

# Régulation optimale de la tension & compensation de la puissance réactive avec contraintes de sécurité, d'un réseau électrique, par la méthode hybride MPI & AG

F. Boukhenoufa<sup>1</sup>, A. Boukadoum<sup>1</sup>, A. Leulmi<sup>2</sup>, F. Laouafi<sup>1</sup>, S. Leulmi<sup>1</sup>, N. Mezhoud<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université du 20 Août 1955 – Skikda, Algérie

<sup>2</sup> Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie

faroukmag@yahoo.fr, boukadoum2003@yahoo.fr, salah.leulmi@yahoo.fr, laouafi-f@yahoo.fr, as\_smaleulmi@yahoo.fr, mezhounab@yahoo.fr

**تمهيد** - إن مشكل التوزيع و التعويض الأمثل للطاقة الرد فعلية و التحكم الجيد في الجهد يعدان من بين المشاكل الرياضية غير الخطية ذات المتغيرات المتعددة. تعتبر المسائل الرياضية غير الخطية الأكثر نجاحا في محاكاة الظواهر المدروسة في مختلف الأبحاث.

تعد تقنيات الذكاء الاصطناعي من بين الفرضيات الأكثر منافسة للأنظمة الحية ، من حيث القدرة على التقدير، التعيين ، التحكم والدقة في اتخاذ القرارات. كما أثبتت ، حديثا ، جداتها وفعاليتها في دراسة مختلف الأنظمة بعمق. هذه الخصائص جعلتها تخرق بنجاح ، العديد من المجالات. خصوصا مساهمتها في التطور المتزايد لميداني السريان الأمثل للطاقة الرد فعلية و الضبط أو التنظيم الجيد لمستوى الجهد عبر مختلف نقاط الشبكات الكهربائية. كما أن التهجين بين مختلف هذه التقنيات فيما بينها أو مع تقنيات كلاسيكية ، أصبح اليوم مستعملا في كثير من الدراسات.

هذا البحث بعض ، يتناول الطرق الرياضية لتحديد و التعويض الأمثل للطاقة الرد فعلية (ROQ) ، و الضبط الجيد للجهد (ROU) لتحسين أداء الشبكات الكهربائية. نعتمد في دراستنا الرياضية على تطبيق طريقة النقاط الداخلية (MPI) كطريقة كلاسيكية ، و تطبيق إحدى تقنيات الذكاء الاصطناعي لاسميا تقنية الخوارزميات الجينية (AG) كطريقة حديثة. ثم نقوم بالمقارنة بين الطريقتين. بالنسبة لتعويض الاستطاعة الرد فعلية نقوم باستعمال الأنظمة المرنة للنقل بالتيار المتناوب (FACTS) و خاصة في هذا المجال ما يدعى ب (SVC). تعزيز النتائج ، و التأكد من صحتها يكون بتطبيق الطرق المقترحة على شبكة مرجعية و مقارنتها بنتائج بعض المراجع الأخرى. البرمجة أو الخوارزم المستعمل يكون عن طريق الـ MATLAB.6.5.

**Abstract** - This work considers, mainly, the various methods of identification and regulation in order to optimize the performances of the compensation of the reactive power Q and that of the voltage profile U. This optimization is based, firstly, on the application of the interior point method (IPM), as a traditional solution and the intelligent techniques of optimization as a modern solution, specially the genetic algorithms (GA). Then, a comparison between these 2 techniques (IPM & GA) will be accomplished. To improve the performances of the compensation of Q and the optimal regulation of U, we will use the FACTS device, in particular SVC.

The validation of the suggested methods will be carried out by simulation based on the Matlab.6.5 software. The obtained results will be compared to certain chosen references.

**Résumé** - Nous étudierons dans ce travail, les différentes méthodes d'identification et de régulation en vue d'optimiser ou d'améliorer les performances optimales de la compensation de l'énergie réactive Q et celles du plan ou profil de tension avec considération des contraintes de sécurité, d'un réseau électrique. Cette optimisation est basée, premièrement, sur l'application des MPI, comme solution traditionnelle et sur les TIA, en l'occurrence les AG, comme solution moderne. Ensuite, une étude comparative entre ces 2 techniques (MPI & AG) sera établie. Pour améliorer le profil de la compensation de Q et la régulation optimale de U, on utilise les dispositifs FACTS, en particulier le SVC.

La validation des 2 méthodes proposées sera effectuée par simulation basée sur le logiciel MATLAB 6.5. Les résultats obtenus seront validés par comparaison avec ceux obtenus dans certaines références bien choisies.

