

Hybridation Intégrative OEP/RS Appliquée à l'Ecoulement Optimal de la Puissance Réactive

M. Lahdeb

S. Arif

A. Hellal

Laboratoire d'Analyse et de Commande des Systèmes d'Energie et Réseaux Électriques (LACoSERE)

Département de Génie Électrique, Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur

Université Ammar Telidji B.P 37G, Laghouat Algérie

Emails: m.lahdeb@gmail.com ; s.arif@mail.lagh-univ.dz ; a.hellal@mail.lagh-univ.dz ;

Résumé : Dans cette étude, on va présenter une hybridation métaheuristique intégrative basée sur la combinaison d'une technique dite à population (Optimisation par Essaims de Particules : OEP) avec une technique à recherche locale (Recuit Simulé : RS), afin de résoudre le problème de l'Ecoulement Optimal de la Puissance Réactive (ORPF), en prenant comme objectif la minimisation des pertes actives.

L'algorithme proposé a été validé et testé sur deux réseaux modèles (IEEE 14 et 30 nœuds). Les résultats sont analysés, comparés et interprétés et une synthèse est tirée.

Mots-clés Optimisation par Essaims de Particules (OEP), Recuit Simulé (RS), Métaheuristique, Hybridation, ORPF, Système électrique de puissance.

I- INTRODUCTION

Dans les vingt dernières années, on a vu que l'ensemble des techniques mathématiques et algorithmiques de résolution de problèmes de base se développent considérablement. Les progrès significatifs des techniques d'évaluation associés à l'augmentation considérable de la capacité de calcul des machines permettent aujourd'hui de traiter des problèmes de plus en plus complexes, avec des tailles des données de plus en plus importantes. L'une des conséquences de ceci est que la construction même des modèles, de façon fiable et efficace, n'est plus un problème secondaire mais elle est devenue un problème primordial.

La résolution d'un problème d'optimisation est un problème complexe, car de nombreux facteurs interviennent et interagissent entre eux. Néanmoins, l'optimisation appliquée au domaine d'électrotechnique permet de résoudre des problèmes qui étaient insolubles auparavant et aboutit souvent à des solutions originales [1].

Les méthodes conventionnelles déterministes sont bonnes pour les fonctions objectives quadratiques ayant un seul optimum. Ces méthodes ont l'inconvénient de ne pas garantir la convergence globale puisqu'elles peuvent converger vers un de ces optimaux locaux et s'arrêter et parfois même diverger. De plus, elles sont parfois incohérentes et imprécises. La qualité des résultats est par conséquent dépendante de celle des données à disposition.

Récemment, des nouvelles techniques s'inspirant de l'intelligence artificielle sont apparues et se sont développées pour se proposer comme d'éventuelles techniques alternatives afin d'améliorer la qualité de la solution, à savoir les algorithmes génétiques, l'optimisation par essaims de particules [2], la recherche taboue, le recuit simulé [3] et bien d'autres.

Notre problème est dans le domaine de réseau électrique : l'écoulement optimal de puissance réactive qui est un problème d'optimisation non linéaire, proposé par Carpentier au début des années 60 et basé sur la répartition économique de la puissance [4].

Le but notre travail consiste à contrôler et à minimiser les pertes actives dans les réseaux électriques en utilisant une hybridation entre deux méthodes d'optimisations dont la première est la méthode d'optimisation par essaims de particules (OEP) et la deuxième est la méthode de recuit simulé (RS) [5].

Ce problème fortement lié à la répartition optimale de l'énergie réactive peut être traité comme un cas particulier de l'écoulement de puissance optimal dans lequel les moyens de contrôle de l'énergie active sont fixes tandis que ceux de l'énergie réactive sont ajustables.

L'approche que nous avons proposée pour résoudre le problème de l'ORPF, rentre dans le cadre des hybridations métaheuristiques intégratives, afin d'exploiter les avantages de chacune pour obtenir des techniques avec de meilleures performances.

