

Optimisation Par les Algorithmes Génétiques D'un Système de Pompage PV

Terki Amel¹

Moussi Ammar²

Département de Génie électrique Université de Biskra, Algérie

¹terki.a@yahoo.com

²moussi_am@hotmail.com

Résumé : L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour le pompage de l'eau est une technologie naissante caractérisée par son cout graduellement en baisse. Depuis les premières installations à la fin des années 70, les systèmes de pompage solaire ont eu une grande part dans les projets d'application de l'énergie solaire et ils appartiennent de nos jours aux applications les plus significatives du solaire photovoltaïque.

L'objectif principal du travail se porte sur une étude de modélisation et d'optimisation d'un système de pompage photovoltaïque(PV) comportant GPV (générateur Photovoltaïque, un moteur PMBLDC (Permanet Magnet Brushless Direct Current) entraînant une pompe centrifuge. Une comparaison est faite entre le couplage direct du système (sans optimisation), l'optimisation avec la méthode conventionnelle et enfin l'optimisation avec les algorithmes génétiques. Les résultats obtenus prouvent l'efficacité de la technique des Algorithme génétiques pour l'amélioration du rendement ainsi que la maximisation de la quantité d'eau pompée.

Mots clés : générateur photovoltaïque, système de pompage, Optimisation, algorithme génétique.

I. INTRODUCTION

L'énergie électrique joue un rôle très important dans le développement économique et social d'un pays. Sa consommation énergétique est devenue un indice de son niveau de développement. L'Algérie, à l'instar des pays en voie de développement, est confrontée au problème d'alimentation électrique des zones isolées et montagneuses. En effet, d'une part, le réseau conventionnel est surtout limité aux zones urbaines, et d'autre part, le coût de production de l'énergie sur site est trop élevé. L'application des systèmes photovoltaïques apparaît comme une alternative prometteuse, d'autant plus que notre pays dispose d'une durée d'ensoleillement et d'une quantité d'énergie incidente très importante.

La conversion directe de l'énergie solaire au moyen des générateurs photovoltaïques est l'une des formes d'exploitation de l'énergie solaire, elle possède des avantages de souplesse et d'adaptation aux diverses applications [1]. Le point de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque est déterminé par l'impédance de la charge, l'éclairement et la température. La performance optimale du système de conversion est obtenue lorsque la puissance délivrée par le générateur est maximale. Cette performance ne peut être

obtenue qu'en adaptant en permanence le générateur et la charge [2].

L'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage d'eau est particulièrement bien adaptée aux zones rurales où l'eau fait cruellement défaut. La demande croissante en eau dans ces zones, destinée à l'alimentation en eau potable ainsi qu'à l'irrigation, fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des modules solaires comme source d'énergie aux groupes « moto-pompes »[2, 3].

La recommandation d'un moteur à courant continu sans balais et à commutation électronique présente un choix favorable pour un système de pompage solaire suite aux avantages que fournit l'utilisation des aimants à base de terres rares d'une part, ainsi que les privilèges qu'offrent la commutation électronique qui en résulte, d'autre part [4]:

- Un rapport couple /poids considérable, d'où un volume modéré
- Un rendement optimal
- Une faible maintenance du système.

L'objectif du présent travail étant le développement d'un procédé d'optimisation permettant la maximisation du rendement du système de pompage photovoltaïque en utilisant une technique d'intelligences artificielles : les algorithmes génétiques.

II. CONFIGURATION D'UN SYSTEME DE POMPAGE PV

Le système de pompage PV est constitué principalement par un générateur photovoltaïque (GPV) composé de modules solaires photovoltaïques, ces derniers sont constitués des cellules. Le courant électrique produit, dont l'intensité varie selon les conditions climatiques. Puis un convertisseur continu-continu(hacheur), nécessaire pour améliorer le puissance, le rendement et la fiabilité du système photovoltaïque en adaptant la charge au générateur photovoltaïque. Ce convertisseur statique permet une variation de la vitesse de la pompe en fonction de l'éclairement, et une poursuite du point à puissance maximale du GPV, permettant une optimisation de la quantité d'eau pompée. Ce dernier est relié par le moteur PMBLDC qui entraîne une pompe centrifuge. Le moteur PMBLDC est contrôlé a travers une boucle de régulation de courant et d'autre de vitesse qui ont pour but d'améliorer la stabilité, précision et la rapidité du système Fig.1.