**Mots clés** - Optimisation, MPI, TIA, AG, compensation de Q, FACTS, SVC , régulation optimale de U, profil ou plan de U.

## 1. NOMENCLATURE

### a – Acronymes utilisés

AG	Algorithmes génétiques
EP	Écoulement de puissance
FACTS	Flexible Alternative Current Transmission Systems
GA	Genetic algorithm
JdB	Jeux de barres
IPM	Interior point method
KKT	Conditions de Karush-Kuhn-Tucker
LF	Logique floue
MPI	Méthode des points intérieurs
N-R	Newton – Raphson
RNA	Réseau de neurones
ROQ	Répartition optimale de l'énergie réactive
ROU	Régulation optimale du plan (profil) de tension
SVC	Static VAR compensator (compensateur réactif shunt)
TIA	Techniques d'intelligence artificielle

### b – Symboles utilisés

$c_j$	Facteur (coefficient) de pénalité pour $x_j$
$F$	Fonction d'adaptation
$f(z)$	Fonction objective de toutes les pertes actives
$f(z_D)$	Fonction objective des variables de commandes discrètes
$g(z)$	Fonction des équations des flux de puissance
$l$	Variable balancée ( $l \geq 0$ )
$N_{mut}$	Gène après la mutation
$N_{mi}$	Gène avant la mutation
$N_{max}$	Nombre maximum des étapes pour variable correspondante.
$Pen_j$	Pénalité ou Valeur de violation de
$P_{Gn}$	Puissance active des générateurs [MW]
$Q_C$	Puissance réactive injectée par le SVC shunt [MVar]
$Q_G$	Sorties de puissance réactive des générateurs [MVar]
$RAND$	Fonction des nombre entier aléatoire $[0, N]$
$T$	Rapport de transformation du transformateur
$T_i$	Rapports de transformation des transformateurs réglables
$U$	Paramètre de barrière, ( $u \geq 0$ )
$V$	Module de tension [pu]
$v, w$	Multiplicateurs de Lagrange, ( $v \geq 0, w \geq 0$ )
$x_j$	Variable d'état
$x_{jmin}$	Limites inférieures de variable d'état
$x_{jmax}$	Limites supérieures de variable d'état
$y$	Multiplicateur de Lagrange
$z_{Dmin}$	Limite inférieure de la variable de commande discrète
$z_{min}$	Limites inférieure des variables de commande
$z_{max}$	Limites supérieures des variables de commande
$\Delta z_D$	Taille d'étape de la variable de commande discrète
$\theta_i$	Angles des tensions des JdB
$\varepsilon$	Tolérance
$\gamma$	Point ou variable aléatoire

## 2. INTRODUCTION

Le problème de la compensation optimale de l'énergie réactive (ROQ) et de la régulation optimale du plan de tension (ROU) est un problème d'optimisation multi variable à fonction objective non linéaire, avec contraintes d'égalités et d'inégalités. Ce problème a été

employé pour la répartition et la planification économique des systèmes énergétiques [1] - [2].

Les problèmes d'optimisation non linéaires généraux sont très courants et constituent une part importante de nos recherches. Ces problèmes sont, souvent, très difficiles à résoudre, d'une part du fait de la diversité des contraintes d'inégalités et d'égalités et d'autre part du fait de la non convexité éventuelle de ces problèmes [3] - [4].

Les TIA sont des approches visant à émuler, dans des systèmes artificiels, les capacités des espèces vivantes pouvant identifier l'environnement et prendre les décisions adéquates en présence d'incertitudes et d'imprécisions. Les RNA, les AG et la LF sont 3 techniques qui disposent, aujourd'hui, d'une théorie bien fondée et qui ont été, efficacement, utilisées dans divers domaines. En l'occurrence, ces techniques ont pris une évolution ou ampleur croissante dans le domaine de la **ROQ/ROU** [5] - [6].

### 3. FORMULATION DU PROBLEME

On cherche à optimiser le plan de tension d'un réseau électrique non pollué et à déterminer les moyens, de compensation de l'énergie réactive, nécessaires pour le maintenir dans des limites admissibles.

La formulation du problème de la **ROQ/ROU** peut être exprimée comme un problème d'optimisation non linéaire avec contraintes d'égalité et d'inégalités décrit comme suit :

$$\begin{aligned} \min \quad & f(z) \\ & g(z) = 0 \\ & z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \end{aligned} \quad (1)$$

Tous les symboles, fonctions, paramètres et variables utilisés ci-contre sont, généralement, définis par ordre alphabétique dans le tableau de nomenclature.

