Simulation du Couplage Directe d’un moteur à Courant Continue à un Générateur Photovoltaïque pour le Pompage Agricole

Bouadi Abed\*, LOUNIS Mourad\*\*, BEN MEZIANE Meriem\*

\*LAMOSI, Faculté de Physique – USTO MB abed\_bou@yahoo.fr

\*\*LAAR, Faculté de Physique – USTO MB loumou2000@yahoo.fr

\*\* Université Djilali Bounaama – Khemis Miliana

**Résumé –** Dans cet article, le comportement du système de pompage solaire sera analysé par des simulations. Pour mieux comprendre certains régimes propres au système et surtout le moteur à courant continu à aimant permanant, nous allons montrer à priori les résultats de simulation de l'ensemble moteur-pompe-circuit hydraulique tout en alimentant directement le moteur à partir d'une tension continue fixe, puis nous associons à cet ensemble un générateur solaire qui alimente directement, le moteur d'entrainement de la pompe.

**Mots clés –** Photovoltaïques, Pompage agricole, Moteur àa courant continue.

**1. Introduction**

Le modèle global de notre système de pompage solaire est la combinaison ou l'association des différentes modélisations des éléments qui le constituent à savoir

* Les panneaux photovoltaïques **(GPV).**
* Le moteur à courant continu à aimant permanent **(MCCAP).**
* La pompe centrifuge.
* Le circuit hydraulique.

Chacun de ces éléments constitutifs du système de pompage solaire a été programmé sous l'environnement "Matlab & Simulink". Globalement, le système de pompage solaire a des entrées fluctuantes qui sont les variables météorologiques à savoir l'ensoleillement E et la température ambiante T. Sa sortie est le débit d'eau pompée Q.

La figure qui suit montre le schéma bloc développé pour la simulation du système de pompage solaire.

**GPV**

**Pompe**

**Moteur**

 **Circuit Hydraulique**

**Fig.1** Système de pompage couplé directement à la source solaire.

Comme l'indique le schéma de la figure ci-dessus, le panneau photovoltaïque délivre une tension continue suite à un appel de courant du moteur. Celui-ci sera transmis à son tour au générateur solaire et tout ça en fonction de l'ensoleillement disponible et de la température des cellules. Le moteur à CC transforme la tension d'alimentation à ses bornes en une vitesse de rotation et un couple électromagnétique qui dépendent du couple résistant à son arbre en un appel de courant du panneau photovoltaïque.

Finalement, en fonction de la vitesse de rotation du moteur, la pompe soulève l'eau à la hauteur imposée par le biais du circuit hydraulique avec un débit Q. En fonction de ce dernier et de la hauteur géodésique, le circuit hydraulique renvoie une hauteur manométrique totale à la pompe qui la transforme à son tour en un couple résistant imposé sur l'arbre du moteur.

Le passage des entrées vers la sortie passe par l'écriture de plusieurs équations différentielles ; ainsi, l'estimation de la sortie en fonction des entrées n'est pas évidente. Le modèle du système régi par ces différentes équations sera destiné à la visualisation ou l'analyse des régimes transitoires qui ne dépassent pas quelques secondes. Pour estimer la quantité d'eau pompée en fonction de l'ensoleillement disponible, il est conseillé d'utiliser d'autres modèles simplifiés.

**2. Simulation de fonctionnement du groupe (MCCAP-Pompe)**

Pour mieux comprendre le comportement du système de pompage lors de l’utilisation de l’énergie solaire, nous allons d’abord montrer certains phénomènes propres au système et ceci lors de l’alimentation directe du moteur à partir d’une source de tension continue fixe puis à partir du GPV.

**2.1. Alimentation du groupe moteur-pompe par une tension continue fixe**

On alimente notre système avec une tension continue de 180 V pour montrer le compor tement du moteur.

**Tension Continue fixe**

**Pompe**

**Moteur**

**Fig.2** Système de pompage couplé

à la source continue fixe.

**2.1.1. Modélisation du moteur à aimant permanent**

Modèle électrique équivalent de l’induit :



**Fig.3**Modèle électrique de l’induit.

La modélisation du moteur est réalisable à partir des équations de base de la machine à courant continu [2].

|  |  |
| --- | --- |
| **Equation électrique** **du moteur** | **Equation mécanique****du moteur** |
| U = RI + L + E (1) E = Ke \*Ω (2)Cem = Kt\* I (3) |  (4) |
| **Le rendement** |
|  (5) |

**2.1.2. Résultats de simulation du moteur à aimant permanent**

Les Figures 5 et 6 représentent la variation du courant et du couple électromagnétique du moteur en fonction du temps.

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig.5** Variation du courant du moteur | **Fig.6** Variation du couple |
| **Fig.7** Variation de la vitesse | **Fig.8** Variation du couple résistant |

On remarque sur la Figure 5, au démarrage, un fort appel de courant (à peu prés 9 fois le courant nominal).

