

OPTIMISATION DE L'INJECTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE DECENTRALISEE DANS UN RESEAU ELECTRIQUE

F. FISSOU AMIGUE¹ S. NDJAKOMO ESSIANE^{1,2} S. PERABI NGOFFE^{1,3} G. ABESSOLO ONDOA¹ A. TOLOK NELEM²¹ Université de Douala - Institut universitaire de technologie de Douala Cameroun.² Université de Yaoundé 1 Ecole normale supérieure de l'enseignement technique d'Ebolowa.³ Université de NGaoundéré Ecole normale supérieure de Bertoua.

fulbertfissou@yahoo.fr

Résumé

Dans ce travail il s'agit de rechercher le nœud optimal dans un réseau électrique radial pour l'injection de l'énergie électrique décentralisée. Cela a pour intérêt la satisfaction de la demande en énergie en utilisant les énergies renouvelables. Le critère principal est la minimisation des pertes d'énergie actives lors de l'injection. Le réseau utilisé est un réseau radial de 10 nœuds. L'algorithme des colonies d'abeilles associées aux équations d'écoulement de puissance ont été implémentées dans MATLAB pour la recherche du nœud optimal. Les résultats de simulation nous donnent des bonnes valeurs et ont été comparés aux résultats de la littérature.

Mots clés : Optimisation ; Injection ; algorithme de colonies d'abeilles.

Introduction

Poussée par un contexte favorable (volonté politique, intérêt économique...), la production décentralisée se développe dans de nombreux pays. Les énergies renouvelables offrent la possibilité de produire de l'électricité proprement et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles et parfois aléatoires. Pour compenser le manque d'énergie électrique les producteurs d'énergie électrique se tournent alors beaucoup plus vers les énergies renouvelables en construisant des centrales décentralisées. Cependant le caractère décentralisé de ces centrales pose un problème de distribution à un nombre maximum d'utilisateurs. Pourtant le manque d'énergie se réent même dans les zones desservies par le réseau électrique. Pour compenser ce manque d'énergie dans ces zones il faut injecter l'énergie produite dans le réseau existant. Au Cameroun cette problématique se pose car l'énergie photovoltaïque produite reste isolée du réseau électrique. Ce travail est une étude préliminaire dans l'injection de l'énergie produite de façon isolée dans le réseau. L'injection du PV dans un réseau électrique a pour avantage la diminution de la charge alimentée par les postes sources et dans certaines conditions particulières, une diminution des pertes Joule, une possible

amélioration du profil de tension, et de la fiabilité du réseau. Pour que la production PV soit bénéfique sur le réseau électrique il faut maximiser sa production d'énergie électrique en minimisant les pertes cela permet de réduire son coût de production. Cela dépend donc de la position du nœud où on doit injecter cette énergie et de sa quantité à injecter [1,2]. Les méthodes intelligentes d'optimisation sont des moyens efficaces pour faciliter l'intégration de la production d'énergie dans le système électrique en minimisant les pertes et avoir une stabilité du réseau en tension. Parmi les méthodes intelligentes on peut citer les métaheuristiques encore appelée '*Swarm Intelligence*' qui sont des algorithmes qui miment le comportement collectif intelligent des espèces pour résoudre des problèmes trop complexes [3].

La question fondamentale qu'on peut se poser est celle de savoir, dans un réseau si on doit augmenter l'offre en énergie en injectant une énergie produite de façon isolée dans le réseau, où et comment pourrons nous injecter cette énergie PV afin de rendre la production optimale ? Il s'agira donc de trouver le(s) nœud(s) où on doit injecter l'énergie PV. Pour répondre à cette question fondamentale nous devons être capables de minimiser les pertes joules dans le réseau après injection du PV et de minimiser la sensibilité de la tension au différent nœud.

Le nœud idéal où l'on doit injecter l'énergie sera celui qui va donner les pertes joules minimales et la sensibilité de la tension négligeable [4].