Le vecteur des variables de contrôle comprenant le vecteur des variables d'état est dénoté par  $z(z_D, z_C, z)$  où  $z_D = [Q_C^T \ T^T]^T$  caractérise le vecteur des variables discrètes de commande avec contraintes et  $z_C = [Q_G^T \ V^T]^T$  représente le vecteur des variables continues avec contraintes.  $z = [P_{Gn} \ \theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{n-1}]^T$  est le vecteur des variables continues de commande sans contraintes.

### 4. METHODE DE POINTS INTERIEURS

La MPI offre la convergence rapide à résoudre les problèmes d'optimisation non linéaires à grande échelle [7]. Cette méthode permet en effet de résoudre des problèmes dont les dérivées secondes ne sont pas disponibles ou difficilement calculables. Comme le problème de la **ROQ/ROU** est un problème d'optimisation non linéaire avec contraintes d'égalité et d'inégalités, on peut, alors, le résoudre par le choix d'un des plus puissants algorithmes de la MPI dénommé : algorithme de barrière primal-dual [8].

L'intérêt de ce choix réside dans la possibilité de pouvoir prendre une convergence globale des itérés vers la solution du problème initial.

Le problème de la **ROQ/ROU**, défini mathématiquement sous la forme (1), peut être résolu par une MPI non linéaire basée sur l'algorithme de barrière primal-dual développé dans certains travaux, en l'occurrence, ceux de la référence [8]. La méthode consiste à choisir, en premier lieu, toutes les variables de contrôle  $z_C$ , définies par le problème d'optimisation (1), comme variables continues, sans compter les variables balancées. Les multiplicateurs de Lagrange sont présentés pour traiter les contraintes d'inégalités et d'égalités et les fonctions logarithmiques de barrière sont employées pour garantir les conditions de non négativité des variables balancées.

Le problème de la **ROQ/ROU** peut être transformé en sous problème de la fonction Lagrangienne sans contraintes comme suit :

$$\begin{aligned} L(z, y, l, u, v, w) = & f(z) - v^T (z - l - z_{\min}) - y^T g(z) \\ & + w^T (z + l - z_{\max}) - \mu \sum_{j=1}^n (\ln l_j + \ln u_j) \end{aligned} \quad (2)$$

Les conditions du premier ordre de Karush-Kuhn-Tucker (**KKT**) du sous problème défini par (2), sont basées sur la forme d'un ensemble d'équations algébriques non linéaires résolu par l'algorithme de Newton - Raphson.

Le procédé d'itération de la MPI est arrêté quand les écarts des conditions de KKT sont, suffisamment, petites et inférieures à une tolérance  $\varepsilon$ , préalablement, bien déterminée.

$$\|L_z\| = \|\nabla f(z) - \nabla g^T(z) y - v + w\| < \varepsilon \quad (3)$$

$$\|L_y\| = \|g^T(z)\| < \varepsilon \quad (4)$$

$$\|L_v\| = \|z - l - z_{\min}\| < \varepsilon \quad (5)$$

$$\|L_w\| = \|z + l - z_{\max}\| < \varepsilon \quad (6)$$

$$Pas = v^T l + w^T u < \varepsilon. \quad (7)$$

Dans la théorie primale-duale, les grandeurs  $z$ ,  $l$  et  $u$  sont les variables primales (principales). Par contre, les autres grandeurs  $y$ ,  $v$  et  $w$  sont les variables duales. L'expression (3) exprime la condition réalisable duale. Tandis que, les équations (4) et (6) caractérisent les conditions réalisables principales. L'équation (7), quant à elle, définit la condition complémentaire balancée. Par conséquent, la solution optimale doit accomplir les critères d'arrêt établis par les équations (3) et (6), alors que la solution réalisable doit satisfaire les critères d'arrêt exprimés par les équations (4) et (6).

### 5. METHODE DES ALGORITHMES GENETIQUES

Les AG sont des algorithmes d'optimisation basés sur les mécanismes de la sélection génétique naturelle. L'approche est basée sur la survie de l'hypothèse la plus convenable de Darwin [2]. Dans les AG, les solutions du candidat au problème donné sont analogues aux individus dans une population. Chaque individu est codé comme corde, appelée **chromosome** [5].

Les nouvelles solutions de candidat sont produites à partir des chromosomes de parent par l'opérateur de **croisement**. L'opérateur de **mutation** est, alors, appliqué à

la population. La qualité de chaque individu est évaluée et estimée par prétendu de la fonction d'adaptation. Similairement, au mécanisme de la sélection naturelle des systèmes biologiques, les individus les plus convenables ont plus de chance de transmettre l'information à la prochaine génération [2] & [7].

