	0.949	3.926	0	0	10.65	2.75
15	0.959	4.464	0	0	14.09	4.29
16	0.951	3.914	0	0	6.01	3.09
17	0.950	3.654	0	0	15.46	9.96
18	0.937	2.915	0	0	5.50	1.55
19	0.930	2.371	0	0	16.32	5.84
20	0.937	2.711	0	0	3.78	1.20
21	0.986	5.649	0	0	30.06	19.24
22	1.000	6.291	107.27	55.54	0	0
23	1.000	7.272	40.27	14.26	5.50	2.75
24	0.979	6.387	0	0	14.94	11.51
25	0.982	7.029	0	0	0	0
26	0.951	6.233	0	0	6.01	3.95
27	1.000	7.911	63.32	21.90	0	0
28	0.961	0.514	0	0	0	0
29	0.963	5.641	0	0	4.12	1.55
30	0.942	4.004	0	0	18.21	3.26

Tableau 5.64: Solution de line data :

Brnch	From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss ($I^2 * Z$)	
			P (MW)	Q (MVA _r)	P (MW)	Q(MVA _r)	P (MW)	Q (MVA _r)
1	1	2	16.17	-6.79	-16.11	3.97	0.058	0.17
2	1	3	3.48	11.82	-3.39	-13.43	0.088	0.34
3	2	4	-0.44	17.25	0.64	-18.62	0.200	0.57
4	3	4	-0.73	11.37	0.75	-11.32	0.014	0.05
5	2	5	9.56	12.67	-9.42	-14.05	0.139	0.56
6	2	6	3.10	21.50	-2.79	-22.49	0.309	0.93
7	4	6	14.95	24.48	-14.86	-24.12	0.088	0.35
8	5	7	9.42	14.23	-9.26	-14.75	0.163	0.39
9	6	7	30.21	3.88	-29.91	-3.97	0.305	0.81
10	6	8	38.76	44.07	-38.38	-42.57	0.376	1.50
11	6	9	-21.48	-0.66	21.48	1.71	0.000	1.06
12	6	10	-12.28	-0.38	12.28	1.30	0.000	0.92
13	9	11	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.000	0.00
14	9	10	-21.48	-1.71	21.48	2.27	0.000	0.55
15	4	12	-29.39	2.72	29.39	-0.30	0.000	2.41
16	12	13	68.05	-20.59	68.05	28.19	0.000	7.60
17	12	14	6.48	2.93	-6.42	-2.79	0.065	0.14
18	12	15	4.75	1.97	-4.73	-1.93	0.020	0.04
19	12	16	8.19	3.12	-8.11	-2.95	0.074	0.16
20	14	15	-4.23	0.04	4.28	0.00	0.044	0.04
21	16	17	2.10	-0.14	-2.10	0.15	0.004	0.01
22	15	18	12.76	3.44	-12.55	-3.02	0.209	0.42
23	18	19	7.06	1.48	-7.02	-1.40	0.036	0.08
24	19	20	-9.30	-4.44	9.34	4.53	0.037	0.09
25	10	20	13.33	6.22	-13.12	-5.73	0.210	0.49
26	10	17	13.46	10.36	-13.36	-10.11	0.093	0.25
27	10	21	-41.63	-13.48	42.25	14.92	0.620	1.45
28	10	22	-28.88	-10.10	29.58	11.62	0.707	1.52
29	21	22	-72.31	-34.16	72.97	35.48	0.658	1.32
30	15	23	-26.40	-5.81	27.19	7.39	0.794	1.59
31	22	24	4.72	8.44	-4.61	-8.27	0.112	0.17
32	23	24	7.58	4.12	-7.48	-3.92	0.097	0.20
33	24	25	-2.85	0.72	2.87	-0.69	0.017	0.03
34	25	26	6.16	4.17	-6.01	-3.95	0.143	0.22
35	25	27	-9.03	-3.48	9.13	3.69	0.107	0.20
36	28	27	-30.94	-7.30	30.94	11.67	0.000	4.37
37	27	29	10.79	3.24	-10.51	-2.71	0.279	0.53
38	27	30	12.47	3.30	-11.93	-2.31	0.532	1.00
39	29	30	6.38	1.16	-6.27	-0.96	0.109	0.20
40	8	28	-13.15	-8.97	13.32	7.71	0.164	0.55
41	6	28	-17.56	-0.31	17.62	-0.41	0.067	0.20

Tableau 5.65: Violation de tension au niveau de jeux de barres :

bus	valeur
7	0.945
8	0.935
14	0.949
18	0.937
19	0.93
20	0.937
30	0.942

Tableau 5.66: Violation de puissance réactive des générateurs de production :

