

# Dispatching Economique du Réseau Electrique Algérien en Présence des dispositifs Shunt FACTS avec Considération de la Pollution

Belkacem Mahdad\*, K. Srairi, B. Tarek, and A. Bensalem\*\*

\*Department of Electrical Engineering, Biskra University, ALGERIA

LMSE Laboratory: Modelling of Energetic System: <http://mselab.org>

\*\*Department of Electrical Engineering, Batna University, ALGERIA

**Abstract**— Cet article présente un algorithme hybride basé sur les algorithmes génétique en coordination avec deux techniques : la première méthode basé sur la logique floue qui a pour tâche principale l'ajustement des paramètres de l'algorithme génétique afin d'améliorer la qualité de la solution; la deuxième approche basé sur une procédure de décomposition du réseau original en plusieurs sous système a pour but principale l'amélioration de la convergence des algorithmes génétiques. Les résultats numériques indiquent que l'algorithme hybride proposé est dans la majorité des cas plus efficace que d'autres méthodes métaheuristiques ou déterministes.

**Mots Clés**— Dispatching Economique, Optimisation de l'écoulement de puissance, Contrôle dynamique, Algorithme Génétique, Décomposition des réseaux, Fonction multi objective, FACTS, Compensation de la puissance réactive.

## I. INTRODUCTION

Les interconnexions internationales des réseaux électriques deviennent de plus en plus importantes dans le monde accompagné d'un intérêt grandissant pour l'échange de la puissance électrique. Pour raisons multiples écologiques que techniques, réduire le nombre de lignes tout en maintenant la stabilité et la capacité du transport de puissance est un objectif en lui même. D'autre part les amendements de la loi mondiale de 1990 (Clean Air Act Amendements) ont forcé les producteurs d'énergie et les ingénieurs chargés de la gestion de l'énergie électrique à modifier leurs algorithmes d'optimisation standard en tenant en considération la pollution (réduire les émissions dans l'atmosphère de gaz à effet de serre par les centrales thermiques qui sont des gaz toxiques (NOx, SO2, CO2,...)).

L'objectif de base d'un dispatching économique (DE) est la génération et l'exploitation à coût minimal de l'énergie

électrique dans un réseau en satisfaisant toute la demande avec les contraintes d'égalité et d'inégalité particulièrement celle liées à la pollution.

En parcourant à travers la littérature, on observe qu'il y a beaucoup de tentatives de décrire, définir, formuler et résoudre le problème de l'écoulement de puissance en tenant en considération les contraintes physiques des source de production, parmi ces méthodes nous citons : les algorithmes génétiques, l'essaim de particules, les méthodes évolutionnaires, le recuit simulé [1]. Figure 1 récapitule les différentes Catégorie des méthodes d'optimisation globales.

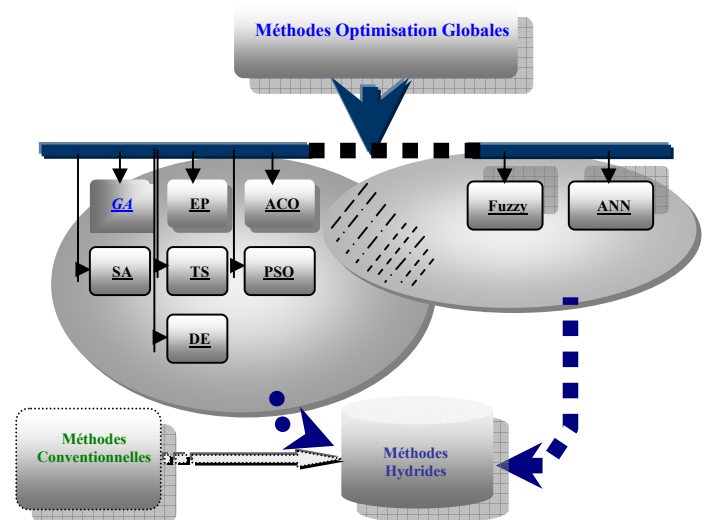


Figure 1 Catégorie des méthodes d'optimisation globales.

Dés l'apparition d'une nouvelle technologie (FACTS) à base des éléments de l'électronique de puissance, beaucoup d'effort ont été consacré pour donner une formulation efficace du problème de l'écoulement de puissance en présences de ces éléments de transmission flexible (FACTS).

