

Etude d'une Installation de Pompage Solaire à Moteur à Courant Continu

Aicha ZNIDI¹, Said CHNIBA², Emna BOUAZIZI³

^{1,2,3}Ecole National des Ingénieurs de GABES Route de Medenine, 6029 Gabes, Tunisia

Laboratoire de Recherche en Génie de Procédés et Systèmes Industriels (LR-GPSI)

¹aicha.zneidi@gmail.com, ²Said.Chniba@enig.rnu.tn, ³emnabouazizi@hotmail.fr

Abstract— Nous Présentons dans ce papier une étude d'un système de pompage solaire à base d'un groupe motopompe à courant continu alimenté à partir de panneaux photovoltaïques. Le système en question est destiné pour être utilisé dans l'irrigation de petites superficies agricoles d'où sa faible puissance. Deux configurations sont exposées:

- Sans éléments de stockage d'énergie électrique où le groupe motopompe ne fonctionne que grâce à l'énergie qui lui est directement transmise à partir des panneaux photovoltaïques (fonctionnement au fil du soleil).

- Avec éléments de stockage d'énergie électrique où le groupe motopompe peut, en cas de besoin, puiser de l'énergie nécessaire à son fonctionnement de ces éléments.

En plus des éléments conventionnels que peut comporter un tel système, notre étude tient compte de l'adjonction d'un régulateur permettant le suivi du maximum de puissance grâce à une commande MPPT. Le suivi de l'évolution du système dans différentes situations de fonctionnements a été effectué

Keywords— Générateur Photovoltaïque; Convertisseurs Statiques; Pompe centrifuge; MPPT; Batterie

I. INTRODUCTION

De nos jours, les énergies renouvelables sont d'actualité et leur utilisation touche différents secteurs pour de multiples raisons [1, 2, 3] : écologique car elles sont propres et sans effet de serre, souvent disponibles sur l'ensemble du globe et d'une façon continue, économiques et assure l'autonomie de fonctionnement pour beaucoup d'installations et de systèmes, surtout quand elles sont utilisées pour la production de l'électricité.

D'autres raisons peuvent être encore citées. Mais nous ne pouvons passer sans évoquer ce que peut apporter l'utilisation des énergies renouvelables de solutions aussi bien financières (liées aux équilibres budgétaires surtout pour les pays pauvres), que techniques surtout pour les sites isolés pour lesquels l'acheminement de l'énergie pose des difficultés de tout genre (difficulté de raccordement aux réseaux publics d'électricité par exemple).

Actuellement, l'énergie solaire, est l'énergie renouvelable la plus « populaire » grâce à la large gamme d'application qu'elle permet de réaliser. On la trouve aussi bien dans les applications industrielles les plus lourdes, comme les centrales

de production de l'énergie électrique, que dans les applications les plus légères, comme l'alimentation d'une petite lampe d'éclairage, en passant bien évidemment par une multitude d'applications intermédiaires dans tous les secteurs de l'activité humaine [5].

L'application de l'énergie électrique solaire dans le secteur agricole, par exemple, revêt une grande importance non seulement pour les raisons écologiques, mais aussi, pour les solutions techniques et économiques qu'elle apporte surtout pour les populations pauvres et géographiquement isolées. En effet, beaucoup de population dans les zones rurales des pays en voie de développement affrontent de grand problème du au déficit en eau [6]. Ces problèmes sont spécialement accentués dans les zones désertiques et semi-désertiques où le déficit en eau constitue une contrainte vitale. L'amélioration des conditions de vie dans ces zones est liée à la recherche des solutions adéquates à ce problème. Le pompage solaire photovoltaïque représente une des meilleures solutions à adopter pour les raisons que nous venons d'évoquer. L'eau ainsi pompée, peut être employée aussi bien dans l'utilisation domestique que dans les activités économiques et agricoles comme l'irrigation.

Dans le contenu de ce papier nous présentons, dans une première partie, la structure générale d'un système de pompage photovoltaïque. La modélisation mathématique des différents constituants du système étudié fait l'objet de la seconde partie. Une troisième partie est consacrée aux résultats de simulation en l'absence et en présence de moyen de stockage. Nous clôturons ce travail par une conclusion.

II. STRUCTURE ETUDIÉE

La structure adoptée est constituée par un groupe motopompe alimenté par un générateur photovoltaïque (GPV), permettant la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique et un régulateur de tension munie d'une commande MPPT permettant la poursuite de point de puissance maximale.