II- FORMULATION DU PROBLEME

La fonction objective $f(x,u)$ utilisée pour formuler le problème de l'ORPF représentant une minimisation des pertes actives ; les contraintes égalités formulées par la fonction $g(x,u)$ sont représentées par les équations de l'écoulement de puissance et les contraintes inégalités qui reflètent les limites inférieure et supérieure de la puissance réactive aux nœuds de génération et aux nœuds de compensation, les limites inférieure et supérieure des tensions et des rapports des régulateurs en charge sont données par les équations (4) et (5) [1].

$$\begin{aligned} \min f(x, y) & \quad (1) \\ g(x, u) &= 0 & (2) \\ \text{et } h(x, y) &\leq 0 & (3) \\ x_{\min} \leq x &\leq x_{\max} & (4) \\ u_{\min} \leq u &\leq u_{\max} & (5) \end{aligned}$$

III- METAHEURISTIQUES HYBRIDES

L'hybridation est le résultat d'un croisement entre deux espèces, deux genres ou deux individus d'espèces apparentées et est aussi un croisement d'espèces différentes. Elle n'est pas nouvelle mais remonte aux origines des

métaheuristiques elles-mêmes. Cependant, au début, de tels hybrides n'étaient pas aussi populaires puisque plusieurs groupes de chercheurs séparés considéraient, chaque groupe séparément, que la classe des métaheuristiques sur lesquelles ils travaillaient était la meilleure et donnait les meilleurs résultats. Ces chercheurs suivaient ainsi leur philosophie spécifique de manière très dogmatique. Par exemple, la communauté de calcul évolutionnaire a grandi dans un isolement relatif et suivait de manière relativement stricte la pensée orientée biologiquement. Mais avec le sentiment du manque d'une concurrence libre et le manque de théorie dans le domaine (no free lunch theorems), cette situation a heureusement changée, et les chercheurs ont reconnu qu'il n'existait pas une stratégie d'optimisation générale globalement meilleure que les autres. En fait, pour résoudre le plus efficacement un problème donné, il est exigé presque toujours de concevoir un algorithme spécialisé adéquat et adapté [6].

Les métaheuristiques hybrides peuvent être présentées à travers diverses classes et propriétés [7, 8, 9]. Il faut commencer par distinguer ce qui est hybridé, c.-à-d. quels genres d'algorithmes sont combinés. Il est donc possible de combiner :

- a) Des métaheuristiques avec certains algorithmes spécifiques pour un problème donné, comme des simulations spéciales,
- b) différentes stratégies métaheuristiques,
- c) ou des métaheuristiques avec d'autres techniques plus générales venant d'autres domaines comme la recherche opérationnelle et/ou l'intelligence artificielle.

Ils existent plusieurs types d'hybridation, on peut citer :

i. Méthodes utilisant la modélisation en lots (batch model)

Les hybridations métaheuristiques utilisant la modélisation en lots qui nous concernent sont des combinaisons entre des approches d'évolution (méthodes heuristiques à population) et des méthodes de voisinage ou de parcours (méthode à recherche locale). L'idée essentielle de ces types d'hybridation consiste à exploiter pleinement la puissance de recherche des méthodes de voisinage et de recombinaison des algorithmes évolutifs sur une population de solutions [10, 11, 12].

Lorsqu'on utilise une métaheuristique (peut être une méthode de recherche locale ou globale) qui génère une population de solutions, les meilleures solutions générées sélectionnées, selon un critère défini, étant ensuite utilisées comme solution initiale pour la deuxième métaheuristique (peut être une méthode de recherche locale ou globale). Les résultats obtenus à l'issue de l'application des ces deux techniques représente la meilleure solution de tout le problème.

ii. Méthodes utilisant une approche intégrative

Une hybridation intégrative est le fait d'intégrer un algorithme (effectuant une recherche locale) sur les N% meilleurs de la population de l'algorithme (effectuant une recherche globale) et appliquer les opérateurs sur les (100-

N)% restant de la population, les résultats obtenus à l'issue de l'application de cet algorithme représente la solution courante qui sera injectée au début de l'algorithme (effectuant une recherche globale) et le processus se reproduit jusqu'à l'obtention des meilleurs résultats [1,12].

Dans ce travail, on s'intéresse à l'hybridation d'une métaheuristique basée sur l'approche intégrative [13]. Nous allons étudier un algorithme représentant une hybridation des Essaims de Particules avec le Recuit Simulé. L'algorithme proposé effectue une recherche locale en utilisant la méthode du Recuit Simulé sur les 5% meilleurs membres de la population d'Essaims de Particules. Par contre, les autres opérateurs d'Essaims de Particules sont appliqués sur les 95% restant de la population. Pour chaque itération, les résultats obtenus à l'issue de l'application de cet algorithme hybride représentent la solution courante qui sera injectée au début de l'itération suivante et le processus se reproduit jusqu'à l'obtention des meilleurs résultats, c'est-à-dire la convergence.