Depuis quelques années, un nombre croissant de méthode d'optimisation proposent de faire hybrider les méthodes heuristiques entre elles, l'hybridation s'effectue aussi entre méthodes heuristiques et méthodes mathématiques. Actuellement, poussées par les performances générales de tels

algorithmes, un nombre croissant d'études propose ce type d'approches. Nous proposons dans cet article une approche hybride pour améliorer la solution du problème d'optimisation de l'écoulement de puissance en présence des dispositifs de compensation dynamique shunt.

## II. FORMULATION MATHÉMATIQUE DU PROBLÈME D'OPTIMISATION DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE

Le problème de l'optimisation de l'écoulement de puissance standard (OPF) peut être écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} &\min. F(x) \text{ (fonction objective)} \\ &\text{selon} \\ &g_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, n \text{ (contraintes d'égalités)} \\ &\text{et} \\ &h_j(x) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m \text{ (contraintes d'inégalités)} \end{aligned} \quad (1)$$

On est en présence de  $n$  contraintes d'égalité et  $m$  contraintes d'inégalité. Le nombre de variables du problème est égal à la taille du vecteur des variables de contrôle  $x$  (y compris la puissance active et la puissance réactive générées, niveaux de tension des jeux de barres, prises des transformateurs,... etc.) (Figure 2).

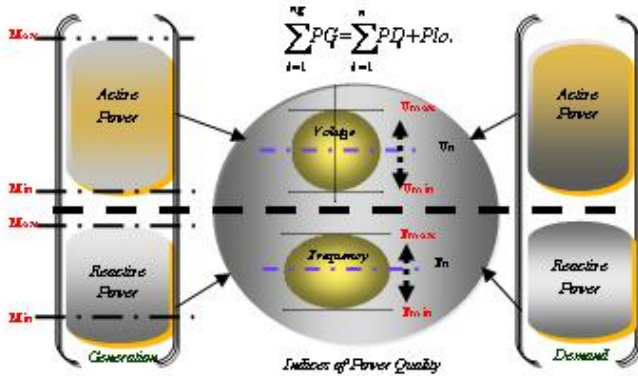


Figure 2 Stratégie du dispatching économique.

### A. Fonction Objective Avec Considération de l'effet de Pollution:

La fonction objective liée avec le contrôle de l'émission du gaz peut être formalisée comme suit:

$$f_{ce} = \omega \cdot f_e \quad \$/h \quad (2)$$

Avec

$$f_e = \sum_{i=1}^{Ng} \left( \alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2 + d_i \exp(e_i P_{gi}) \right) \text{Ton/h} \quad (3)$$

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, d_i$  et  $e_i$  les coefficients de la fonction coût modifier avec considération de l'effet de l'émission du gaz (pollution control).

$\omega$  est un facteur de control d'émission  $\$/\text{Ton}$ .

Figure 3 présente la stratégie du dispatching économique avec considération de l'effet de l'émission du gaz.