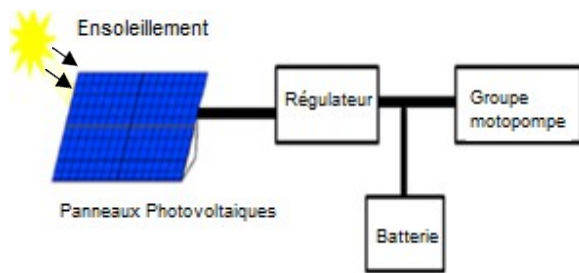


Figure 1. Structure d'un système de pompage Photovoltaïque.

III. MODELISATION DE LA STRUCTURE ETUDIEE

2. GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Un générateur photovoltaïque peut être formé par un ou plusieurs modules photovoltaïques. Chaque module est constitué par des cellules connectées en série ou en parallèle pour fournir le courant et la tension voulus. La modélisation du générateur passe donc par la modélisation de la cellule.

La cellule photovoltaïque est généralement représentée par un schéma équivalent constitué par [4]:

- Un générateur de courant représentant la conversion du flux lumineux en énergie électrique.
- Une résistance série R_s représentant les contacts et les connexions.
- Une diode en parallèle représentant la jonction PN de la cellule.
- Une résistance parallèle R_p représentant les pertes actives dans la diode.

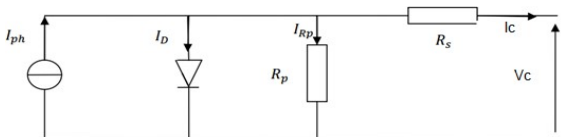


Figure 2. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

La modélisation de la cellule est décrite par la relation entre le courant et la tension suivante :

$$I_{pv} = N_p \times I_p - N_p \times I_{ph} \left(\exp\left(\frac{A_t \times V_{pv}}{N_s}\right) - 1 \right) \quad (1)$$

Où :

I_{pv} est le courant débité par le générateur photovoltaïque,

V_{pv} est la tension aux bornes du générateur photovoltaïque,

I_{ph} est le photo courant directement proportionnel à l'ensoleillement.

2. REGULATEUR

Le régulateur ici est un hacheur de type série muni d'une commande MPPT. Il doit permettre de transformer la tension fixe fournie par le générateur photovoltaïque à une tension continuellement variable. La relation donnant la valeur moyenne de la tension de sortie V_s du hacheur en fonction de sa tension d'entrée V_{pv} est donnée par l'expression :

$$V_s = \alpha V_{pv} \quad (2)$$

α étant le rapport cyclique du hacheur.

3. GROUPE MOTOPOMPE

Le groupe en question est constitué d'un moteur à courant continu et une pompe centrifuge. Sa modélisation revient à la modélisation de chaque élément.

a. Modèle du moteur à courant continu

Le fonctionnement du moteur est régi par les équations électriques et mécaniques suivantes :

$$V_a = E + R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (3)$$

$$T_e - T_r = J \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \quad (4)$$

$$T_e = K_c I_a \quad (5)$$

$$E = K_c \Omega \quad (6)$$

Avec :

K_c : étant une constante du couple,

V_a : Tension d'alimentation

I_a : Courant d'induit

R_a : Résistance d'induit

L_a : Inductance d'induit

E : Force électromotrice

J : Moment d'inertie

Ω : Vitesse angulaire (rd/s)

N : Vitesse de rotation (tr/mn)

T_u : Couple utile

T_e : Couple électromagnétique du moteur,

T_r : Couple résistant développé par la charge,

f : Coefficient de frottement visqueux.

b. Modèle d'une pompe centrifuge

La pompe est du type centrifuge, son fonctionnement est régi par trois paramètres essentiels qui sont la hauteur manométrique totale (HMT), le débit (Q) et la vitesse de rotation (N).

Le couple de la pompe centrifuge est donné par l'équation:

$$T_r = C\Omega^2 + T_0 \quad (7)$$

Où:

C : Constante ([Nm/rads-1]),

T_0 : Couple statique,

Ω : Vitesse angulaire.

La pompe convertit la puissance mécanique qu'elle reçoit du moteur électrique en une puissance hydraulique. Cette puissance P_h est donnée par l'expression suivante :

$$P_h = \rho g Q H M T \quad (8)$$

Avec :

ρ : Masse volumique de l'eau (1000 kg/m^3).

g : Accélération du pesanteur ($9.81 \text{ m}^2/\text{s}$).

