

OPTIMISATION MULTIOBJECTIF APPLIQUEE A UN RESEAU ALGERIEN DE TRANSPORT D'ELECTRICITE CONTENANT UNE SOURCE EOLIENNE

MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION APPLIED TO AN ALGERIAN POWER SYSTEM NETWORK INCLUDED WIND POWER SOURCE

DJEMAI NAIMI ⁽¹⁾, AHMED SALHI ⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratoire de génie électrique Biskra LGEB

Département de génie électrique, faculté des sciences et de la technologie

Université Mohamed Khider Biskra

d.naimi@univ-biskra.dz , a.salhi@univ-biskra.dz

RESUME

L'originalité de ce travail consiste à introduire une nouvelle contrainte correspondante aux exigences de la stabilité transitoire du réseau électrique après intégration des sources éoliennes et ce dans la formulation du problème d'optimisation des pertes de puissance et l'émission des gaz toxiques dégagés à partir des centrales électriques alimentant ce réseau. Pour ce faire, un code de calcul basé sur les algorithmes génétiques a été élaboré en introduisant une matrice contenant les différents pourcentages de puissances de la source éolienne avec leurs taux limites de pénétration considérés comme une contrainte d'inégalité supplémentaire dite contrainte de stabilité transitoire. Le réseau algérien de transport d'électricité est choisi comme un réseau test pour vérifier les performances de cette méthode où les résultats des différentes simulations sont très satisfaisants. Modélisation.

MOTS CLES: l'intégration des sources éoliennes, pertes de puissance, l'émission des gaz toxiques, stabilité transitoire, algorithmes génétiques, réseau algérien du transport d'électricité.

ABSTRACT

The originality of this work is to introduce a new constraint corresponding to the requirements of transient stability of the power network after integration of wind power sources and in Optimization of power losses and toxic gases emission from power plants supplying this network. To achieve this task, a calculation code based on genetic algorithms has been developed by introducing a matrix containing different percentages of the wind power source with limitations penetration considered as an additional inequality constraint called transient stability constraint. The Algerian electricity transmission network is chosen as a test network to verify the performance of this method where the results of the different simulations are very satisfactory.

KEYWORDS: integration of wind power sources, power loss, gas emission, transient stability, genetic algorithms, Algerian electricity network transport.

ملخص

أصالة هذا العمل تكمن في إضافة معارفة جديدة لتلبية متطلبات الاستقرار العابر للشبكة الكهربائية عند إدماج مصادر طاقة الرياح عند أمثلة الطاقة المولدة من جميع محطات توليد الكهرباء للحصول على الحد الأدنى لضیاعات الطاقة و كمية الغازات السامة المنبعثة من مختلف المحطات الممولة لهذه الشبكة. هذه المصادر، يجب أن نحترم حدود معدلات الإدماج لكل توزيع طاقي. وقد تم لهذا الغرض تطوير برنامج حساب على أساس الخوارزميات الجينية من خلال دمج مصفوفة تحتوي على نسب مختلفة من هذا الإدماج مكافئة لكل توزيع طاقي ناتج عن عملية الأمثلة محققين بذلك شرط الاستقرار العابر للشبكة. تم التطبيق على الشبكة الجزائرية لنقل الكهرباء حيث كانت نتائج مختلف المحاكاة مشجعة للغاية.

كلمات دالة : إدماج مصادر طاقة الرياح, ضياعات الطاقة, الغازات السامة المنبعثة, الاستقرار العابر, الخوارزميات الجينية, الشبكة الجزائرية لنقل الكهرباء.

1 INTRODUCTION

L'ouverture du marché de l'électricité, liée à la prise en compte de contraintes environnementales, a ainsi incité l'Algérie à favoriser le développement des énergies renouvelables. Parmi celles-ci, l'éolien apparaît clairement en bonne place, selon [1], l'Algérie est parmi les 15 pays africains qui ont de bons potentiels de l'énergie éolienne.

Par conséquent, il est très impératif d'analyser l'impact de l'intégration des sources éoliennes sur la stabilité du réseau électrique conventionnel existant.