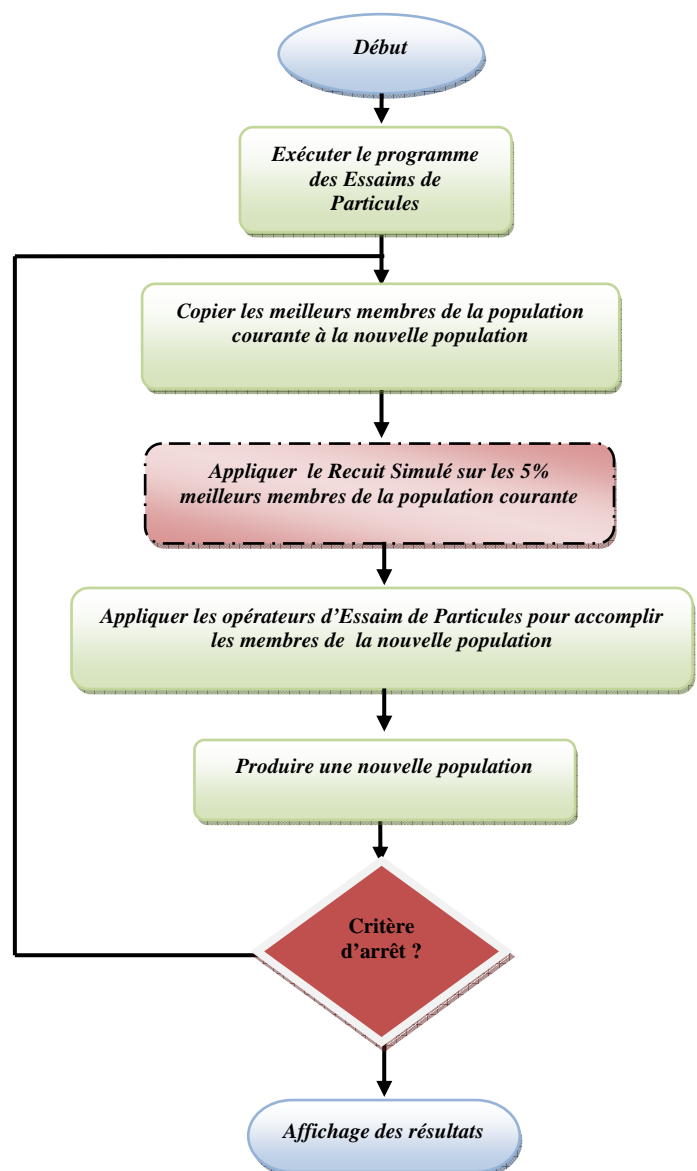


Fig.1 Organigramme de la méthode
IV- RESULTATS DE SIMULATION

Cette partie est consacrée à la simulation de la méthode proposée appliquée au problème d'optimisation d'écoulement de puissance réactive optimal pour minimiser les pertes actives dans les réseaux électriques. Un programme a été élaboré en MATLAB et testé sur deux modèles de réseaux électriques: le réseau IEEE 14 nœuds et le réseau IEEE 30 nœuds.

Parmi les hypothèses considérées, les limites des amplitudes de tensions aux différents nœuds sont :

$$0.90 \text{ p.u.} \leq V_G \leq 1.1 \text{ p.u.}$$

$$0.90 \text{ p.u.} \leq V_L \leq 1.1 \text{ p.u.}$$

$$0.90 \text{ p.u.} \leq T \leq 1.1 \text{ p.u.}$$

Pour l'application de la méthode proposée et après plusieurs tests effectués, nous avons choisi les paramètres suivants:

- $w_{max} = 0.9$: Poids initial.
- $w_{min} = 1.1$: Poids final.
- $itmax = 6$: Nombre d'itérations maximum.
- $c_1=c_2=1.5$: Facteurs de pondération
- $nind=80$: Taille de la population.
- $nvar = 8$: Nombre de variables.
- $\alpha = 0.88$: Coefficient de température.
- $T_0 = 1$: Température initiale.
- $Maxtri = 200$: Nombre d'itérations maximal.
- $Stoptemp = 10^{-9}$: Critère d'arrêt de la température.

Réseau modèle IEEE 14 nœuds

Le réseau étudié est constitué de 14 nœuds, 17 lignes, 3 transformateurs dont 6 nœuds sont contrôlables.