La Figure 6 montre que le couple est pro portionnel au courant, donc important au démarrage. Les Figures 7 et 8 représentent la variation de la vitesse et le couple résistant du moteur en fonction du temps. Au démarrage la vitesse de rotation et la f.é.m. sont nulles. Le couple résistant est proportionnel à la vitesse.

**2.1.3. Résultats de simulation de la pompe centrifuge :** La charge appliquée sur l’arbre du moteur est une pompe centrifuge conçue pour répondre à des conditions précises de fonctionnement (débit Q à élever à une hauteur H). Le modèle de la pompe centrifuge utilisé est identifié par l’expression de Plaindre et Petermann **[1]**.

 Cr = Kr. ω2 + Cs **(**6)

 Au démarrage, le couple est limité au couple de frottement, (qui devient plus important en rotation).

 La pompe requiert une vitesse minimale à une Hm donnée pour obtenir un débit de départ non nul **[6].** Donc la pompe centrifuge oppose un couple résistant Cr qui est de la forme :

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig.9** Caractéristiques débit – vitesse | **Fig.10** Caractéristique couple – vitesse |
| **Fig.11** Caractéristiques de la pompe Hm(Q) et de la canalisation | **Fig.12** Caractéristique de la puissance hydraulique |

Nous remarquons dans la Figure 9 que le débit de cette pompe est proportionnel à la vitesse de rotation du moteur. Toutefois une vitesse minimale de 136 rad/s pour une Hm de 16m est requise pour obtenir un débit.

La Figure 10 montre que le couple du moteur augmente très rapidement en fonction de cette vitesse. Comme la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur, le moteur devra avoir une grande vitesse pour assurer un bon débit.

La courbe Hm(Q) indiquée sur la figure 11 est une parabole. Le point de rencontre de la courbe Hm(Q) avec l’axe des ordonnées est le point à débit nul. On l'appelle point à vanne fermée ou encore point de barbotage **[4].**

 Le point de fonctionnement de la pompe est le point d'intersection des deux courbes (figure 11).

 La courbe de la figure 12, des puissances absorbées pour les différents débits peut présenter un maximum dans la plage utilisable. Cette dernière forme de courbe permet d’éviter une surcharge du moteur si les conditions d'utilisation de la pompe sont appelées à varier.

****

**Fig.13** Caractéristique de rendement.

La Figure 13 montre que généralement que rendement de la pompe ne dépasse pas les 70 %.

**2.2. Alimentation du groupe motopompe par le GPV**

**2.2.1 Le couplage direct :** Ce couplage est illustré dans la figure 14 L'énergie solaire est convertie en électricité au moyen de cellules photovoltaïques. Le courant continu produit par les panneaux solaires va actionner directement le groupe moteur pompe. Les panneaux solaires sont des éléments statiques, la seule partie en mouvement du système est le groupe moteur-pompe.

L'éclairement est variable de la valeur minimale jusqu’ à la valeur maximale de 1000W/m2.

**GPV**

**Pompe**

**Moteur**

**Eclairement**

**Température**

**Fig.14** Couplage direct d'un système de pompage photovoltaïque

**2.2.2. Modélisation de la cellule solaire :**

Le modèle électrique réel d’une cellule solaire se compose d’une diode, deux résistances et un générateur de courant [5]**.**

**Fig.15**  Modèle électrique de la cellule

Les résistances Rs et Rsh permettent de tenir en compte des pertes liées aux défauts de fabrication. Rs représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que Rsh caractérise les courants de fuite dus à la diode et aux effets de bord de la jonction [8].

Dans ces conditions l’expression générale du courant donnée par :

 (7)

Le courant d’obscurité ID est donné par :

 (8)
 (9)

En pratique donc on peut négliger et conséquence :

 (10)

En circuit ouvert le courant est nul donc :

 (11)

La puissance fournie par cette pile s’écrit sous la forme :

 (12)

Le maximum de la puissance fournie correspond à la tension Vm et un courant Im qui se déduise de la relation. La résistance de charge RL permettant d’utiliser la puissance maximale est :

 (13)

Il faut noter que ces deux résistances sont liées à la technologie d’élaboration des électrodes. Il faut minimiser Rs de telle sorte que Rsh soit très important.

Le photo-courant Iph varie avec l’irradiance, il est déterminé par rapport à des valeurs données aux conditions de référence :

**2.2.3. Simulation :** Les résultats de la simulation d'un module photovoltaïque sont montrés sur les figures suivantes  (Figure 16, Figure 17).