Q : Débit du fluide.

HMT : Hauteur manométrique.

Sachant que : $P_h = \eta P_{p m}$ (9)

η_p étant le rendement de la pompe et P_m la puissance mécanique reçue par celle-ci.

IV. SIMULATION

1. Générateur photovoltaïque

Le bloc simulink permettant la simulation du générateur photovoltaïque (GPV) est donné par la figure 3 suivante :

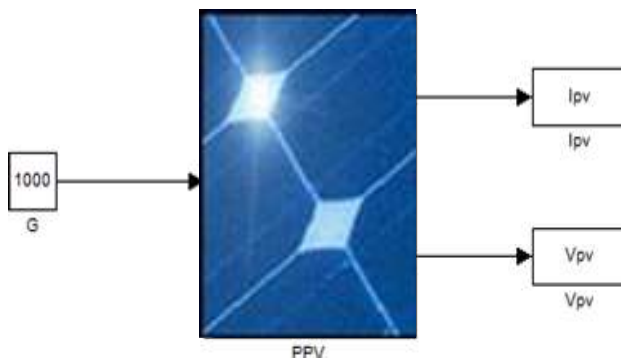


Figure 3. Bloc Simulink du générateur photovoltaïque

Les résultats obtenus sont donnés dans la figure 4. On y a tracé les niveaux des puissances et tension électriques obtenues pour

différents niveaux d'ensoleillements. Ces résultats sont donnés pour une température environnante supposée constante et de 25°C .

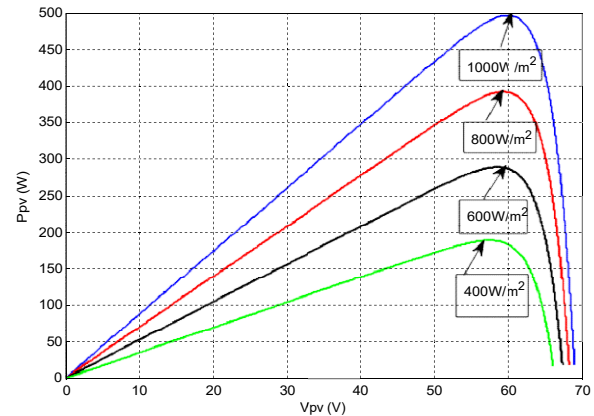


Figure 3. Caractéristiques du GPV en fonction de

L'ensoleillement.

L'allure générale montre une augmentation linéaire de la puissance avec la tension pour atteindre une valeur maximale puis décroître rapidement. Nous soulignons l'importance de cette zone de maximum de puissance quant au choix du point de fonctionnement de l'ensemble du système de pompage.

2. Simulation de l'ensemble du système

Trois cas sont étudiés du comportement du système :

- Comportement en cas d'ensoleillement constant et ensoleillement variable sans éléments de stockage d'énergie électrique,
- Comportement en cas d'ensoleillement variable avec éléments de stockage.

a. Cas d'ensoleillement constant

Les résultats de simulation sont donnés par les figures ci-dessous pour un ensoleillement $G = 1000 \text{ W/m}^2$ et une température de 25°C .

