

Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement

Optimisation par K.K.T (karush-khun-tuker) de Fonctionnement d'une Génératrice Asynchrone connectée au réseau

Aristol TSIMA¹, Charles Bernard ANDRIANIRINA¹, Max ANDRIANANTENAINA², Rabe TSIROBAKA².

¹ Institut Supérieur des Sciences et Technologies de Mahajanga, Université de Mahajanga, Bâtiment Ex-LOLO Mahajangabe, Madagascar ² Département d'Electricité, Ecole Supérieure Polytechnique BP 0, 201 Université d'Antsiranana, Madagascar

E-mail: art.tsima@yahoo.fr

Résumé:

Madagascar est un pays sous développé. Les pluparts des énergies électriques utilisés sont des sources thermiques. Ces centrales traditionnelles utilisent des carburants alors qu'ils provoquent de la pollution de l'air pour la vie humaine et de nature, entraine réchauffement et perturbation de climat. L'énergie électrique est un facteur essentiel pour le développement et l'évolution des sociétés humaines que cela soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie, ou sur le développement des activités industrielles.

Le potentiel d'énergie du vent à Madagascar est très élevé, pas encore exploité, donc pour développement, réduire les délestages et diminuer les fléaux catastrophiques provoqués par pollution de l'air, leur étude est nécessaire, d'où l'objectif est l'optimisation de comportement de centrale éolienne coupler au réseau.

La première étape est la modélisation, c'est à dire la mise en équation des systèmes en utilisant des hypothèses simplificatrices, la seconde est l'utilisation de la méthode de Newton, les conditions d'optimalité de karush-khun-tuker pour la résolution. Après un programme de calcul, on obtient des courbes des fonctionnements, multiplicateurs de Lagrange. On a étudié un système simplifier ne contient pas des matériels électronique composé par génératrice asynchrone avec une charge qui relie au réseau. Le point de fonctionnement pour la puissance optimale de charge est obtenu à partir des applications

Les résultats obtenus sont des courbes de tension de la charge, angle de charge, angle interne de la machine, tension interne, vitesse de rotation de la génératrice asynchrone et multiplicateur de Lagrange. Ils sont en fonction de la puissance de la charge en premier temps la puissance maximale est trouvée à partir de la tangente vertical des courbes, en fonction du temps pour la régime dynamique et en fonction du nombre d'itération pour la méthode de point intérieur.

Mots clés: Optimisation, génératrice, asynchrone, éolienne, , karush-kuhn-Tuker, Newton.

Abstract:

Madagascar is an underdeveloped country. Most of the electric energies used are thermal sources. These traditional plants use fuels while they cause air pollution for human life and by nature, causes warming and disruption of climate. Electric energy is an essential factor for the development and evolution of human societies, whether in terms of improving living conditions, or on the development of industrial activities.

The energy potential of the wind in Madagascar is very high, not yet exploited, so for development, reduce load shedding and reduce catastrophic plagues caused by air pollution, we prefer to study ways to couple the power plant already operational (synchronous machine, generator) with wind turbines.

The first step is the modeling, ie the equation of the systems using simplifying hypotheses, the second is the use of Newton's method, the karush-khun-tuker optimality conditions for the resolution. After a calculation program, one obtains curves of the operations, multipliers of Lagrange. A simplifying system has been studied that does not contain electronic hardware composed by asynchronous generator with a load that connects to the network. The operating point for the optimal load power is obtained from the applications of the optimality conditions.

The results obtained are load voltage curves, load angle, internal machine angle, internal voltage, asynchronous generator speed and Lagrange multiplier. They are in function of the power of the load at first time the maximum power is found from the vertical tangent of the curves, as a function of time for the dynamic regime and according to the number of iteration for the inner point method.

Keywords: Optimization, generator, asynchronous, wind turbine, Karush kuhn Tuker, Newton.