GEN	VIOL	MARGE
01	77.2	-20-60

Tableau 5.67: Violation de puissance apparentes des lignes de transmission :

Branch	from	to	SIJ	SJI	Limit
10	6	8	58.6899	57.3169	32.0000
16	12	13	71.0968	73.6578	65.0000
29	21	22	79.9728	81.1385	32.0000
27	10	21	43.7581	44.8070	32.0000
30	15	23	27.0318	28.1764	16.0000

5.8.2 Conclusion :

D'après les résultats sus dessus des violations de contraintes de tensions et de la puissance réactive aux niveaux de quelques unités de production sont obtenues, cela démontre clairement que l'ajustement des puissances actives est une tâche nécessaire mais insuffisante pour garantir une exploitation efficace des réseaux électriques dans le régime normal et anormal (défauts). Alors, l'ajustement dynamique de la puissance réactive est une tâche complémentaire permettant ainsi d'assurer un contrôle flexible de la tension aux niveaux des jeux de barres ce qui entraîne une réduction des pertes dans les lignes de transmission. Le contrôle de la puissance réactive s'effectue au niveau des sources de production par l'ajustement automatique du courant d'excitation aux niveaux des sources conventionnelle (Machine synchrone) et aussi par les moyens de compensation classique (Batteries de condensateurs et inductances) et statiques connue sous le nom 'systèmes FACTS' installés dans des locations bien déterminées. A titre d'exemple, si nous changeons la tension de la source 22 de 1 p.u à 1.06 p.u, les tensions aux niveaux des jeux de barres de charge 16, 17, 18 s'améliorent, de plus l'ajustement de la tension au niveau de la source 2 de 1 p.u à 0.98 p.u réduit considérablement la puissance réactive fournie de 64 MVar à 18 MVar , ce problème est connu sous le nom du problème de dispatching de la puissance réactive.

Conclusion générale

Cette thèse dénommée « Contribution à l'optimisation multi-objective du coût et l'émission de gaz considérant les contraintes pratiques et de sécurités » présente une étude détaillée du problème de répartition de puissance optimale par utilisation des méthodes méta heuristiques en tenant en compte :

1. L'aspect environnemental : afin de préserver l'environnement et d'obéir aux différentes conventions internationales.
2. Les contraintes pratiques liées essentiellement à la stabilité et le bon fonctionnement des machines tournantes de production à savoir les :
 - ✓ Les contraintes rampes : le respect de ces contraintes influe positivement à la longévité de la machine.
 - ✓ Les contraintes des zones de fonctionnement prohibées : le respect de ces contraintes évite des vibrations importantes au niveau des paliers de la machine.
3. Les contraintes de sécurité : les puissances produites par nos générateurs doivent respecter les flux maximaux supportés par les lignes de transmission afin d'éviter des échauffements considérables voire même des coupures de certaines d'elles, et respecter les niveaux maximaux et minimaux de tension de tous les jeux de barres.
4. Les tests envisagés sont solutionnés sans et avec pertes.

Toutes ces contraintes sont étudiées séparément et simultanément et ce afin d'arriver à solutionner le cas le plus réel du problème en question via 08 cas d'études traitées, chaque un d'eux comportant plusieurs tests tels que 6,10,13,14,15 et le grand réseau test 30 unités et ce pour généraliser notre étude d'une part et vérifier nos approches proposées d'autre part.

Cette thèse porte une étude comparative entre plusieurs algorithmes qui ont été développés dans le cadre de cette thèse et ceux trouvés dans la littérature à savoir :

1. L'algorithme d'essaim de particules dénommé (PSOTVAC).
2. L'algorithme de luciole dénommé (FA).
3. L'algorithme de biogéographie dénommé (BBO).

Et plusieurs algorithmes hybrides tels que :

1. L'algorithme hybride entre le (PSOTVAC) et (FA) dénommé (FA-PSOTVAC).
2. L'algorithme hybride entre le (PSOTVAC) et le (BBO) dénommé (BBO-PSOTVAC).
3. L'algorithme hybride entre le (FA) et le (BBO) dénommé (FA-BBO).

Ces algorithmes prouvent leurs robustesse et qualité de convergence pour les tests comportant de multitude de contraintes d'un côté et les réseaux test de grande taille d'autre coté ou les algorithmes standards ne peuvent paliers toutes les contraintes donnant par la suite des violations qui affectent un ou plusieurs générateurs de productions.

Des comparaisons riches entre nos solutions et ceux trouvés dans la littérature ont été largement discutées de point de vue de qualité de solution, violation des contraintes, temps d'exécution, taille de population et d'autres paramètres qui sont menus de comparaisons ponctuelles afin de clarifier les avantages et les handicapes de chaque méthode.