D'une autre part, puisque l'énergie éolienne ne se présente pas comme concurrent ou remplaçant des énergies classiques mais elle se contente de son rôle complémentaire ; une cohabitation entre ces sources d'énergie diverses paraît inévitable. Alors une problématique supplémentaire se lève : Quelle est la répartition optimale de puissance générées à partir de ces différentes sources afin d'avoir le minimum d'émission de gaz toxique (CO2..) et le minimum de pertes de puissance sans prendre atteinte au plan de tension et à la stabilité du réseau?

La complexité de ce type de problème d'optimisation exige à opter pour les méthodes d'optimisation multi-objectif basées sur des techniques évolutionnaires en particulier les algorithmes génétiques qui constituent alors une stratégie de résolution de plus en plus privilégiée suite à leur grande flexibilité [2]. Il faut noter que dans cet article, le code de calcul est développé est sous MATLAB 9.0.

Cet article est structuré en trois sections, après une brève introduction, la deuxième section survole la stabilité transitoire, la troisième a pour objectif la formulation du problème de l'optimisation par algorithme génétique, par contre la quatrième section présente le réseau test. Les résultats de simulation et leurs interprétations font l'objet principal de la cinquième section. Finalement, cet article sera clôturé par une conclusion générale synthétisant ainsi les principales contributions présentées dans cet article.

2 STABILITÉ TRANSITOIRE

Elle concerne la capacité du système de puissance de maintenir le synchronisme après avoir subi une perturbation sévère transitoire tel un court-circuit sur une ligne de transmission ou une perte d'une partie importante de la charge ou de la génération. La réponse du système implique de grandes variations des angles de rotor. Elle dépend de la relation non-linéaire couples-angles. Avant d'entamer l'analyse de la stabilité transitoire, il est impératif de mentionner que le type de génératrice dans cette analyse est une génératrice synchrone à rotor lisse puisque il est le mieux adapté à ce genre d'analyse [3].

La liaison entre l'aspect mécanique et électrique de la machine synchrone est régie par l'équation dynamique de l'accélération du rotor de l'alternateur lié à la turbine, ce que l'on appelle équation du mouvement :

$$\frac{2H_i}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P'_{mi} - P'_{ei}(\delta) \quad (1)$$

Avec H_i constante d'inertie représentant l'inertie totale de toutes les masses tournantes connectées à l'arbre du générateur.

P_{mi} : puissance mécanique transmise par la turbine, en [u.r].

$P'_{ei}(\delta)$: puissance électrique produite du générateur P_{ei} , en [u.r].

δ : angle de rotor, en rad. ω_0 : vitesse de synchronisme, en rad/s.

La solution de cette équation différentielle non linéaire de second ordre donne la valeur du Temps Critique d'Isolément de Défaut (TCID). C'est le paramètre le plus décisif dans l'analyse de la stabilité transitoire d'un réseau électrique.

3 FORMULATION DU PROBLÈME DE L'OPTIMISATION

Un problème d'optimisation se définit simplement comme la recherche de l'optimum (minimum ou maximum) d'une fonction f donnée, en respectant certaines conditions préalablement imposées (contraintes) [4] :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } f(x) \\ g(\vec{x}) = 0 \quad (\text{contrainte d'égalité}) \\ P_{gi} - P_{di} - \text{Pert} = 0 \\ h_i(\vec{x}) \leq 0 \quad (\text{contrainte d'inégalité}) \\ \Rightarrow P_{gi \min} \leq P_{gi} \leq P_{gi \max} \\ \text{limites des puissances actives générées} \\ Q_{gi \min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi \max} \\ \text{limites des puissances réactives générées} \\ V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max} \\ \text{Limites des tensions admissibles} \\ S_{trij} \leq S_{trij \max} \\ \text{Puissances transitées maximales} \\ P_W \leq P_{W \max} \end{array} \right. \quad (2)$$

$P_W \leq P_{W \max}$ □ , représente la limite maximale de la

puissance d'origine éolienne intégrée dans le réseau

électrique respectant la stabilité de ce dernier.