Les travaux rapportés jusqu'à présent dans la littérature ont abordé la question de la détermination de la taille et l'emplacement d'une GED unique dans le réseau de distribution en utilisant différentes optimisations conventionnelles. Borge et al (2006), et L.F. OCHOA et al (2011) ont utilisé l'algorithme génétique pour optimiser la répartition optimale des GED dans le réseau. [5,6]. L'essaim de particules d'optimisation a été utilisé par Zokonsi E (2011) pour injection d'une GED dans le réseau [7]. N. Jain ;S. Sultana et al (2013) ont utilisés l'enseignement basé sur l'apprentissage

optimisation (TLBO :teaching learning base optimization) pour le placement optimal d'une GED dans un réseau IEEE 33 nœuds [8]. Ketfi Nadhir(2013) a utilisé l'algorithme des lucioles pour déterminer la position et la dimension d'une GED dans un reseau en minimisant les pertes d'énergie active [9]. Dans ce travail, une tentative d'optimisation du placement et du dimensionnement du générateur photovoltaïque (PV) symbolisé par la génération d'énergie décentralisée(GED) dans le réseau électrique est faite avec les méthodes combinées d'écoulement de puissance de newton raphson et de l'algorithme de colonies d'abeilles. Le choix des colonies des d'abeilles est motivé par les travaux de Karaboga (2007) [10]et de Kumar et al(2013) [11] qui ont tous évoqués les avantages de l'algorithme des colonies des d'abeilles tels que la recherche d'un minimum global ;Une méthode qui donne des pertes de puissance réduite avec le temps de convergence relativement court; Une méthode moins ancienne. Le document est organisé comme suit. La section I donne l'état de l'art sur le sujet. La section II décrit La méthode pour le calcul des pertes de puissance active dans le réseau de distribution. Les méthodes d'optimisations utilisées seront décrites en section III. Les résultats du placement et du dimensionnement de la GED dans le réseau de distribution obtenu par les algorithmes et la discussion sont présentés dans la section IV à travers une étude de cas sur le réseau radial IEEE de 10 nœuds.

II - Méthodologie

Dans un réseau électrique nous pouvons rendre le réseau optimal par réduction de pertes actives [12 ,13]. Or les pertes actives dans un réseau sont fonctions du courant, et des paramètres de lignes de chaque branche. Pour avoir notre meilleur emplacement de la GED nous nous sommes fixés comme objectif la minimisation des pertes actives totales dans le réseau tout en gardant les tensions dans les plages acceptables.

II-1-1 Fonction objectif

Notre fonction objectif sera donc les pertes actives totales.Dans un reseau de distribution les pertes joules totales sont fonction des courants de courants de chaque ligne et des parametres de lignes.[12,14]Après avoir fait l'écoulement de puissance avec newton raphson, on cherche les puissance aux differents nœuds par les formules :

$$P_{i+1} = P_i - P_{loss,i} - P_{L,i+1} \quad E1$$

$$Q_{i+1} = Q_i - Q_{loss,i} - Q_{L,i+1} \quad E2$$

$$P_{loss,i} = R_{i,i+1} * I_i^2 = R_{i,i+1} * \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right) \quad E3$$

$$Q_{loss,i} = X_{i,i+1} * I_i^2 = X_{i,i+1} * \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right). \quad E4$$

$$|V_{i+1}|^2 = |V_i|^2 - 2(R_{i,i+1}P_i + X_{i,i+1}Q_i) + (R_{i,i+1}^2 + X_{i,i+1}^2) \cdot \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right). \quad E5$$

$$P_{loss,T} = \sum_{i=1}^N P_{loss,i} \quad E6$$

$$Q_{loss,T} = \sum_{i=1}^N Q_{loss,i} \quad E7$$

Dans ces formules

P_i et Q_i sont respectivement la puissance active et réactive au nœud i .

V_i est la tension du nœud i .

N : nombre total des nœuds

$R_{i,i+1}$ résistance de ligne entre le nœud i et le nœud $i+1$.

$X_{i,i+1}$ réactance de ligne entre le nœud i et le nœud $i+1$.

Puisqu'on veut minimiser les pertes totales dans le réseau la

Fonction objectif est :

$$F_{obj} = \min(P_{loss,T}). \quad E8$$

La fonction fitness selon l'algorithme des colonies d'abeilles est :

$$fitness = \frac{1}{(1+F_{obj})} \quad E9 \quad [10,12,15,16]$$

II-1-2- Contraintes

Les contraintes sont liées aux paramètres du réseau qu'on doit surveiller constamment [5]. L'un des paramètres est la tension des nœuds. De plus la puissance maximale à injecter.

$$\forall i \in [1 ; N]$$

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad E10$$

$$P_{min} \leq P_{inj} \leq 0.4 * P_{LT} \quad E11$$

Où V_{min} et V_{max} sont les valeurs minimale et maximale des tensions du i^{eme} bus. Ces valeurs sont fixées respectivement egales à 0,9pu et 1,1 pu selon [17].La puissance de la GED (qui sera le PV dans l' application) est notée P_{inj} . La valeur maximale de P_{inj} est fixée à $0.4 * P_{LT}$ selon [1,4,17] car la puissance injectée ne doit pas dépasser les 40% de la puissance totale appelée par les charges (P_{LT}).