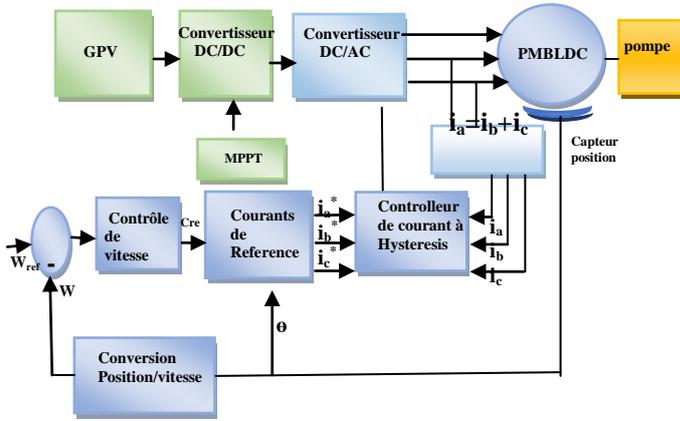


Figure1. Configuration du système de pompage PV

A. Modèle du GPV

Le générateur photovoltaïque peut être modélisée par une matrice formée de N_s modules séries et de N_p rangées en parallèles, dont la caractéristique courant-tension peut être régit par [6, 11]:

$$I_g = I_{cgg} - I_{og} \left[\exp \left(\frac{V + R_{sg} \cdot I}{V_{thg}} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

Avec

$$I_{cgg} = N_p \cdot I_{sc} \quad (2)$$

$$I_{og} = N_p \cdot I_o \quad (3)$$

$$V_{thg} = N_s \cdot V_{th} \quad (4)$$

$$R_{sg} = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s \quad (5)$$

La tension thermique V_{th} et le courant I_o sont respectivement identifiés par [6, 11].

$$V_{th} = \frac{V_{op} + R_s \cdot I_{op} - V_{oc}}{\log \left(1 - \frac{I_{op}}{I_{cc}} \right)} \quad (6)$$

$$I_o = \left(I_{sc} - I_{op} \right) \exp \left(- \frac{V_{op} + R_s \cdot I_{op}}{V_{th}} \right) \quad (7)$$

Le modèle mathématique du GPV présenté décrit par l'équation est composé de dix modules en série et deux en parallèle. Le système moto-pompe-générateur PV est intercalé par un convertisseur DC-DC, afin de poursuivre le point de sa puissance maximale.

B. Modèle du Convertisseur (DC-DC) Hacheur

Le hacheur permet d'avoir une tension de sortie moyenne réglable, selon les durées de conduction et de blocage des composants de l'électronique de puissance qui le constitue. La tension moyenne de sortie peut être donnée par [10] :

$$V_{moy} = K \cdot V \quad (8)$$

Et le courant moyen est exprimé par

$$I_{moy} = I / K \quad (9)$$

Où K est le gain du hacheur.

C. Modèle du moteur PMBLDC

Récemment, les moteurs à courant continu ont été graduellement remplacés par des moteurs PMBLDC puisque les applications industrielles exigent des actionneurs plus puissants, qui ont de faible encombrement. La souplesse à la commande, la longue durée de vie due à l'absence de la commutation mécanique ainsi que le faible bruit acoustique sont les principaux avantages de ce moteur. Leur principal inconvénient est la nécessité d'avoir une électronique de contrôle. Mais cet inconvénient est dépassé grâce au progrès réalisé dans les domaines de l'électronique de puissance et l'arrivée des nouveaux calculateurs numériques très sophistiqués ce qui permet de réaliser des variateurs performants.

Le modèle du moteur PMBLDC pris pour notre cas, a été simplifié au modèle d'un moteur à courant continu et pour des raisons de simplicité, les pertes sont négligées.