La fonction représente f représente la fonction à minimiser selon le cas d'optimisation, elle représente soit les pertes de la puissance active soit les émissions des gaz toxiques.

3.1 Algorithme génétique

Le recours aux algorithmes génétiques se justifie par la nature même du problème multiobjectif qui implique que la solution est en fait un ensemble de solutions. Ce type de problème est donc hors de portée des méthodes déterministes classiques [2].

Les algorithmes génétiques (AG) sont des techniques de recherche et d'optimisation stochastique dérivées de la génétique, des mécanismes de la sélection naturelle et de l'évolution. Leurs champs d'application sont très vastes : économique, optimisation de fonctions (coût ou les pertes), planification, et bien d'autres domaines. La raison de ce grand nombre d'application est claire, la simplicité et l'efficacité [5].

4 RÉSEAU DE L'ÉTUDE

A l'instar des études récentes appliquées au réseau algérien du transport d'électricité Région Ouest [6] [7], dans ce travail, nous considérons la base de données actuelle, ce réseau comprend plusieurs Wilayas : Oran, Mostaganem, Tlemcen, Béchar, Tiaret, Saida, Mascara, Naama, Mascara, Ain Timouchent et Sidi Belabess, comme le désigne la figure 1. Ce réseau est composé de 15 jeux de barre, 17 branches (lignes et transformateurs) et de quatre générateurs dont la source d'énergie éolienne est connectée au JB n°11 représentant la ville de TIARET. Il faut noter que ce choix est conforme aux études relatives au potentiel éolien algérien [1], [9].

La valeur de la puissance totale demandée du réseau est 1275MW.

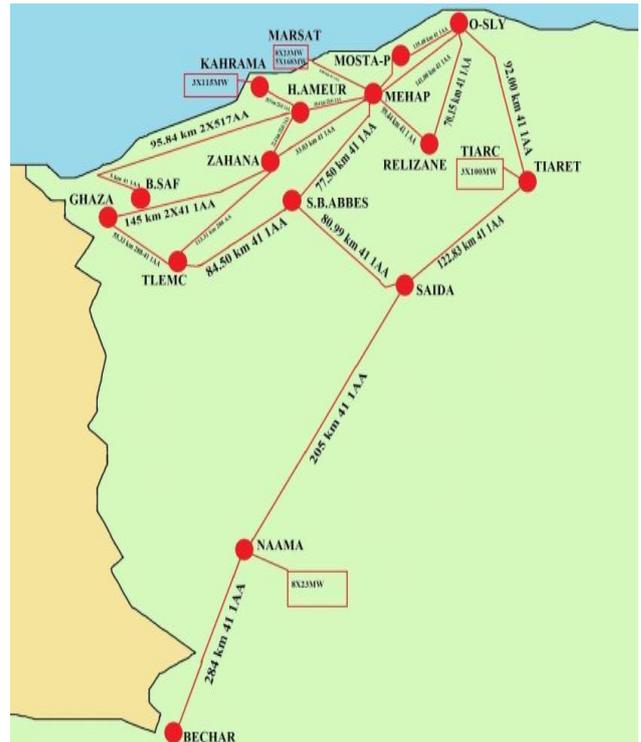


Figure 1 :Schéma du réseau algérien de transport de l'électricité de la région Ouest

5 RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Calcul du taux de pénétration

Dans cette section, l'effet de l'intégration de l'énergie éolienne sur la stabilité du réseau est déterminé selon le TCID est étudié en augmentant graduellement la puissance de la source éolienne (de 40 à 240 MW) tout en observant le comportement transitoire du Réseau test lors du même défaut représenté par un court circuit équilibré avec le maintien d'une valeur totale de 1275MW comme puissance totale demandée du réseau. Le taux de pénétration de l'énergie éolienne dans le réseau est le rapport entre la puissance d'origine éolienne intégrée et la puissance totale du réseau. Il faut noter que le logiciel utilisé est le PSAT (Power System Analysis ToolBox).