III- Algorithme d'optimisation

A partir des équations de l'écoulement de puissance [5 ,18] et de l'algorithme des colonies d'abeilles, [6,7] , nous avons

appliqué notre programme sur un réseau radial de 10 nœuds (figure 1).

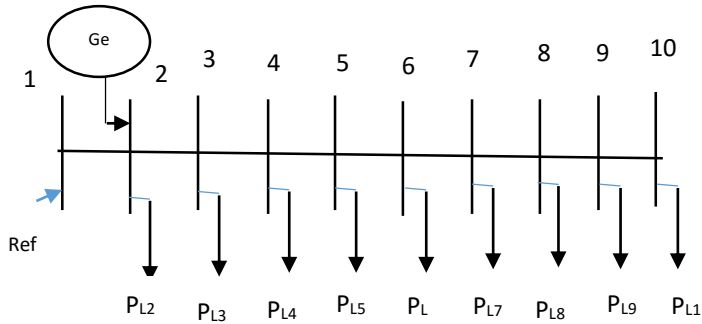


Figure 1 : Réseau radial 10 nœuds

Nous avons ressorti l'algorithme hybride ci-dessous :

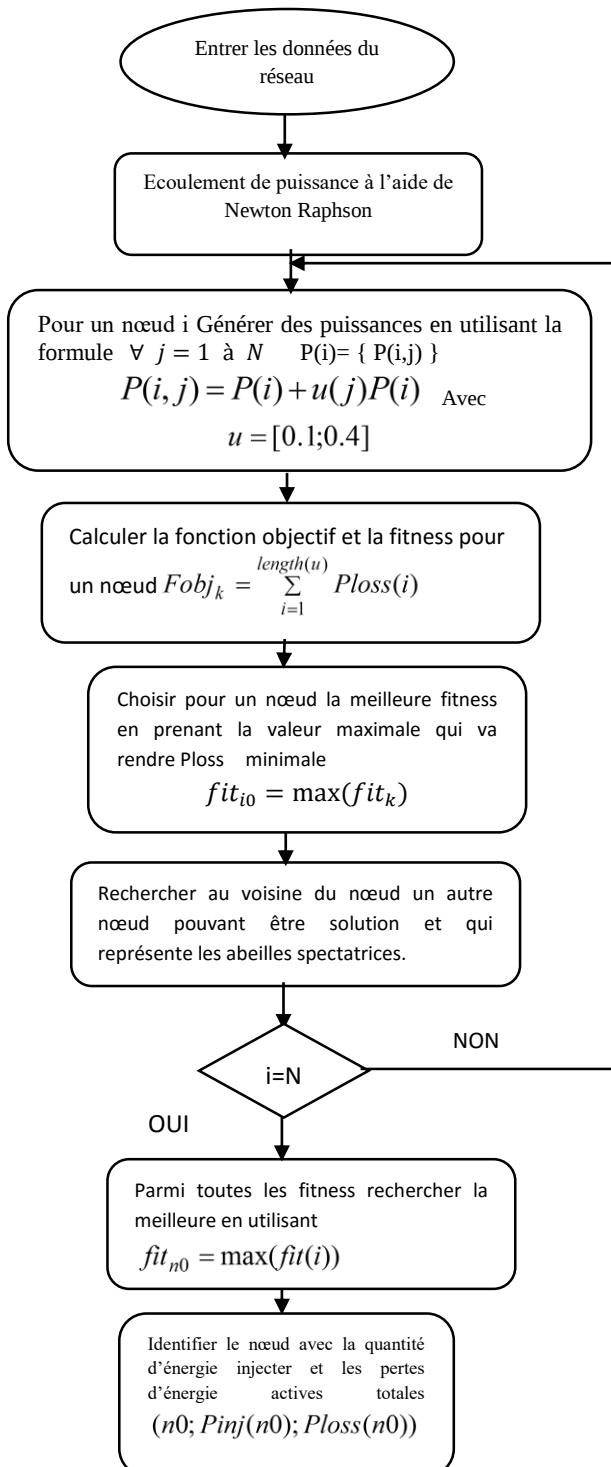


Figure 2 : Algorithme hybride

Dans cet algorithme hybride nous avons déterminé les puissances aux différents nœuds à l'aide de l'algorithme de Newton Raphson, on écrit la fonction objectif telle que définie dans l'équation E8. Ensuite on cherche la fonction fitness à l'aide de l'équation E9. La comparaison est faite entre les fitness de tous les nœuds pour retrouver le meilleur résultat. Cet algorithme a été implémenté dans MATLAB R2018b. L'ordinateur de caractéristique AMD A4-5000 APU with Radeon(TM) hd GRAPHICS avec 1.5 GHz de fréquence une RAM de 4.00GB. La puissance de base au nœud numéro 2 choisi comme nœud source est égale 4186MVA; la tension référence Au nœud 1 est 230kv. Les puissances totales des charges sont égales à 12368 kw et 4186 Kvar respectivement puissance active et réactive [14,17]. Le taux d'injection a été choisi entre 10% et 40% de la puissance totale appelée par les charges, c'est à dire entre 1236.8 kw et 4947.2 Kw.

IV- Résultats et discussions