La solution globale du problème d'optimisation est obtenue après 6 itérations. En effet, ce nombre d'itérations dépend surtout des valeurs des paramètres définis précédemment. Le plan des tensions avant et après optimisation et les pertes actives sont donnés respectivement dans le tableau I :

TABLEAU I
PLAN DES TENSIONS& PERTES ACTIVES- IEEE 14 NŒUDS

Nœuds	TYPE	Tension avant optimisation V(pu)	Tension après optimisation V(pu)
1*	1	1.060	1.1000
2	2	1.045	1.0863
3	2	1.010	1.0567
4	0	1.000	1.0651
5	0	1.000	1.0700
6	2	1.070	1.1000
7	0	1.000	1.0985
8	2	1.090	1.1000
9	0	1.000	1.0961
10	0	1.000	1.0897
11	0	1.000	1.0915
12	0	1.000	1.0863
13	0	1.000	1.0824
14	0	1.000	1.0728
Pertes (MW)			12.2731

La figure (2) représente la variation des pertes en fonction du nombre d'itérations. Nous avons constatés que les pertes diminuent au fur et à mesure que le nombre d'itérations augmente.

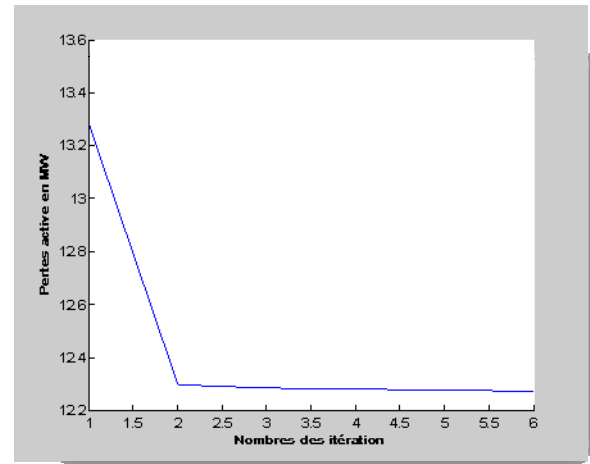


Fig.2 Pertes actives vs nombre de générations (OEP/RS) – Réseau 14 nœuds.

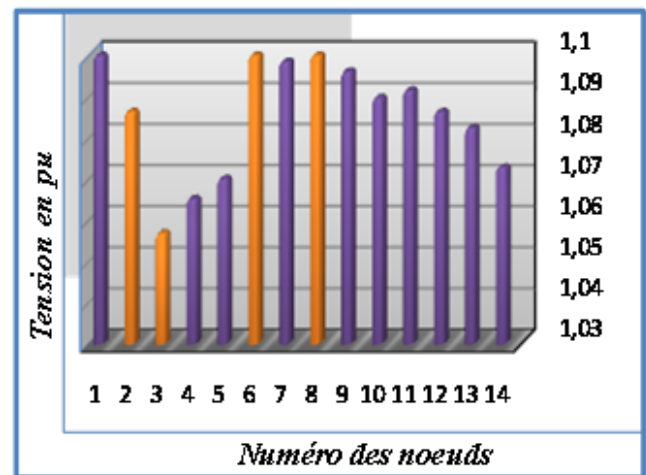


Fig.3 Tensions des nœuds (Algorithme-OEP/RS) Réseau 14 nœuds.

Nous avons constaté que les amplitudes de tensions et les rapports de transformation demeurent dans les limites permises, entre 0.9 et 1.1 p.u.

Les résultats obtenus prouvent la performance de cette hybridation en termes de qualité de la solution : pertes actives et profil de tensions.

Etude comparative :

Les tableaux (II) et (III) récapitulent respectivement les valeurs des tensions et pertes actives suite à l'exécution de la méthode proposée et comparés à ceux de travaux antérieurs [1, 6, 7].