Nomenclature

	Lettres latines		Lettres grecques
Ep:	Tension interne de la machine Asynchrone	£:	Fonction de Lagrange
Eq:	Tension interne de la machine Synchrone	ψ_{rd} :	flux rotorique directe
$\mathbf{E_t}$:	Tension terminale.	δ, β:	Vecteurs variables d'écart
$\mathbf{E_q'}$:	Tension proportionnelle à la composante directe	λ, μ:	Vecteurs de multiplicateur de Lagrange
GL:	Angle de charge		Indices/Exposants
Gm:	Angle de la machine asynchrone	L:	Charge
Κ _A , Τ _A :	Gain et constante de temps du régulateur de tension	d:	Directe
r _r :	Resistance rotorique	i,j	Entier naturelle
r _s :	Resistance statorique	q: r:	Quadrature Rotor
Pi:	Puissance active au nœud i	S:	Stator
PL:	Puissance active au borne de la charge		
Qi:	Puissance réactive au nœud i		

QL: Puissance réactive au borne

de la charge

T_{ei}: Couple électriqueT_{mi}: Couple mécanique

 T'_{oi} : Constante de temps

 $\mathbf{T}_{\mathbf{d0}}^{'}$: Constante de temps transitoire

du circuit

VL: Valeur efficace de la tension

au borne de la charge

V_{ref}: Tension de référence

V_s: Signal supplémentaire Wr: Vitesse de rotation de la

machine Asynchrone

X_{ri}: Réactance rotorique

X_{si}: Réactance statorique

X_{mi}: Réactance magnétisante

X_d: Composante directe de la

réactance statorique en pu

X_q: Composante quadrature de la réactance statorique en p.u

I. INTRODUCTION

pluparts des énergies électriques utilisés sont des sources thermiques. Ces traditionnelles utilisent centrales carburants alors qu'ils provoquent de la pollution de l'air pour la vie humaine, de la nature, des dégradations de couche d'ozone, entraine la réchauffement et perturbation de climat. L'énergie électrique est un facteur développement essentiel pour le l'évolution des sociétés humaines que cela soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie, ou sur le développement des industrielles. activités L'énergie éolienne aujourd'hui la est source renouvelable non conventionnelle la plus compétitive et qui a le taux de croissance le plus élevé [1]. Elle représente déjà une des formes d'énergie renouvelable les plus importantes pour la production d'énergie

électrique. La quantité d'électricité produite dans le monde soit par les grandes fermes éoliennes, soit par des petits systèmes de conversion d'énergie éolienne. Le potentiel d'énergie du vent à Madagascar est très élevé mais pas encore exploité, donc pour développer l'exploitation d'énergie électrique, pour réduire les délestages provoquer par pénurie des carburants, diminuer fléaux les catastrophique provoqués par la pollution de l'air, on se préfère coupler le centrale déjà opérationnel (groupe électrogène) avec l'éolienne a génératrice asynchrone qui est le moins chère. Pour bon fonctionnement, on doit l'optimiser. Pour ce présent article, on se propose de mise en évidence l'étude de l'optimisation des paramètres de fonctionnement d'une machine asynchrone connectée au réseau avec une charge. On réalise ce travail à partir des équations modélisant du système et en utilisant la méthode de K.K.T (Karush Kuhn Tucker).

II. METHODE POUR LA RECHERCHE LE POINT OPTIMAL

L'étude de l'optimisation pour une fonction donnée est la recherche de minimum ou de maximum de cette fonction dite une fonction d'objectifs définie sur un ensemble quelconque et en appliquant une méthode adéquate. Optimiser c'est choisir parmi plusieurs possibilités celle qui répond le mieux à certains critères [2].

Conformément au problème poser, on utilise ici la forme générale, donc appliquons la formule là où il y a des fonctions des contraintes d'égalité, d'inégalité et on introduit des multiplicateurs de Lagrange et des variables.

2-1 Enoncé de la méthode :

Le problème d'optimisation de Karush-Kuhn-Tucker est définie par :

$$\max f(x)$$

Avec des contraintes d'égalité et inégalité : $g_i(x) = 0$ pour i = 1, ..., m $h_j(x) \le 0$ pour j = 1, ..., p (1) $\mu_j h_j(x) = 0$ pour j = 1, ..., p

 λ_{i} , μ_{j} : Multiplicateurs de Lagrange généralisés.