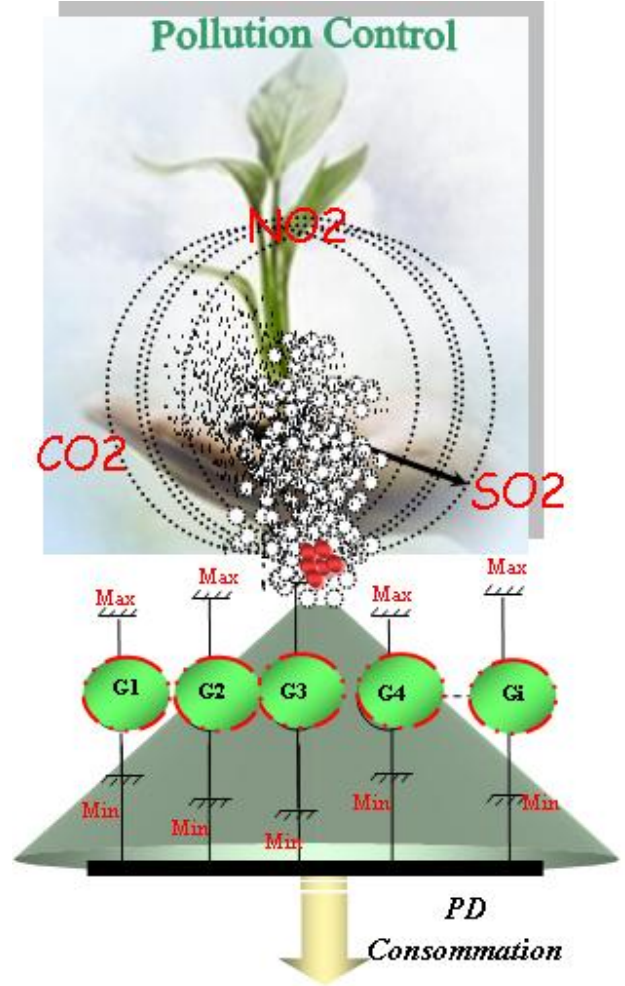


Figure 3 Stratégie du dispatching économique avec considération de l'effet de l'émission du gaz.

Finalement la fonction multi objective peut être écrite sous la forme suivante:

$$\min F_T = \alpha f + (1 - \alpha) f_{ce} \quad (4)$$

$\alpha$  représente le facteur de poids qui vérifier la relation:  $0 \leq \alpha \leq 1$

## III. STRATEGIE DE DECOMPOSITION

La stratégie de l'approche proposée se déroule en trois phases (Figure 6) :

#### A. Phase de décomposition initiale :

Cette première phase consiste à générer une base de données initiale contenant des partitions possédant les meilleures propriétés. Figure 4 illustre la structure du chromosome. Figure 5 montre le mécanisme de décomposition permettant de générer des partitions efficace.

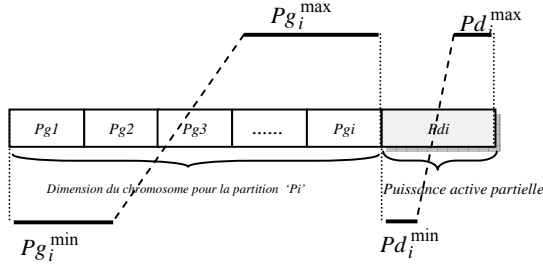


Figure 4 Structure du Chromosome pour la planification de la puissance active.

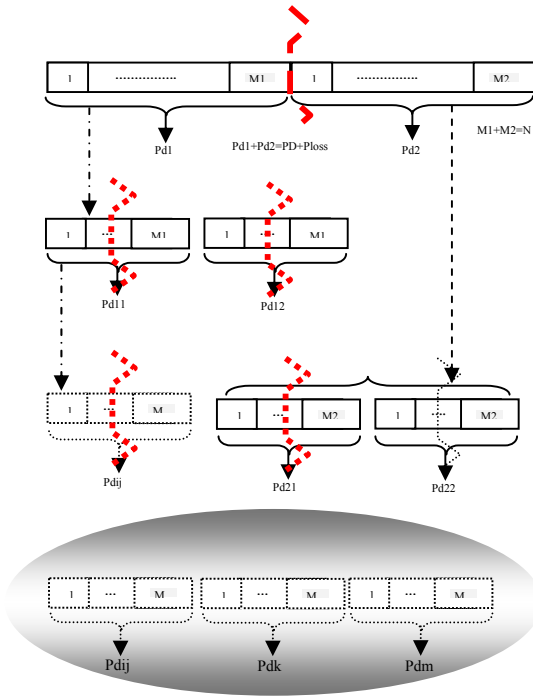


Figure 5 Mécanisme de recherche des partitions

#### B. Phase de planification de la puissance active des différents sous-systèmes:

Cette phase a pour rôle principale l'exécution en parallèle des sous-systèmes générés.

#### C. Phase de planification de la puissance réactive :

Cette dernière phase consiste à assurer le contrôle dynamique de la puissance réactive aux points suivants :

1. Unités de production
2. Transformateurs
3. Système de compensation (SVC, TCSC, UPFC) installée à des points sensibles.