TABLEAU II
VALEURS DES TENSION& PERTES ACTIVES
(METAHEURISTIQUES DE BASE) - IEEE 14

Nœuds	TYPE	Valeurs des tensions				
		AG	OEP	TS	RS	OEP/RS
1*	1	1.0982	1.1000	1.1000	1.1000	1.1000
2	2	1.0781	1.0850	1.0857	1.0852	1.0863
3	2	1.0367	1.0565	1.0562	1.0584	1.0567
4	0	1.0496	1.0666	1.0646	1.0654	1.0651
5	0	1.0568	1.0684	1.0694	1.0695	1.0700
6	2	1.0808	1.0900	1.0856	1.1000	1.1000
7	0	1.0806	1.0699	1.0897	1.0985	1.0985
8	2	1.0733	0.9550	1.1000	1.1000	1.1000
9	0	1.0820	1.0821	1.0803	1.0952	1.0961
10	0	1.0745	1.0763	1.0740	1.0889	1.0897
11	0	1.0743	1.0797	1.0764	1.0911	1.0915
12	0	1.0672	1.0759	1.0716	1.0863	1.0863
13	0	1.0637	1.0717	1.0676	1.0823	1.0824
14	0	1.0564	1.0600	1.0571	1.0722	1.0728
Pertes (MW)		12.4251	12.3091	12.2883	12.2773	12.2731

TABLEAU III
VALEURS DES TENSIONS& PERTES ACTIVES
(ALGORITHMES HYBRIDES) - IEEE 14 NŒUDS.

Nœuds	TYPE	Approches en lots		Approches intégratives	
		ALG1	ALG 2	ALG 3	ALG 4
		GA-RS	OEP-RS	GA-RS	OEP-RS
1*	1	1,1000	1,1000	1,1000	1.1000
2	2	1,0837	1,0852	1,0865	1.0863
3	2	1,0518	1,0561	1,0574	1.0567
4	0	1,0619	1,0641	1,0653	1.0651
5	0	1,0670	1,0690	1,0699	1.0700
6	2	1,1000	1,1000	1,1000	1.1000
7	0	1,0964	1,0975	1,0970	1.0985
8	2	1,1000	1,0976	1,0964	1.1000
9	0	1,0942	1,0959	1,0946	1.0961
10	0	1,0881	1,0895	1,0884	1.0897
11	0	1,0907	1,0914	1,0908	1.0915
12	0	1,0862	1,0863	1,0862	1.0863
13	0	1,0821	1,0824	1,0822	1.0824
14	0	1,0716	1,0726	1,0718	1.0728
Pertes (MW)		12.2795	12.2737	12,2743	12,2731

Réseau modèle IEEE 30 nœuds

Le réseau étudié est constitué de 30 nœuds, 41 lignes, 4 transformateurs dont 8 nœuds sont contrôlables (voir Annexe).

La solution globale du problème d'optimisation est obtenue après 8 itérations. En effet, ce nombre d'itérations dépend surtout des valeurs des paramètres définies précédemment.

Le plan des tensions et les pertes actives sont donnés respectivement dans le tableau (IV).

TABLEAU IV
VALEURS DES TENSION& PERTES ACTIVES

Nœuds	TYPE	Tension avant optimisation $V(pu)$	Tension après optimisation $V(pu)$
1*	1	1.060	1.1000
2	2	1.043	1.0663
3	0	1.000	1.0592
4	0	1.060	1.0499
5	2	1.010	1.0395
6	0	1.000	1.0407
7	0	1.000	1.0322
8	2	1.010	1.0450
9	0	1.000	1.0032
10	0	1.000	0.9858
11	2	1.082	0.9800
12	0	1.000	0.9887
13	2	1.071	1.0238
14	0	1.000	0.9744
15	0	1.000	0.9711
16	0	1.000	0.9799
17	0	1.000	0.9784
18	0	1.000	0.9634
19	0	1.000	0.9622
20	0	1.000	0.9673
21	0	1.000	0.9731
22	0	1.000	0.9738
23	0	1.000	0.9638
24	0	1.000	0.9629
25	0	1.000	0.9684
26	0	1.000	0.9498
27	0	1.000	0.9808
28	0	1.000	1.0397
29	0	1.000	0.9601
30	0	1.000	0.9482
Pertes (MW)			16.0501

La figure (4) représente la variation des pertes en fonction du nombre d'itérations. Nous avons constaté que les pertes diminuent au fur et à mesure que le nombre d'itérations augmente.