2.2 Définitions :

1- Lorsque toutes les applications sont différentiables, le lagrangien en $x \in \mathbb{R}^n$ est donné par [3],[10] :

$$\mathcal{L}(x, \lambda, \mu) = f(x) + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i g_i(x) + \sum_{i=1}^{p} \mu_i h_i(x)$$
(2)

2- Le vecteur gradient est obtenu à partir de la formule suivante:

$$\nabla_{x} \mathcal{L}(x, \lambda, \mu) = \nabla f(x) + \sum_{i=1}^{p} \lambda_{i} \nabla g_{i}(x) + \sum_{j=1}^{q} \mu_{j} \nabla h_{j}(x)$$
(3)

3- On définit aussi, lorsque les applications sont deux fois différentiables, la matrice Hessienne du lagrangien en $x \in \mathbb{R}^n$, par :

$$\nabla_x^2 \mathcal{L}(x, \lambda, \mu) = \nabla^2 f(x) + \sum_{i=1}^p \lambda_i \nabla^2 g_i(x) + \sum_{i=1}^q \mu_i \nabla^2 h_i(x)$$
 (4)

$$\nabla_x^2 \mathcal{L}(x,\lambda) = \left(\frac{\partial^2 \mathcal{L}}{\partial x_i \partial x_j}(x,\lambda)\right)_{\substack{i=1...n\\j=1...n}} =$$

$$\nabla^2 f(x) + \sum_{i=1}^p \lambda_i \nabla^2 g_i(x) + \sum_{j=1}^q \mu_j \nabla^2 h_j(x)$$
 (5)

C'est une matrice symétrique car : $\partial^2 \mathcal{L}(x)/\partial x_i \partial x_j = \partial^2 \mathcal{L}(x)/\partial x_j \partial x_i$

2.3 Conditions de karush-kuhn-tucker:

Le point optimum est obtenu par les deux conditions suivantes :

1^{ere} condition:

u est solution de l'équation (2) sis $\lambda_1 \dots \lambda_p$, $\mu_1 \dots \mu_q$ tels que:

*
$$\forall i = 1, ..., m, g_i(u) = 0;$$
 (6)

$$*\forall j = 1, \dots, p, h_j(u) \le 0; \tag{7}$$

$$*\forall j = 1, \dots, p, \mu_i \ge 0; \tag{8}$$

*
$$\forall j = 1, \dots, p, \sum_{i=1}^{p} \mu_{i} h_{i}(u) = 0; (9)$$

* $\nabla_x \mathcal{L}(u, \bar{\lambda}, \bar{\mu}) = 0. (u, \bar{\lambda}, \bar{\mu})$ est la solution de l'équation (2). (10)

2^{eme} condition:

Le point $(u, \bar{\lambda}, \bar{\mu})$ est l'optimum par K.K.T si la matrice:

$$\nabla_{xx}^2 \mathcal{L}\left(u, \bar{\lambda}, \bar{\mu}\right) > 0. \tag{11}$$

Les équations de Karush-Kuhn-Tucker sont des conditions d'optimalité seulement, pour résoudre et trouver les solutions optimales, il faut utiliser une méthode de résolution.

2.4 Méthode de Newton:

Pour la résolution de systèmes d'équations non-linéaires, on préfère la *méthode de Newton* [15], dont nous décrivons brièvement le principe :

Soit $F: \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^n$, une fonction non linéaire différentiable.

La méthode de Newton est une procédure itérative qui a pour objectif de trouver un point $x \in \mathbb{R}^n$ tel que :

$$F(x) = 0. (12)$$

Pour chaque itéré $x^{(k)}$, la méthode calcule une approximation du premier ordre (linéaire) de F autour de $x^{(k)}$ et définit l'itérer suivant $x^{(k+1)}$ comme le zéro de cette approximation linéaire.

Si J est la matrice Jacobienne de F (que l'on suppose ne pas être singulière), on écrit :

$$F(x^{(k)} + \Delta x^{(k)}) \approx F(x^{(k)}) + J(x^{(k)})\Delta x^{(k)}$$
(13)

et le pas de Newton Δx^k est choisi de telle sorte que cette approximation linéaire est égale à zéro : on pose donc

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^k$$
 avec $\Delta x^{(k)} = -J(x^{(k)})^{-1}F(x^{(k)})$ (14)

Le calcul de $(x^{(k)})$ est généralement effectuée en pratique via la résolution du système linéaire :

$$J(x^{(k)})\Delta x^{(k)} = -F(x^{(k)})$$
 (15)