Quand le meilleur chromosome est formé par le processus d'adaptation désirée, il sera pris comme solution optimale et le processus d'optimisation est terminé. Autrement, le processus est répété jusqu'à ce que le nombre maximum des générations soit atteint et le chromosome le plus convenable, ainsi formé, sera choisi comme solution optimale.

L'AG choisi dans cette application est celui utilisé par les références [2] & [7] avec quelques modifications. Les différents opérateurs de l'AG sont décrits comme suit.

### a - Chromosomes

Puisque les rapports des transformateurs réglables et les compensateurs shunts sont tous des variables de commande discrètes, ils peuvent être codés comme variables de nombre entier (codage par permutations de valeurs entières). Quand une variable discrète de commande est exprimée par l'expression (8), la procédure de codage des variables de commande doit être réalisée par le codage du nombre entier. Par cette méthode de codage, la longueur du chromosome est égale au nombre de variables de commande et chaque gène représente un paramètre de commande de la **ROQ/ROU**.

$$z_D = \{z_{D_{\min}} + N \Delta z_D, N \in \{0, 1, \dots, N_{\max}\}\} \quad (8)$$

### b - Fonction d'adaptation

L'objectif de la **ROQ/ROU** est de réduire au minimum toutes les pertes actives. L'AG est conçue pour maximiser la fonction d'adaptation, qui est une mesure de la qualité de chaque solution du candidat. Par conséquent, une transformation est nécessaire pour convertir l'objectif de la **ROQ/ROU** en terme approprié de la fonction d'adaptation.

Les contraintes de variables de commande de la **ROQ/ROU** sont, automatiquement, satisfaites par la théorie de codage, alors que les contraintes de variables d'état sont nécessaires pour être incluses dans la fonction d'adaptation de l'AG par des limites de pénalité. Dans ce cas, la fonction d'adaptation  $F$  est formée comme suit :

$$F = -f(z_D) - \sum_j c_j Pen_j \quad (9)$$

$$Pen_j = \begin{cases} x_{j_{\min}} - x_j & \text{si } x_j < x_{j_{\min}} \\ x_j - x_{j_{\max}} & \text{si } x_j > x_{j_{\max}} \\ 0 & \text{Autrement} \end{cases} \quad (10)$$

Tous les symboles, fonctions, paramètres et variables utilisés ci-contre sont définis, par ordre alphabétique dans le tableau de nomenclature.

Pour chaque solution du candidat, le chromosome est décodé pour déterminer les variables de commande  $z_D$ . Les variables correspondantes d'état  $x$  sont calculées par la procédure d'écoulement de puissance. La fonction

d'adaptation de la solution de ce candidat peut, alors, être calculée par l'expression (9).

### c - Opérateurs de reproduction

**c<sub>1</sub> - Sélection :** La sélection est une opération pour garantir que les individus, avec des valeurs d'aptitude plus élevées, ont une probabilité plus élevée pour, aux mieux, contribuer à la nouvelle progéniture de la prochaine génération.

**c<sub>2</sub> - Opération de croisement :** Cette opération produit de nouveaux chromosomes par la combinaison des individus de parent. Dans ce cas, la méthode uniforme de croisement est adoptée, après plusieurs essais, avec un taux de croisement de 0.8 [7].

**c<sub>3</sub> - Opération de mutation :** La mutation est responsable de l'injection de nouvelle information. Pour le codage des chromosomes, l'opération de mutation est définie comme suit :

$$N_{mut} = \begin{cases} N_{ini} + RAND(N_{\max} - N_{ini}) \\ N_{ini} - RAND(N_{ini}) \end{cases} \quad (11)$$

La fonction  $RAND(N)$  renvoie un nombre entier aléatoire dans la gamme de  $[0, N]$ . Dans ce cas, l'opérateur de mutation est appliqué avec une probabilité de 0.03 à chaque gène du chromosome [7].

## 6. SIMULATION & RESULTATS

### a - Choix du réseau test

Le réseau électrique choisi pour cette application est un réseau comprenant 6 jeux de barres (**JdB**) appelé «Ward-Hale 6 bus system», représenté par la figure 1.