Tableau 1: TCID pour différents taux de pénétration de l'éolien

Energie éolienne intégrée (MW)	40	80	120	160	200	240	>240
Taux de pénétration (%)	3.14	6.27	9.41	12.55	15.69	18.82	≥ 19
TCID (ms)	544	432	268	123	98	67	00

Le tableau 1 montre clairement que l'effet de l'énergie éolienne sur la stabilité transitoire du réseau dépend du taux de pénétration de l'éolien, il a été prouvé que la quantité maximale de l'énergie éolienne admissible est de 240 MW

ce qui représente 19% de la puissance totale du réseau électrique.

5.2 Optimisation avec la contrainte de stabilité

Comme il est déjà cité dans la section 3, les taux de pénétration de l'énergie éolienne dans le réseau test sont pris en considération comme contrainte d'inégalité pour toutes les futures optimisations dans ce travail.

Les paramètres de l'algorithme génétique sont : Codage décimal, taille de population : 150 individus, nombre de génération : 30, probabilité de croisement : 0.9 , taux de mutation : 0.08, types de sélection : sélection roulette, type de croisement : 2 points et le critère d'arrêt : nombre maximal de générations = 100.

Ces paramètres sont choisis suite à une multitude d'essais.

5.2.1 Minimisation de l'émission des gaz toxiques

La production de l'électricité à partir des centrales classiques est à l'origine de combustion où la combinaison de l'oxygène dans l'air et le carbone produits des gaz indésirables comme le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO, NO2) ..etc, les quantités des gaz correspondantes à ces émissions sont exprimées par l'équation 3.

$$F(P_{G_i}) = \sum_{i=1}^{n_g} 10^{-2} (\alpha_i + \beta_i P_{G_i} + \gamma_i P_{G_i}^2) + \zeta_i \exp(\lambda_i P_{G_i}) \quad (3)$$

Où : n_g est le nombre des générateurs et P_G est la puissance active générée au JB i .

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \lambda_i$: Les coefficients attribués aux puissances générées pour le générateur i .

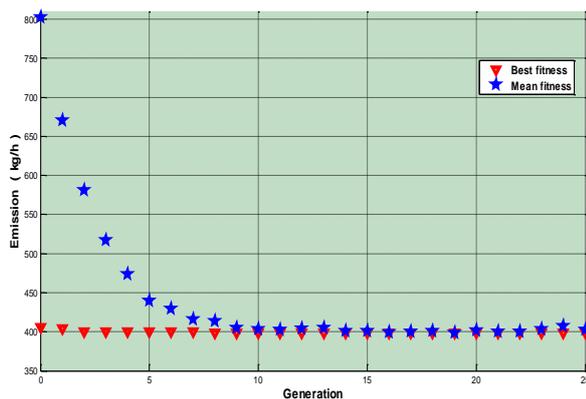


Figure 2: Valeurs optimales de l'émission pour chaque generation

Selon la figure 2 et les résultats de l'écoulement de puissance, on peut extraire la valeur minimale de l'émission optimisée et la valeur minimale des pertes de puissance non optimisée (c'est-à-dire que ces dernière ne sont pas concernées par l'optimisation dans ce cas) ainsi que les

valeurs des puissances générée correspondantes illustrées dans le tableau 2.

Tableau 2: Puissances générées à la minimisation des émissions

Unité d production	puissances générées
G1 [MW]	672.0758
G4 [MW]	152.1578
G10 [MW]	55.8547
G14 [MW]	222.0458
P _w [MW]	202.8409
Emission optimisée (kg/h)	393.483
Pertes non optimisées (MW)	29.975

D'après ce qui précède ainsi que les résultats de l'écoulement de puissance obtenus par l'algorithme de Newton-Raphson, il est clair que les différentes contraintes imposées au système sont respectées, ce qui prouve par la fin que la valeur optimale de l'émission (393.483 kg/h) est acceptable ainsi que la répartition optimale correspondante de puissances générées à partir de différentes unités de production formant le réseau d'étude.