Plutôt qu'en évaluant explicitement l'inverse de $J(x^{(k)})$. La convergence vers une solution est garantie à partir du moment où l'itéré initial $x^{(0)}$ se trouve dans un voisinage suffisamment proche d'un des zéros de F. Les calculs s'arrêtent lorsque :

$$\left| \Delta x^{(k+1)} \right| \le \epsilon \tag{16}$$

III. MODELISATION DES SYSTEMES

L'objectif est d'établir un modèle le plus précis possible, simple et sans commande mécanique ni électronique en admettant des hypothèses de simplification. Ce modèle doit représenter au mieux le fonctionnement physique de la machine

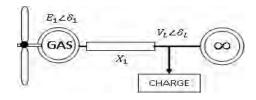


Figure 1 : Système réduit étudié

3.1 Hypothèses simplificatrices :

Pendant cette étude il est important d'appliquer les hypothèses suivantes [2]:

1. La fréquence reste constante.

- 2. Les lignes de transport sont représentables par des circuits en π ,
- 3. Le comportement du réseau triphasé est équilibré.
- 4. Nous admettons que les charges alimentées par le réseau sont toutes passives et linéaires, assimilables à des impédances.
- 5. Les éléments du réseau ne présentent pas entre eux d'impédance mutuelle.

Pour pouvoir établir les équations régissant sur le fonctionnement d'une machine asynchrone, et synchrone, on va adopter les hypothèses suivantes :

- 6. La force magnétomotrice créée par chacune des phases des armatures est à répartition sinusoïdale.
- 7. L'entrefer est d'épaisseur uniforme et l'effet d'encochage est négligé ;
- 8. Les résistances ne varient pas avec la température et on néglige l'effet de peau ,
- 9. L'effet des amortisseurs dans le rotor est négligé. [9].
- 10. Les termes dérivatifs pψp et pψq sont négligés du modèle du stator car ces termes décroissent très rapidement [9].
- 11. La saturation, l'hystérésis et les courant de Foucault sont négligeables,
- 12. L'effet de la variation de la vitesse est négligé. Cette simplification est basée sur l'idée que la vitesse rω en p.u égale à 1. Cela ne signifie pas que la vitesse est constante

mais la variation est très petite et n'ont aucun effet sur la tension au stator [9], [13], [14].

3.2 Modèle des composantes de systèmes étudié :

Pour simplifier l'étude, on adopte la configuration suivante, c'est à dire il faut une machine asynchrone , une machine synchrone aussi et une charge commune.

3.2.1 Modèle de la machine :

Les équations dynamiques en 3eme ordre régissant la génératrice asynchrone sont obtenues de l'équation d'état de la f.e.m, l'angle interne et de la pulsation. Le modèle en générateur synchrone équivalent de la machine asynchrone est donnée par les formules [6],[7],[12]:

$$\frac{dS_i}{dt} = \frac{1}{2H_{G_i}} \left[T_{m_i} - T_{e_i} \right] \tag{17}$$

$$\frac{dE'_{qr_i}}{dt} = -\frac{1}{T'_{o_i}} \left[E'_{qr_i} - (X_i - X'_i) i_{ds_i} \right] - S_i \omega_s E'_{dr_i}$$
(18)

$$\frac{dE_{dr_i}^{\prime}}{dt} = -\frac{1}{T_{o_i}^{\prime}} \big[E_{dr_i}^{\prime} - (X_i - X_i^{\prime}) I_{qs_i} \big] +$$

 $S_i \omega_s E'_{\alpha r_i}$ Avec

$$V_{ds_i} = R_{s_i} i_{ds_i} - X_i' i_{qs_i} + E'_{dr_i}$$
; $V_{qs_i} =$

(19)

$$\mathsf{R}_{s_i} \mathsf{i}_{ds_i} - \mathsf{X}_i' \mathsf{i}_{qs_i} + \mathsf{E}_{qr_i}'; \mathsf{V}_{t_i} = \sqrt{\mathsf{V}_{ds_i}^2 + \mathsf{V}_{qs_i}^2}$$