La courbe de la figure 3 montre l'évolution des pertes d'énergies actives en fonction des nœuds. Les valeurs des pertes d'énergies sont présentées dans le tableau 1. Comme hypothèse simplificatrices pour faciliter les calculs les nœuds extrêmes sont exclus de l'injection.

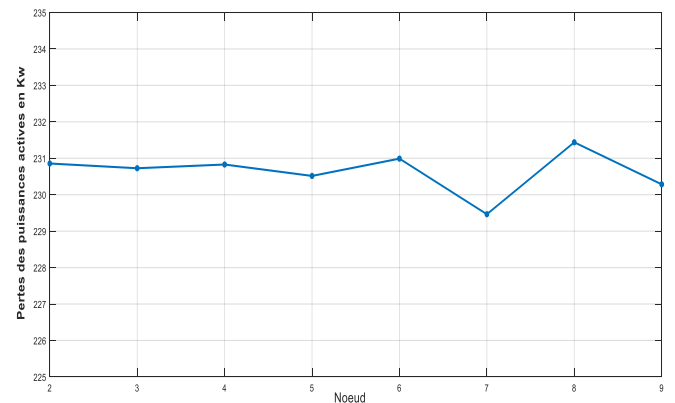


Figure 3 : Courbe des pertes d'énergies actives en fonction du nœud d'injection.

On remarque que le nœud ayant la valeur minimale des pertes est le nœud numéro 7 avec une valeur de pertes d'énergie active égale à 229.4 kW. La puissance injectée afin d'avoir ce minimum de pertes est 5191kW Représentant les 40% de la puissance totale appelées par les charges.

Le tableau ci-dessous nous donne les valeurs comparées aux résultats des travaux de SAADI Ferhat et al en 2017. [14]

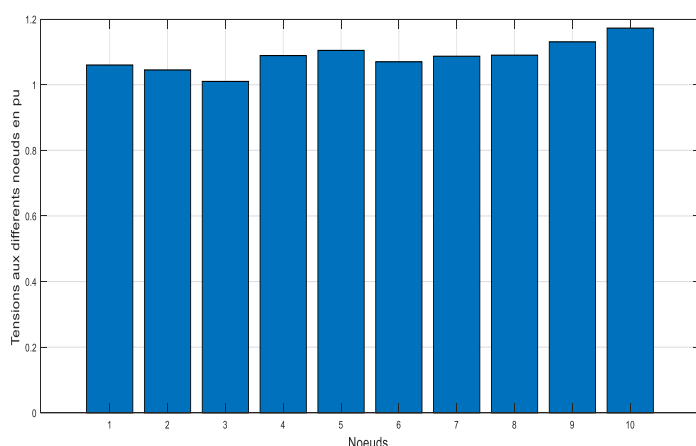
Tableau1: Somme des pertes actives et réactives

perdes	Etat initial[selon 14]	Etat avec injection de l'éolienne [selon 14]	Etat avec la méthode en utilisant une GED
Pertes actives(KW)	860.1	281.47	229.4
Pertes réactives(Kvar)	1048.6	428.40	401.75

Dans ce tableau les pertes actives sont passées de 860.1KW à 229.4 KW soit une réduction de 73.33% par rapport à la valeur initiale. La puissance réactive est passée de 1048.6Kvar à 401.75 Kvar soit une réduction de 61.68% de la valeur initiale. Par rapport aux résultats de [14] nous sommes passés de 281.47 KW à 229.4 KW en pertes actives et de 428.4 Kvar à 401.75 Kvar en pertes réactives. Ceci montre l'efficacité de notre méthode dans l'utilisation d'une GED dans un réseau.