Les équations électriques sont donnés par :

$$V = R \cdot I + K_e \cdot \omega \quad (10)$$

Avec K_e : coefficient de la f.e.m.
 R : Résistance de l'induit.

Les équations mécaniques sont décrites comme suit :

$$C_e - C_r = 0 \quad (11)$$

Le couple électromagnétique d'une telle machine est une relation linéaire en fonction du courant d'induit :

$$C_e = K_e \cdot I \quad (12)$$

D. Contrôle du courant par hystérésis

Le but de cette technique est de faire contrôler les courants des phases de la machine (i_a, i_b, i_c) et de les maintenir entre deux enveloppes : supérieure et inférieure (valeur maximale et valeur minimale) autour des courants de référence (i_a^*, i_b^*, i_c^*) [11].

La fréquence de commutation dépend de plusieurs facteurs comme :

- la valeur de tension continue U .
- le niveau de la f.e.m dépendant de la vitesse de rotation.
- l'inductance de fuite de l'enroulement statorique L_s et la bande d'hystérésis ΔI .

- La fréquence maximale de commutation obtenue au démarrage lorsque la vitesse est presque nulle, peut être donnée par l'expression suivante [11] :

$$f_{\max} = \frac{U}{8.L_s.\Delta I} \quad (13)$$

E. Contrôle de vitesse

Pour le réglage de la vitesse, on a utilisé un régulateur PI (Proportionnel Intégral). La vitesse de rotation $\omega(n)$ est comparée avec la vitesse de référence $\omega^*(n)$. L'erreur de vitesse sera donc [11]:

$$\omega_e(n) = \omega^*(n) - \omega(n) \quad (14)$$

L'erreur de vitesse, positive ou négative, dépend de la vitesse rotorique et de la vitesse de référence. La sortie du régulateur est exprimée par le couple donné dont l'expression est :

$$C_e(n) = C_e(n-1) + K_p[\omega_e(n) - \omega_e(n-1)] + K\omega(n) \quad (15)$$

Où K_p , K_i sont respectivement le coefficient proportionnel et celui intégral du régulateur.

F. Modèle de la pompe

La pompe centrifuge est caractérisée par un couple résistant, évoluant telle que la forme quadratique de la vitesse d'entraînement, il est décrit par [6] :

$$C_r = A \omega^2 \quad (16)$$

Où A : coefficient en fonction de la vitesse et de la puissance nominales.

La caractéristique (hauteur – débit) sert à déterminer la dépendance de la hauteur manométrique totale H en fonction du débit Q et prenant comme paramètre la vitesse de rotation ω . Le faisceau de courbe parabolique identifié par l'expression de Pfleider-Peterman [4] exprimé par :

$$H = C_1 \cdot \omega^2 - C_2 \cdot \omega \cdot Q - C_3 \cdot Q^2 \quad (17)$$

Les coefficients C_1 , C_2 et C_3 sont des fonctions des caractéristiques de la pompe.

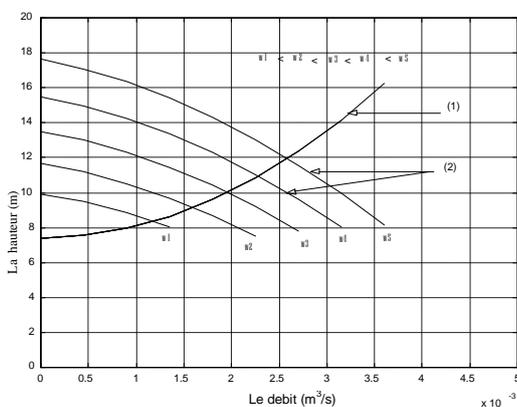


Figure2. 1. Caractéristique H-Q de la canalisation
2. Caractéristique H-Q de la pompe pour différentes vitesses

III. LES ALGORITHMES GENETIQUES

Un AG peut être considéré à la base comme un processus aléatoire. Cependant, les informations qui viennent des fonctions objectives sont toujours utilisées pour paramétrer ce processus. Ils ont été développés par John Holland, ses collègues et ses étudiants, en 1967 à l'Université du Michigan à USA dans deux buts principaux :

- * Mettre en évidence et expliquer rigoureusement les Processus d'adaptation des systèmes naturels.
- * Concevoir des systèmes artificiels qui possèdent les propriétés des systèmes naturels.