$$\begin{split} & X_i' = X_{s_i} + X_{m_i} X_{r_i} / (X_{m_i} + X_{r_i}); & X_i = \\ & X_{s_i} + X_{m_i}; T_{o_i}' = \left(L_{r_i} + L_{m_i}\right) / R_{r_i} \end{split}$$

$$T_{e_i} = E_{dr_i} i_{ds_i} + E_{qr_i} i_{qs_i}$$
 (20)

$$\begin{split} I_{di} &= \sum_{j=1}^{n} \left[E'_{drj} \left(G_{ij} cos \delta_{ji} - B_{ij} sin \delta_{ji} \right) + \\ E'_{qrj} \left(G_{ij} sin \delta_{ji} + B_{ij} cos \delta_{ji} \right) \right] \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{split} &I_{qi} = \sum_{j=1}^{n} \left[E'_{drj} \left(G_{ij} cos \delta_{ji} - B_{ij} cos \delta_{ji} \right) + \\ &E'_{qrj} \left(G_{ij} cos \delta_{ji} + B_{ij} sin \delta_{ji} \right) \right] \end{aligned} \tag{22}$$

Pour les calculs, Il faut transformer les équations en coordonnée polaire.

3.2.2 Modèle de puissance au nœud:

Les modèles de la Puissance active et de réactive injectées au nœud i sont trouvées à partir des formules suivantes [6], [9]:

$$P_i = V_i^2 Y_{ii} - V_i \sum_{k \neq i}^m V_k [g_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + b_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)]$$
(23)

$$Q_i = -V_i^2 X_{tt} - V_i \sum_{k=1}^{m} V_k [g_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) + b_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)]$$
(24)

Pi: Puissance active au nœud i;

Q: Puissance réactive au nœud i:

 $\theta_i,\,\theta_k$ sont les déphasages respectifs de $V_i,\,V_k,\,$

3.2.3 Turbine (GAS):

Les modèles de la turbine sont obtenues par les formules suivantes:

$$\dot{w}_{t} = \frac{1}{2H_{t}} (T_{t} - K_{s}\theta - D_{t}w_{t})$$

$$\dot{w}_{s} = \frac{1}{2H_{g}} (K_{s}\theta - T_{e} - D_{g}w_{r})$$

$$\dot{\theta} = w_{b}(w_{f} - w_{r})$$
(26)

3.2.4 Modèle Exponentiel de charge statique :

Le modèle exponentiel exprime la puissance consommée comme une fonction exponentielle de la tension. En grandeurs réelles on a pour la puissance active et réactive :

$$P_{L} = P_{0} \left(\frac{V_{L}}{V_{o}} \right)^{\alpha} Q_{L} = Q_{0} \left(\frac{V_{L}}{V_{o}} \right)^{\beta} \left(\underline{\alpha}, \underline{\beta} \in R \right)$$
 (28)

$$P_L = P_0(V_L)^{\alpha} Q_L = Q_0(V_L)^{\beta}$$
 (29)

Le modèle exponentiel est un artifice mathématique pour alléger l'expression de la puissance, et même si ce modèle est validé par des mesures.

3.2.5 Condition complémentaire :

Les contraintes de l'inégalité de l'écoulement de puissance reflètent les limites sur les paramètres physiques du système de puissance et de tension pour assurer la sécurité du système. Les équations d'égalité et d'inégalité sont suivantes [4],[11]:

Equilibre de puissance entre la production et la demande

$$PG_{imin} \le PG_i \le PG_{imax}$$
(30)

Le contrôle de la puissance réactive

$$QG_{imin} \le QG_i \le QG_{imax}$$
(31)

Il doit avoir des limites tolérées sur la tension pour éviter l'existence des pertes des puissance

$$V_{imin} \le V_i \le V_{imax}$$
 (32)

Les équations d'inégalités sont transformées en équations d'égalités suivantes en utilisant la variable de slacks S:

$$PG_{i} - PG_{imin} + SPG_{imin} = 0$$
(33)
$$PG_{imax} - PG_{i} + SPG_{imax} = 0$$
(34)
$$QG_{i} - QG_{i} + SQG_{imin} = 0$$
(35)
$$QG_{imax} - QG_{i} + SQG_{imax} = 0$$
(36)
$$V_{i} - V_{imin} + SV_{imin} = 0$$
(37)
$$V_{imax} - V_{i} + SV_{imax} = 0$$
(38)

IV. RESULTATS ET DISCUSIONS

La recherche de la valeur optimale est de calculer la valeur maximale ou minimale à partir de la variation progressive de la valeur d'un paramètre (avec ou sans l'application de condition de K.K.T). Lors d'une incrémentation, le système passe directement d'un état permanent à un autre, on détermine le point d'effondrement (ou point de charge maximale), c'est-à-dire déterminer la valeur maximale du

paramètre juste avant de changement de comportement du système.