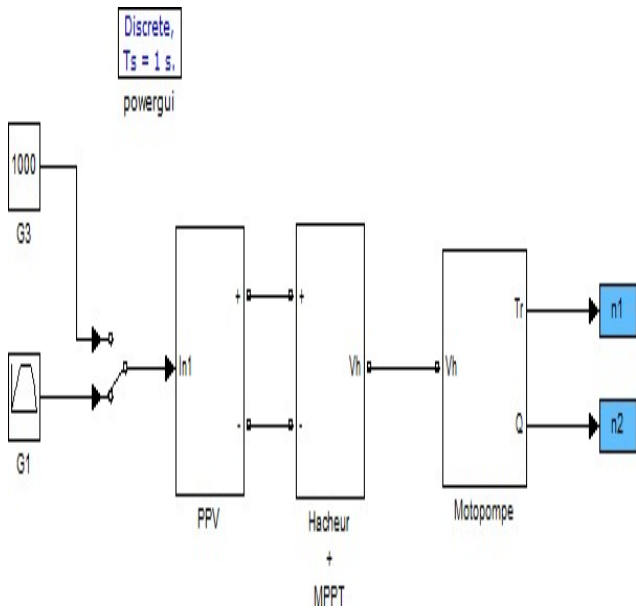


Figure 4. Bloc Simulink relatif au système de pompage

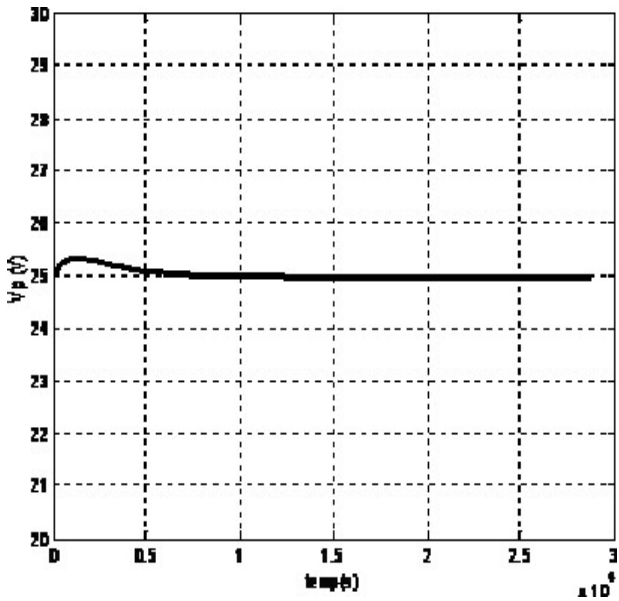


Figure 5. Variation de la tension du PPV

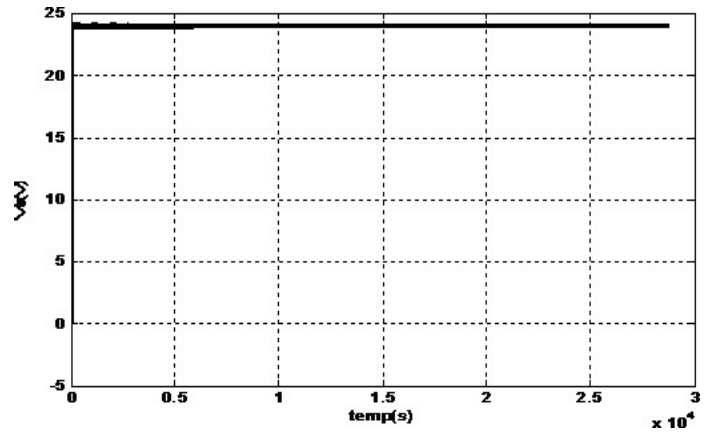


Figure 6. Allure de la tension d'alimentation du moteur.

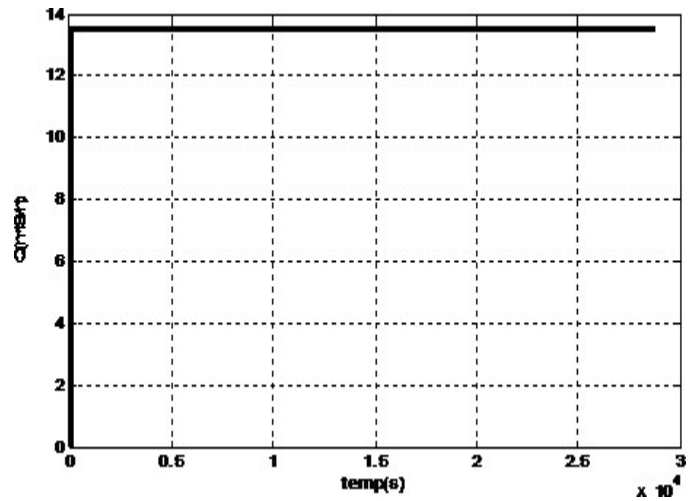


Figure 7. Allure du débit de la pompe.

D'après les figures présentés ci-dessus on constate que tant que l'ensoleillement G est constant, la tension délivrée au moteur est constante par conséquent le débit ne varie pas non plus.

b. Cas d'ensoleillement Variable

C'est le cas le plus réel car l'ensoleillement n'est jamais constant sur une journée. Nous supposons alors que cet ensoleillement varie selon l'allure de la figure 8 (allure tout à fait arbitraire). La température est toujours supposée égale à 25°C.