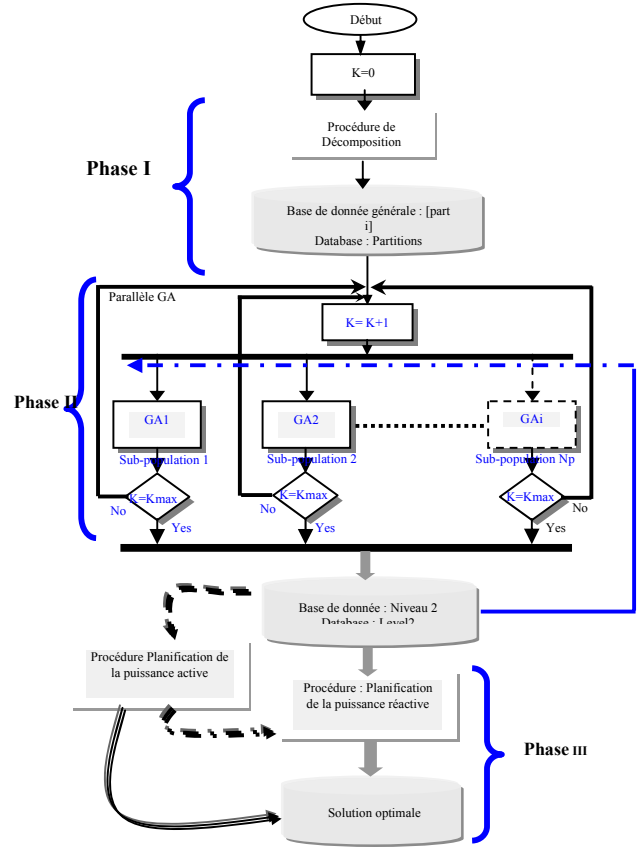


Figure 6 Organigramme générale de l'approche d'optimisation proposée.

## IV. TEST ET APPLICATION

#### A. Description du réseau électrique Algérien

En Algérie, la plus grande partie de l'électricité est d'origine thermique (98.3%), le reste se répartissant entre les centrales hydro-électriques ou à diesel<sup>1</sup>.



Figure 7 Carte schématique du réseau électrique Algérien: Sonelgaz 1977.

<sup>1</sup> D'autres informations sur le réseau Algérien peuvent être consultées au niveau du site officiel de Sonelgaz : <http://www.sonelgaz.dz>

Le transport de l'énergie s'effectue par transformation du courant triphasé produit à des tensions variables, en une tension unique de 220 kV, distribuée avec des lignes haute tension. Des sources d'énergie renouvelables telles que le vent et le soleil produisent de l'énergie électrique dans les sites isolés de l'Algérie. Elles représentent cependant des quantités négligeables [22].

L'approche proposée a été testée sur le réseau de production et de transport électrique algérien avant 1997 (Figure 7). Il comprend 59 bus, 83 branches (lignes, transformateurs) et 10 générateurs, sachant que le générateur du jeu de barres N°=13 n'est pas en service.

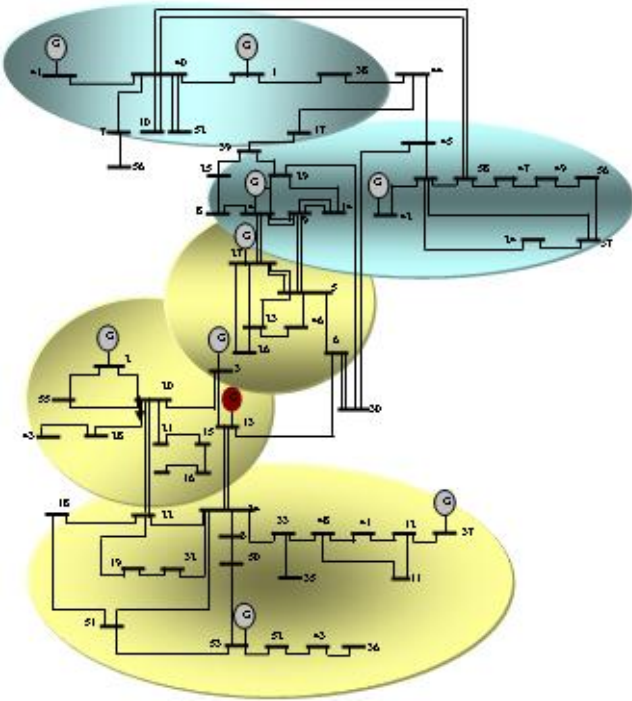


Figure 8 Schéma unifilaire du réseau électrique Algérien: 59 Jeu de barres : Sonelgaz 1977.

Le schéma unifilaire du réseau électrique Algérien est présenté dans la figure 8. Trois cas ont été envisagés pour tester la robustesse de l'algorithme d'optimisation proposé.