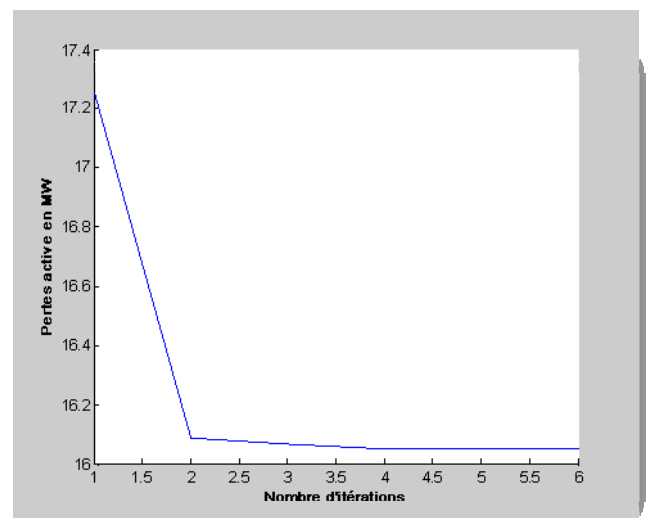


Fig.4 Pertes actives vs nombre de générations
(OEP/RS) – Réseau 30 nœuds.

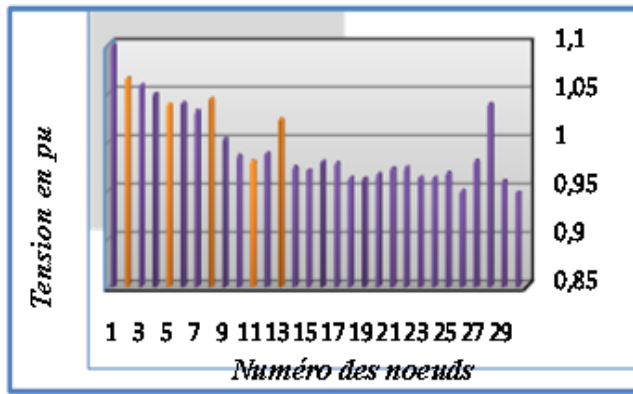


Fig.5 Tensions des nœuds (Algorithme-OEP/RS)- Réseau 30 nœuds

Nous avons constaté que les amplitudes de tensions demeurent dans les limites permises. Les résultats obtenus prouvent la performance de la méthode hybride proposée en termes de qualité de la solution : pertes actives et profil de tensions.

Etude comparative :

Les tableaux (V) et (VI) récapitulent les valeurs des modules de tensions et des pertes actives obtenus après l'exécution de la méthode hybride respectivement pour les deux réseaux et comparés aux résultats obtenus par des algorithmes de base : « OEP » et « RS » ainsi qu'à d'autres hybridations en lots et intégrative [5].

TABLEAU V
VALEURS DES TENSIONS & PERTES ACTIVES
METAHEURISTIQUES DE BASE

Nœuds	TYPE	Valeurs des tensions		
		OEP	RS	OEP/RS
1*	1	1.1000	1.1000	1.1000
2	2	1.0652	1.0650	1.0663
3	0	1.0561	1.0572	1.0592
4	0	1.0461	1.0474	1.0499
5	2	1.0390	1.0377	1.0395
6	0	1.0388	1.0375	1.0407
7	0	1.0309	1.0296	1.0322
8	2	1.0433	1.0400	1.0450
9	0	1.0089	1.0019	1.0032
10	0	0.9902	0.9840	0.9858
11	2	0.9964	0.9819	0.9800
12	0	0.9880	0.9867	0.9887
13	2	1.0178	1.0220	1.0238
14	0	0.9745	0.9724	0.9744
15	0	0.9718	0.9690	0.9711
16	0	0.9813	0.9780	0.9799
17	0	0.9819	0.9766	0.9784
18	0	0.9654	0.9614	0.9634
19	0	0.9650	0.9602	0.9622
20	0	0.9704	0.9653	0.9673
21	0	0.9775	0.9711	0.9731
22	0	0.9781	0.9718	0.9738
23	0	0.9661	0.9615	0.9638
24	0	0.9673	0.9604	0.9629
25	0	0.9752	0.9646	0.9684
26	0	0.9567	0.9459	0.9498
27	0	0.9890	0.9763	0.9808
28	0	1.0375	1.0363	1.0397
29	0	0.9685	0.9554	0.9601
30	0	0.9566	0.9434	0.9482
Pertes (MW)		16.1049	16.0933	16.0501

TABLEAU VI
VALEURS DES TENSIONS & PERTES ACTIVES
DES ALGORITHMES HYBRIDES-IEEE 30 NœUDS.