Comme perspectives nous proposons :

1. d'inclure l'étude des unités thermiques fonctionnant en multi-fuel et ce en additionnant les contraintes déjà étudiées dans le cadre de ce travail.
2. Envisager l'étude de la planification de la puissance réactive comme deuxième axe de recherche et comme complément de notre étude pour avoir un écoulement de puissance sans violation de contrainte (Cas d'étude N°8) accompagnant la solution de la répartition optimale des puissances actives produites.
3. Envisager la solution de l'engagement des turbines communément appelé « Unit commitment ».
4. Insertion de source de l'énergie renouvelable et/ ou solaire au dudit problème.
5. Développer d'autre algorithmes hybrides pouvons calculer des solutions meilleures que celles déjà citées dans la littérature.

Bibliographique

- [1] Wang C, Shahidehpour S.M. "Ramp-Rate Limits in Unit Commitment and Economic Dispatch Incorporating Rotor Fatigue Effect. IEEE Transactions on Power Systems. 1994; 9(3): 1539-1545
- [2] M. Basu "Kinetic gas molecule optimization for non convex economic dispatch Problem" Electrical Power and Energy Systems 80 (2016) 325–332
- [3] P.K. Hota, N.C. Sahu "Non-Convex Economic Dispatch with Prohibited Operating Zones through Gravitational Search Algorithm" International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 5, No. 6, December 2015, pp. 1234~1244
- [4] O. Orero, M.R. Irving, Economic dispatch of generators with prohibited operating zones: a genetic algorithm approach, IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution 143 (November (6)) (1996).
- [5] Convention-cadre sur les changements climatiques Conférence des Parties Vingt et unième session Paris, 30 novembre-11 décembre 2015.
- [6] Belkacem Mahdad K. Srairi " Blackout risk prevention in a smart grid based flexible optimal strategy using Grey Wolf-pattern search algorithms" Energy Conversion and Management 98 (2015) 411–429.
- [7] Synthèse L'équilibre offre-demande d'électricité pour l'hiver 2018-2019 RTE.
- [8] B. Mahdad, K. Srairi, and T. Bouktir "Dynamic Strategy Based Parallel GA Coordinated with FACTS devices to Enhance the Power System Security" IEEE 978-1-4244-4241-6/09
- [9] Belkacem Mahdad K. Srairi " Security Constrained Optimal Power Flow Solution Using New Adaptive Partitioning Flower Pollination Algorithm " Applied Soft Computing PII: S1568-4946(16)30228-9
- [10]Mahdad Belkacem , K. Srairi "Multi objective large power system planning under sever loading condition using learning DE-APSO-PS strategy" Energy Conversion and Management 87 (2014) 338–350
- [11]Belkacem Mahdad, "Differential Evolution based Dynamic Decomposed Strategy for Solution of Large Practical Economic Dispatch" 978-1-4244-8782-0/11/IEEE.
- [12]V. R. Roberge, "Contribution à l'optimisation des réseaux électriques intelligents par le développement d'un cadre pour métaheuristiques parallèles sur processeurs graphiques" thèse soumise à la division des études supérieures du Collège militaire royal du Canada Janvier 2016
- [13]K.Chandram, N.Subrahmanyam, M. Sydulu "Brent method for Dynamic Economic Dispatch with Transmission Losses" IEEE 2008 978-1-4244-1904-3/08
- [14]J. Y. Fan, J. D. McDonald "A practical approach to real time economic dispatch considering unit's prohibited operating zones" IEEE transactions on power systems, vol. 9, no. 4, november 1994
- [15]Fred N. Lee Arthur M. Breipohl "Reserve constrained economic dispatch with prohibited operating zones" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 1, February 1993
- [16]Vinod M Raj, SaurabhChanana "Analysis of Unit Commitment Problem through Lagrange Relaxation and Priority Listing Method IEEE 2014 978-1-4 799-6042-2/14 .
- [17]Nnamdi Nwulu "Emission Constrained Bid based Dynamic Economic Dispatch using Quadratic Programming" International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS-2017) 978-1-5386-1887-5 IEEE