**Cas 1:** Minimiser la fonction coût ( $\alpha = 1$ ).

**Cas 2:** Minimiser la fonction d'émission ( $\alpha = 0$ ).

**Cas 3:** Minimiser la fonction coût et la fonction d'émission ( $\alpha = 0.5$ ).

**Tableau 1** Comparaison des résultats avec les méthodes globales: Cas: 1:  $\alpha = 1$ , Coût minimal.

Generators N°	FGA [9]	GA [8]	ACO [8]	FSLP [10]	Our Approach
$P_{g1}$ (MW)	11.193	70.573	64.01	46.579	41.272
$P_{g2}$ (MW)	24.000	56.57	22.75	37.431	37.319
$P_{g3}$ (MW)	101.70	89.27	82.37	134.230	133.83
$P_{g4}$ (MW)	84.160	78.22	46.21	137.730	142.32
$P_{g5}$ (MW)	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00

$P_{g6}$ (MW)	35.22	57.93	47.05	23.029	24.80
$P_{g7}$ (MW)	56.80	39.55	65.56	35.238	39.70
$P_{g8}$ (MW)	121.38	46.40	39.55	39.972	39.54
$P_{g9}$ (MW)	165.520	63.58	154.23	117.890	119.78
$P_{g10}$ (MW)	117.32	211.58	202.36	131.650	123.46
PD(MW)	684.10	684.10	684.10	684.10	684.1
Ploss(MW)	33.1930	29.580	39.980	19.65	17.921
Cost[\$/hr]	1768.50	1937.10	1815.7	1775.856	1769.70

**Tableau 2** Comparaison des résultats pour :  $\alpha = 1$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\alpha = 0$ .

	FSLP[10]			Our Approach		
	Case1 $\alpha = 1$	Case 2 $\alpha = 0$	Case 3 $\alpha = 0.5$	Case1 $\alpha = 1$	Case 2 $\alpha = 0$	Case 3 $\alpha = 0.5$
$P_{gi}$ (MW)						
$P_{g1}$	46.579	28.558	37.464	41.272	30.5995	36.8311
$P_{g2}$	37.431	70.000	52.675	37.319	70.00	53.170
$P_{g3}$	134.230	114.200	116.080	133.83	109.40	119.06
$P_{g4}$	137.730	77.056	141.490	142.32	79.80	138.32
$P_{g5}$	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
$P_{g6}$	23.029	87.575	28.286	24.80	80.58	22.860
$P_{g7}$	35.238	32.278	34.565	39.70	34.86	39.800
$P_{g8}$	39.972	63.176	56.644	39.54	70.04	59.900
$P_{g9}$	117.890	95.645	101.800	119.78	100.62	109.52
$P_{g10}$	131.650	135.540	133.920	123.46	128.02	122.92
Cost (\$/h)	1775.856	1889.805	1786.000	1769.70	1854.8	1765.7
Emission (ton/h)	0.5328	0.4329	0.4746	0.5307	0.4213	0.4723
Power loss (MW)	19.65	19.93	18.83	17.921	19.8195	18.2811

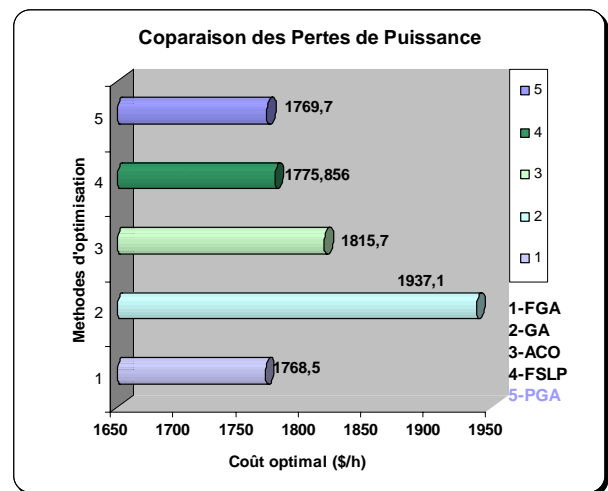


Figure 9 Comparaison des résultats : coût optimal ( $\alpha = 1$  ; coût minimal) Réseau Algérien.