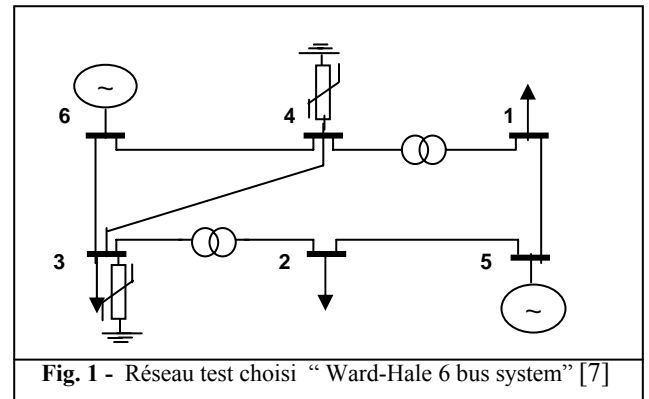


Fig. 1 - Réseau test choisi "Ward-Hale 6 bus system" [7]

Le JdB 6 est le JdB d'équilibre. Le JdB 5 est un JdB du type PV (JdB générateur). Les JdB 3 et 4 contiennent les compensateurs shunts. Les transformateurs réglables sont reliés aux branches 2-3 et 1-4. Les données des branches de ce réseau sont représentées dans le tableau 1.

Tab. 1 - Données des branches du réseau test					
Eléments	r [pu]	x [pu]	r <sub>t</sub> [pu]	x <sub>t</sub> [pu]	T
6-3	0.123	0.518	0	0	0
6-4	0.080	0.370	0	0	0
4-3	0.097	0.407	0	0	0
2-5	0.282	0.640	0	0	0
5-1	0.723	1.050	0	0	0
3-2	0	0	0	0.300	1.025
4-1	0	0	0	0.133	1.100

Les contraintes qui concernent les variables de contrôle sont décrites dans le tableau 2.

Tab. 2 - Contraintes des variables de contrôle pour le réseau test						
Variables	Rapports de transformation T		Tensions en [pu] des JdB générateurs		Puissances réactives [MVar]	
	T <sub>2-3</sub>	T <sub>1-4</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>5</sub>	Q <sub>g3</sub>	Q <sub>g4</sub>
Limites						
Inférieure	0.910		1.0	1.1	0.0	0.0
Supérieure	1.110		1.1	1.15	5.5	5.0

Les contraintes relatives aux variables dépendantes sont décrites dans le tableau 3. Par contre, les données des JdB du réseau sont présentées dans le tableau 4. La puissance de base utilisée est S<sub>B</sub> = 100 [MVA].

Tab. 3 - Contraintes des variables dépendantes pour le réseau test		
Grandeurs	Tensions des JdB charges [pu]	Puissances réactives des JdB générateurs [pu]
Limites		
Inférieure	0.9	- 0.2
Supérieure	1.1	1.1

Tab. 4 - Données nodales du réseau test							
JdB	Tension		Charge		Génération		Admittance du SVC
	V [pu]	θ [degré]	P <sub>d</sub> [pu]	Q <sub>d</sub> [pu]	P <sub>g</sub> [pu]	Q <sub>g</sub> [pu]	Y <sub>cap</sub> [pu]
1	1	0	0.55	0.13	0	0	0
2	1	0	0.30	0.18	0	0	0
3	1	0	0.50	0.05	0	0	0.5
4	1	0	0	0	0	0	0.5
5	1.1	0	0	0	0.501	0	0
6	1.05	0	0	0	0	0	0

### b - Résultats du calcul de l'écoulement de puissance

L'étude de l'écoulement de puissance, par l'application de la méthode de N-R, a donné, après 4 itérations, les résultats présentés dans le tableau 5.

Le tableau 6 caractérise les résultats, de l'écoulement de puissance du même réseau, obtenus par la référence [6].

Tab. 5 - Résultats de l'écoulement de puissance						
JdB	Tension		Charge		Génération	
	V [pu]	θ [degré]	P <sub>d</sub> [pu]	Q <sub>d</sub> [pu]	P <sub>g</sub> [pu]	Q <sub>g</sub> [pu]
1	0.8552	-13.8149	0.55	0.13	0	0
2	0.9009	-13.3980	0.30	0.18	0	0
3	0.9332	-12.6355	0.50	0.05	0	0
4	0.9525	-9.9117	0	0	0	0
5	1.100	-6.0947	0	0	0.5010	0.3478
6	1.050	0	0	0	0.9652	0.3812