Après injection il faut observer les tensions dans le réseau. Le niveau des tensions est d'abord géré par l'algorithme de Newton Raphson [5] ensuite par l'équation E5

La figure ci-dessous donne les valeurs des tensions aux différents nœuds.

**Figure 4: Niveau des tensions aux différents nœuds**

Les valeurs des tensions sont dans l'intervalle [1.06 ; 1.17] pu le minimum de tensions est au nœud 3 avec une valeur de 1.01pu et le maximum de tension est au nœud 10 avec une valeur de 1.17pu.

Conclusion

Dans cette étude il était question de déterminer le nœud idéal dans un réseau où on doit injecter l'énergie afin de satisfaire la demande en négligeant les pertes d'énergie. A partir de l'algorithme des colonies d'abeilles associé à celui de Newton Raphson nous avons pu réduire les pertes en injectant l'énergie électrique à une valeur précise. La comparaison des résultats avec certains travaux nous montre que notre méthode donne des résultats améliorés. Toutefois le niveau de tension maximal qui est de 1.17pu reste une préoccupation et doit être amélioré afin de rester dans la plage de [0.9 ;1.1] pu. Il serait aussi important d'appliquer la méthode aux réseaux ayant plus de nœuds.

Références

- [1] M. Tajayouti. **Réseau électrique, power quality et étude de l'impact de l'injection de l'énergie PV** livre, université Mohammed V- rabat Ecole supérieure de technologie de sale octobre 2015
- [2] X. Dang. **Contribution à l'étude des systèmes PV/Stockage distribués : impact de leur intégration à un réseau fragile**. Thèse doctorat, ENS Cachan, 2014.
- [3] L. SLIMANI. **Contribution à l'application de l'optimisation par des méthodes metaheuristiques à l'écoulement de puissance optimal dans un environnement de l'électricité déréglé**. Thèse de doctorat, université de Batna décembre 2009.
- [4] L. Hamza, **Etude d'intégration d'une production décentralisée dans un réseau de distribution électrique** mémoire master, académie université kasdi merbah ouargla juin 2017.
- [5] R. Srinivasa **Optimization of Distribution Network Configuration for Loss Reduction Usin ArtificialBee Colony Algorithm**. Article International journal of electrical Vol2 ,2008.
- [6] D. Karaboga **A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm**. Article ,J Glob Optim april 2007
- [7] A.M. El-Zonkoly, **Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimization**, ET Gener.Trans. Distrib., vol. 5(7), 76071, 2011.

- [8] N. Jain, S.N. et al, **generalized approach for DG planning and viability analysis under market scenario**, IEEE Trans. Indu. Electron, vol. 60(11), pp. 5075085, 2013.
- [9] K. Nadhir **Distributed Generation Location and Size Determination to Reduce Power Losses of a Distribution Feeder by Firefly Algorithm** International Journal of Advanced Science and Technology July, 2013
- [10] D. Karaboga , **A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm**. Article ,J Glob Optim april 2007
- [11] N. Kumar K.P.Singh S. Dahiya. **A Genetic Algorithm Approach for the Solution of Economic Load Dispatch Problem** article International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE) June 2012.
- [12] R. Srinivasa **Optimization of Distribution Network Configuration for Loss Reduction Using Artificial Bee Colony Algorithm**. Article International journal of electrical Vol2 ,2008.
- [13] B. Ngueoue Yannick **.Modélisation des injections de puissance d'un système PV sur un réseau public mémoire**. Thèse de doctorat institut international 2IE juillet 2012.
- [14] S. Ferhat **Calcul de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radial avec insertion**. Mémoire Université A. Mira de Bejaia, 2016.
- [15] B. Hadir Adebisi , A. Momodou T. Tijani A. Salawudeen. **An Improved artificial Bee colony using cultural Algorithm for Optimization Problem**. Article International Journal of Computer Applications février 2017.
- [16] T. Dušan **Bee Colony Optimization (BCO)**. Livre, University of Belgrade October 2009.
- [17] G. Trivedi et al **Optimal Sizing and Placement of Multiple Distributed Generators using Teaching Learning Based Optimization Algorithm in Radial Distributed Network**. 2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT'19) | Paris, France/ April 23-26, 2019
- [18] K.Thanatchai **Simplified Newton–Raphson power-flow solution method**, Power System Research Unit, School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, 111 University Avenue, Suranaree University of Technology, 2009