Nous allons élaborer un modèle d'un système de production afin de déterminer la puissance qu'ils peuvent supporter avant de changement de comportement, c'est la puissance maximale. A partir des calculs, l'utilisation des programmes, on obtient les courbes suivantes :

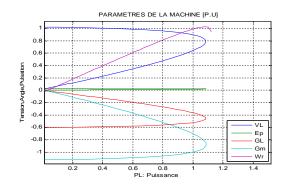


Figure 2: Courbes des Paramètres

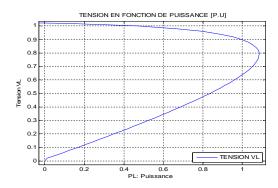


Figure 3: Allure de Tension

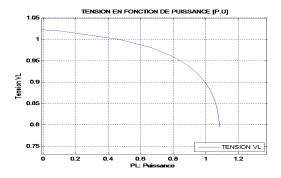


Figure 4: *Tension avec condition*

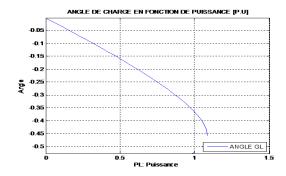


Figure 5: Allure de l'Angle de charge

Après l'application de la méthode de newton, les figures 3-4-5-6 représentent les solutions du système en fonction de puissance de la charge (figure 3 et 4 sans conditions au limite de sécurité et Figure 5 et 6 avec conditions). Connaissant l'état initial du système, on peut donc prédire son évolution future, on a obtenue des courbes, qui changent des comportements entres les valeurs de puissances p=1 et p=1.1[p.u], elles ont des tangentes verticale, ce qui limite la valeur de la charge acceptable pour le fonctionnement de ce système. En régime dynamique, en fonctionnement de point optimal, La machine asynchrone doit fonctionner à une vitesse supérieur à la vitesse de synchronisme pour fonctionne en génératrice, on a le courbe de la figure 7 ci-dessous:

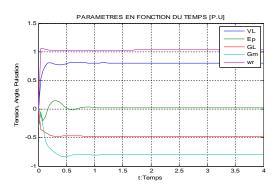


Figure6:Paramètre en fonction du temps

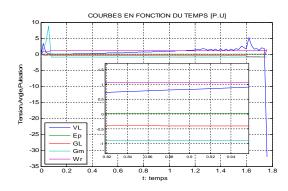


Figure7: Allure des Paramètres en augmentant progressivement la puissance

Les courbes de la figure 8 sont les allures des variations de la composante de la solution optimale de système simplifié en fonction du temps et en augmentant petit à petit de la puissance jusqu'à p=1.2[p.u], Après 1.7[s], l'instabilité provoquée par l'augmentation de la puissance se manifeste au niveau de la tension par une oscillation suivie d'une chute brutale. Le point d'effondrement est caractérisé par le point de fonctionnement de puissance maximale. L'étape suivante: On applique les conditions d'optimalité de Karush-Kuhn-Tucker, en introduisant les paramètres de Lagrange, en quelques itérations seulement, on trouve les courbes suivantes:

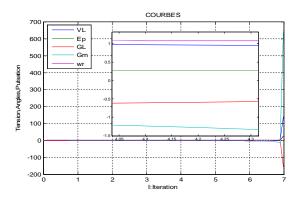


Figure8: Solutions en fonction nombre d'itération

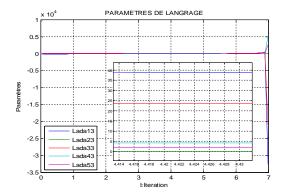


Figure 9: Multiplicateur de Lagrange

On constate qu' il n'a pas de décalage des allures des courbes entre la figure 7 et la figure 9 même si on introduire les multiplicateurs de Lagrange. On peut affirmer que le point obtenu Z^* =[0.8;002;-0.481;-0.8;1.1] correspondant à la valeur maximale de la puissance.