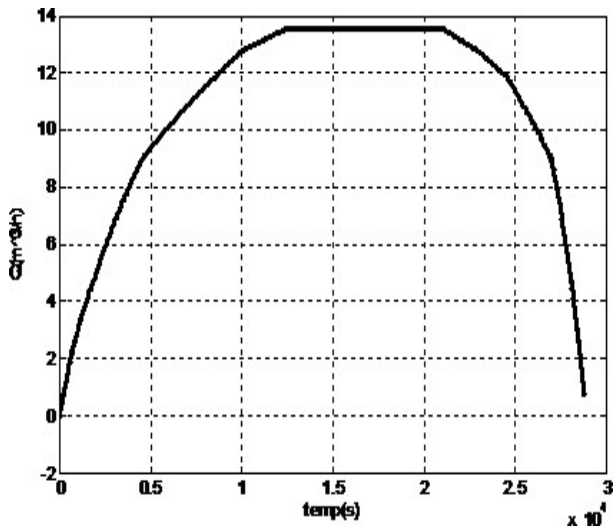


Figure 8. Allure d'ensoleillement des panneaux photovoltaïques.

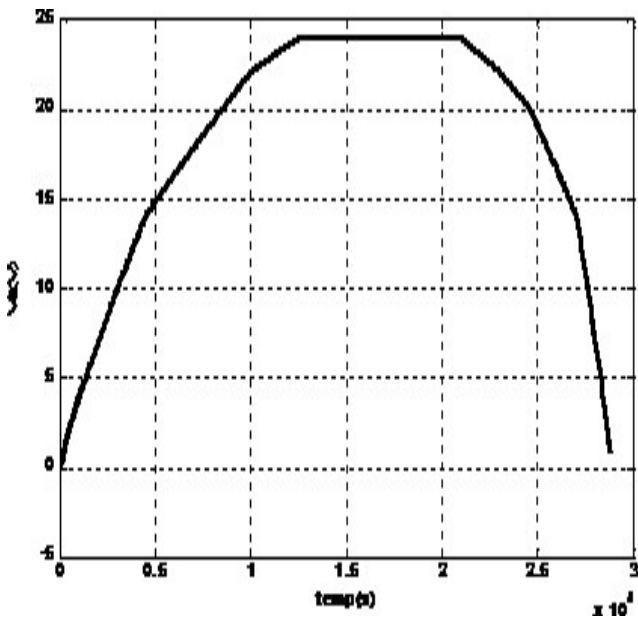


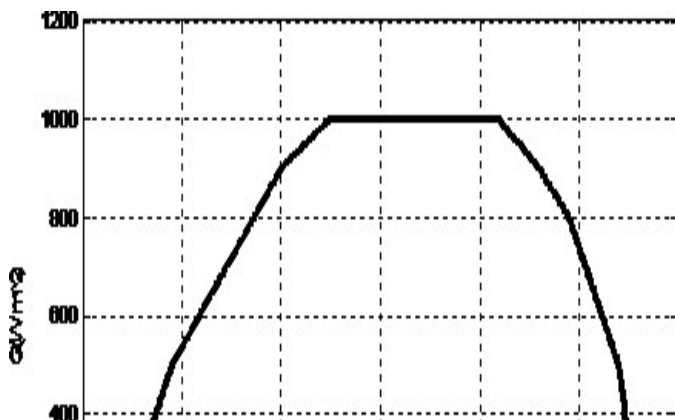
Figure 9. Allure de la tension d'alimentation du moteur

Figure 10. Allure du débit de la pompe

Des courbes ci-dessus, on remarque que le comportement de l'ensemble des éléments est directement lié à la Variation de l'ensoleillement et prend son allure. Le débit, qui est le paramètre essentiel, ne peut rester constant puisque la vitesse et le couple du moteur varient. Il augmente avec l'ensoleillement pour atteindre un maximum et baisser par la suite. C'est là qu'apparaît le rôle important que peut jouer un système de stockage d'énergie électrique quand il est rajouté à l'installation.

3. Cas d'ensoleillement Variable avec élément de stockage

Le schéma ci-dessous présente le système de pompage comportant un élément de stockage (batterie) sous forme de blocks simulink.