Pertes actives totales dans le réseau : **11.6197 [MW]**

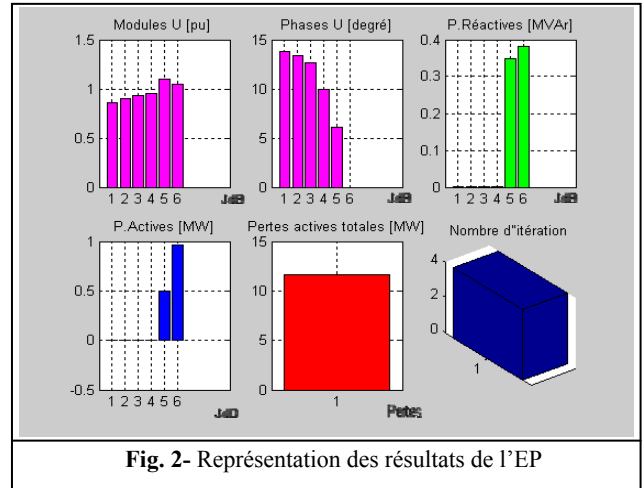


Fig. 2- Représentation des résultats de l'EP

Tab. 8 - Etat du réseau après l'application de la MPI						
JdB	Tension		Charge		Génération	
	V [pu]	θ [degré]	P <sub>d</sub> [pu]	Q <sub>d</sub> [pu]	P <sub>g</sub> [pu]	Q <sub>g</sub> [pu]
1	0.99121	0.02534	0.55	0.13	0	0
2	0.96854	-0.07261	0.30	0.18	0	0
3	0.98592	-0.03529	0.50	0.05	0	0.3140
4	1.05210	-0.04064	0	0	0	0.6502
5	1.15510	-0.07350	0	0	0.90	0.7031
6	1.08530	0	0	0	1.398	0.6502

Pertes actives totales dans le réseau : **9.8754 [MW]**

Tab. 6 - Résultats de l'écoulement de puissance de la référence [6]						
JdB	Tension		Charge		Génération	
	V [pu]	θ [degré]	P <sub>d</sub> [pu]	Q <sub>d</sub> [pu]	P <sub>g</sub> [pu]	Q <sub>g</sub> [pu]
1	0.8550	-13.8150	0.55	0.13	0	0
2	0.9010	-13.3980	0.30	0.18	0	0
3	0.9330	-12.6340	0.50	0.05	0	0
4	0.9530	-9.9120	0	0	0	0
5	1.100	-6.0950	0	0	0.5010	0.3480
6	1.050	0	0	0	0.9650	0.3820

Pertes actives totales dans le réseau : **11.807 [MW]**

On peut remarquer que la tension V<sub>1</sub> est hors limite. Pour cela, on est obligé d'ajuster les variables de contrôle

$[V_5 \ V_6 \ T_{1-4} \ T_{2-3}]$  et les valeurs de puissances réactives générées aux JdB 3 et 4, par la régulation des compensateurs réactifs shunts (SVC) en vue d'obtenir un plan optimal de tension et en même temps minimiser les pertes totales de la puissance active dans le réseau.

Dans ce qui suit, on va utiliser ces résultats comme base de données de l'application des 2 méthodes d'optimisation non linéaires avec contraintes d'égalité et d'inégalité. Dans notre application, il s'agit d'une minimisation des pertes actives. Les méthodes concernées sont la MPI et l'AG.

### c - Résultats obtenus par l'application de la MPI

L'application de la MPI pour le problème de la **ROQ/ROU** a donné les variables de commande suivantes :

Variable de contrôle	$V_5$ [pu]	$V_6$ [pu]	$T_{1-4}$	$T_{2-3}$	$Q_{g3}$ [pu]	$Q_{g4}$ [pu]
Valeur	1.1551	1.0853	1.0584	1.0584	0.3140	0.6502

L'injection de ces variables de contrôle dans le programme de l'EP a donné les résultats simulés dans le tableau 8 et dans la figure 3.

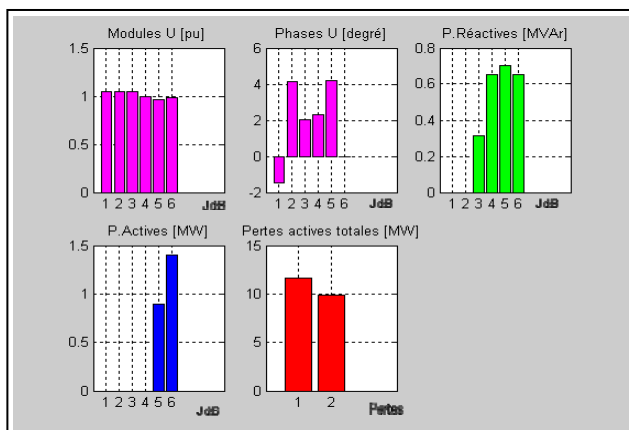


Fig. 3 - Représentation des résultats par l'application de la MPI

On remarque que les pertes ont diminué de **11.6197 [MW]** (avant l'optimisation) à **9.875 [MW]** (après l'optimisation). De plus, toutes les contraintes sont respectées.