5.2.2 Minimisation des pertes actives

La minimisation des pertes de puissance : l'objectif est de réduire au minimum les pertes de ligne de transport d'énergie TL dans le système exprimées comme suit :

$$T_L = \sum_{k=1}^n g_k [v_i^2 + v_j^2 - 2v_i v_j \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (4)$$

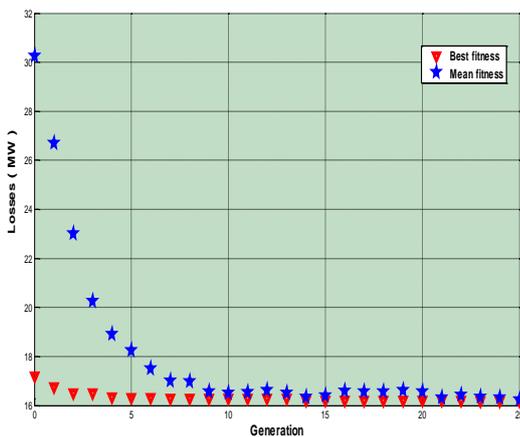
g_k : est la conductance d'une ligne k de transmission reliée entre les jeux de barre i et j

n : est le nombre des lignes de transmission. V_i, V_j, δ_i et δ_j : sont les amplitudes et les phases de tension dans les jeux de barre i et j respectivement.

Tableau 3 : Puissances générées pour minimisation des pertes

Unité d production	puissances générées MW
G1	595.2292
G4	300.0000
G10	100.0000
G14	90.0741
P _w [MW]	205.6537
Pertes optimisées (MW)	15.957
Emission non optimisée (kg/h)	814.941

Après plusieurs générations en un temps de 147.568 secondes, et en gardant les mêmes paramètres de l'algorithme génétique, la meilleure valeur de la fonction objective de pertes totales obtenues par le code de calcul est TL : 15.957 MW comme il est montré dans la figure 3.


Figure 3: Evolution des pertes de puissances optimales par generation

5.2.3 Interprétation des résultats de l'optimisation mono-objectif

Pour qu'on puisse établir une comparaison, il est nécessaire d'établir un bilan des puissances générées et les fonctions objectives optimisées et non optimisées pour les deux réseaux test.

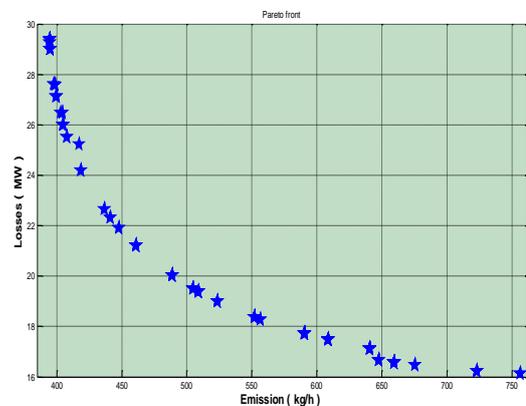
Tableau 4: Bilan des puissances générées et les fonctions objectives optimisées

	Minimisation de l'émission	Minimisation des pertes
Puissance G 1[MW]	672.0758	595.2292
Puissance G 4[MW]	152.1578	300.0000
Puissance G 10[MW]	55.8547	100.0000
Puissance G 14[MW]	222.0458	90.0741
Emission (kg/h)	393.483	814.941
Pertes (MW)	29.975	15.957

Selon les deux tableaux précédents concernant l'optimisation mono-objectif des deux fonctions objectives, nous pouvons conclure que les résultats ont montré clairement que ce type d'optimisation offre des bons résultats de la fonction objective optimisée mais malheureusement au détriment de la seconde fonction objective non optimisée. D'où le recours à l'optimisation multiobjectif est inévitable pour chercher un compromis optimal.

5.2.4 Optimisation multiobjectif

Dans cette section nous allons optimiser à la fois deux fonctions objectives, la méthode utilisée dite « NSGAI » basée sur les algorithmes génétiques [10] [11]. Cette méthode a fournit un ensemble de résultats représenté par un front de Pareto ce qui offre au décideur un large choix relatif à ses préférences.