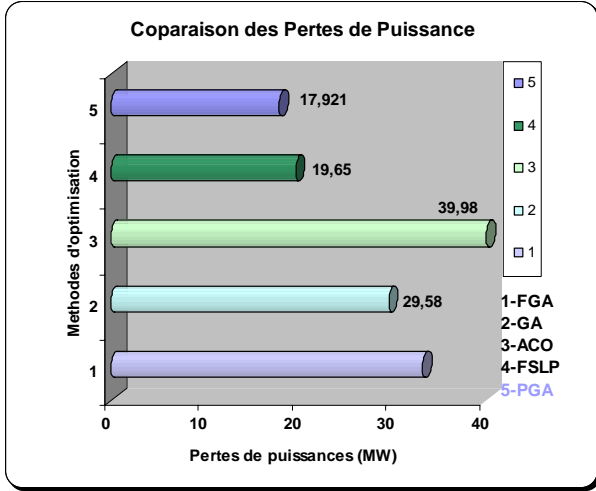


Figure 10 Comparaison des résultats: pertes de puissance actives ( $\alpha = 1$  ; coût minimal) : Réseau Algérien

Les résultats partiels obtenus présentés dans les tableaux 1, 2, illustrent clairement la robustesse de l'approche proposée. La valeur optimale du coût pour  $\alpha = 1$ , est de l'ordre de **1769.7** \$/h, les pertes actives **17.921** MW. Il faut noter que les contraintes de sécurités sont vérifiées. Figures 9-10 présentent une comparaison du coût optimal obtenu, les pertes actives totales avec les différentes méthodes cités dans la littérature.

## V. PLANIFICATION DE LA PUISSANCE REACTIVE

La solution du problème de planification de la puissance réactive consiste à optimiser des fonctions objectives non-linéaires avec des contraintes non-linéaires. Figure 11 illustre la structure du chromosome pour la planification de la puissance réactive. Généralement, les fonctions objectives utilisées sont les suivantes:

### A. Pertes de puissance active

La formulation mathématique de la fonction objective, destinée à la minimisation des pertes, peut être écrite sous la forme suivante :

$$P_{loss} = \sum_{k=1}^{N_l} g_k \left[ (t_k V_i)^2 + V_j^2 - 2t_k V_i V_j \cos \delta_{ij} \right] \quad (5)$$

Avec :  $N_l$  le nombre de branches;  $g_k$  est la conductance de la branche k entre le jeu de barre i et le jeu de barre j;  $t_k$  : les prises du transformateur k;  $V_i$  est le module de la tension au niveau du jeu de barres i;  $\delta_{ij}$  : la différence d'angle entre deux jeux de barres i et j.

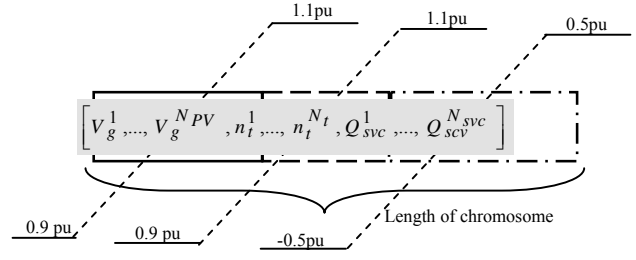


Figure 11 Structure du chromosome pour la planification de la puissance réactive.

### B. Déviation de la tension

La fonction objective qui correspond à la déviation de la tension est donnée par la relation suivante :

$$\Delta V = \sum_{k=1}^{N_{PQ}} |V_k - V_k^{des}| \quad (6)$$

sachant que  $N_{PQ}$  est le nombre de jeux de barres de charges et  $V_k^{des}$  est la tension désirée au jeu de barres de charge k.

### A. Choix de l'Emplacement des dispositifs Shunt

Les dispositifs FACTS coûtent, généralement, trop chère, ainsi, le choix de l'emplacement de ces appareils flexibles est primordiale pour assurer une exploitation efficace des réseaux électriques et d'éviter des gaspillages. Une approche utilisant un indice de sensibilité de tension (Voltage stability indice) est proposée pour identifier l'emplacement optimal des compensateurs dynamiques shunts (SVC) [16].

En se basant sur les résultats obtenus en utilisant l'indice de stabilité de la tension [16-17], les jeux de barres 7, 14, 17, 35, 36, 39, 44, 47, 56 sont les plus efficace. Tableau 3 présente les données techniques du modèle de compensateur shunt (SVC).