- [18] B. Mahdad, K. Srair, T. Bouktir "Improved Parallel PSO Solution to Economic Dispatch with Practical Generator Constraints" 978-1-4244-5795-3/10 IEEE
- [19] Vinay Kumar Jadoun, Nikhil Gupta, K.R. Niazi, Anil Swarnkar "Modulated particle swarm optimization for economic emission dispatch" *Electrical Power and Energy Systems* 73 (2015) 80–88
- [20] Debashis Jana, Ankita Chatterjee, Niladri Chakraborty, Ayoshna Saha, Arnab Kumar Saha, Allama Hossain, Sampriya Podder, Sanchari Das, Ankhi Bhattacharya, "Dynamic Economic Emission Dispatch using Self-adaptive Multivariate Distribution based Modified Real Coded Genetic Algorithm" IEEE 978-1-5090-4228-9/17
- [21] Anbo Meng, Hanwu Hu, Hao Yin, Xiangang Peng, Zhuangzhi Guo "Crisscross optimization algorithm for large-scale dynamic economic dispatch problem with valve-point effects" *Energy* 93 (2015) 2175-2190.
- [22] Dinh Hoa Nguyen, Tatsuo Narikiyo, Michihiro Kawanishi "Dynamic Environmental Economic Dispatch: A Distributed Solution based on an Alternating Direction Method of Multipliers" IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies 2016 (ICSET)
- [23] R. Balamurugan and S. Subramanian "Differential Evolution-based Dynamic Economic Dispatch of Generating Units with Valve-point Effects" *Electric Power Components and Systems*, 2008 36:828–843.
- [24] Bishwajit Dey; Shyamal Krishna Roy; Biplab Bhattacharyya "Neighborhood based differential evolution technique to perform dynamic economic load dispatch on microgrid with renewables" 2018 4th International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT) Page s: 1 – 6 2018
- [25] Suppakarn Chansareewittaya, Karn Soponronnarit, Phakphoom Boonyanant "Modified DE/Sin for Economic Dispatch and Environmental Dispatch » 2018 5th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR), Bangkok, Thailand 978-1-5386-5254-1 IEEE.
- [26] Vinay Kumar Jadoun, Vipin Chandra Pandey, Nikhil Gupta, Khaleequr Rehman Niazi, Anil Swarnkar "Integration of renewable energy sources in dynamic economic load dispatch problem using an improved fireworks algorithm » *IET Renew. Power Gener.*, 2018, Vol. 12 Iss. 9, pp. 1004-1011.
- [27] Hassan Barati and Mohammad Sadeghi "An efficient hybrid MPSO-GA algorithm for solving non-smooth/non-convex economic dispatch problem with practical constraints" *electrical engineering* 2016.
- [28] Pengpeng Yang, Chunping Zhu, Long Zhao Mingqiang Wang, Xingyao Ning, Yuan Liu "Solving Dynamic Economic Dispatch With Point Effect by A Two-Step Method" IEEE 978-1-5090-2597-8/16.
- [29] R. Balamurugan and S. Subramanian "An Improved Dynamic Programming Approach to Economic Power Dispatch with Generator Constraints and Transmission Losses " *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 3, No. 3, pp. 320-330, 2008
- [30] R. Arul, G. Ravi b, S. Velusami a "Chaotic self-adaptive differential harmony search algorithm based dynamic economic dispatch" *Electrical Power and Energy Systems* 50 (2013) 85–96
- [31] Zhaolong Wu, Jianying Ding, Q. H. Wu, Zhaoxia Jing, and Jiehui Zheng "Reserve Constrained Dynamic Economic Dispatch with Valve-point Effect: A Two-stage Mixed Integer Linear Programming Approach" *CSEE journal of power and energy systems*, VOL. 3, NO. 2, JUNE 2017
- [32] Zhe-Lee Gaing, Ting-Chia Ou "Dynamic Economic Dispatch Solution Using Fast Evolutionary Programming with Swarm Direction" IEEE 2009 978-1-4244-2800-7
- [33] M. S. P. Subathra, S. Easter Selvan, T. Aruldoss Albert Victoire, A. Hepzibah Christinal, and Umberto Amato "A Hybrid With Cross-Entropy Method and Sequential Quadratic Programming to Solve Economic Load Dispatch Problem" *IEEE Systems journal* 2014 1932-8184
- [34] Kennedy J, Eberhart R., "Particle swarm optimization" In: *Proceedings of the IEEE conference on neural networks (ICNN'95)*, vol. IV. Perth, Australia; pp.1942–1948. 1995.
- [35] Mohammadi-ivatloo B, Rabiee A, Mehdi Ehsan "Time Varying Acceleration Coefficients IPSO for Solving Dynamic Economic Dispatch with Non-Smooth Cost Function. *Energy conversion and management*. 2012; 56, pp 175-183.
- [36] R. Mac Arthur & E. Wilson. *The Theory of Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1967
- [37] D. Simon. Biogeography-based optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(6): 702–713, 2008.