JdB	Tension		Charge		Génération	
	V [pu]	$\theta$ [degré]	$P_d$ [pu]	$Q_d$ [pu]	$P_g$ [pu]	$Q_g$ [pu]
1	1.050	0.02534	0.55	0.13	0	0
2	1.050	-0.07261	0.30	0.18	0	0
3	1.050	-0.03529	0.50	0.05	0	0.3140
4	0.99121	-0.04064	0	0	0	0.6502
5	0.96854	-0.07350	0	0	0.90	0.7031
6	0.98592	0	0	0	1.398	0.6502

Pertes actives totales dans le réseau : **9.8754 [MW]**

Les résultats obtenus sont conformes avec ceux obtenus, par l'application de la MPI des références [7]-

[8], dans le tableau 9. Par conséquent, on peut conclure que l'application de la MPI est efficace pour l'amélioration du profil de tension et de la minimisation des pertes actives.

### d - Résultats obtenus par l'application de la MAG

L'hybridation de la MPI avec l'AG est caractérisée par l'acronyme MAG. L'application de l'AG pour la résolution du problème de la **ROQ/ROU** a donné le vecteur des variables de commande optimales présenté au tableau 10. L'injection de ces variables de contrôle, dans le programme de l'EP, a donné les résultats simulés dans le tableau 11 et dans la figure 4.

Variables de contrôle	$V_5$ [pu]	$V_6$ [pu]	$T_{1-4}$	$T_{2-3}$	$Q_{g3}$ [pu]	$Q_{g4}$ [pu]
Valeurs	1.1500	1.1000	0.9400	0.9500	0.0550	0.0500

Les AG sont capables de traiter les problèmes avec variables discrètes. Les résultats de simulation montrent, clairement, que toutes les variables de contrôle sont bien ajustées. Les tensions et les puissances réactives sont dans leurs limites. Les pertes ont diminué de 11.6197 [MW] (Tab. 5 avant optimisation) à 8.7148 [MW] (Tab. 11 après optimisation par la MAG). Ceci représente un gain absolu de 2.91 [MW].

JdB	Tension		Charge		Génération	
	V [pu]	$\theta$ [degré]	$P_d$ [pu]	$Q_d$ [pu]	$P_g$ [pu]	$Q_g$ [pu]
1	1.0324	-11.4367	0.55	0.13	0.0000	0.0000
2	1.0116	-10.965	0.30	0.18	0.0000	0.0000
3	0.9814	-10.850	0.50	0.05	0.0000	0.0624
4	0.9991	-8.7305	0	0	0.0000	0.0489
5	1.1498	-2.6848	0	0	0.5010	0.1434
6	1.0990	0	0	0	0.9361	0.4118

Pertes actives totales dans le réseau : **8.7148 [MW]**

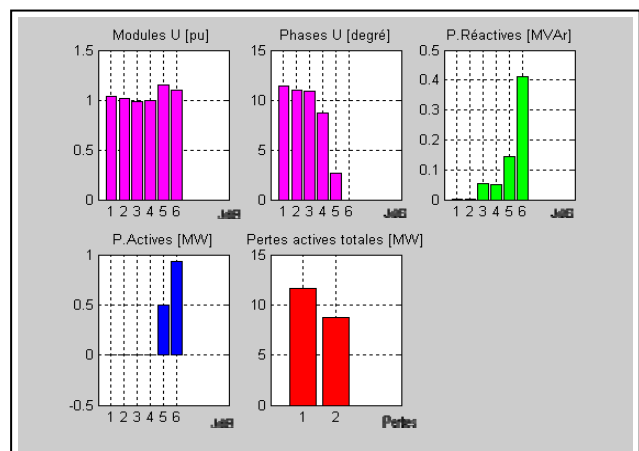


Fig. 4 - Représentation des résultats par l'application de la MAG

**Tab. 12 - Etats du réseau après application de la méthode des AG de la référence [2].**

JdB	Tension		Charge		Génération	
	V [pu]	$\theta$ [degré]	P <sub>d</sub> [pu]	Q <sub>d</sub> [pu]	P <sub>g</sub> [pu]	Q <sub>g</sub> [pu]
1	1.0401	-11.3977	0.55	0.13	0	0
2	1.0180	-10.9237	0.30	0.18	0	0
3	0.9729	-10.8404	0.50	0.05	0	0.055
4	0.9915	-8.7269	0	0	0	0.0450
5	1.1473	-2.4059	0	0	0.50100	0.11717
6	1.0995	0	0	0	0.93668	0.44857
Pertes actives totales dans le réseau : <b>8.7684</b> [MW]						