Figure 4: Front de Pareto (émission, perte)

La figure montre le front de Pareto, on a choisi ces ensembles des points qui sont généralement les valeurs les plus optimales pour les deux fonctions émission et pertes en même temps. Ce front contient 28 points dont seulement quatre points formant le coude.

Donc le tableau 5 contient les valeurs des deux fonctions correspondantes aux points sur le coude du front de Pareto.

Tableau 5: compromis pertes-émission

Emission (optimisée) (kg/h).	pertes (optimisées) (MW)
483.9	20.0
505.1	19.5
510.0	19.1
525.3	18.8

Selon le tableau 5, on constate que ces solutions représentent un compromis optimal qui prend en considération l'optimisation de l'émission des gaz toxiques et les pertes de puissance simultanément. Ce qui donne au décideur un choix très large pour prendre la répartition optimale qu'il voit nécessaire selon ses objectifs.

6 CONCLUSION

Une matrice d'état représentant les différents taux de pénétration de l'éolienne dans le réseau conventionnel correspondant aux puissances optimales délivrées par les éoliennes pour chaque étape de l'optimisation a été introduite dans le code de calcul permettant ainsi le respect de la contrainte supplémentaire dite "contrainte de stabilité". Les résultats de différents codes de calcul d'optimisation ont dégagé des répartitions optimales de puissances générées à partir de différentes unités de production formants le réseau électrique test; des comparaisons sont établies entre les optimisations mono- et multi-objectif de dégagement des gaz toxiques, et les pertes de puissance en utilisant la méthode NSGAI basée sur les algorithmes génétiques. Cette méthode a fourni un ensemble de résultats représenté par un front de Pareto offrant au décideur un large choix relatif à ses préférences en minimisant simultanément les pertes de puissance et l'émission des gaz toxiques tout en tenant en compte de les limites de pénétration des sources éoliennes dans le réseau électrique conventionnel, ce qui assure la stabilité de ce dernier.

REFERENCES

- [1] Y. Himri, S. Himri, A. Boudghene Stambouli, "Assessing the wind energy potential projects in Algeria", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, pp. 2187–2191, 2009.
- [2] S.M. Kumari, S. Maheswarapu, "Enhanced genetic algorithm based computation technique for multi-objective optimal power flow solution", *International Journal of power energy system*, Vol.32, issue 6, 2010.
- [3] M.L. Ourari, L. Desaint, et al., "Dynamic Equivalent Modeling of Large Power Systems Using Structure Preservation Technique", *IEEE Trans on Power Systems*, Vol. 21, No. 3, August 2006.
- [4] N. Srinivas and K. Deb, "Multiobjective Optimization using Non dominated Sorting in Genetic Algorithms", *Evolutionary Computation*, Vol. 2, No 3, pp. 221-248. 1994.
- [5] E. D. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley publishers, 1989.
- [6] M. Kasbadji, "Evaluation du gisement énergétique éolien contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie". doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen; 2006.
- [7] Abderrahim Belmadani, Lahouaria Benasla, Mostefa Rahli, "The Dynamic Economic Dispatch including Wind Power Injection in the Western Algerian Electrical Power System", *Acta Polytechnica Hungarica* Vol. 8, No. 5, 2011.
- [8] A. Benmadani, "The Dynamic Economic Dispatch including Wind Power injection in the Western Algerian Electrical Power System", *Acta Polytechnica Hungarica* Vol. 8, No. 5, 2011.
- [9] F. Chellali et al., "A contribution in the actualization of wind map of Algeria", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, Vol.15, pp. 993–1002, 2011.
- [10] S. Jeyadevi, et al., "Solving multiobjective optimal reactive power dispatch using modified NSGA-II", *Electrical Power and Energy Systems* Vol.33, pp 219–228, 2011.
- [11] T.J. Yuen, R. Raml, "Comparison of computational efficiency of MOEA/D and NSGA-II for passive vehicle suspension optimization", 24th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2010, pp. 219–225, 2010.