- [38] Aniruddha Bhattacharya, Pranab Kumar Chattopadhyay “Biogeography-Based Optimization for Different Economic Load Dispatch Problems” IEEE transactions on power systems, vol. 25, no. 2, may 2010
- [39] Chandan Kumar Chanda, Deblina Maity, Sumit Banerjee. Economic Dispatch Solution for Cogeneration Unit Assisted by Biogeography Based Optimization Algorithm in Competitive Environment. 2017 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC): 2017 :1-5.
- [40] Rajasomasheka. S, Aravindhababu P. “Biogeography Based Optimization Technique for Best Compromise Solution of Economic Emission Dispatch”, Swarm and Evolutionary Computation 2012; 7: 47–57
- [41] Mahdad B ,Srairi K, Security Optimal Power Flow Considering Loading Margin Stability Using Hybrid FFA–PS Assisted with Brainstorming Rules. Applied Soft Computing 2015; 35: 291–309
- [42] Xin-She Yang, SeyyedSoheil Sadat Hosseini, Amir Hossein Gandomi, Firefly Algorithm for solving non-convex economic dispatch problems with valve loading effect, Appl. Soft Comput., vol. 12, pp. 1180–1186, 2012.
- [43] Abhishek Rajan, T. Malakar, Optimal reactive power dispatch using hybrid Nelder–Mead simplex based firefly algorithm, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vo. 66, 2015, Pages 9–24.
- [44] Apostolopoulos Theofanis, Vlachos Aristidis. Application of the Firefly Algorithm for solving the economic emissions load dispatch problem. Int J Combin 2011: 1–23.
- [45] Zwe-Lee Gaing “Constrained dynamic economic dispatch solution using particle swarm optimization” In: Power eng. society general meeting, IEEE conference, vol. 1; 2004. p. 153–8.
- [46] Newsletter Sonelgaz n°34 Plan de développement 2015 – 2025
- [47] Slimani Linda thèse de doctorat “Contribution à l’application de l’optimisation par des méthodes métaheuristiques à l’écoulement de puissance optimal dans un environnement de l’électricité dérégulé” Université de Batna Algérie 2009.
- [48] Rapport d’activités et comptes de gestion consolidées Sonelgaz 2014
- [49] Newsletter Sonelgaz n°26 - Septembre 2013.
- [50] Rapport d’activités et comptes de gestion consolidées sonelgaz 2013.
- [51] Chiffres clés du climat France, Europe et Monde Édition 2019
- [52] Jana Degrott, Pierre-Antoine Klethi, Christophe Mersch, Gaspard Thiercelin, Jessie Thill, Elisha Winckel “Résolution sur la conférence de Paris sur le climat (COP 21)”
- [53] <https://allemagne-energies.com.fr/chapitre-2>
- [54] National Hurricane Center
- [55] Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (Giec), 1er groupe de travail, 2013.
- [56] panorama de l’électricité renouvelable au 30 septembre 2018/RTE-France
- [57] Nicolas Berghmans¹ et Emilie Alberola² “Le secteur électrique en phase 2 de l’EU ETS : moins d’émissions de CO₂, mais toujours autant de charbon” N°42 Novembre 2013
- [58] Contribution Prévue Déterminée au niveau National CPDN – ALGERIE
- [59] Bruno Vieira, Ana Viana, Manuel Matos, João Pedro Pedroso “A multiple criteria utility-based approach for unit commitment with wind power and pumped storage hydro” Electric Power Systems Research 131 (2016) 244–254
- [60] Kári Hreinsson, Maria Vrakopoulou, Göran Andersson “Stochastic security constrained unit commitment and non-spinning reserve allocation with performance guarantees” Electrical Power and Energy Systems 72 (2015) 109–115
- [61] Z.L. Wu, J.Y. Ding, Q.H. Wu, Z.X. Jing, X.X. Zhou “Two-phase mixed integer programming for non-convex economic dispatch problem with spinning reserve constraints” Electric Power Systems Research 2016
- [62] Vikram Kumar Kamboj, S.K. Bath, J.S. Dhillon “Implementation of hybrid harmony search/random search algorithm for single area unit commitment problem” Electrical Power and Energy Systems 77 (2016) 228–249