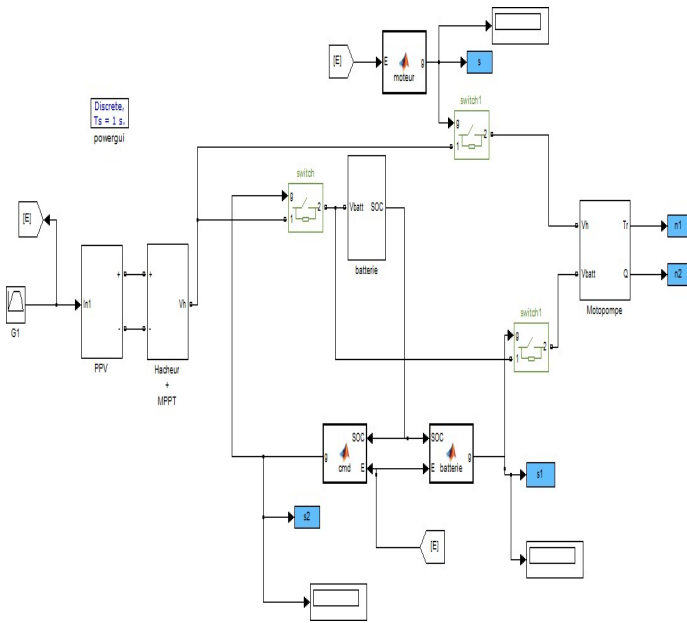


Figure 11. Schéma bloc Simulink relatif au système de pompage avec stockage

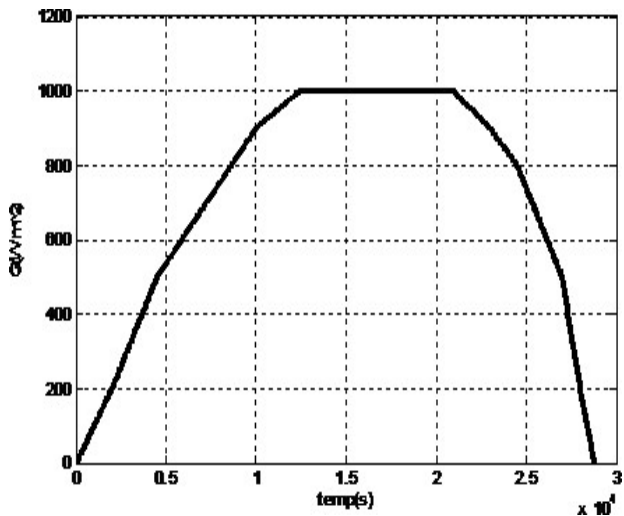


Figure 12. Allure théorique d'ensoleillement des panneaux photovoltaïques.

Figure 13. Allures de l'état de charge et de la tension de la batterie.

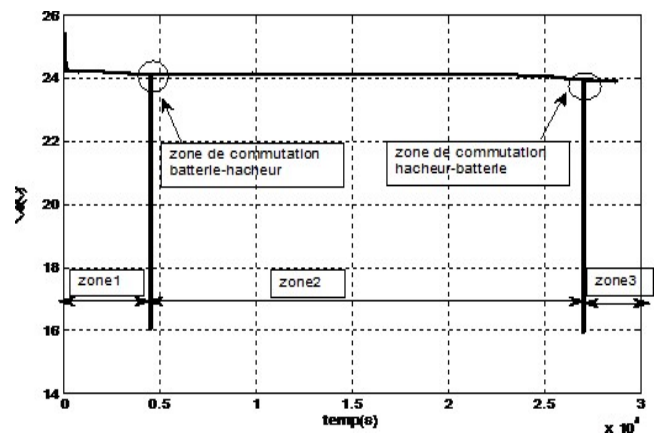


Figure 14. Allures de la tension du moteur.

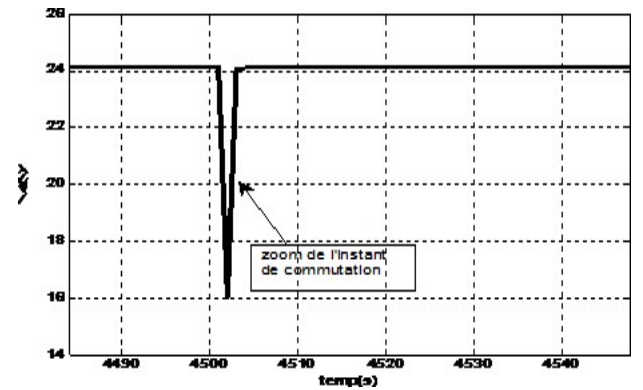
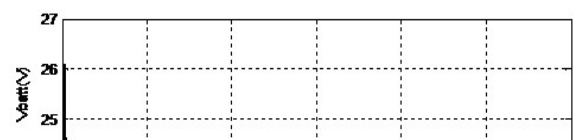
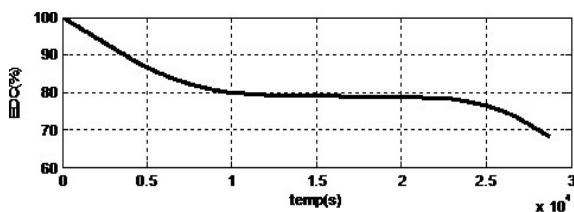


Figure 15. Allures d'agrandissement de la tension.