Les AG fonctionnent par une génération successive d'individus. L'ensemble des individus d'une génération s'appelle une population. Un chromosome est une suite de gènes et un individu est un ensemble de chromosomes. Ce principe est résumé dans la Fig.4 [12, 13]. La fonction d'évaluation s'appelle le fitness. Les AG génèrent une recherche de maximum sur cette fonction. La pertinence des paramètres (des gènes) est donc proportionnelle à la fonction. Par conséquent, plus le fitness est élevé, plus les gènes correspondants sont pertinents [12].

Les AG sont des algorithmes d'optimisation, S'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle : croisements, mutations, sélection, etc. Pour l'utiliser, on doit disposer des cinq éléments suivants :

- Un principe de codage de l'élément de population.
- Un mécanisme de génération de la population initiale.
- Une fonction à optimiser. Celle-ci est appelée fitness ou fonction d'évaluation de l'individu.
- Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace d'état. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, l'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace d'états.
- Des paramètres de dimensionnement : taille de la population, nombre total de générations ou critère d'arrêt, probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation.

L'optimisation du rendement du système de pompage PV par les AGs est l'objectif de ce travail.

A. Fonction d'évaluation

Cette fonction permet de mesurer l'efficacité de la solution. La pertinence des solutions potentielles dépend essentiellement de la formulation de cette fonction. Le rendement du système de pompage comportant le GPV et la charge moto-pompe est régi par l'équation suivante :

$$\eta = A \cdot \omega^2 / E \cdot A_1 \quad (18)$$

La fonction évaluation ou objective à optimiser peut être adapté avec le problème traité comme suit :

$$\eta = 1 / (A \cdot \omega^2 / E \cdot A_1) \quad (19)$$

B. Les variables de la fonction d'évaluation

Les variables de la fonction objective sur les quelles porte l'optimisation sont les variables de conception qui peuvent être de natures diverses. Les variables pris pour le système de pompage PV sont présentés de la façon suivante :

- X(1)=I : le courant du générateur photovoltaïque
- X(2)=V : la tension du générateur photovoltaïque.
- X(3)=K : le gain du hacheur.
- X(4)= ω : la vitesse du moteur.

C. Les contraintes d'égalité

Les contraintes de conception du système sont des équations non linéaires données par :

- Contrainte du PGV

$$I - (I_{cc} - I_o [\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{V_{th}}\right) - 1]) = 0 \quad (20)$$

- Contrainte du Moteur

$$K \cdot V - K_e \cdot \omega + R \cdot I / K = 0 \quad (21)$$

- Contrainte de la pompe

$$K_e \cdot I / K - A \cdot \omega^2 = 0 \quad (22)$$

IV. SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

La simulation du système est faite en premier lieu sans optimisation : couplage direct (CD) pour voir la position de la courbe de charge par rapport à celle de la puissance maximale. Suivi par une optimisation par la méthode conventionnelle (MC) et en fin celle avec les algorithmes génétiques. La Fig.3 représente la caractéristique courant-tension. On remarque que pour la courbe du couplage direct (CD) est loin de la zone optimale pour les faibles valeurs d'éclairement. Par contre pour les forts éclaircements, elles se rapprochent. En appliquant la MC l'amélioration de la caractéristique surtout pour les faibles valeurs d'éclairement. La technique AG prouve son efficacité. Prenons par exemple $E = 100 (w/m^2)$. La tension d'alimentation est augmentée d'une valeur aussi faible que 60 (V) par rapport à celle du couplage direct, et à une valeur de 163 (V) pour les AG par suite. Les puissances obtenues par la technique d'AG sont les valeurs optimales qui donnent un rendement maximal, qui veut dire un débit maximal. La même analyse pour la Fig.4 qui représente la caractéristique puissance-tension. Alors la puissance globale du générateur photovoltaïque est bien exploitée pour le cas des algorithmes génétiques. Le rendement calculé est défini par le rapport entre la puissance obtenue a la sortie de moteur et la puissance maximale