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig.16** Caractéristique Courant-Tension | **Fig.17** Caractéristique Puissance-Tension |

**2.2.3.1. Effet de l’ensoleillement et de la température sur les caractéristiques Puis sance – Tension et Courant – Tension d'un module PV**

Deux principaux paramètres influents sur le fonctionnement du générateur, ce sont l’éclairement et la température **[9]**.Les Figures 18 et 19 représentent les caractéristiques Ipv (Vpv) et P (Vpv) pour diverses valeurs d’éclairement (E) et de température de jonction d’un module (T).

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig.18** Variation de la caractéristique Puissance-Tension | **Fig.19** Variation de la caractéristique Courant-Tension |

**2.2.3.2. Le rendement et la quantité d’eau du système en couplage direct**

h = =  **(**15)

Q : La quantité d’eau et est donnée selon [1] par la relation suivante :

(16)

*Et* = 1000 W/m2; *a*, *b* et *c* constantes.

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig.20** Débit en couplage direct | **Fig.21** Rendement en couplage direct |

La figure 21 représente les variations du rendement en fonction de l'éclairement. D'après ces résultats, le système fonctionne dans la zone 3 seulement pour des valeurs d'éclairement élevées où le débit est maximal et peut atteindre environ 10.5 (m3/s). Sur la figure 21, nous remarquons que pour des faibles valeurs d'éclairement, les points de fonctionnement s'éloignent de la puissance optimale. Le système fonctionne alors sur la zone1, où le rendement faible, de l'ordre de 32 %. Pour le couplage direct, le système moteur pompe ne fonctionne qu’à partir de 300W/m2. Au rayonnement solaire de 700W/m2, nous atteignons une performance qui nous permet un débit optimal d'eau pour un rendement maximal. Le moteur fonctionne en mode nominal.

**3. Conclusion**

Nous avons présenté les principales caractéristiques d'un système photovoltaïque permettant le pompage de l'eau avec de l'énergie solaire. Le couplage direct, présente la simplicité, le coût faible et la possibilité de bonnes performances**.** Les résultats sont très satisfaisants. Même pour de faibles valeurs d’ensoleillement, on a une la valeur minimale du débit. Le rendement du groupe moteur-pompe est acceptable pour des valeurs minimales d’ensoleillement et il est excellent pour des valeurs plus importantes **[7]**.

**Nomenclature**

Kr: coefficients de proportionnalité [(Nm/rad.s-1)2] ; Cs : le couple statique, très petit.

I : Courant fourni par la cellule [A] ; V : Tension à la borne de la cellule [V]

Iph : Photo courant [A], proportionnel à l’irradiance F, avec correction selon T ;

Is : Courant de saturation de la diode [A], dépendant de la température [A] ;

Rs : Résistance série [W] ; Rsh : Résistance shunt (ou parallèle) [W] ;

q : Charge de l’électron = 1,602. 10-19 [Coulomb] ; k : Constante de Boltzmann = 1,38. 10-23 [J/K];

A : Facteur de qualité de la diode, normalement compris entre 1 et 2 ;

T : Température effective de la cellule [Kelvin] ; R : Résistance des enroulements de l’induit [Ω] ;

E : Force électromotrice induite [V] ; U: Tension d’alimentation de l’induit [V].

**4. Réferences**

[1] R. CHENI, L. ZAROUR, E. MATAGNE, T. KERBACHE, "*Optimisation d’un système de pompage photovoltaïque*", article de science et technologie B-N°26, décembre (**2007**), 49-54.

[2]B. Azoui, M. Chabane. “Expérimentation D’un Moteur A Aimants Permanents Sans Balais Collecteur Dans Un Système De Pompage Photovoltaïque”, ICEL`2000, U.S.T.Oran, Algeria, pp:378-383.

[3] A. Betka, A. Moussi and B. Azoui, “*Optimum design of photovoltaic pumping system*”, UPEC99, Leicester UK, 1999.

[4] P.Bigot**, “***meca-flu v*” *: les pompes* Cours CIRA 1ère année, p3

[5] D. Saheb-Koussa ; M. Haddadi,“Modélisation d’un générateur photovoltaïque dans l’environnement « Matlab » ”,4th International Conférence on Computer Integrated Manufacturing CIP’2007.

[6]A. MOUSSI, A. SAADI“*Etude comparative entre les techniques d’optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque*”, *LARHYSS* Journal, N°.01, Mai 2002 d’Ottawa/EIER/CREPA**.**

[7] El Y. Chachoua-Harmim, A. Harmim et A. Mammeri, “Expérimentation d’un système de pompage photovoltaïque avec un générateur refroidi par ruissellement d’eau et équipé d’un réflecteur plan ”, *Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°1 (2009) 63 – 68.*

[8] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho “Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays”; IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 24, NO. 5, MAY 2009.

[9] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F “MODELING AND CIRCUIT-BASED SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC ARRAYS”; Brazilian Journal of Power Electronics,2009 vol. 14, no.1, pp 35—45, ISSN 1414-8862.