- [63] J.M. Lujano-Rojas, G.J. Osório, J.P.S. Catalão “New probabilistic method for solving economic dispatch and unit commitment problems incorporating uncertainty due to renewable energy integration” *Electrical Power and Energy Systems* 78 (2016) 61–71
- [64] Yang Bai, Haiwang Zhong, Qing Xia, Chongqing Kang, Le Xie “A decomposition method for network-constrained unit commitment with AC power flow constraints” *Energy* 88 (2015) 595-603
- [65] Anup Shukla, S.N. Singh “Advanced three-stage pseudo-inspired weight-improved crazy particle swarm optimization for unit commitment problem” *Energy* 96 (2016) 23e36
- [66] Hamed Mostefa “Dispatching économique dynamique par utilisation des méthodes d’optimisation globales” *Mémoire de Magister Université de Biskra* 2013 Algérie.
- [67] Mostefa HAMED, belkacem MAHDAD, kamel SRAIRI, nabil MANCER “Application of a Novel Modified Hybrid Algorithm for Solving Dynamic Economic Dispatch Problem with Practical Constraints” *advances in electrical and electronic engineering AEEE volume 16 number 04*, 2018 pp 459-470
- [68] M. Basu “Quasi-oppositional group search optimization for multi-area dynamic economic dispatch” *Electrical Power and Energy Systems* 78 (2016) 356–367
- [69] Zhe-Lee Gaing. “Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints”. *IEEE transactions on power systems*. 2004; 19(4):2122 - 2123.
- [70] Fahad Parvez Mahdi, Pandian Vasant, Vish Kallimani, Junzo Watada, Patrick Yeoh Siew Fai, M. Abdullah-Al-Wadud. A Holistic Review on Optimization Strategies for Combined Economic Emission Dispatch Problem. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018; 81(2): 3006-3020
- [71] Nicole Pandit, Anshul Tripathi, Shashikala Tapaswi, Manjaree Pandit “An improved bacterial foraging algorithm for combined static/dynamic environmental economic dispatch” *Applied Soft Computing* 12 (2012) 3500–3513
- [72] Taher Niknam, Faranak Golestaneh “Enhanced Bee Swarm Optimization Algorithm for Dynamic Economic Dispatch” *IEEE systems journal* 1932-8184, 2012
- [73] M. Basu “Teaching learning-based optimization algorithm for multi-area economic dispatch” *Energy* 2014 Volume 68, 2014, pp 21-28
- [74] J. N. Trivedi, Avani H. Ranpariya, Arvind Kumar, Pradeep Jangir “Economic Load Dispatch Problem with Ramp Rate Limits and Prohibited Operating Zones Solve using Levy Flight Moth-Flame Optimizer” 978-1-4673-9925-8 *IEEE* 2016
- [75] Piyush Jain, K.K. Swarnkar, S. Wadhvani, A.K. Wadhvani “Prohibited Operating Zones Constraint with Economic Load Dispatch using Genetic Algorithm” *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* Volume 1, Issue 3, March 2012
- [76] Ali Ghasemi “A fuzzified multi objective Interactive Honey Bee Mating Optimization for Environmental/Economic Power Dispatch with valve point effect” *Electrical Power and Energy Systems* 49 (2013) 308–321
- [77] Aniruddha Bhattacharya, Pranab Kumar Chattopadhyay “Oppositional Biogeography-Based Optimization for Multi-objective Economic Emission Load Dispatch” 2010 Annual IEEE India Conference (INDICON)
- [78] K. Vinod Kumar, G. Lakshmi Phani “Combined Economic Emission Dispatch- Pareto Optimal Front Approach” *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 30– No.12, September 2011
- [79] Hristiyan KANCHEV “Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d’énergie renouvelable : Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d’un micro réseau électrique urbain” *Thèse de Doctorat Ecole centrale de Lille* 2014.
- [80] J. Dréo, A. Petrowski, É. D. Taillard, & P. Siarry. “Métaheuristiques pour l’optimisation difficile” Eyrolles (Editions), November 2003. ISBN 2212113684.
- [81] Vincent Gardeux « Conception d’heuristiques d’optimisation pour les problèmes de grande dimension : application à l’analyse de données de puces a ADN » thèse de doctorat Université Paris-Est, 2011.
- [82] Mancér Nabil “ Contribution à l’amélioration de l’efficacité de la sélectivité du Système de Protection des Réseaux Electriques par les Méthodes Meta heuristiques” *Thèse de Doctorat Université de Biskra* 2017