disponible. La Fig.5 illustre l'allure du rendement, qui est environ de 10.% pour la technique AG, et environ de 7% pour la méthode conventionnelle par contre le couplage direct est caractérisé par un faible rendement pour les faibles valeurs d'éclairement, à titre d'exemple pour $E = 100 (W/m^2)$, le rendement est de 3.8%. Mais à partir de $E = 900 (W/m^2)$ et plus, les valeurs du rendement sont proche des rendements optimisés, ce rapprochement prouve la bonne adaptation entre le groupe moto-pompe et le générateur pour le couplage direct a des forts éclaircements. La Fig.6 représente les allures des débits, au couplage direct, la méthode conventionnelle et la technique des algorithmes génétiques en fonction de l'éclairement. Dans le cas du CD le système commence à délivrer de l'eau à un éclairement de $280 (w/m^2)$, par contre pour la MC, c'est à partir d'un éclairement de $200 (W/m^2)$. La pompe fournit de l'eau à partir de $100 (W/m^2)$, pour la technique de AG. Ceci prouve l'efficacité des algorithmes génétiques comme outil d'optimisation.

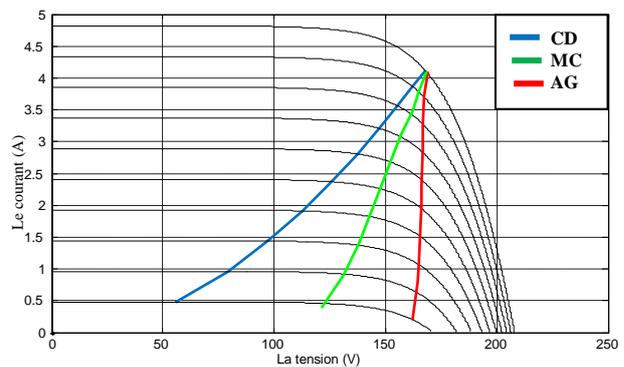


Figure 3. Caractéristique courant-tension

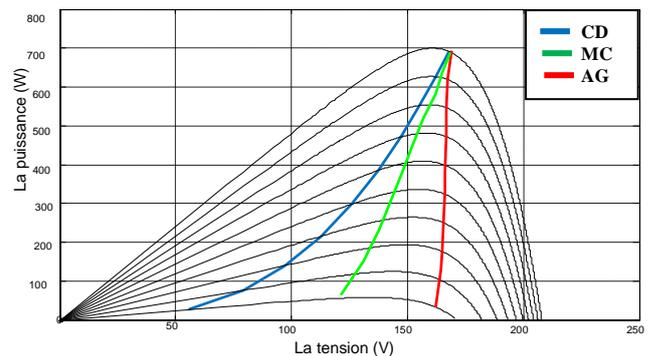


Figure 4. Caractéristique Puissance-tension

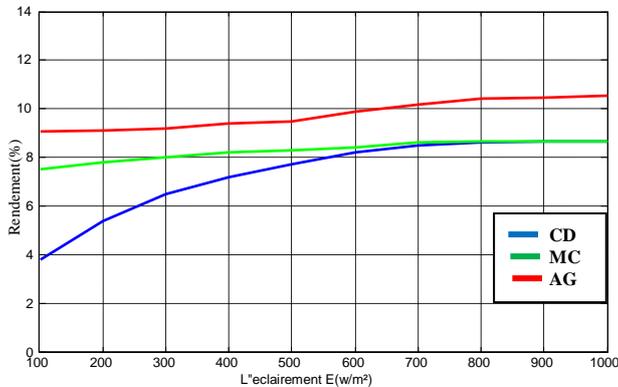


Figure 5. Rendement –Eclairement

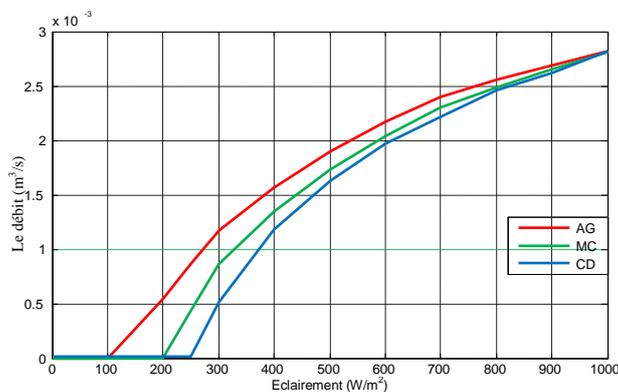


Figure 6. Débit –Eclairement

V. CONCLUSION

Dans le présent travail, on a optimisé le rendement d'un système de pompage photovoltaïque. On a simulé le système avec le couplage direct pour voir la position de la courbe de charge puis l'optimisation est faite avec la méthode conventionnelle tout d'abord ce dernier est comparé avec celle des algorithmes génétiques. L'optimisation par la méthode conventionnelle a été effectuée en ajustant judicieusement le gain d'un hacheur, suivi par l'optimisation par les algorithmes génétiques qui a comme variables (I , V , K , W). Après présentation et comparaison des résultats obtenus, on peut souligner que le critère d'optimisation : les algorithmes génétiques, a offert un rendement et un débit maximaux via celle de méthode conventionnelle.

Appendix

GPV : $V_{oc} = 22.40$ V, $I_{cc} = 2.410$ A, $R_s = 0.450$ Ω ,