V. CONCLUSION

L'objectif est de maximiser la puissance produite par un système simple sans commande mécanique ni électronique. La méthode est basée sur un modèle simple sans pertes dans la transmission mécanique. L'optimisation de fonctionnement de la machine est la recherche le point de puissance maximale que l'on mieux exploite, en modélisation de système avec des conditions de simplification. En pratique, la résolution des conditions de Karush-Kuhn-Tuker est compliquée par le fait qu'il faut envisager successivement toutes les configurations possibles : toutes les contraintes sont saturées à l'équilibre, toutes sauf une, deux...., aucune (tous les paramètres de Lagrange sont nuls à l'équilibre). Lors d'une incrémentation de

la valeur de puissance de charge, en appliquant des méthodes d'optimisation, le système passe directement d'un permanent à un autre, on procède ainsi jusqu'à ce que la méthode diverge ou que la matrice Jacobéenne du système possède une valeur propre suffisamment proche de zéro, on détermine ensuite le point de chargement maximal.. système Le fonctionne avec une charge maximale avant d'être s'effondre et présente des tangentes verticale, c'est pourquoi que ce point est souvent qualifié de point de puissance optimale .Sur ce travail, on a bien présenté que la méthode KARUSH KUHN TUKER peut résoudre le problème d'optimisation de fonctionnement des génératrices.

REFERENCES

[1] - N. abu-tabak , Stabilité dynamique des systèmes électriques multimachines,

modélisation, commande, observation et simulation, l'école doctorale électronique, électrotechnique, automatique de lyon, 19 Novembre 2008.

- [2] Abdeellmall eek Lakhdarr, Rahll ii Mosstteeffa 2013, Etude comparative des méthodes Hessiennes pour l'optimisation des puissances active.
- [3] IEEE TRANSACTIONS, Rafael J. Avalos, Student Member, IEEE, Claudio A. Canizares, Fellow, IEEE,

Federico Milano, Member, IEEE, Equivalency of Continuation and Optimization Methods Determine to Saddle-node and Limit-induced Bifurcations in Power Systems.

- [4] SEDDIKI ZAHIRA, Optimisation de l'écoulement de puissance dans un système d'énergie électrique par la méthode du point intérieur (2008).
- [5] Federico Milano, IEEE, Assessing Adequate Voltage Stability Analysis Tools for Networks with High Wind Power Penetration (9 April 2008).
- [6] Yu Zou, Malik E. Senior Member, IEEE, Simulation Comparisons and Implementation of Induction Generator Wind Power Systems, JUNE 2013.
- [7] Kiran Nandigam, IEEE, Badrul H. Chowdhury, IEEE, Power Flow and Stability Models for Induction Generators Used in Wind Turbines.
- [8] Federico Milano, Power Systems Dynamics and Stability, 26 June 2008, CHERRIA NAIM, 07/06/2010, Conversion d'énergie produite par des générateurs éoliens.
- [9] P. Kundur, Power System Stability and Control, (New York: McGraw-Hill, 1994).
- [10] José Rafael Avalos Munoz,Ontario, Analysis and Application ofOptimization Techniques to Power System

Security and Electricity Markets, Canada, 2008.

- [11] José Rafael Avalos Munoz, Ontario, Canada, 2008, Analysis and Application of Optimization Techniques to Power System Security and Electricity Markets.
- [12] Nandigam K, Chowdhury BH (2004) Power flow and stability models for induction generators used in wind turbines. In: IEEE power engineering society general meeting, Denver, CO, pp 2012–2016.
- [13] G. Kron, Discussion of paper by R.H. Park, "Two-Reaction Theory of Synchronous Machines – Part II," AIEE Trans., Vol. 52, pp. 352-355, June 1933.
- [14] D.N. Ewart and R.P. Schulz, "Face Multi-machine Power System Simulator Program," Proc. PICA Conference, pp. 133-153, May 1969.
- [15] François Glineur, LES METHODES DE POINT INTERIEUR, Cours à l'Université Catholique de Louvain et Faculté Polytechnique de Mons, 1er octobre 2002.