- [83] Beghoura Mohamed Amine ‘Segmentation Multi Sources Des Images Satellitaires Par L’algorithme Firefly’, Thèse De Magister Université d’Oran Mohamed Boudiaf, 2012
- [84] Ilhem boussaïd ‘perfectionnement de méta heuristiques pour l’optimisation continue’ Thèse de doctorat université Paris-est créteil 2013.
- [85] Marsil de A. Costa e Silva ; Leandro dos S. Coelho ; Luiz Lebensztajn ‘Multiobjective Biogeography-Based Optimization Based on Predator-Prey Approach’ IEEE Transactions on Magnetics 2012 , Volume: 48 , Issue: 2 Pages: 951 - 954
- [86] Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M. “The bees algorithm - a novel tool for complex optimisation problems”. In: Proc. of IPROMS 2006 Conference, pp. 454–461. 2006
- [87] Karaboga D., “An idea based on honey bee swarm for numerical optimization”. Technical report. Computer Engineering Department, Engineering Faculty, Erciyes University, Turkey, 2005
- [88] Philippe FEYEL ‘Optimisation des correcteurs par les métaheuristiques – Application à la stabilisation inertielle de ligne de visée’ thèse de doctorat Centrale Supélec 2015
- [89] Menghour Kamilia ‘Approches Bio-inspirées pour la Sélection d’attributs’ universite badji mokhtar-Annaba Thèse de doctorat 2015.
- [90] HADJI Boubakeur ‘ Contribution à l’Amélioration de l’Efficacité des Réseaux Electriques par l’Intégration et le Contrôle Flexible de l’Energie Eolienne et des Systèmes FACTS’ Thèse de Doctorat université de Biskra 2017 Algérie.
- [91] T. Arul doss Albert Victoire, A. Ebenezer Jeyakumar ‘A modified hybrid EP–SQP approach for dynamic dispatch with valve-point effect Electrical Power and Energy Systems 27 (2005) 594–601.
- [92] Mahesh Kumar Sharma, Prakornchai Phonrattanasak , Nopbhorn Leeprechanon ‘Improved bees algorithm for dynamic economic dispatch considering prohibited operating zones’ 2015 Conference IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA) Bangkok, Thailand
- [93] Hemamalini S, Simon SP. Dynamic Economic Dispatch Using Artificial Bee Colony Algorithm for Units with Valve-Point Effect. Eur Trans Electr Power 2011; 21(1) 70-81.
- [94] Lu Y, Zhou J, Qin H, Wang Y, Zhang Y. Chaotic Differential Evolution Methods for Dynamic Economic Dispatch with Valve-point effects. Eng Appl Artif Intel 2011;24(2):378-387.
- [95] Pandi VR, Panigrahi BK. Dynamic Economic Load Dispatch Using Hybrid Swarm Intelligence Based Harmony Search Algorithm. Expert Syst Appl 2011; 38(7): 8509-85014.
- [96] Immanuel Selvakumar A. ‘Enhanced cross-entropy method for dynamic economic dispatch with valve-point effects’. Electr Power Energy Syst 2011;33(3) 783e90.
- [97] Hemamalini S, Simon SP. Dynamic economic dispatch using artificial immune system for units with valve-point effect. Int J Electr Power Energy Syst 2011;33(4):868e74.
- [98] ATTAVIRIYANUPAPP, KITA H, TANAKA E, HASEGAWA J. A hybrid EP and SQP for dynamic economic dispatch with non smooth fuel cost function. IEEE Trans Power Syst 2002, Vol 17(4), pp411-416.
- [99] Xingwen Jiang, Jianzhong Zhou, Hao Wang, Yongchuan Zhang ‘Dynamic environmental economic dispatch using multiobjective differential evolution algorithm with expanded double selection and adaptive random restart Electrical Power and Energy Systems 49 (2013) 399–407
- [100] M. Basu ‘ Dynamic economic emission dispatch using nondominated sorting genetic algorithm-II’. Electrical Power and Energy Systems 2008;30(2):140–149.
- [101] C.X. Guo, J.P. Zhan, Q.H. Wu ‘Dynamic economic emission dispatch based on group search optimizer with multiple producers’ Electric Power Systems Research 86 (2012) 8– 16

Abstract : Dynamic Environmental Economic Dispatch (DEED) is a highly complex nonlinear optimization problem with practical and security constraints, the DEED is formulated as a multi-objective non-linear constrained optimization problem with two conflicting objectives gratifying both equality and inequality constraints, the optimal generated power minimizes finally with compromising both fuel and emission costs .The aim of DEED is to optimize dynamically, active power of generating units over operating time considering practical constraints such as valve point effect, prohibited zones, ramp rate limits and total power losses in one hand, in other hand the security constraint's must be verified such as generator terminal voltage limit's, transmission line loadings limit's., generator bus voltage magnitude limit's, and limits on the output of reactive power generation. Consequently this thesis focuses on the application of the artificial method to resolve the proposed multi objective problem such as the Time Varying Acceleration based Particle Swarm Optimization algorithm (PSOTVAC), Firefly algorithm (FA), biogeography based optimization algorithm (BBO), in other hand a hybrid Method's called FAPSOTVAC , BBO-PSOTVAC, FA-BBO are proposed to improve the solution of DEED. The main idea introduced towards combining FA and PSOTVAC, BBO and PSOTVAC , FA and BBO is to create a flexible equilibrium between exploration and exploitation during search process. The robustness of the proposed hybrid method's is validated on many practical power systems (6,10,13,15 and 30 units) to minimize simultaneously the total fuel and emission cost considering all practical and security constraints. The results found prove the efficiency of the proposed algorithm's in terms of solution quality and convergence characteristics.

Keywords : dynamic Environmental Economic Dispatch, PSOTVAC, BBO, FA, A hybrid algorithm, FA-PSOTVAC, BBO-PSOTVAC, FA-BBO, prohibited operating zones, ramps rate constraints, valve point effect, security constraints.