Tableau 3 SVC DATA

	$B_{min} (p.u)$	$B_{max} (p.u)$	$B_{init} (p.u)$
<i>Susceptance SVC Model</i>	-0.5	0.5	0.025

Tableau 4 Coût optimal, Temps de convergence (CPU time) pour les quatres partitions : Réseau électrique Algérien.

Partition	Pgi	Best Cost \$/hr	Worst Cost \$/hr	Average CPU time (s)
Part 1	[Pg1, Pg2]	187.4522	187.6080	0.230
Part 2	[Pg3, Pg4]	737.6220	737.9309	0.230
Part 3	[Pg6, Pg7]	171.7722	171.9310	0.230
Part 4	[Pg8, Pg9, Pg10]	662.3062	662.6031	0.260

Figure 12 montre la convergence de l'algorithme pour la première partition, Figure 13 illustre l'amélioration des tensions aux niveaux des jeux de barres après l'installation des compensateurs shunts (SVC).

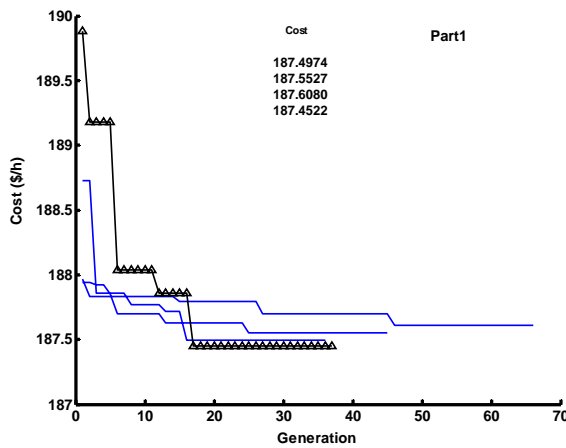


Figure 12 Convergence de l'approche proposée: la première partition: Cas :  $\alpha = 1$ : Coût minimal.

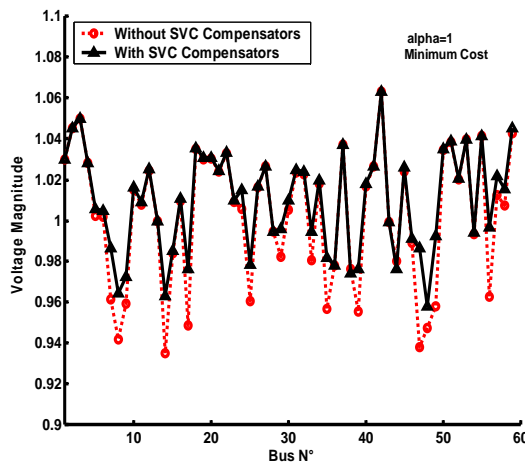


Figure 13 Amélioration des tensions par l'installation des compensateurs dynamiques shunts (SVC): Cas :  $\alpha = 1$ : Coût minimal.

Tableau 4, illustre le cout optimal, ainsi que le temps de convergence pour chaque partition.

## VI. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons exploré et testé l'application d'une technique d'optimisation basé sur les algorithmes génétiques en coordination avec une procédure de décomposition sur le réseau électrique Algérien. Les résultats obtenus permettent d'espérer une bonne application de cette approche à des réseaux électriques de grande dimension et en présence des différents appareils de transmission flexible (FACTS).