 La pompe Centrifuge : 3000 tr/min, $P = 521$ W, $Q = 2.597$ l/s, $H = 14.11$ m,
 $\eta = 69\%$
 Moteur PMBLDC : $P = 690$ W, $n = 3000$ tr/min, $V = 200-220$ V, $I = 4.8$ A, $R = 1$ Ω ,
 $L = 5$ mH, $P = 6$, $K_e = 0.47$

Références

- [1] Sylvain Brigand, "installations solaires photovoltaïques", Edition le moniteur, 2011.
 - [2] Anne Labouret, Michel Villos "Energie Solaire photovoltaïque", 3^e édition, Dunod, 2006.
 - [3] Packiam Periasamy, N.K.Jain, I.P.Singh, "A review on development of photovoltaic water pumping system", *Renew. and Sustainable. Energ. Reviews*, 43 (2015) 918–925.
 - [4] Metin Demirtas, Aslan Deniz Karaoglan, "Optimization of PI parameters for DSP-based permanent magnet brushless motor drive using response surface methodology", *Energy Conversion and Management*. 56 (2012) 104–111.
 - [5] Z. Zinge, "Optimum Operation of a Combined System of a Solar Cell Array and a DC Motor", *IEEE Trans. on PAS*, Vol. PAS-100, No. 3, 1981, pp: 1193-1197.
 - [6] A. Terki et al "An improved efficiency of fuzzy logic control of PMBLDC for PV pumping system" *Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, pp.934-944, 2012.
 - [7] Yahia Bakelli et al, Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept, *Sol. Energ.* 85 (2011) 288–294.
 - [8] J. Samin et al, Optimal sizing of photovoltaic systems in varied climates, *Solar Energy*. 6 (1997) 97–107.
 - [9] S. Ould-Amrouche et al, "Modelling photovoltaic water pumping systems and evaluation of their CO2 emissions mitigation potential", *Appl. Energ.* 87(2010) 3451–3459.
 - [10] S. M. Aghuwainem, "steady-state performance of DC motors supplied from photovoltaic generators with step-up converter", *IEEE transaction of energy conversion*, vol.7, N°.2, pp. 267-272, September 1992.
 - [11] A.Moussi, A.Terki, Greg Asher, "Hysteresis current controller of permanent Magnet Brushless DC motor PV pumping system", *ASME, International Solar Energy conference* 2005.
 - [12] J.M. Hirtz, les stations de pompage d'eau, Lavoisier. TEC&DOC, 1991.
 - [13] Z. Michalewicz, Genetic algorithms+Data Structures = Evolution Programs. Berlin, Springer, 1992.
- RR. Colin, ER. Jonathan, Genetic algorithms—principles and perspectives, a guide to GA theory. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 20