**Tab. 13 - Etats du réseau après application de la méthode des AG de la référence [9].**

JdB	Tension		Charge		Génération	
	V [pu]	$\theta$ [degré]	P <sub>d</sub> [pu]	Q <sub>d</sub> [pu]	P <sub>g</sub> [pu]	Q <sub>g</sub> [pu]
1	1.0240	-11.6064	0.55	0.13	0	0
2	1.0189	-11.0715	0.30	0.18	0	0
3	0.9766	-10.8733	0.50	0.05	0	0.05
4	0.9974	-8.7113	0	0	0	0.05
5	1.1500	-2.8460	0	0	0.5010	0.1385
6	1.1000	0	0	0	0.9367	0.4266
Pertes actives totales dans le réseau : <b>8.77</b> [MW]						

Les résultats de simulation obtenus par l'hybridation de la MPI avec l'AG, dénommée MAG, sont presque conformes à ceux donnés par les références [2] & [9] (Tab. 12 & 13). D'après les résultats de simulation obtenus, on conclut que l'AG est capable de résoudre le problème de la **ROQ/ROU** avec succès.

## 7. CONCLUSIONS

La **ROQ/ROU** est un problème d'optimisation multi variable à fonction objective non linéaire avec contraintes d'égalité et d'inégalité. Ce problème d'optimisation peut être traité par différentes méthodes numériques, après avoir supposé quelques simplifications et appliqué quelques traitements spéciaux. Ces méthodes peuvent mener à des minimums locaux et parfois, à un minimum global.

Mathématiquement, la MPI est caractérisée par son efficacité, sa robustesse et son temps de convergence rapide. Sa convergence rapide est une caractéristique pour la résolution des problèmes d'optimisation non linéaires à grande échelle.

Les résultats obtenus montrent que l'application des TIA, en l'occurrence les AG, reste, toujours, plus efficace que les autres méthodes classiques.

L'application de la méthode des AG peut présenter une bonne solution au problème de la **ROQ/ROU** sans passer par les termes de dérivation de la fonction objective ou des contraintes. Les résultats de simulation montrent l'efficacité et la robustesse de cette technique. L'espace de recherche de cette technique est représenté dans une population de points et non pas dans un point unique. La solution globale se trouve parmi les solutions locales trouvées dans une population.

D'après les résultats obtenus, on conclut que l'AG est très puissant pour traiter des variables discrètes. Par contre, la MPI est attrayante pour son efficacité de manipuler la programmation non linéaire continue à grande échelle.

## 8. REFERENCES

- [1] E. A. Belati, V. A. de Sous & L.C.T. Nunes and G. R.M. da Costa, "Newton's method associated to the interior point method for optimal reactive dispatch problem", Bologna Power - Tech Conference, June 23-26, Bologna, Italy, 2003.
- [2] F. Laouafi, "Régulation optimale de U & compensation de Q par les TIA", Mémoire de magister, Encadré par Prof. S. Leulmi, Dpt. D'Electrotechnique, Université de Skikda, Algérie, 2005.
- [3] A. Leulmi "Une procédure améliorante d'une méthode projective en programmation linéaire", Mémoire de magister, Encadré par Dr. D. Benterki, Dpt. de Mathématiques, Université de Skikda, Algérie, 2006.
- [4] Gilles Savard, "Introduction aux méthodes de points intérieurs: Cours photocopié", Dpt. de Mathématiques & de Génie Industriel, Ecole Polytechnique de Montréal, Canada, Février, 2001.
- [5] K. Hemsas, "Développement d'un nouveau modèle de la machine asynchrone pour la commande et la surveillance", Thèse de Doctorat, Encadrée par Prof. S. Leulmi, Dpt. D'Electrotechnique, Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 2006.
- [6] Federico Milano, "Power system analysis toolbox", 59 Temple Place, Suite 330, Boston, IEEE 0211-1307, USA, 2005.
- [7] Wei Yan, Fang Liu, C. Y. Chung, & K. P. Wong, "A hybrid genetic algorithm - interior point method for optimal reactive power flow", The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, Digital Object Identifier 10.1109/TPWRS. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 3, 2006.
- [8] Mingbo. Liu, S. K. Tso & Ying Cheng, "An extended nonlinear primal - dual interior point algorithm for reactive power optimization of large scale power systems with discrete control variables", Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou, 510640, Vol.17, No. 4, China, November 2002.
- [9] H. Zhang & L. Zhang, "Reactive power optimisation based on genetic algorithm", IEEE International Conference on Power System Technology, Proceeding Powercon'98, Vol. 2, pp. 1448- 1453, 18-21 Aug. 1997.