## REFERENCES

- [1] R. C. Bansal, "Optimization methods for electric power systems: an overview," *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 1-23, 2005.
- [2] J. G. Vlachogiannis, and K. Y. Lee, "Economic dispatch-A comparative study on heuristic optimization techniques with an improved coordinated aggregation-based PSO," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 24, no. 2, pp. 991-1000, 2009.
- [3] Taher Nikman, "A new fuzzy adaptive hybrid particle swarm optimization algorithm for non-linear, non-smooth and non-convex economic dispatch," *Journal of Applied Energy*, Vol. 87, pp. 327-339, 2010.
- [4] C. Chien Kuo, "A novel string structure for economic dispatch problems with practical constraints," *Journal of Energy Conversion and management, Elsevier*, vol. 49, pp. 3571-3577, 2008.
- [5] S. Pothiya, I. Nagamroo, and W. Kongprawechnon, "Application of multiple tabu search algorithm to solve dynamic economic dispatch considering generator constraints," *Journal of Energy Conversion and management, Elsevier*, vol. 49, pp. 506-516, 2008.
- [6] B. Mahdad, T. Bouktir, K. Srairi, "OPF with Environmental Constraints with SVC Controller using Decomposed Parallel GA: Application to the Algerian Network" *Journal of Electrical Engineering & Technology, Korea*, Vol. 4, No.1, pp. 55-65, March 2009.
- [7] K. T. Chaturvedi, M. Pandit, and L. Srivastava, "Self-organizing hierarchical particle swarm optimization for nonconvex economic dispatch," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, no. 3, pp. 1079-1087, Aug. 2008.
- [8] B. K. Panigrahi, V. R. Pandi, and S. Das, "Adaptive particle swarm optimization approach for static and dynamic economic load dispatch," *Energy Convers. Manage.*, vol. 49, no. 6, pp. 1407-1415, 2008.
- [9] L. D. S. Coelho and C.-S. Lee, "Solving economic load dispatch problems in power systems using chaotic and Gaussian particle swarm optimization approaches," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol. 30, no. 4, pp. 297-307, 2008.
- [10] A. I. Selvakumar and K. Thanushkodi, "A new particle swarm optimization solution to nonconvex economic dispatch problems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 1, pp. 42-51, Feb. 2007.
- [11] J.-B. Park, K.-S. Lee, J.-R. Shin, and K. Y. Lee, "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 1, pp. 34-42, Feb. 2005.
- [12] T. Aruldos, A. Victoire, and A. E. Jeyakumar, "Hybrid PSO-SQP for economic dispatch with valve-point effect," *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 71, no. 1, pp. 51-59, 2004.
- [13] C. C. Kuo, "A novel coding scheme for practical economic dispatch by modified particle swarm approach," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, no. 4, pp. 1825-1835, Nov. 2008.
- [14] L. D. S. Coelho and V. C. Mariani, "Particle swarm approach based on quantum mechanics and harmonic oscillator potential well for economic load dispatch with valve-point effects," *Energy Convers. Manage.*, vol. 49, no. 11, pp. 3080-3085, 2008.
- [15] T. A. A. Victoire and A. E. Jeyakumar, "Hybrid PSO-SQP for economic dispatch with valve-point effect," *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 71, pp. 51-59, Sep. 2004.
- [16] Belkacem Mahdad, T. Bouktir, K. Srairi, and M. EL. Benbouzid, "Dynamic strategy based fast decomposed GA coordinated with FACTS devices to enhance the optimal power flow," Accepted at Journal of Energy Conversion and Management(IJECM), Elsevier December 2009.
- [17] Belkacem Mahdad, T. Bouktir, K. Srairi, and M. EL. Benbouzid, "Optimal Power Flow with Discontinuous Fuel Cost Functions Using Decomposed GA Coordinated with Shunt FACTS," *Journal of Electrical Engineering & Technology, Korea*, Vol. 4, No. 4, pp. 315-322, December 2009.
- [18] M. Fesanghary, and M. M. Ardehali, "A novel meta-heuristic optimization methodology for solving various types of economic dispatch problem," *Journal of Energy, Elsevier*, vol. 34, pp. 757-766, 2009.
- [19] L. S. Coelho, R. C. Thom Souza, and V. Cocco mariani, "Improved differential evolution approach based on clutural algorithm and diversity measure applied to solve economic load dispatch problems," *Journal of Mathematics and Computers in Simulation, Elsevier*, 2009.
- [20] B. Mahdad, T. Bouktir, K. Srairi, "Optimal power flow for large-scale power system with shunt FACTS using fast parallel GA," *The 14th IEEE Mediterranean on Electrotechnical Conference*, 2008. MELECON 5-7 May 2008. pp. 669-676.
- [21] R. C. Eberhart and Y. Shi, "Particle swarm optimization: developments, applications and resources," in *Proc.2001 Congr. Evolutionary Computation*, vol. 1, 2001.
- [22] Belkacem Mahdad, Optimal Power Flow with Consideration of FACTS devices Using Genetic Algorithm: Application to the Algerian Network, Doctorat Thesis, Biskra University Algeria, 2010.