Nœuds	TYPE	Approches en lots		Approches intégratives	
		GA-RS	OEP-RS	GA-RS	OEP-RS
1*	1	1.1000	1.1000	1.1000	1.1000
2	2	1.0630	1.0646	1.0648	1.0663
3	0	1.0551	1.0574	1.0574	1.0592
4	0	1.0448	1.0477	1.0476	1.0499
5	2	1.0310	1.0339	1.0356	1.0395
6	0	1.0341	1.0384	1.0378	1.0407
7	0	1.0248	1.0285	1.0289	1.0322
8	2	1.0361	1.0430	1.0410	1.0450
9	0	0.9996	1.0012	1.0015	1.0032
10	0	0.9821	0.9830	0.9841	0.9858
11	2	0.9800	0.9800	0.9800	0.9800
12	0	0.9857	0.9840	0.9876	0.9887
13	2	1.0224	1.0167	1.0239	1.0238
14	0	0.9713	0.9699	0.9732	0.9744
15	0	0.9679	0.9668	0.9698	0.9711
16	0	0.9766	0.9760	0.9786	0.9799
17	0	0.9748	0.9753	0.9768	0.9784
18	0	0.9599	0.9596	0.9619	0.9634
19	0	0.9586	0.9586	0.9606	0.9622
20	0	0.9636	0.9639	0.9656	0.9673
21	0	0.9693	0.9702	0.9713	0.9731
22	0	0.9699	0.9708	0.9719	0.9738
23	0	0.9603	0.9598	0.9621	0.9638
24	0	0.9590	0.9594	0.9607	0.9629
25	0	0.9640	0.9647	0.9650	0.9684
26	0	0.9453	0.9460	0.9463	0.9498
27	0	0.9761	0.9769	0.9767	0.9808
28	0	1.0326	1.0375	1.0367	1.0397
29	0	0.9553	0.9561	0.9559	0.9601
30	0	0.9433	0.9441	0.9438	0.9482
Pertes (MW)		16.1539	16.1138	16.0932	16.0501

V- DISCUSSIONS

Une analyse rationnelle des résultats obtenus par les différents algorithmes hybrides et de base utilisés à travers les deux réseaux modèles IEEE14 nœuds et IEEE30 nœuds, on génère toute une série d'observations.

Sur la base des résultats obtenus pour les deux modèles de réseaux, il se dégage d'abord clairement que le compromis pertes actives - profil de tensions (amplitudes de tension) est respecté. En effet, plus les pertes actives sont petites, plus les tensions des nœuds des réseaux sont proches de leurs limites, et inversement.

Nous avons constaté aussi que les pertes diminuent au fur et à mesure que le nombre d'itérations augmente.

On peut remarquer que la méthode d'hybridation intégrative entre l'algorithme des essaims de particules et le recuit simulé a donnée des résultats meilleurs que les autres méthodes hybrides et de base.

L'implication du recuit simulé dans les techniques métaheuristiques hybrides a un effet positif sur la valeur des pertes actives, puisqu'on trouve les plus petites valeurs ou parmi les plus petites valeurs. Ceci s'explique par le fait que la méthode du recuit simulé est d'ailleurs celle qui donne les meilleurs résultats pour les métaheuristiques de base.

Le fait de l'insertion d'une recherche locale intensive au sein d'une métaheuristique à population donne des bons résultats.

Les méthodes hybrides OEP-RS donnent de meilleurs résultats que les techniques GA-RS (intégratives), ce qui semble être logique vu que le recuit simulé et le OEP sont les techniques les mieux classées en terme de minimisation de pertes actives pour les métaheuristicues de base.

VI. CONCLUSION

Dans cette communication, nous avons proposé une hybridation métaheuristique intégrative qui combine une métaheuristique à parcours avec une métaheuristique à recherche locale pour étudier un problème de fonctionnement des réseaux électriques, correspondant à la répartition optimale de la puissance réactive (OPRF).

Pour valider notre programme, des applications sur les réseaux modèles IEEE 14 nœuds et IEEE 30 nœuds ont été faites. Les résultats de simulation de cette technique ont été comparés à ceux de travaux antécédents.

La puissance active optimale a été déterminée en maintenant les amplitudes de tensions de tous les nœuds des systèmes de puissance dans des limites admissibles préalablement définis.

On conclut que les métaheuristicues hybrides présentent un avantage certain, tant qualitatif c'est-à-dire au niveau des résultats pratiques comme une diminution des valeurs des pertes actives tout en respectant le plan des tensions dans les limites des marges admises. Nous observons que les méthodes à approche intégrative sont celles qui donnent les meilleures valeurs en termes de pertes actives, à cause de l'insertion d'une recherche locale au sein d'une métaheuristique de base à population. Cependant, le compromis "pertes actives-plan de tension" est toujours respecté.