Résumé : Le Dispatching Economique Environnemental (DEED) est un problème d'optimisation complexe et fortement non linéaire avec deux objectifs totalement contradictoires, cette optimisation est sujet de plusieurs contraintes d'égalité et d'inégalité qu'il faut les satisfaire afin d'aboutir à une solution qui est un compromis entre le coût total de production de l'énergie et les émissions qui l'accompagne, en revanche cette optimisation doit satisfaire toutes les contraintes pratiques imposées par les unités de production à savoir l'effet de valves, les contraintes rampes, les zones de fonctionnement prohibes, les pertes de transport en premier lieu et aussi doit vérifier en deuxième lieu plusieurs contraintes liées à la sécurité de notre réseau de transmission telles que les limites de production de l'énergie réactive et les limites de tensions de nos générateurs, les limites de puissances maximales supportées par les lignes de transport et les limites de tension imposées au niveaux de jeux de barres de charge. Cette thèse focalise la lumière sur l'application des algorithmes de l'intelligence artificielle pour résoudre la dite optimisation en appliquant plusieurs algorithmes à savoir l'algorithme de l'essaim de particules à coefficient d'accélération variable PSOTVAC, l'algorithme à base de biogéographie BBO, l'algorithme de luciole FA d'une part et plusieurs algorithmes hybrides développés dans le cadre de cette thèse tels que le FA-PSOTVAC, BBO-PSOTVAC et le FA-BBO d'autre part, cette hybridation est pour but de créer un équilibre entre l'exploration et l'exploitation de l'espace de recherche durant le processus de recherche, la robustesse de nos algorithmes est prouvée et validée pour plusieurs réseaux test à savoir 6, 10, 13, 14, 15 et 30 unités, finalement nos résultats expliquent l'efficacité et la qualité de solution offerte en terme de qualité de solution et caractéristique de convergence.

Mots Clés : Dispatching Economique Environnemental , PSOTVAC, BBO, FA, Algorithmes Hybrides, FA-PSOTVAC, BBO-PSOTVAC, FA-BBO, zones de Fonctionnement Prohibées, Contraintes Rampes, Effet de Valves, Contraintes de Sécurité du Réseau de Transmission.

المخلص : إن التوزيع الاقتصادي المناخي الأمثل للطاقة الكهربائية يعد واحدا من أصعب المشاكل التي يتم دراستها في ميدان تحسين الشبكات الكهربائية نظرا للأهداف المراد خفضها وهي التكلفة الكلية لإنتاج الطاقة الكهربائية وما يقابلها من إنبعاثات لغازات الإحتباس الحراري حيث نجد أن هذين الهدفين الغير خطيين يصاحبها الكثير من المعادلات والمترجمات الغير خطية التي يجب إحترامها عند حل هذا المشكل الذي يتميز لهذين متناقضين تماما . في هذا الصدد نجد هناك العديد من الإلتزامات المفروضة من ناحية مولدات الإنتاج التي يجب مراعاتها من أجل الحصول على أقل تكلفة ممكنة و التي يقابلها أيضا القليل من إنبعاثات الغازات الضارة بالمناخ والتي تتمثل في الذروات القصوى لإنتاج الطاقة ،تأثير فتح صمامات الغاز ،الإنتاج التدرجي للطاقة من ساعة إلى أخرى ،وفي المقابل نجد هناك أيضا العديد من الإلتزامات المتعلقة بالسير الحسن للشبكات الكهربائية و حمايتها تذكر من بينها :عتبات التوتر لدى مولدات الإنتاج ،عتبات التوتر عند مأخذ الحمولات التددفات القصوى التي يتم نقلها بواسطة الشبكات الكهربائية . من أجل حل هذا المشكل المعقد عدة خوارزميات تم إستعمالها و تهجينها نذكر من بينها خوارزمية < FA ، > BBO ، < PSOTVAC ، > FA-PSOTVAC ، FA-BBO ، BBO- PSOTVAC ، الخوارزميات أدت نجاعتها في حل المشكل المطروح وهذا نظرا لخصائص الحلول المقدمة

الكلمات المفتاحية : التوزيع الاقتصادي المناخي الأمثل للطاقة الكهربائية، الإلتزامات المفروضة من ناحية مولدات الإنتاج، من الإلتزامات المتعلقة بالسير الحسن للشبكات الكهربائية، تأثير فتح صمامات الغاز ،الإنتاج التدرجي للطاقة من ساعة إلى أخرى، خوارزميات تم إستعمالها و تهجينها نذكر من بينها خوارزمية < FA BBO PSOTVAC (، FA-PSOTVAC ، FA-BBO) ، BBO- PSOTVAC