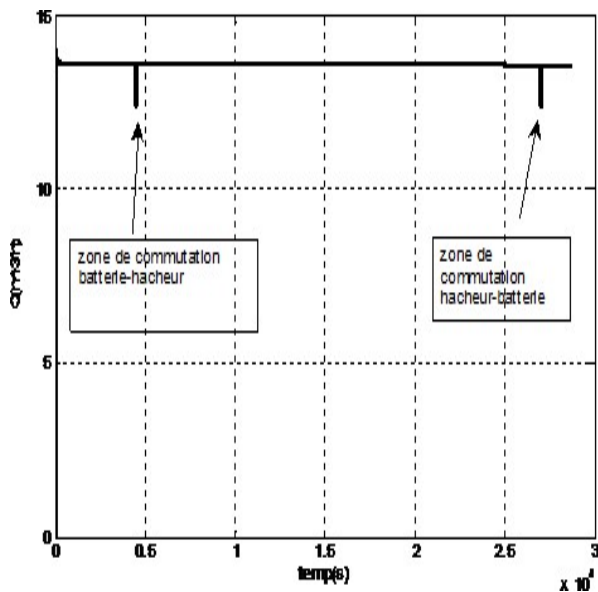


Figure 15. Variation de débit en fonction d'ensoleillement.

Les résultats de simulation ci-dessus permettent d'avancer les constatations suivantes :

- Au départ (début de journée par exemple), le groupe motopompe est alimenté par les batteries car l'ensoleillement n'est pas suffisant pour permettre aux panneaux photovoltaïques de délivrer suffisamment de puissance au fonctionnement du groupe (zone 1 précédant la commutation batteries/hacheur de la figure 14). Les batteries sont alors en état de décharge (figure 13).

- Quand l'ensoleillement devient suffisant, les batteries sont mises hors circuit et le régulateur prend la relève pour alimenter directement le groupe (zone 2 figure 14).

- Quand l'ensoleillement baisse de nouveau (fin de journée par exemple), les batteries prennent la relève de nouveau pour continuer à alimenter le groupe (zone 3 figure 14).

Les instants de commutation batteries/régulateur et régulateur/batteries sont bien visibles sur les courbes. La figure 15 montre un agrandissement de la forme de ces commutations dans la représentation de la tension d'alimentation du moteur.

V. CONCLUSION

La modélisation de l'ensemble du système de pompage photovoltaïque ainsi que sa simulation ont été présentées dans ce papier. Nous avons étudié les cas où l'ensoleillement était constant ou variable et où l'installation était muni ou non d'un système de stockage. Les résultats obtenus correspondent bien à la logique souhaitée par le fonctionnement d'une station de pompage de ce type. Un travail pratique est entrain d'être

réaliser pour la réalisation d'un système de pompage réel. Il permettra de valider les résultats obtenus ci-dessus.

VI. REFERENCES

- [1] M. N. Mansouri, N. Ghanmi et M. F. Mimouni, "Commande et analyse des performances d'une station de pompage photovoltaïque fonctionnant en régime optimal", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, No. 1, 2008.
- [2] M. L. Louazene, D. Korichi, B. Azoui, "Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque application sur le site de Ouargla", *ICEO*, 2013.
- [3] A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, "Dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 8, 2005.
- [4] A. Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoudi et I. Youm, "Etude et modélisation d'un générateur photovoltaïque", Vol. 11, No. 3, pp. 473-483, 2008.
- [5] H. Belmili, M. Ayadi, E. H. Berkouk et M. Haddadi, "Optimisation de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes- Exemples d'applications, éclairage et pompage au fil du soleil", *Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse*, 2008.
- [6] B. G. Belgacem, "Performance of submersible PV water pumping systems in Tunisia", *Energie for sustainable development*, Vol. 16, 2012.