REFERENCES

- [1] Lahdeb Mohamed "Théorie et Application de Méthodes d'Hybridations Métaheuristicues dans les Réseaux électriques" Thèse de Magister Université de Laghouat Septembre 2007.
- [2] Kennedy, J., and Eberhart, R. C. (1995). Particle swarm optimization, *Proceedings of the IEEE Conference on Neural Networks*, IV, Piscataway, NJ, pp. 1942-1948.
- [3] S. Kirkpatrick, C. Gelatt and M. Vecchi, 'Optimization by simulated annealing', *Science* Vol. 220, No. 4598, May 1983, pp. 671-680.
- [4] S. Arif, " Planification de l'énergie réactive dans les réseaux électriques Application au Réseau Algérien " Thèse de Magister ENP Alger juin 1995 .
- [5] LADJICI Ahmed Amine « Calcul évolutionnaire : Application sur l'optimisation de la planification de la puissance réactive » Thèse de Magister ENP Alger 1995
- [6] M.Lahdeb, A. Hellal, S. Arif « Application d'Hybridations Métaheuristicues à l'Ecoulement Optimal de la Puissance Réactive » 3rd International Conference on Electrical Engineering ICEE'09 May 19-21, 2009 USTHB Algiers, Algeria,

- [7] M.Lahdeb, A. Hellal, S. Arif « Hybridations Métaheuristicues en Lots Appliquée à l'Ecoulement Optimal de la Puissance Réactive » Quatrième Conférence Internationale sur l'Electrotechnique ICEL'09 10-11 novembre 2009, Oran-ALGERIE
- [8] Blesa, M.J., Blum, C., Roli, A., Sampels, M., eds.: Hybrid Metaheuristics: Second International Workshop. Volume 3636 of LNCS. (2005).
- [9] Cotta, C.: A study of hybridisation techniques and their application to the design of evolutionary algorithms. *AI Communications* 11(3-4) (1998) 223-224
- [10] El-Abd, M., Kamel, M.: taxonomy of cooperative search algorithms. In Blesa, M.J., Blum, C., Roli, A., Sampels, M., eds.: Hybrid Metaheuristics: Second International Workshop. Volume 3636 of LNCS., Springer (2005) 32-41
- [11] Puchinger, J., Raidl, G.R.: Combining metaheuristics and exact algorithms in combinatorial optimization: A survey and classification. In: *Proceedings of the First International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation, Part II*. Volume 3562 of LNCS., Springer (2005) 41-53
- [12] Cotta, C., Troya, J.M.: Embedding branch and bound within evolutionary algorithms. *Applied Intelligence* 18 (2003) 137-153
- [13] Yutian Liu, SM IEEE Li Ma, Jianjun Zhang « GA/SA/TS Hybrid Algorithms for Reactive Power Optimization » Department of Electric Power Engineering Shandong University of Technology, Jinan, 250061 China

ANNEXES

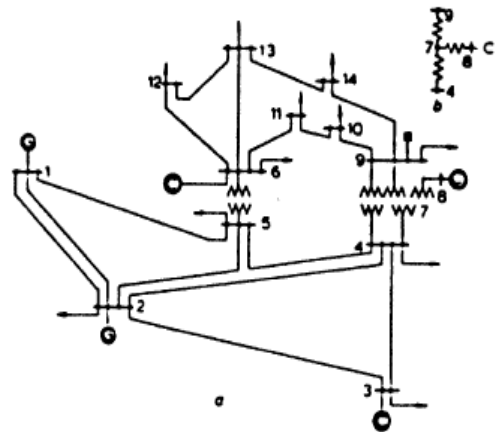


Schéma du réseau IEEE 14 nœuds

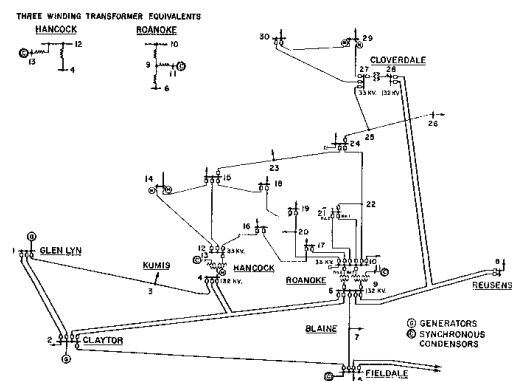


Schéma du réseau IEEE 30 nœuds